



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**VARIACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA
PRODUCCIÓN PRIMARIA EN LOS LAGOS DE
CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
BIÓLOGA**

P R E S E N T A:

Zaira Myriam Olgún Flores



**TUTOR DE TESIS:
Dr. Javier Alcocer Durand**

**CIUDAD UNIVERSITARIA,
CD. MX. 2018**



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.

1. Datos del alumno
Olguín
Flores
Zaira Myriam
53 68 95 48
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
310176312

1. Datos del tutor
Dr.
Javier
Alcocer
Durand

2. Datos del sinodal 3.
Dr.
Alfonso
Lugo
Vázquez

3. Datos del sinodal 1.
Dr.
Luis Alberto
Oseguera
Pérez

4. Datos del sinodal 2.
M. en C.
Adriana
Gaytán
Caballero

5. Datos del sinodal 3.
M. en C.
León Felipe
Álvarez
Sánchez

6. Datos del trabajo escrito.
Variación espacial y temporal de la producción primaria en los lagos de Chapultepec, Ciudad
de México
80 páginas
2018

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el proyecto 189194 del Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Distrito Federal “*Estudio de la productividad primaria de los Lagos Menor y Mayor de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec a través de imágenes satelitales en tiempo real y sobre el impacto de los tóxicos y contaminantes en especies nativas*” y el Proyecto de Investigación en Limnología Tropical, FES Iztacala, UNAM.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, y a la Facultad de Ciencias por brindarme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones.

A Luis Oseguera por el apoyo en campo y análisis de resultados.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron para el desarrollo de este trabajo, mi más sincero agradecimiento.

A mi facultad

Maestros

Familiares

Y amigos.

El estudio y, en general, la búsqueda de la verdad y la belleza conforman un área donde podemos seguir siendo niños toda la vida.

Albert Einstein



ÍNDICE	pp
INDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
Lagos urbanos	15
Eutrofización	16
Producción primaria	18
Fotosíntesis y respiración	19
ANTECEDENTES	21
JUSTIFICACIÓN	23
OBJETIVO GENERAL	23
ÁREA DE ESTUDIO	24
MATERIALES Y MÉTODOS	26
Parámetros fisicoquímicos	26
Nutrientes	26
Producción primaria	26
RESULTADOS	30
Profundidad	30
Disco de Secchi	33
Temperatura	35
Oxígeno disuelto	37
Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto	39
pH	41
Conductividad eléctrica	43
Fósforo soluble reactivo (FSR)	45
Nitrógeno inorgánico disuelto (NID)	47
Producción primaria bruta (PPB)	49
Producción primaria neta (PPN)	52
Respiración (R)	54

ANÁLISIS ESTADÍSTICO	56
Análisis de conglomerados	56
Correlación	58
Variación inter-lacustre (PPB, PPN, R)	59
Variación espacial intra-lago (PPB, PPN, R)	61
DISCUSIÓN	62
Relación con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes	62
Estado trófico y producción (PPB, PPN y R)	63
Análisis de conglomerados	66
Correlación	66
Variación inter-lacustre (PPB, PPN y R)	67
Variación espacial intra-lago (PPB, PPN y R)	67
CONCLUSIÓN	69
LITERATURA CITADA	70
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	74
ANEXO I	75

ÍNDICE DE FIGURAS		pp
Figura 1	Criterios para definir los cuatro estados tróficos.	17
Figura 2	La fotosíntesis y la respiración son procesos complementarios ya que sus productos son utilizados en el otro proceso (Granillo <i>et al.</i> , 2014).	20
Figura 3	Ubicación geográfica de a) Ciudad de México, b) Bosques de Chapultepec. Mencionando las estaciones de muestreo, c) Lago Viejo; d) Lago Mayor, e) Lago Menor.	25
Figura 4	a) Botella Uwitec de 5L, b) Botellas clara y oscura, c) Oxímetro HACH modelo HQ40d, d) Soporte de incubación.	27
Figura 5	Promedio anual de la profundidad en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	30
Figura 6	Variación espacial y temporal de la profundidad en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	31
Figura 7	Promedio anual de la Z_{DS} en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	33
Figura 8	Variación espacial y temporal de la Z_{DS} en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	34
Figura 9	Promedio anual de la temperatura en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	35
Figura 10	Variación espacial y temporal de la temperatura en el Lago Viejo (A), y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	36
Figura 11	Promedio anual del oxígeno disuelto en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	37
Figura 12	Variación espacial y temporal del oxígeno disuelto en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	38
Figura 13	Promedio anual del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	39

Figura 14	Variación espacial y temporal del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	40
Figura 15	Promedio anual del ph en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	41
Figura 16	Variación espacial y temporal del pH en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	42
Figura 17	Promedio anual de la conductividad en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	43
Figura 18	Variación espacial y temporal de la conductividad en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	44
Figura 19	Promedio anual del FSR en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	45
Figura 20	Variación espacial y temporal del FSR en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	46
Figura 21	Promedio anual del NID en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	47
Figura 22	Variación espacial y temporal del NID en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	48
Figura 23	Promedio anual de la PPB en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	49
Figura 24	Variación espacial y temporal de la PPB en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	50
Figura 25	Promedio anual de la PPN en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	52
Figura 26	Variación espacial y temporal de la PPN en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	53
Figura 27	Promedio anual de la respiración en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	54

Figura 28	Variación espacial y temporal de la respiración en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	55
Figura 29	Dendograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Viejo.	56
Figura 30	Dendograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Mayor.	57
Figura 31	Dendograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Menor.	58
Figura 32	Promedio anual y desviación estándar de la PPB en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	59
Figura 33	Promedio anual y desviación estándar de la PPN en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	60
Figura 34	Promedio anual y desviación estándar de la R en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.	61

ÍNDICE DE TABLAS

pp

Tabla 1	Promedio y desviación estándar (primer renglón) y mínimos y máximos (segundo renglón) de los parámetros fisicoquímicos de los lagos de Chapultepec, Ciudad de México.	32
Tabla 2	Promedio y desviación estándar (primer renglón) y mínimos y máximos (segundo renglón) del metabolismo de los lagos de Chapultepec, Ciudad de México.	51
Tabla 3	Comparación entre los valores de producción primaria bruta de los lagos de Chapultepec con otros sistemas de agua dulce eutróficos.	65

RESUMEN

Los lagos urbanos suelen ser impactados por las actividades humanas que se desarrollan en sus alrededores, así como por sus desechos. Uno de los impactos más importantes y extendidos que se reconoce en los lagos urbanos es la eutrofización. En general rara vez se evalúa y se da seguimiento –monitoreo- a este fenómeno en los lagos urbanos, por lo cual el presente estudio tuvo como objetivo el reconocer el metabolismo lacustre de los tres lagos urbanos (Lago Viejo, Lago Mayor y Lago Menor) ubicados en el Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. Para lo anterior se evaluaron la producción primaria bruta (PPB), producción primaria neta (PPN) y respiración (R) en cada uno de ellos, a lo largo de un ciclo anual. Se establecieron 6 estaciones de muestreo: tres (E1, E2 y E3) en el Lago Viejo, dos (E4 y E5) en el Lago Mayor y una (E6) en el Lago Menor. Se midieron diversos parámetros fisicoquímicos *in situ* como temperatura, oxígeno disuelto y profundidad del disco de Secchi, así como también se tomaron muestras de agua para medir concentraciones de nutrientes (fósforo soluble reactivo -FSR- y nitrógeno disuelto -NID-). Las tasas de PPB, PPN y R se calcularon mediante el método de botellas claras y oscuras. El Lago Viejo resultó ser el más profundo y el Lago Menor el menos profundo con 1.04 ± 0.14 m y 0.74 ± 0.20 m, respectivamente; según la profundidad del disco de Secchi, el Lago Mayor fue el menos turbio con 0.23 ± 0.09 m y el Lago Menor el más turbio con 0.06 ± 0.04 m, el Lago Mayor fue el más cálido y el Lago Viejo el más frío con 21.1 ± 2.4 °C y 18.7 ± 2.6 °C respectivamente; se presentó una sobresaturación de oxígeno disuelto con 134% en el Lago Viejo, 186% en el Lago Mayor y 148% en el Lago Menor; los valores de pH variaron de 7.7 a 11.0 y la conductividad eléctrica fue moderada oscilando entre 355 y 577 ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Los nutrientes se encontraron también en concentraciones elevadas, el FSR fue de 0.17 mg/L en el Lago Viejo, de 0.26 mg/L en el Lago Mayor y de 0.10 mg/L en el Lago Menor y el NID en el Lago Viejo fue de 3.4 mg/L, en el Lago Mayor de 8.0 mg/L y en el Lago Menor de 2.0 mg/L. La PPB promedio anual en el Lago Viejo fue de $1,646 \pm 130$ mg C m^{-3} h^{-1} , en el Lago Mayor de $1,451 \pm 81$ mg C m^{-3} h^{-1} y finalmente, en el Lago Menor de $1,500 \pm 95$ mg C m^{-3} h^{-1} . La PPN fue de $1,163 \pm 130$ mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Viejo, de 942 ± 79 mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Mayor y de $1,072 \pm 76$ mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Menor. Por último, la respiración fue de 574 ± 82 mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Viejo, 607 ± 66 mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Mayor y 499 ± 72 mg C m^{-3} h^{-1} en el Lago Menor. Se observó una diferencia significativa en la PPB y PPN entre el Lago Viejo y el Lago Mayor siendo superior en el primero; asimismo, se observaron diferencias en la PPB de la E3 que fue significativamente mayor que la E4 y en la PPN la E3 fue significativamente mayor que la E1, E4 y E5; sin embargo, los valores de R fueron similares en los tres lagos; con

respecto a PPB, el Lago Viejo y el Lago Mayor se comportan de manera homogénea y en el caso de PPN solo el Lago Mayor es homogéneo. El Lago Viejo presentó los valores mayores de PPB y PPN, mostrando un patrón definido con la temporada del año, teniendo los valores más altos en la temporada cálida-lluviosa y los más bajos en la temporada fría-seca, a diferencia del Lago Mayor y el Lago Menor donde no se observa temporalidad. La elevada concentración de nutrientes, la reducida profundidad del disco de Secchi, así como la sobresaturación de oxígeno disuelto y los elevados valores de pH registrados durante los muestreos, caracterizan a los lagos de Chapultepec como hipertróficos, ratificado por los altos niveles de producción primaria.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo al relato de Del Valle (2011), los mexicas fundan Tenochtitlan en el año 1325 en un pequeño islote, que con el tiempo irían expandiendo artificialmente. El agua de los lagos donde estaba asentada se acumulaba en una depresión natural. La tecnología para el manejo del agua estaba ya bastante desarrollada entre otros pueblos de la región, de forma que para cuando los mexicas llegaron a convertirse en un nuevo imperio, su poder y organización política les permitió construir un complejo sistema para el control de los elementos acuáticos, el cual comprendía una serie de mecanismos que protegían a la ciudad contra inundaciones, creaban terrenos para la agricultura y permitían el movimiento y la circulación dentro y fuera de la isla. El sistema consistía, por ejemplo, en la recanalización de ríos, la construcción de diques con compuertas que impedían o permitían el fluir del agua a la ciudad, acueductos, canales para la navegación y el transporte, calzadas que conectaban la isla a las ciudades vecinas y mecanismos para separar el agua fresca de la salada.

El primer acueducto en construirse fue el que transportaba las aguas del manantial de Chapultepec hasta el centro de la urbe y tenía aproximadamente 5 km de longitud. El agua de este acueducto viajaba por la superficie del terreno hasta llegar a la ciudad, donde se hacía subterráneo y el agua se repartía en diversas partes para ser usada. En las afueras de la ciudad la gente se preguntaba de donde surgía tanta agua; la respuesta era el manantial de “Chapultepec” (Peña y Levi, 1989).

Cuando el manantial de Chapultepec se volvió insuficiente se mandó hacer otro acueducto que transportara el agua que había entre Coyoacán y Churubusco. Se advirtió que sería peligroso porque las aguas que corrían por ese manantial eran, en algunas ocasiones, escasas y en otras abundantes, lo cual podría provocar una gran inundación; no obstante, se construyó, siendo terminado en el año 1500. En efecto, después de los festejos por la apertura de este nuevo acueducto, el nivel del agua aumentó y provocó una gran inundación que destruyó casi toda la ciudad. Supuestas causas de esta inundación fueron: el propio volumen de agua, el cruce de dos acueductos y el aumento del nivel del agua por una tromba (Peña y Levi, 1989).

Estos sistemas hidráulicos requerían la colaboración y entendimiento de políticos, sacerdotes, obreros, mineros, agricultores y en general, toda la población, pero con la guerra de conquista, la tierra fue totalmente arrasada y su sistema hidráulico seriamente comprometido (Del Valle, 2011).

Pese a los problemas en Chapultepec y en el resto de los manantiales durante la guerra de conquista, a lo largo de los años las necesidades de áreas naturales recreativas dentro de las ciudades han ocasionado la formación y restauración de lagos urbanos.

Lagos urbanos

Los lagos urbanos son ecosistemas acuáticos muy importantes debido a que no solo brindan bienestar a la población humana, sino que también permiten el establecimiento de diferentes hábitats para las especies que logran adaptarse a estos, aumentando su valor paisajístico (Elías *et al.*, 2006). En algunos casos sirven para el consumo humano, así como también para el control de inundaciones. Estos lagos se clasifican considerando su tamaño, profundidad, origen del agua, tipo de cuenca de depósito y usos, ya sea recreativo, para abastecimiento de agua y contenedores de lluvia o cualquier otro relacionado con actividades antropogénicas (Schueler y Simpson, 2003).

Al estar situados dentro de las ciudades permiten el desarrollo de diversas actividades humanas, lo que provoca generalmente un proceso de eutrofización de las aguas que es ocasionado por el incremento notable de nutrientes y materia orgánica, lo cual disminuye el valor recreativo y estético de los lagos y su entorno. Además, la carencia de agua ha generado que muchos de estos lagos sean llenados con aguas residuales tratadas, ya sean de origen industrial o doméstico, propiciando un aumento en la carga de nutrientes, principalmente de fósforo y nitrógeno (Quirós, 2007).

La contaminación y producción de materia orgánica en el agua determina un descenso de la diversidad biológica, estableciendo condiciones rigurosas que pocas especies pueden resistir y, por lo tanto, estimula el desarrollo de unas cuantas especies resistentes, debido a un ambiente altamente fluctuante e inestable. La posterior descomposición de esta materia causa una fuerte demanda de oxígeno, que puede producir condiciones anaerobias severas (Margalef, 1983).

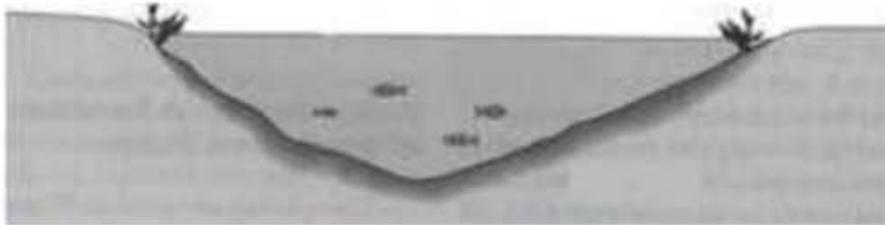
Con el propósito de disminuir la contaminación que aumenta progresivamente, particularmente en los lagos urbanos, se han desarrollado diferentes medidas que tienen como objetivo recuperar el estado trófico original. Algunas de ellas son el desvío de los desechos antropogénicos, la extracción de biomasa, la precipitación química de nutrientes de los afluentes del lago y el dragado de sedimentos (Alhonen, 1985). Lamentablemente, en los países en vías de desarrollo, como México, este problema se ha agravado por la falta de recursos económicos para la implementación de las medidas correctivas. En el caso particular de los lagos de Chapultepec, Ciudad de México, las fuentes

de abastecimiento de agua aportan grandes cantidades de nutrientes propiciándose el crecimiento desmedido del fitoplancton y, por ende, su eutrofización (Alcocer y Kato, 1987).

Eutrofización de los lagos

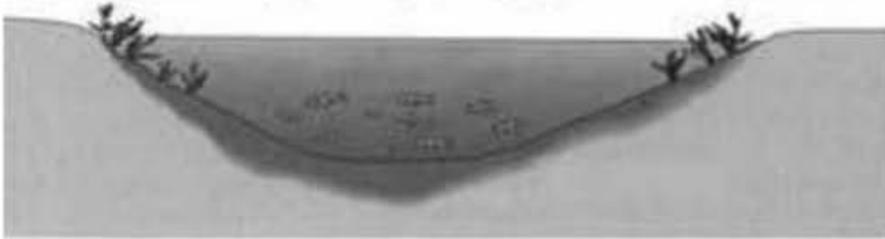
La eutrofia se refiere a la relación que existe entre la concentración de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo. Para clasificar este estado normalmente se fundamenta en el nutriente limitante de la producción primaria. El uso excesivo de fertilizantes, la descarga de aguas residuales que son ricas en nutrientes, la deforestación que ocasiona escurrimientos de la capa fértil y rica en nutrientes, entre otros, son algunas de las causas de la eutrofización de los lagos (Moreno *et al.*, 2010).

A los lagos con concentraciones reducidas de nutrientes se les denomina “oligotróficos”, es decir, que presentan baja productividad primaria, el agua es muy transparente y está saturada de oxígeno; la categoría “mesotrófico” describe situaciones intermedias entre oligotróficos y eutróficos, estos aun presentan aguas con buen nivel de transparencia, pero moderada productividad primaria. Los “eutróficos” son lagos ricos en nutrientes, con abundantes productores primarios, agua bastante turbia y alta concentración de oxígeno en la superficie, pero escaso debajo de la termoclina; por último, los “hipertróficos” presentan situaciones de extrema eutrofia, la productividad primaria es elevada, por lo tanto, sus aguas son bastante turbias (Fig. 1) (Sven-Olof y Rast, 1992).



Oligotrófico: Bajo nivel de productividad biológica. Agua clara, algunas plantas acuáticas, pocos peces, no mucha flora y fauna y fondo arenoso.

Criterios: Clorofila a, menos de 3 $\mu\text{g/L}$. Fósforo total, menor a 15 $\mu\text{g/L}$. Nitrógeno total, menor que 400 $\mu\text{g/L}$. Claridad del agua 4m.



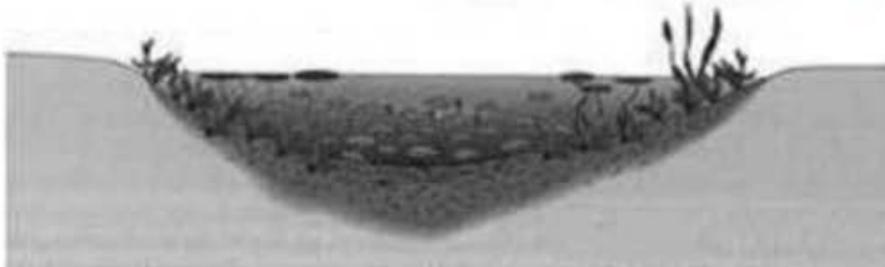
Mesotrófico: Moderado nivel de productividad, claridad de agua y plantas acuáticas.

Criterios: Clorofila a, entre 3 y 7 $\mu\text{g/L}$. Fósforo total, entre 15 y 25 $\mu\text{g/L}$. Nitrógeno total, entre 400 y 600 $\mu\text{g/L}$. Claridad del agua entre 2.5 y 4 m.



Eutrófico: Alto nivel de productividad, claridad de agua y buena cantidad de plantas acuáticas o poca claridad del agua y pocas plantas acuáticas. Gran potencial para soportar la gran cantidad de peces y vida silvestre.

Criterios: Clorofila a, entre 7 y 40 $\mu\text{g/L}$. Fósforo total, entre 25 y 100 $\mu\text{g/L}$. Nitrógeno total, entre 600 y 1500 $\mu\text{g/L}$. Claridad del agua entre 0.9 y 2.5 m.



Hipereutrófico: Altísimo nivel de productividad biológica, muy pobre claridad de agua, abundancia de plantas acuáticas y potencial para soportar la gran cantidad de peces y vida silvestre.

Criterios: Clorofila a, más de 40 $\mu\text{g/L}$. Fósforo total, superior a 100 $\mu\text{g/L}$. Nitrógeno total, mayor a 1500 $\mu\text{g/L}$. Claridad del agua menor 0.9 m.

Figura 1. Criterios para definir los cuatro estados tróficos. (Fuente: Modificado de Forsberg y Ryding (2010) en: Florida LAKEWATCH <http://lakewatch.ifas.ufl.edu/>).

Producción primaria

La producción primaria (PP) es un proceso que inicia la red alimenticia en los ecosistemas y está a cargo de los organismos fotosintetizadores como el fitoplancton los cuales, por medio de mecanismos bióticos, contribuyen a la síntesis de materia orgánica que forma parte de los sistemas acuáticos (Vidal-Abarca *et al.*, 1994). La PP se expresa por unidad de tiempo y de volumen ($\text{mg C/m}^3/\text{h}^1$) o de área superficial ($\text{g C/m}^2/\text{d}^1$) (Varela, 2013). La producción primaria bruta (PPB) se refiere al total de energía fijada en un ecosistema y representa el cambio de biomasa observado más la suma de todas las pérdidas (excreción, respiración, muerte o depredación). La producción primaria neta (PPN) habla de la materia orgánica o energía libre en el sistema para ser utilizada por los productores secundarios o consumidores, representa el cambio de biomasa observado más todas las pérdidas a excepción de la respiración (Vidal-Abarca *et al.*, 1994). La respiración (R) es la oxidación total del carbono orgánico a carbono inorgánico por organismos, tanto heterótrofos como autótrofos (Cole *et al.*, 2000).

La estimación de la PP es importante ya que ésta denota valiosas características ambientales de tipo trófico, estado que depende, entre otros factores, de la concentración de nutrientes presentes (Ramírez, 2006). La evaluación de la producción primaria se utiliza habitualmente por ser un buen indicador de la capacidad de incorporar materia orgánica al ecosistema, es decir, la producción de biomasa del mismo.

Al hablar de sistemas acuáticos donde la fotosíntesis supera la respiración total del plancton ($P > R$) se refiere a procesos completamente autotróficos que actúan como productores de oxígeno y materia orgánica considerándose sumideros de CO_2 . A diferencia de los ecosistemas acuáticos donde la respiración excede a la fotosíntesis ($P < R$), son consumidores de carbono orgánico, heterótrofos netos y, por lo tanto, emiten CO_2 a la atmósfera (Carignan *et al.*, 2000).

Uno de los métodos más utilizados para estimar la PP en los cuerpos acuáticos es el uso de botellas claras y oscuras, propuesto por Gardner y Grann en 1927 y que se basa en la producción y consumo de oxígeno en las botellas de agua incubadas bajo condiciones ambientales. Es de los métodos más atractivos por ser fácil y económico, además permite determinar tanto la PPB, PPN y R; sin embargo, solo se recomienda utilizarlo en ecosistemas eutróficos ya que es poco sensitivo (González y De La Rosa, 1995).

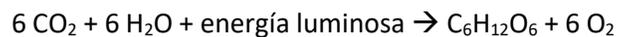
Otro método para medir la PP es el que utiliza el carbono radiactivo o carbono-14, conocido también como el método de Steemann-Nielsen (1952); el cual se basa en la incorporación por parte del fitoplancton del carbono-14 adicionado a las muestras de agua. Esta técnica presenta una desventaja importante porque no se obtiene la PPB ni la PPN sino un valor entre ambas, dependiendo de la duración de la incubación el resultado corresponde a la PPB o PPN (Irwin, 1991).

Por último, el método de la fluorescencia natural se basa en que el fitoplancton absorbe luz a través de las moléculas de clorofila y, posteriormente, la emite a una mayor longitud de onda que es detectada como fluorescencia. Este proceso arroja un resultado de manera instantánea y no requiere de incubación, se pueden hacer registros verticales de productividad o llevar un censo continuo en estaciones fijas o a la deriva, sin embargo, solo se recomienda a partir de los 5 m de profundidad ya que la radiación solar puede contaminar las señales registradas (González y De La Rosa, 1995).

Fotosíntesis y respiración

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual los organismos autótrofos captan radiación solar (i.e., a través de las moléculas de clorofila) y la convierten en energía química aprovechable por el resto de los seres vivos (Granillo *et al.*, 2014). El intervalo de radiación solar útil para la fotosíntesis es conocido como radiación fotosintética activa (PAR) y abarca de los 400 a los 700 nm (Edding *et al.*, 2006).

La ecuación general de la fotosíntesis se presenta de la siguiente manera:



donde los productos son necesarios para iniciar el proceso de respiración celular (Fig. 2). Asimismo, la respiración celular ocurre en los momentos en que no se puede obtener energía por fotosíntesis, ésta se encarga de convertir la energía química a energía metabólica. La respiración celular aerobia requiere de oxígeno y la anaerobia no lo necesita. La ecuación de la respiración celular se presenta así:



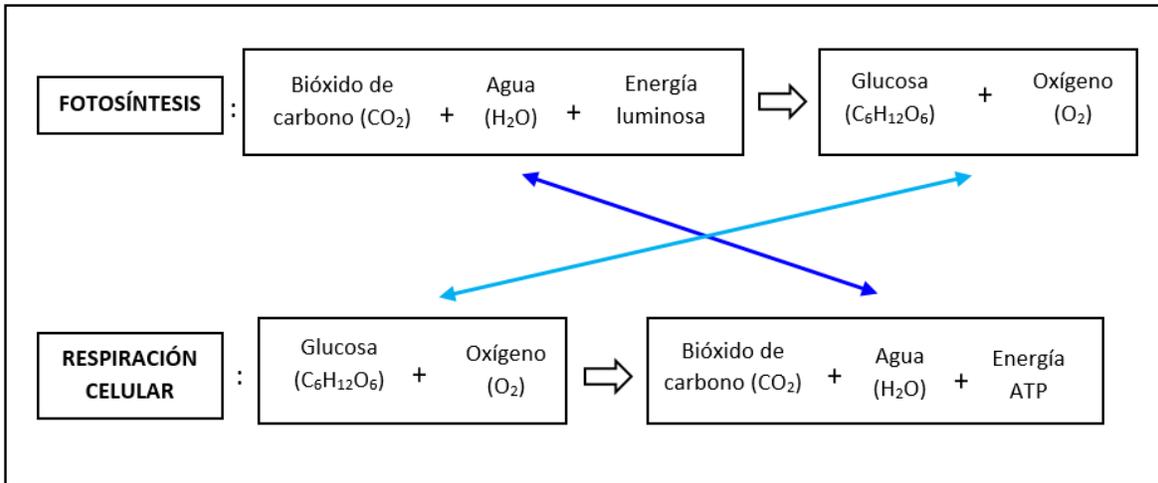


Figura 2. La fotosíntesis y la respiración celular son procesos complementarios ya que sus productos son utilizados en el otro proceso (Granillo *et al.*, 2014).

ANTECEDENTES

Entre los trabajos realizados en los lagos de Chapultepec, Alcocer *et al.*, (1988) y Muro (1994) mencionan que ambos son alimentados principalmente con aguas residuales tratadas. El primero se enfocó en estudiar el efecto del dragado sobre el estado trófico del Lago Viejo. Los resultados indicaron que para lograr la restauración del Lago Viejo de Chapultepec era necesario la eliminación de la carga externa de nutrientes y que el dragado de sedimentos no mejoraría las condiciones del lago. El segundo trabajo estudió los cladóceros, encontrando 5 especies (*Moina micrura*, *Molina macrocopa*, *Alona costata*, *Alona guttata* y *Leydigia leydigi*) considerando que su riqueza específica era pobre, también hizo una relación con algunos parámetros fisicoquímicos, caracterizando a los lagos como polimícticos cálidos, con una baja transparencia, sobresaturación de oxígeno en la superficie y elevadas concentraciones de nutrientes.

Rodríguez (2016) estudió la calidad del agua y productividad primaria fitoplanctónica en los tres lagos del bosque de Chapultepec durante un corto periodo temporal, caracterizando a los lagos por los altos niveles de nutrientes y parámetros fisicoquímicos como hipertróficos, de igual forma los valores elevados de PPB, PPN y R reflejan elevada producción primaria y elevada carga de materia orgánica, adicionalmente las concentraciones de coliformes fecales y de DQS (Demanda química de oxígeno) y SST (sólidos suspendidos totales) sobrepasan los límites permitidos, lo que hace que el agua no sea apta para el uso recreativo de contacto secundario, objetivo para el que se ocupa.

Existen más de 100 especies de algas en los Lagos de Chapultepec, sin embargo, la especie dominante es *Microcystis botrys* que está presente en las “natas” de fitoplancton que se forman en el agua, comúnmente genera toxinas hepatotóxicas, otras cianobacterias que acompañan a esta es *Anabaenopsis elenkinii*, *Anabaena* spp., *Chroococcus* spp., y *Oscillatoria* spp. La especie de bentos más abundante en los tres lagos es el anélido *Limnodrilus hoffmeisteri* (Alcocer *et al.*, 2007).

Alcocer (1988) reportó un total de 10 taxa al realizar la caracterización hidrobiológica de los lagos de Chapultepec, donde encontró entre 5 y 9 especies por lago, teniendo que la abundancia total de macroinvertebrados bentónicos (MIB) es representada por Chironomidae y Oligocheta en un 93.6% en el Lago Viejo, 99.7% en el Lago Mayor y 99.7% en el Lago Menor. La ictiofauna endémica nativa de los lagos de Chapultepec fue estudiada por Alcocer *et al.*, (1993) siendo representada por *Girardinichthys viviparus* (Goodeidae) y *Chirostoma jordani* (Atherinidae) siendo 99% de goodeidos y 1% de aterínidos. Hablando exclusivamente de protozoos ciliados, Lugo *et al.*, (1998) encontraron 30 especies donde *Cyclidium glaucoma*, *Aspidisca cicada*, *Coleps hirtus* y *Vorticella convallaria*

fueron los más abundantes mostrando bajas densidades en la temporada de secas, en contraste con la época cálida-lluviosa cuando incrementaron considerablemente. Estas especies indican eutrofización.

JUSTIFICACIÓN

Los lagos del Bosque de Chapultepec son sistemas dinámicos que dada su condición de lagos urbanos, se encuentran expuestos a cambios tanto naturales, como los provocados por el hombre. Aunque se conoce la naturaleza eutrófica de sus aguas, se desconocen las tasas de producción primaria bruta y neta, así como de respiración. Estos procesos son fundamentales para entender los cambios en un sistema eutrófico, con el propósito de mejorar las condiciones de calidad del agua y el valor recreativo y paisajístico del sitio.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la producción primaria bruta, producción primaria neta, y respiración durante un ciclo anual para conocer el metabolismo lacustre en los tres lagos urbanos del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Para cumplir con este objetivo general, se propusieron los siguientes objetivos particulares:

1. Evaluar la influencia de las variables fisicoquímicas y nutrientes en la producción primaria (bruta y neta) y en la respiración en los lagos del Bosque de Chapultepec.
2. Evaluar la variación temporal de las principales variables físico químicas de los tres lagos del Bosque de Chapultepec.
3. Evaluar la variación temporal y espacial de la producción primaria bruta y producción primaria neta, así como de la respiración de los tres lagos del Bosque de Chapultepec.

ÁREA DE ESTUDIO

El Bosque de Chapultepec es un parque urbano en la Ciudad de México dentro de la Delegación Miguel Hidalgo (Fig. 3). Se localiza entre las coordenadas 19°24' y 19°26' de latitud norte y los 99°11' y 99°13' longitud oeste. Se encuentra a 2,240 m s.n.m. (INEGI, 2016).

El clima de la región es templado con lluvias en verano (García, 2004) y el clima se clasifica como Cwb, con valores medios anuales de precipitación de 682 mm, con una evaporación del 72% del cual el 4% se recupera en aguas superficiales (CONAGUA, 2015). La temperatura promedio anual es de 16°C, con temperaturas mínimas en diciembre y enero y máximas en mayo que oscilan entre los 11.4°C y los 17.3°C, respectivamente (Villalobos *et al.*, 1982).

Dentro del bosque de Chapultepec se encuentran tres lagos urbanos (Fig. 3): el Lago Viejo en la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec (algunas veces denominado como dos lagos: el Mayor y el Menor) y los lagos Mayor y Menor en la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec. El agua de los lagos presenta una coloración verdosa con densas natas verdes (florecimientos de fitoplancton). En la periferia de estos lagos se encuentran principalmente ahuehuetes, cedros, álamos y pinos. La fauna principal registrada para los tres lagos la constituyen especies como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), el acocil (*Cambarellus montezumae*), el mezcalpique amarillo (*Girardinichthys viviparus*) y el charal blanco (*Chirostoma jordani*), además de carpas y tilapias; también se encuentran patos y gansos. En las isletas de los lagos se observa una variedad de aves como zanates, gorriones, primavera y colibríes (Sedema, 2013).



Figura 3. Ubicación geográfica de a) Ciudad de México, b) Bosques de Chapultepec, c) Lago Viejo; d) Lago Mayor y e) Lago Menor (Las estrellas numeradas indican las estaciones de muestreo y los círculos rojos indican la entrada y salida del agua a los lagos).

El Lago Viejo está ubicado en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec; tiene un área total de 60,240 m², un volumen de 49,525 m³ y una profundidad de 0.8 – 1.2 m (Alcocer *et al.*, 1988). Su cuenca es de tierra y contiene sedimentos de textura fina dominada por lodos en un 50% (Alcocer *et al.*, 2007). El agua que lo alimenta proviene de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chapultepec, del río Hondo y de pequeñas descargas de aguas crudas (aguas negras sin tratar) provenientes de los locales comerciales de la periferia (González, 1995).

El Lago Mayor tiene un área total de 58,200 m², un volumen de 59,709 m³ y una profundidad de 1 m, su cuenca es de concreto y contiene sedimentos de textura fina dominada por lodos en un 50%, y el Lago Menor tiene un área total de 27,600 m², un volumen de 26,573 m³ y una profundidad de 0.4 m, su cuenca es de concreto y contiene sedimentos de textura fina dominada por lodo en un 90% (Alcocer *et al.*, 2007). Estos dos lagos se ubican en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec y reciben aportes de agua de la PTAR de Chapultepec (Alcocer *et al.*, 1988).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron mensualmente a lo largo de un ciclo anual (abril de 2015 a marzo de 2016 para las variables fisicoquímicas y de mayo de 2015 a abril de 2016 para la PPB, PPN y respiración) durante dos días consecutivos. Se establecieron 6 sitios de muestreo: tres en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), dos en el Lago Mayor (E4 y E5) y uno en el Lago Menor (E6) (Fig. 3). El primer día se muestreó el Lago Viejo en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec y al día siguiente se muestrearon los Lagos Mayor y Menor en la Segunda Sección del Bosque de Chapultepec. Cabe hacer notar que a diferencia de las demás, las estaciones E1 y E4 no tienen acceso a actividades recreativas de remo.

Parámetros fisicoquímicos

Se midieron perfiles verticales cada 20 cm a lo largo de la columna de agua de temperatura (°C), concentración de oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, pH y conductividad específica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con una sonda multiparamétrica marca YSI modelo 85. Adicionalmente, se midió la profundidad del disco de Secchi.

Nutrientes

Para la determinación de nutrientes se tomaron muestras integradas de la columna de agua con un tubo de acrílico de 2.6 cm de diámetro por 1 m de alto. En el laboratorio se midieron las concentraciones del fósforo soluble reactivo (FSR) y nitrógeno inorgánico disuelto (NID) siguiendo los métodos estándar (APHA *et al.*, 2012).

Producción Primaria

Para evaluar la producción primaria *in situ* se utilizó la técnica de las botellas claras y oscuras que mide las tasas de cambio en la concentración de oxígeno disuelto (Gardner y Grann, 1927; Wetzel y Likens, 1991). En cada sitio de muestreo se recolectó agua de la parte superficial del lago con una botella muestreadora marca Uwitec de 5L de capacidad (Fig. 4a). Se llenaron dos botellas claras y dos botellas oscuras para cada uno de los dos soportes (Fig. 4b). Antes de colocar las botellas en los soportes e iniciar la incubación, se midió la concentración de oxígeno disuelto inicial (T_0) en cada una de ellas con ayuda de un oxímetro marca HACH modelo HQ40d portátil con Sonda LDO (oxígeno disuelto luminiscente, por sus siglas en inglés) (Fig. 4c). La concentración se utilizó como la concentración de OD al tiempo cero (T_0).

Una vez montadas las botellas en los soportes (Fig. 4d) se incubaron durante 25 minutos aproximadamente dentro de la zona eufótica (15 cm de profundidad determinados mediante disco de Secchi). Transcurrido el tiempo de incubación se volvió a registrar la concentración de oxígeno disuelto del agua de las cuatro botellas.

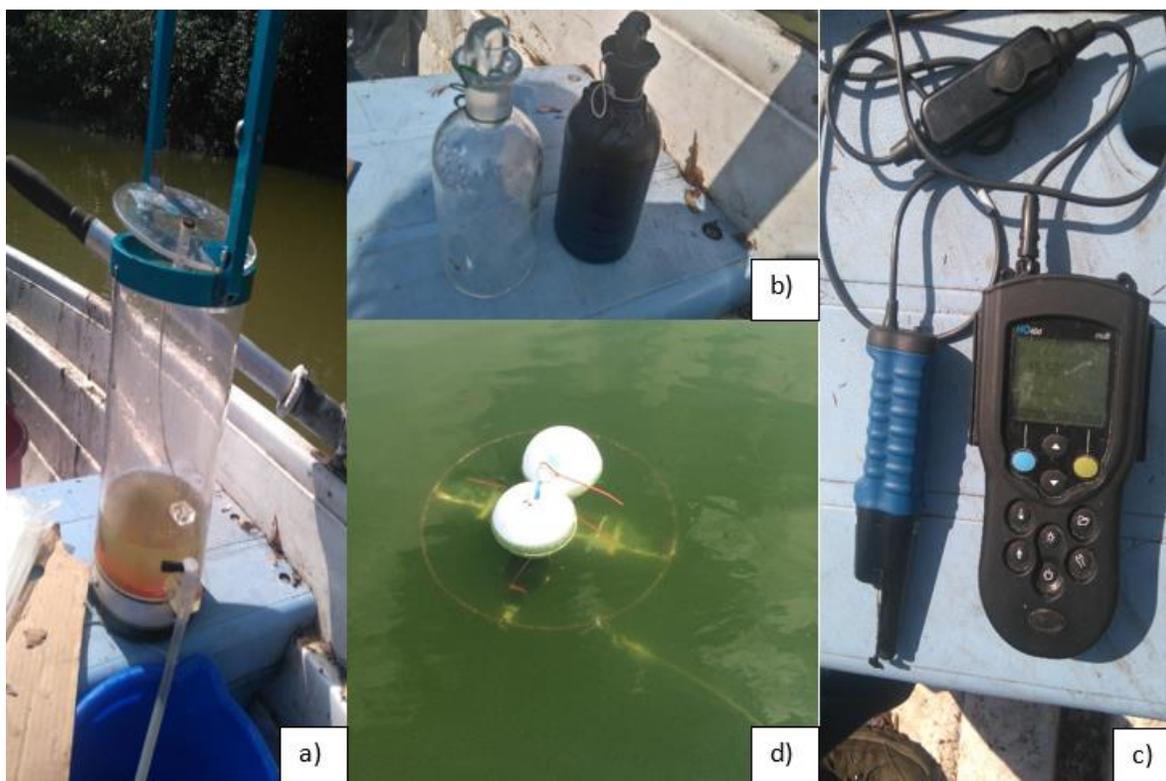


Figura 4. a) Botella Uwitec de 5L, b) Botellas clara y oscura, c) Oxímetro HACH modelo HQ40d, d) Soporte de incubación.

Las tasas de producción primaria neta (PPN), producción primaria bruta (PPB) y respiración (R) se determinaron siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$\text{Respiración} = O_i - O_o$$

$$\text{Producción neta} = O_c - O_i$$

$$\text{Producción bruta} = (O_c - O_i) + (O_i - O_o) = O_c - O_o$$

donde:

O_i : concentración de oxígeno inicial

O_o : concentración de oxígeno disuelto tras la incubación en la botella oscura

Oc: concentración de oxígeno disuelto tras la incubación en la botella clara

El cociente fotosintético (PQ) y el cociente respiratorio (RQ) expresan las cantidades de carbono y oxígeno que participan en el proceso de la fotosíntesis y la respiración de acuerdo a las siguientes relaciones (Wetzel, 2001):

$$PQ = \frac{+\Delta O_2}{-\Delta CO_2} = \frac{\text{Moléculas de } O_2 \text{ liberadas durante la fotosíntesis}}{\text{Moléculas de } CO_2 \text{ asimilado}}$$

$$RQ = \frac{+\Delta CO_2}{-\Delta O_2} = \frac{\text{Moléculas de } CO_2 \text{ liberadas durante la respiración}}{\text{Moléculas de } O_2 \text{ consumidas}}$$

Se calcularon la PQ y la RQ para expresar los cambios en la concentración de oxígeno en términos de carbono. Los PQ y RQ indican sumas relativas de oxígeno y carbono involucradas en el proceso de fotosíntesis y respiración de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Wetzel, 2001):

$$PPB \left[\frac{mgC}{m^3h} \right] = \frac{1000 * 0.375 [(O_2, LB) - (O_2, DB)]}{PQ * T}$$

$$PPN \left[\frac{mgC}{m^3h} \right] = \frac{1000 * 0.375 [(O_2, LB) - (O_2, LB)]}{PQ * T}$$

$$R \left[\frac{mgC}{m^3h} \right] = \frac{1000 * 0.375 * RQ [(O_2, LB) - (O_2, DB)]}{T}$$

Dónde:

T = horas de incubación.

O_2 = oxígeno disuelto en mg/L.

$LB (O_c)$ = concentración de oxígeno de botella clara.

$DB (O_o)$ = concentración de oxígeno de botella oscura.

$IB (O_I)$ = concentración de oxígeno de botella inicial.

PQ = cociente fotosintético.

RQ = cociente respiratorio.

Con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes se realizó un análisis de conglomerados a los tres lagos en relación a los meses de muestreo haciendo el corte a los 21 de la distancia re-escalado.

También se aplicó una correlación paramétrica R de Pearson entre los parámetros fisicoquímicos y nutrientes con la PPB, PPN y R para saber si existe alguna correlación estadísticamente significativa entre las 6 estaciones.

Por último, a los resultados obtenidos de R, PPB y PPN se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) inter-lacustre e intra-lago empleando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics V21 con la finalidad de conocer si existieron diferencias significativas durante los 12 meses de muestreo.

RESULTADOS

Profundidad

La profundidad promedio anual en el Lago Viejo fue de 1.0 ± 0.14 m (Tabla 1), el valor máximo se encontró en junio de 2015 para las tres estaciones (E1, E2 = 1.30 m, E3 = 1.00 m), sin embargo, para E1 se presentó el mismo valor en febrero y marzo de 2016, de igual forma en E3 en septiembre de 2015. El valor mínimo en la E1 se presentó en abril de 2015 (1.00 m), en la E2 en noviembre de 2015 (0.90 m) y en la E3 en agosto de 2015 (0.80 m) (Fig. 6A).

La profundidad promedio anual en el Lago Mayor fue de 1.0 ± 0.14 m (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se encontró en agosto de 2015 y en febrero de 2016 (1.30 m) y en la E5 en noviembre de 2015 (1.20 m). El valor mínimo en la E4 se encontró en abril de 2015 (0.60 m) y en la E5 en mayo de 2015 (0.80 m) (Fig. 6B).

La profundidad promedio anual en el Lago Menor fue de 0.74 ± 0.20 m (Tabla 1), el valor máximo se encontró en noviembre de 2015 (1.10 m) y el valor mínimo en septiembre de 2015 (0.40 m) (Fig. 6B).

El promedio anual más alto lo presentó la E1 (1.19 ± 0.1) y el más bajo la E6 (0.74 ± 0.2) (Fig. 5).

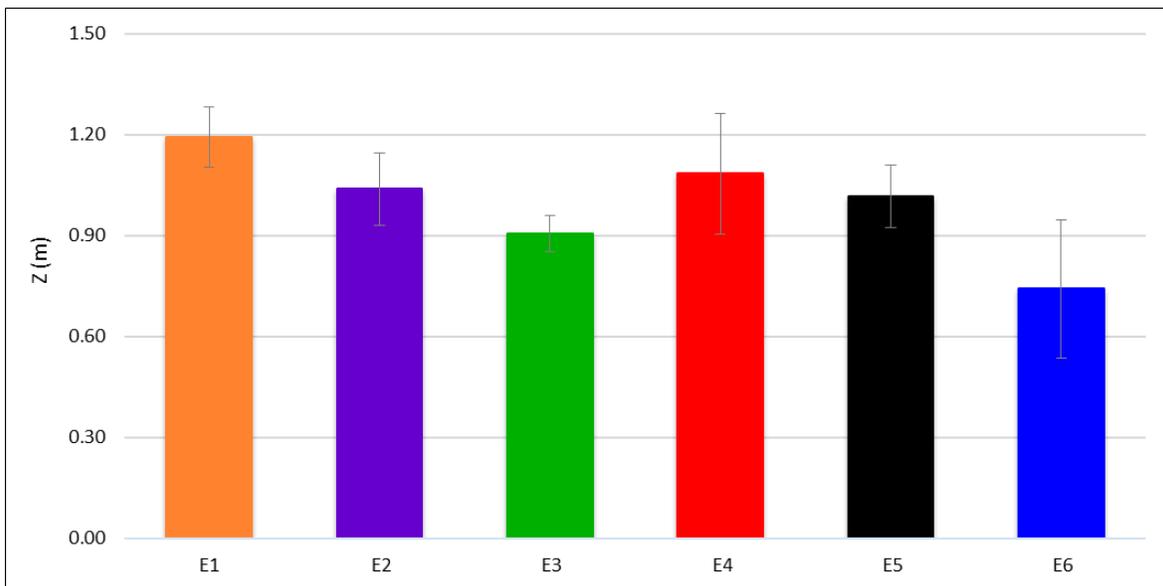


Figura 5. Promedio anual y desviación estándar de la profundidad en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

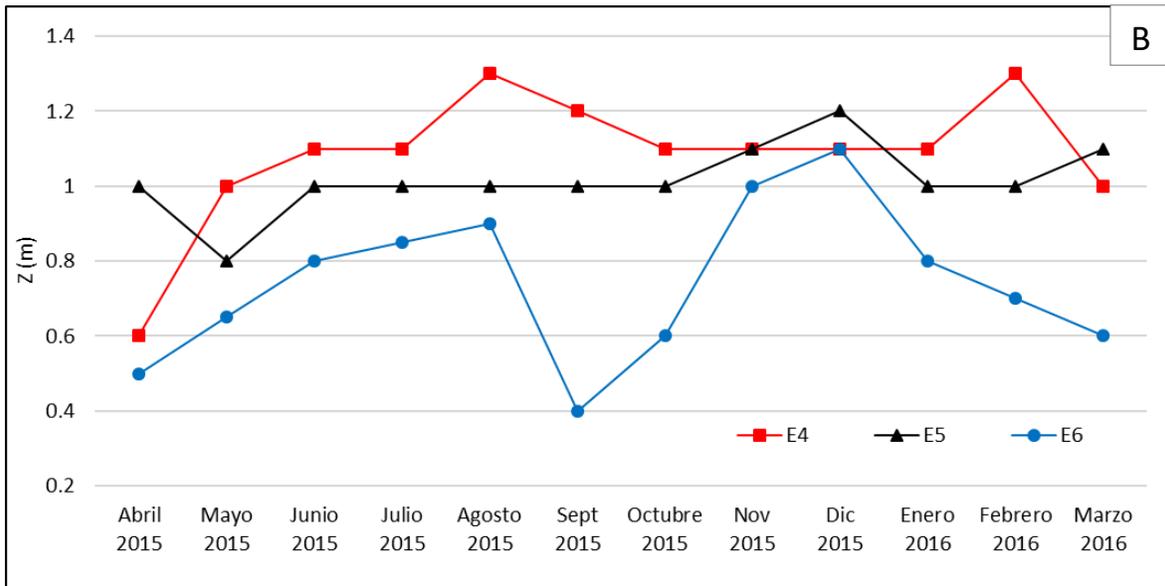
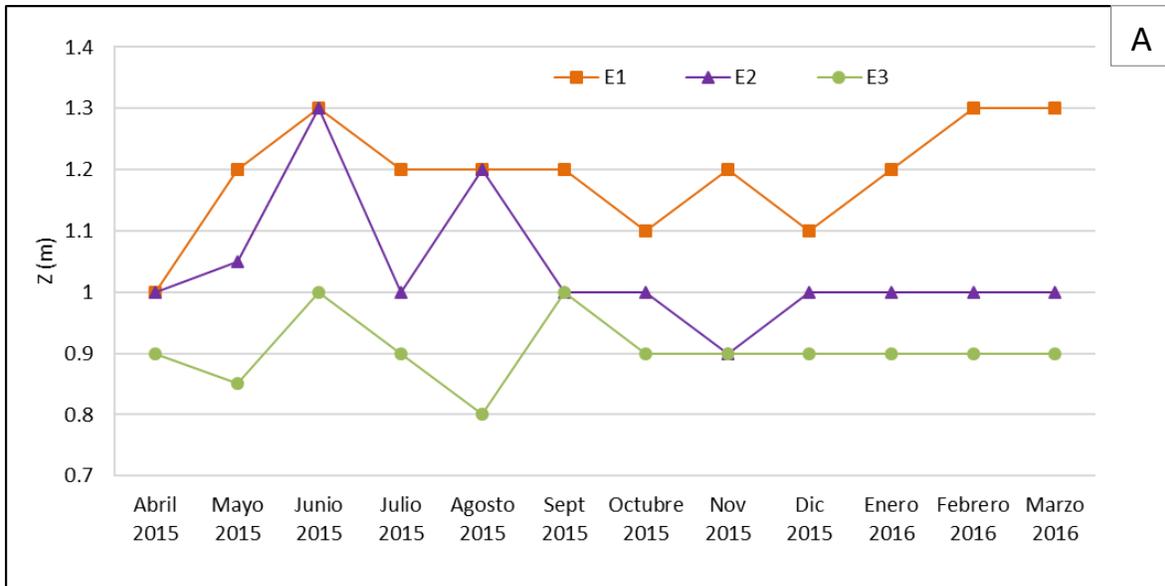


Figura 6. Variación espacial y temporal de la profundidad en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar (primer renglón) y mínimos y máximos (segundo renglón) de los parámetros fisicoquímicos de los lagos de Chapultepec, Ciudad de México. Z: profundidad, Z_{DS} : Profundidad del disco de Secchi, T: Temperatura, O.D: Oxígeno disuelto, O.D. (%): Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, Cond.: Conductividad, FSR: Fósforo Soluble Reactivo, NID: Nitrógeno Inorgánico Disuelto.

	Lago Viejo	Lago Mayor	Lago Menor
Z	1.04 ± .14	1.05 ± .14	.74 ± .20
(m)	0.80 – 1.30	0.80 – 1.30	0.40 – 1.10
Z_{DS}	0.13 ± 0.07	0.23 ± 0.09	0.06 ± 0.04
(m)	0.03 – 0.40	0.20 – 0.40	0.02 – 0.15
T	18.7 ± 2.6	21.1 ± 2.4	19.0 ± 3.9
(°C)	13 – 22.1	15.7 – 24.4	13.3 - 24
O.D.	9.98 ± 3.83	13.48 ± 5.29	10.99 ± 5.39
(mg/L)	6.48 - 14.89	6.91 – 24.41	6.9 – 14.9
O.D.	134 ± 52	186 ± 73	148 ± 78
(%)	81 - 204	85 - 293	89 - 221
pH	9.29 ± 0.54	9.14 ± 0.84	9.76 ± 0.67
	8.28 - 9.82	7.7 - 11	9.28 – 10.19
Cond.	450 ± 52	507 ± 50	488 ± 66
(μs/cm)	355 - 538	419 - 577	404 - 604
FSR	0.17 ± 0.11	0.26 ± 0.17	0.10 ± 0.04
(mg/L)	0.03 – 0.44	0.02 – 0.55	0.03 – 0.16
NID	3.4 ± 1.9	8.0 ± 3.0	2.0 ± 0.4
(mg/L)	1.4 – 8.0	1.4 – 13.9	1.6 – 2.9

Disco de Secchi (Z_{DS})

La profundidad del disco de Secchi (Z_{DS}) promedio anual en el Lago Viejo fue de 0.13 ± 0.07 m (Tabla 1), el valor máximo en la E1 se tuvo en febrero de 2016 siendo de 0.40 m, en la E2 el mismo valor máximo de 0.15 m se observó en tres muestreos (abril de 2015, junio de 2015 y febrero de 2016), y en la E3 se obtuvo su valor máximo de 0.12 m en febrero de 2016. El valor mínimo en la E1 se tuvo en julio de 2015 con 0.07 m, en la E2 en septiembre de 2015 con 0.03 m, y en la E3 en agosto de 2015 con 0.05 m (Fig. 8A).

La Z_{DS} promedio anual en el Lago Mayor fue de 0.23 ± 0.09 m (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en febrero de 2016 ($E4 = 0.40$ m y $E5 = 0.30$ m) y el valor mínimo en la E4 se tuvo en agosto de 2015 con 0.20 m y en la E5 en julio del mismo año con 0.30 m (Fig. 8B).

La Z_{DS} promedio anual en el Lago Menor fue de 0.06 ± 0.04 m (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en julio de 2015 siendo de 0.15 m y el valor mínimo se encontró en marzo de 2016 con 0.02 m (Fig. 8B).

El promedio anual más alto lo presento la E4 (0.3 ± 0.05) y el más bajo la E6 (0.07 ± 0.04) (Fig. 7).

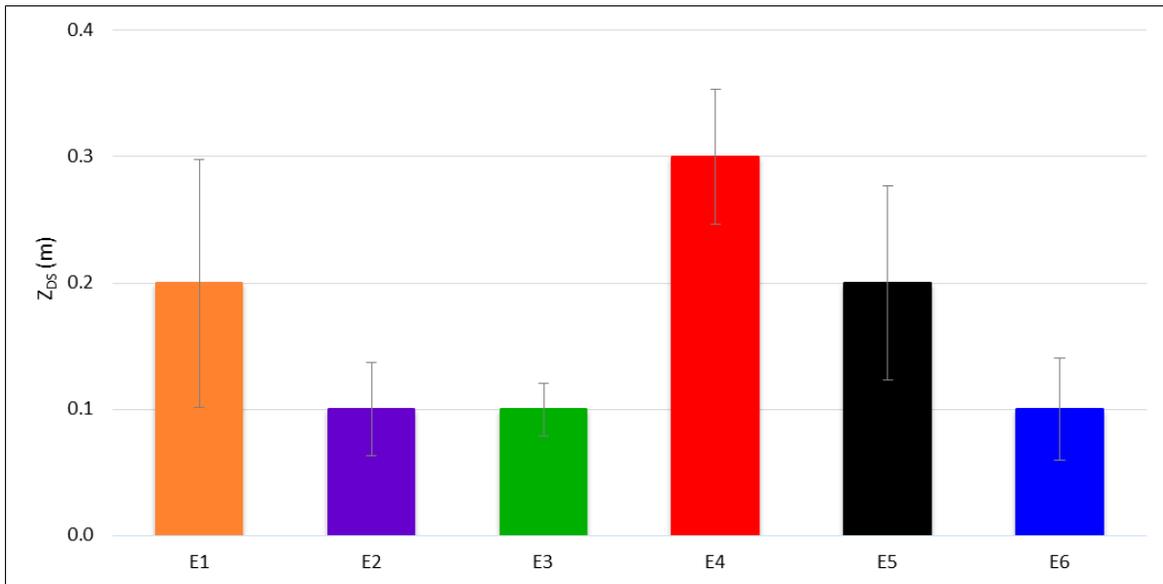


Figura 7. Promedio anual y desviación estándar de la Z_{DS} en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

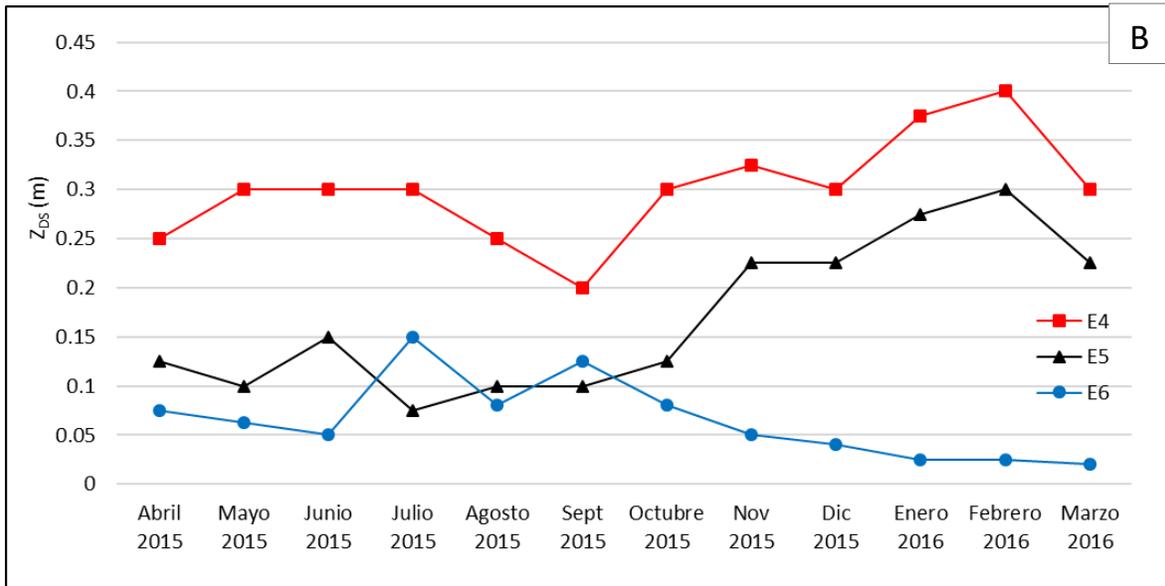
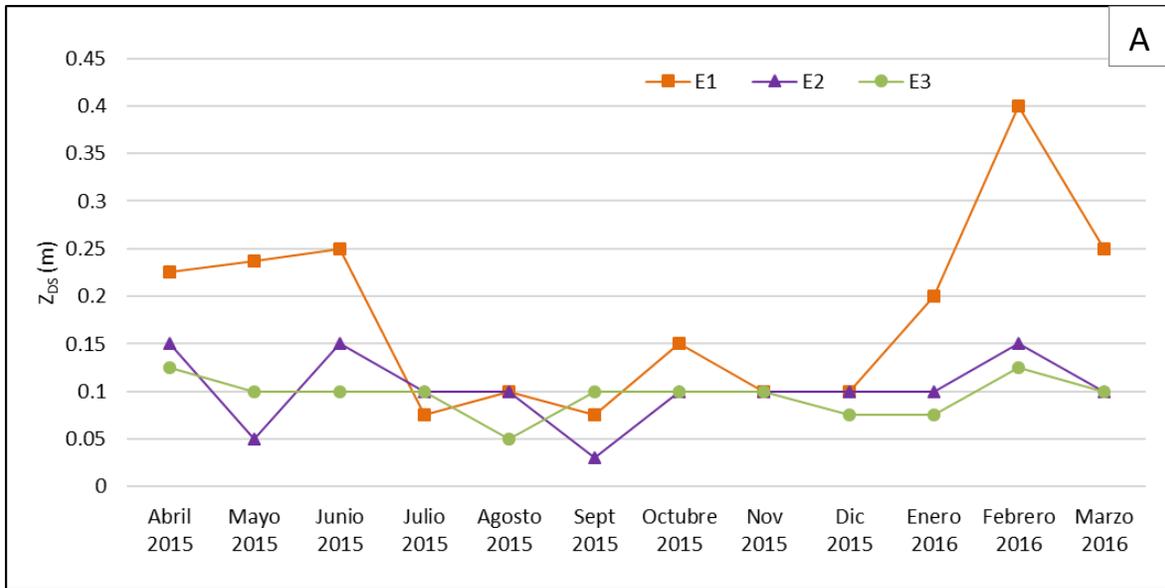


Figura 8. Variación espacial y temporal de la Z_{DS} en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Temperatura

La temperatura promedio anual en el Lago Viejo fue de 18.7 ± 2.6 °C (Tabla 1), el valor máximo se encontró en agosto de 2015 para las tres estaciones (E1 = 21.2 °C, E2 = 21.5 °C y E3 = 22.1 °C). La temperatura mínima se midió en enero de 2015 (E1 = 13.0 °C, E2 = 13.4 °C, E3 = 13.4 °C) (Fig. 10A).

La temperatura promedio anual en el Lago Mayor fue de 21.1 ± 2.4 °C (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se observó en abril de 2015 siendo de 24.4 °C y en la E5 en agosto de 2015 de 23.4 °C. La temperatura mínima se midió en enero de 2015 (E4 = 16.7 °C, E5 = 15.7 °C) (Fig. 10B).

La temperatura promedio anual en el Lago Menor fue de 19.0 ± 3.9 °C (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en julio de 2015 siendo de 24.0 °C. La temperatura mínima se midió en enero de 2015 (E6 = 13.3 °C) (Fig. 10B).

El promedio anual más alto lo presento la E4 (21.5 ± 2.3 °C) y el más bajo la E1 (18.1 ± 2.4 °C) (Fig. 9).

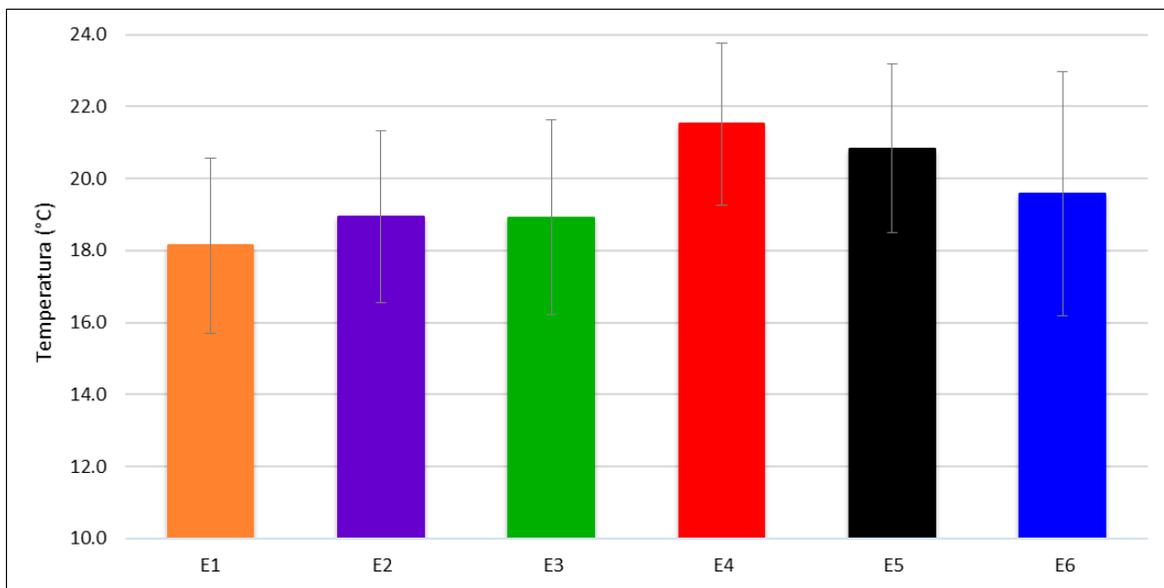


Figura 9. Promedio anual y desviación estándar de la temperatura en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

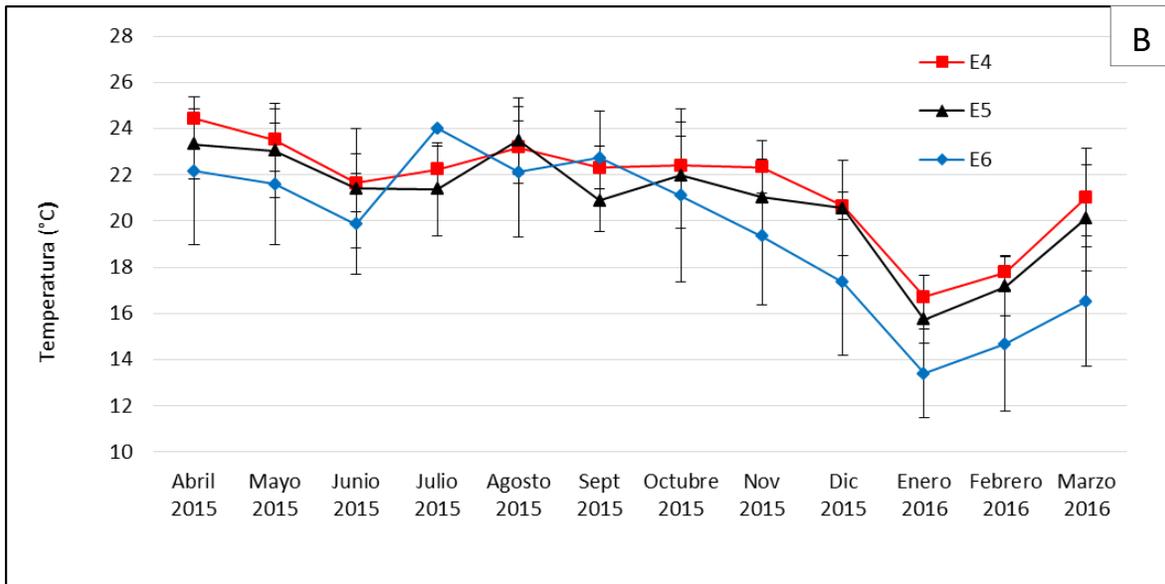
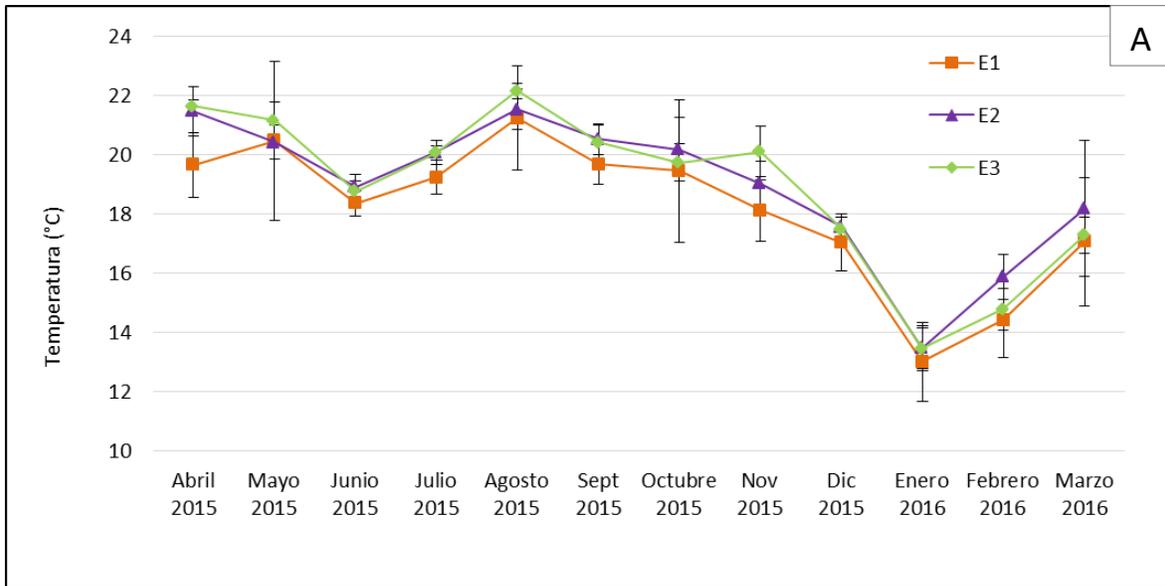


Figura 10. Variación espacial y temporal de la temperatura con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Viejo fue de 9.98 ± 3.83 mg/L (Tabla 1) y el valor máximo se encontró en la E1 en abril de 2015 con una concentración de 14.89 mg/L, en la E2 en marzo de 2016 siendo de 12.18 mg/L y en la E3 en noviembre de 2015 con un valor de 10.70 mg/L. El valor mínimo en la E1 se tuvo en septiembre de 2015 (7.12 mg/L,) y en las E2 y E3 en junio de 2015 (7.16 mg/L y 6.48 mg/L respectivamente) (Fig. 12A).

El oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Mayor fue de 13.48 ± 5.29 mg/L (Tabla 1) y el valor máximo se tuvo en abril de 2015 (E4 = 24.41 mg/L y E5 = 18.25 mg/L) y el valor mínimo en la E4 se observó en septiembre de 2015 siendo de 6.91 mg/L mientras en la E5 en febrero de 2016 con un valor de 8.06 mg/L (Fig. 12B).

El oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Menor fue de 10.99 ± 5.39 mg/L (Tabla 1) el valor máximo se tuvo en octubre de 2015 siendo de 14.9 mg/L, y el valor mínimo (6.9 mg/L) se registró en enero de 2015 (Fig. 12B).

El promedio anual más alto lo presento la E5 (14.5 ± 2.9) y el más bajo la E3 (9.2 ± 1.6) (Fig. 11).

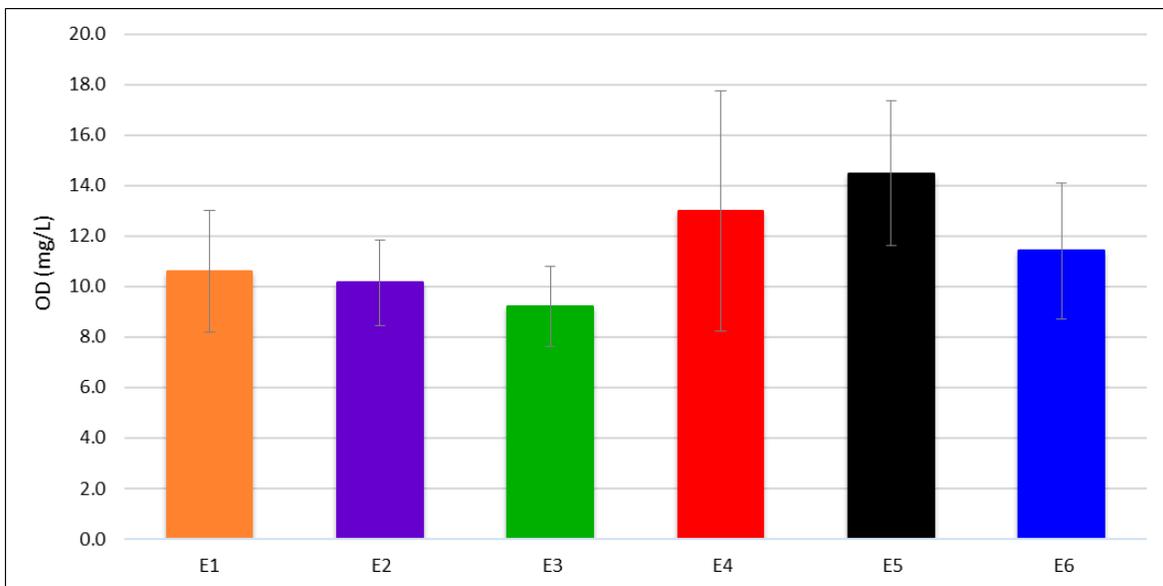


Figura 11. Promedio anual y desviación estándar de oxígeno disuelto en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

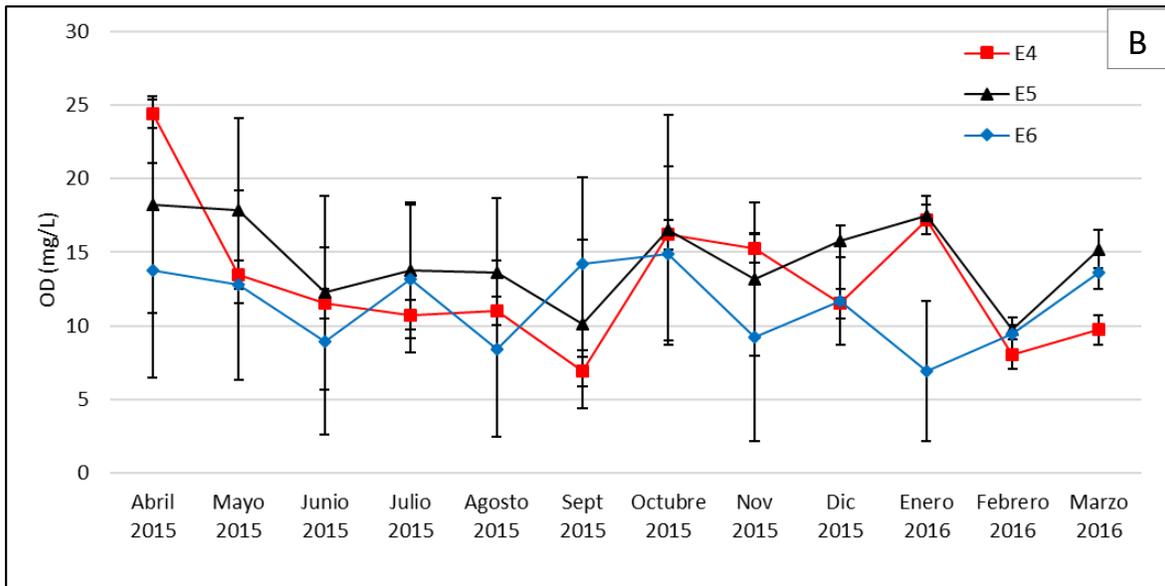
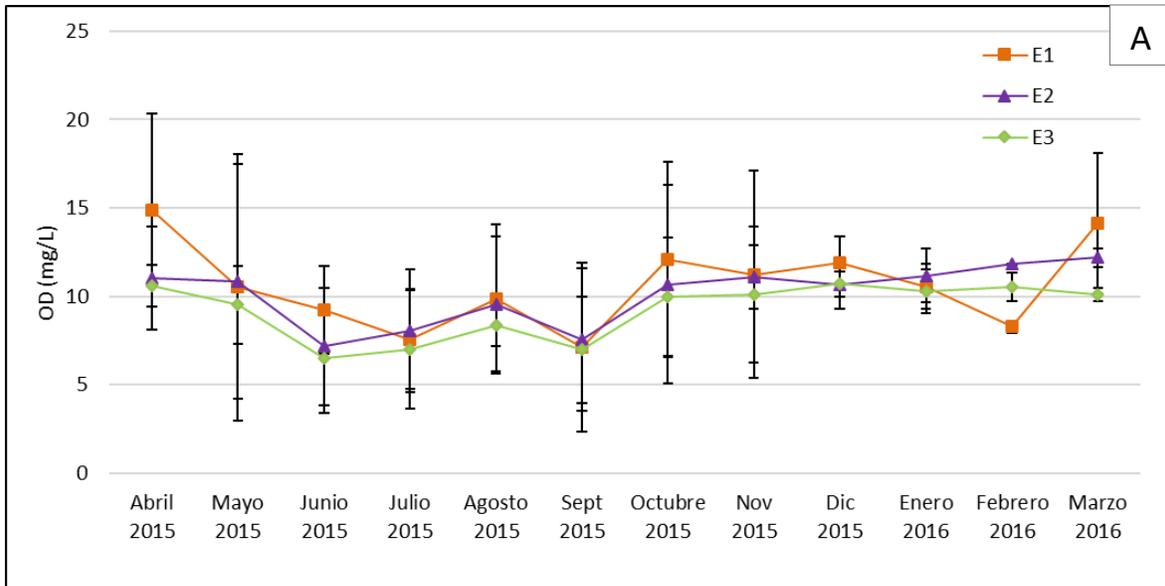


Figura 12. Variación espacial y temporal de oxígeno disuelto con desviación estándar en el Lago Viejo (A), y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Viejo fue de 134 ± 52 % (Tabla 1), el valor máximo en E1 y E2 se tuvo en abril de 2015 (204 % y 166 % respectivamente) y en la E3 en noviembre de 2015 siendo de 148 %. El valor mínimo en la E1 se tuvo en febrero de 2016 siendo de 81 %, y en las otras dos estaciones en junio de 2015 (E2 = 102 % y E3 = 92 %) (Fig. 14A).

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Mayor fue de 186 ± 73 % (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se tuvo en abril de 2015 siendo de 293 % y en la E5 en enero de 2016 con una saturación de 234 %. El valor mínimo se tuvo en febrero de 2016 en ambas estaciones (E4 = 85 % y E5 = 101 %) (Fig. 14B).

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto promedio anual en el Lago Menor fue de 148 ± 78 % (Tabla 1), el valor máximo se encontró en septiembre de 2015 siendo de 221 % y el valor mínimo (89 %) se tuvo en enero de 2016 (Fig. 14B).

El promedio anual más alto lo presento la E5 (196.6 ± 39.6) y el más bajo la E3 (124.5 ± 20.6) (Fig. 13).

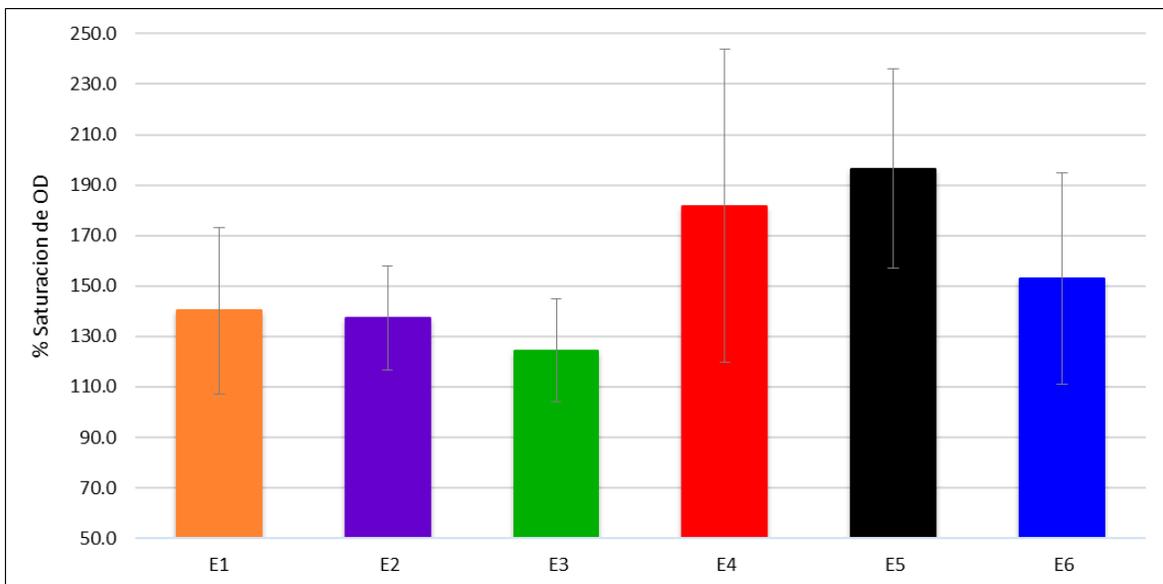


Figura 13. Promedio anual y desviación estándar del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

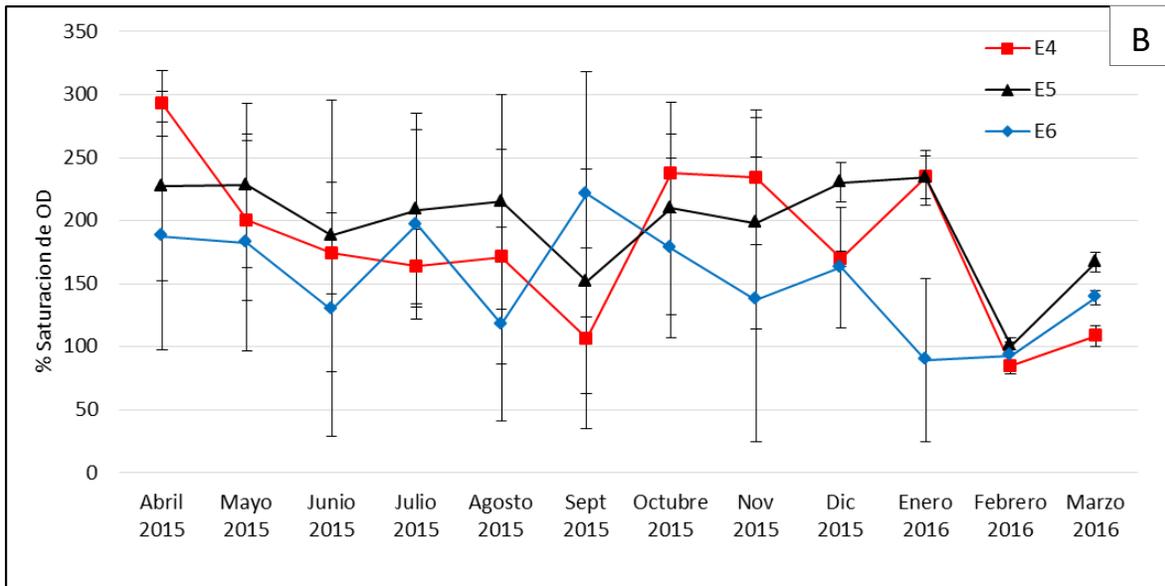
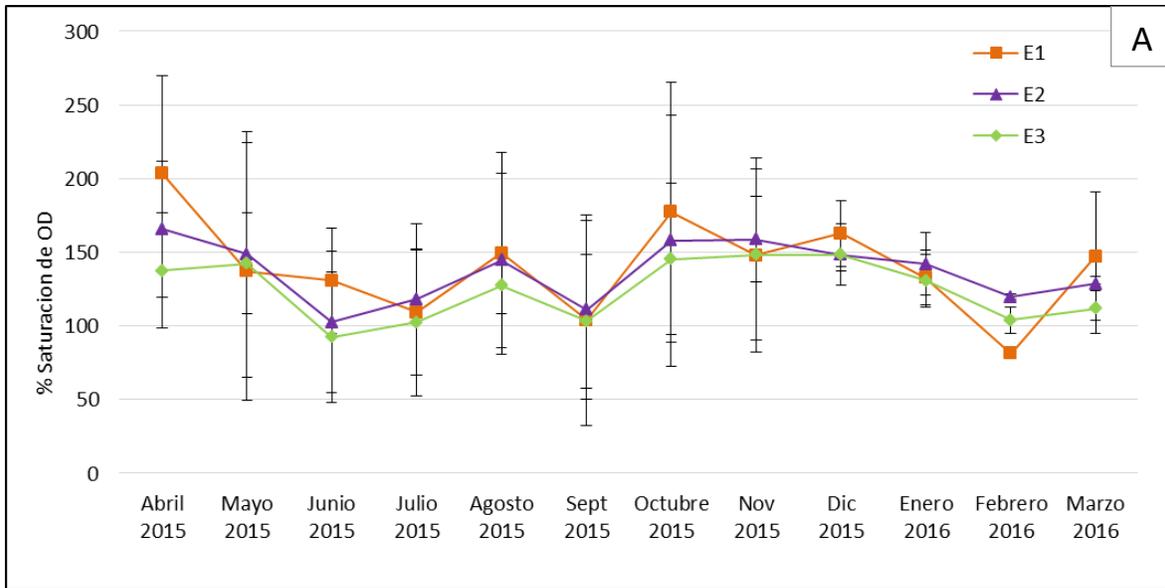


Figura 14. Variación espacial y temporal del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

pH

El pH promedio anual en el Lago Viejo fue de 9.29 ± 0.54 (Tabla 1), el valor máximo en E1 se tuvo en abril de 2015 siendo de 9.40 y en E2 y E3 en febrero de 2016 (9.73 y 9.82 respectivamente). El valor mínimo en la E1 se tuvo en diciembre de 2015 siendo de 8.28, en la E2 en junio de 2015 con 9.11 y en la E3 en septiembre de 2015 con 9.19 (Fig. 16A).

El pH promedio anual en el Lago Mayor fue de 9.14 ± 0.84 (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se tuvo en abril de 2015 siendo de 11.00 y en la E5 en marzo de 2016 con 9.94. El valor mínimo se observó en septiembre de 2015 (E4 = 7.70 y E5 = 8.89) (Fig. 16B).

El pH promedio anual en el Lago Menor fue de 9.76 ± 0.67 (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en septiembre de 2015 con 10.19 y el valor mínimo se tuvo en agosto de 2015 con 9.28 (Fig. 16B).

El promedio anual más alto lo presento la E6 (9.8 ± 0.3) y el más bajo la E4 (8.8 ± 0.9) (Fig. 15).

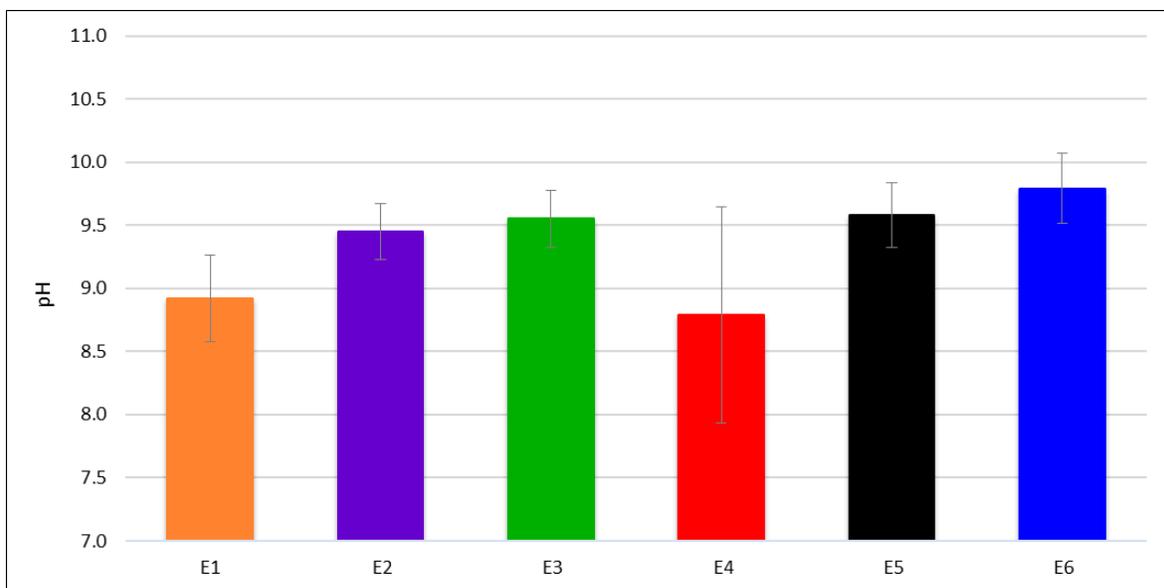


Figura 15. Promedio anual y desviación estándar del pH en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

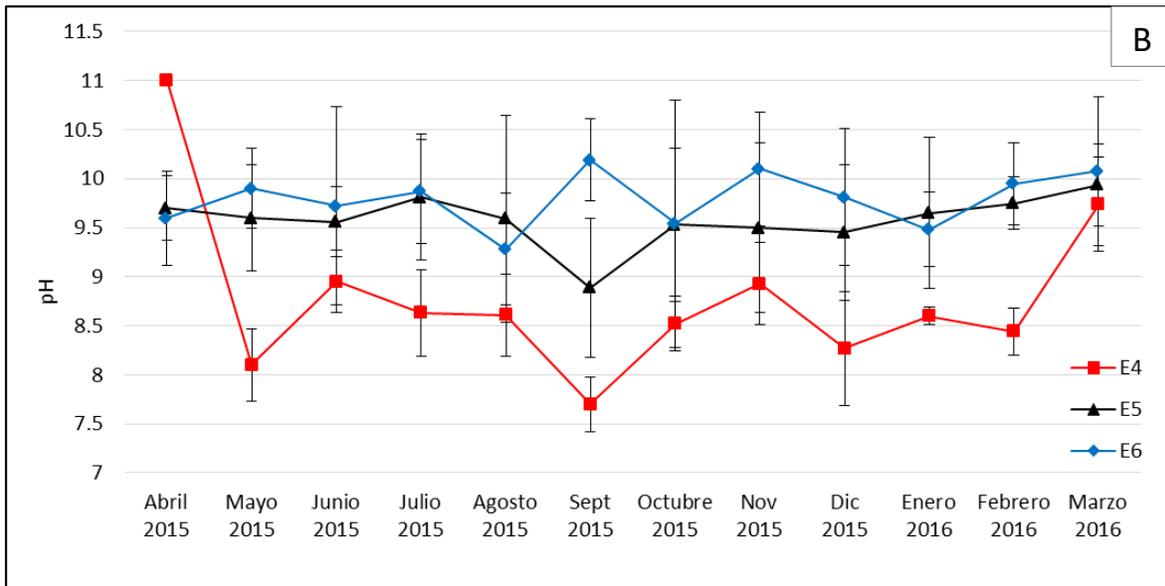
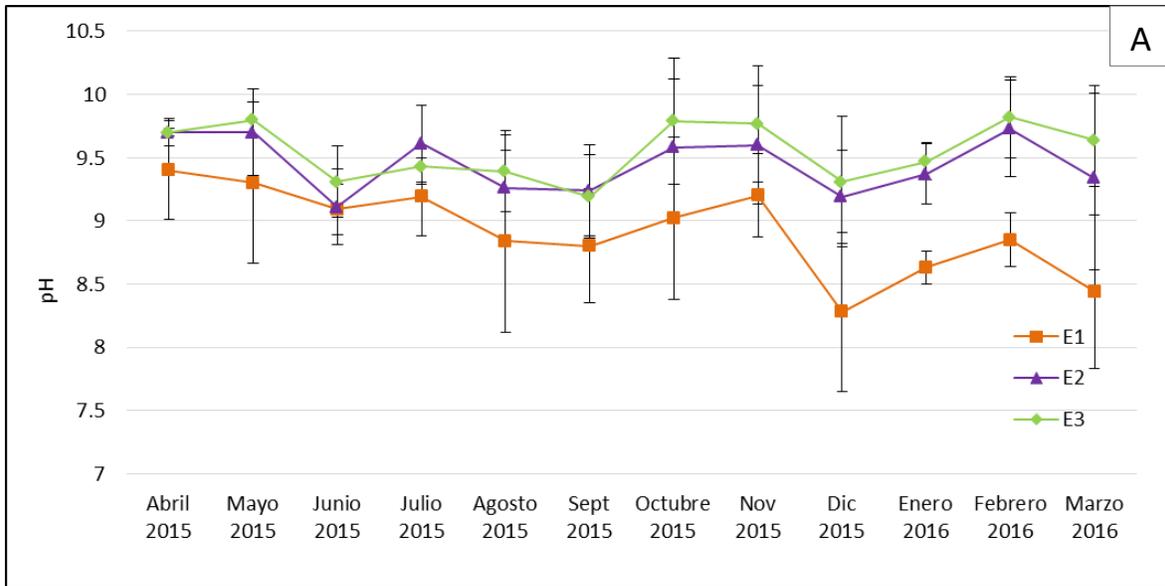


Figura 16. Variación espacial y temporal de pH con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica promedio anual en el Lago Viejo fue de $450 \pm 52 \mu\text{S/cm}$ (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en marzo de 2016 para las tres estaciones (E1= $538 \mu\text{S/cm}$, E2= $524 \mu\text{S/cm}$ E3= $514 \mu\text{S/cm}$). El valor mínimo en E1 y E3 se encontró en octubre de 2015 ($407 \mu\text{S/cm}$ y $355 \mu\text{S/cm}$ respectivamente), pero en la E2 fue en noviembre de 2015 con $381 \mu\text{S/cm}$ (Fig. 18A).

La conductividad promedio anual en el Lago Mayor fue de $507 \pm 50 \mu\text{S/cm}$ (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se observó en mayo de 2015 siendo de $578 \mu\text{S/cm}$ y en la E5 en marzo de 2016 con $577 \mu\text{S/cm}$. El valor mínimo se tuvo en octubre de 2015 (E4 = $419 \mu\text{S/cm}$ y E5 = $427 \mu\text{S/cm}$) (Fig. 18B).

La conductividad promedio anual en el Lago Menor fue de $488 \pm 66 \mu\text{S/cm}$ (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en marzo de 2016 con $604 \mu\text{S/cm}$ y el valor mínimo se tuvo en octubre de 2015 con $404 \mu\text{S/cm}$ (Fig. 18B).

El promedio anual más alto lo presentó la E4 (509.7 ± 51.6) y el más bajo la E3 (430.3 ± 48.1) (Fig. 17).

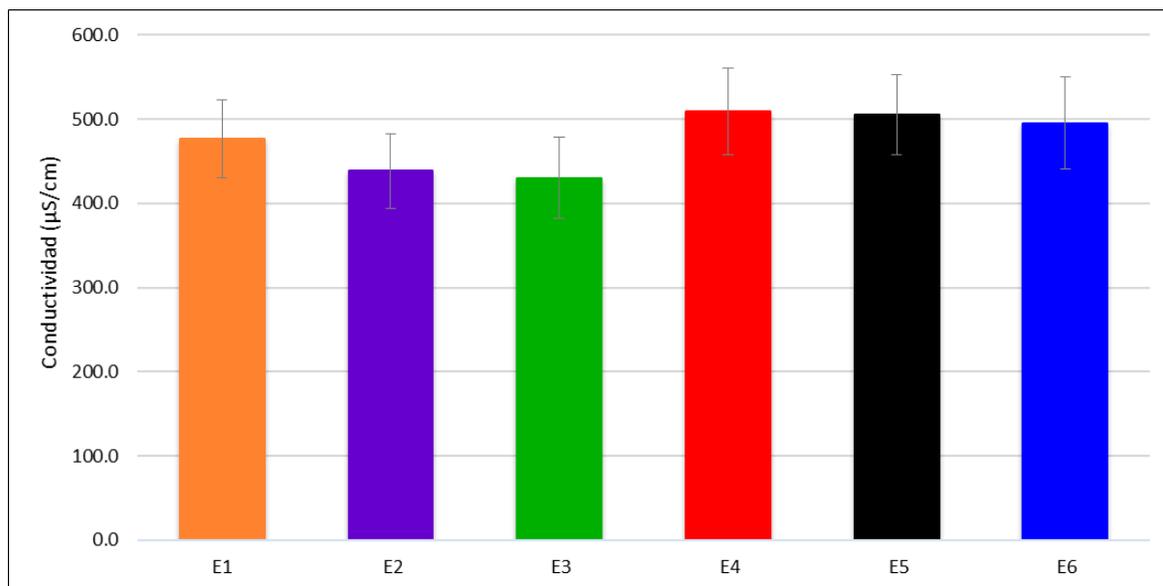


Figura 17. Promedio anual y desviación estándar de la conductividad en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

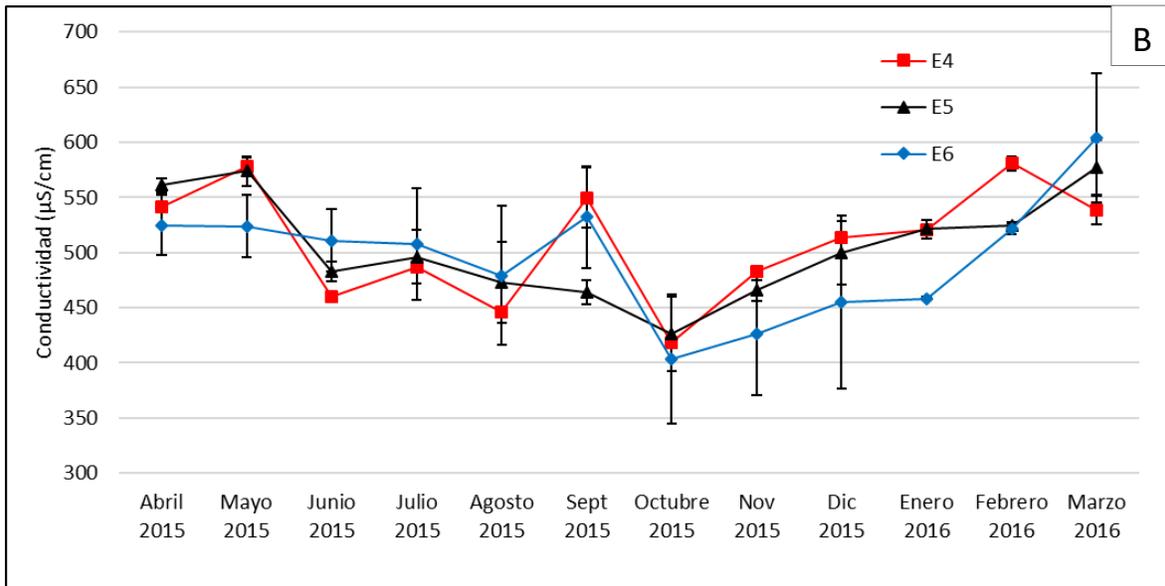
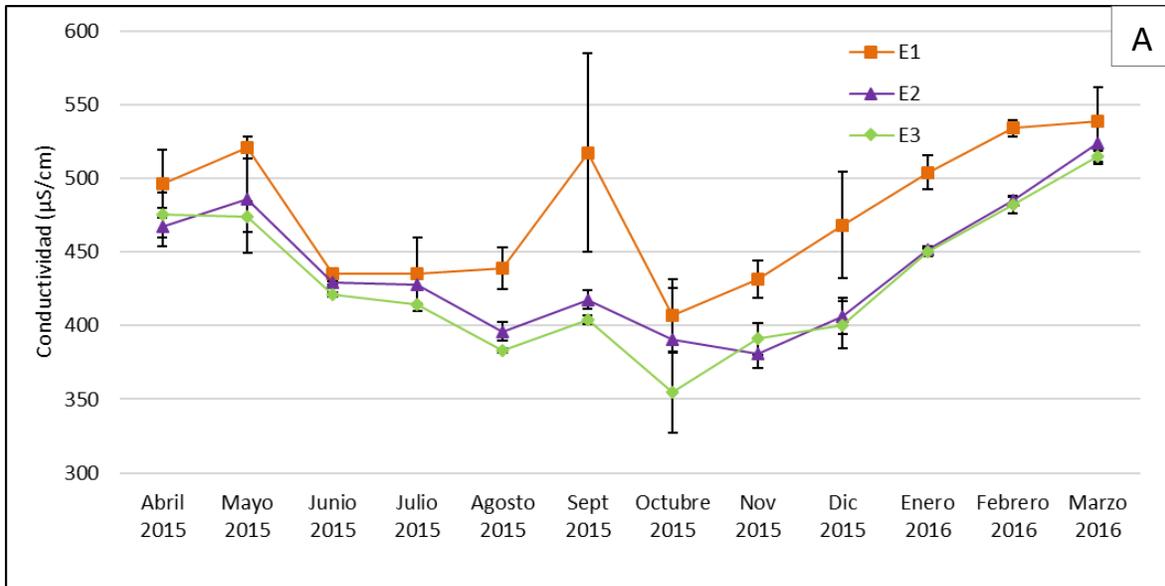


Figura 18. Variación espacial y temporal de la conductividad con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Fósforo soluble reactivo (FSR)

El FSR promedio anual en el Lago Viejo fue de 0.17 ± 0.11 mg/L (Tabla 1), el valor máximo en la E1 se tuvo en febrero de 2016 con 0.44 mg/L, en la E2 en enero de 2016 con 0.19 mg/L y en la E3 en abril de 2015 con 0.24 mg/L. El valor mínimo en la E1 se tuvo en abril de 2015 con 0.10 mg/L, en la E2 en mayo de 2015 con 0.03 mg/L y en la E3 en junio de 2015 con 0.07 mg/L (Fig. 20A).

El FSR promedio anual en el Lago Mayor fue de 0.26 ± 0.17 mg/L (Tabla 1), el valor máximo en la E4 se tuvo en mayo de 2015 con 0.55 mg/L y en la E5 en junio de 2015 con 0.38 mg/L. EL valor mínimo en la E4 se encontró en abril de 2015 con 0.10 mg/L y en la E5 en agosto de 2015 con 0.02 mg/L (Fig. 20B).

El FSR promedio anual en el Lago Menor fue de 0.10 ± 0.04 mg/L (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en junio de 2015 con 0.16 mg/L y el valor mínimo en agosto de 2015 con 0.03 mg/L (Fig. 20B).

El promedio anual más alto lo presentó la E4 (0.39 ± 0.1) y el más bajo la E6 (0.09 ± 0.04) (Fig. 19).

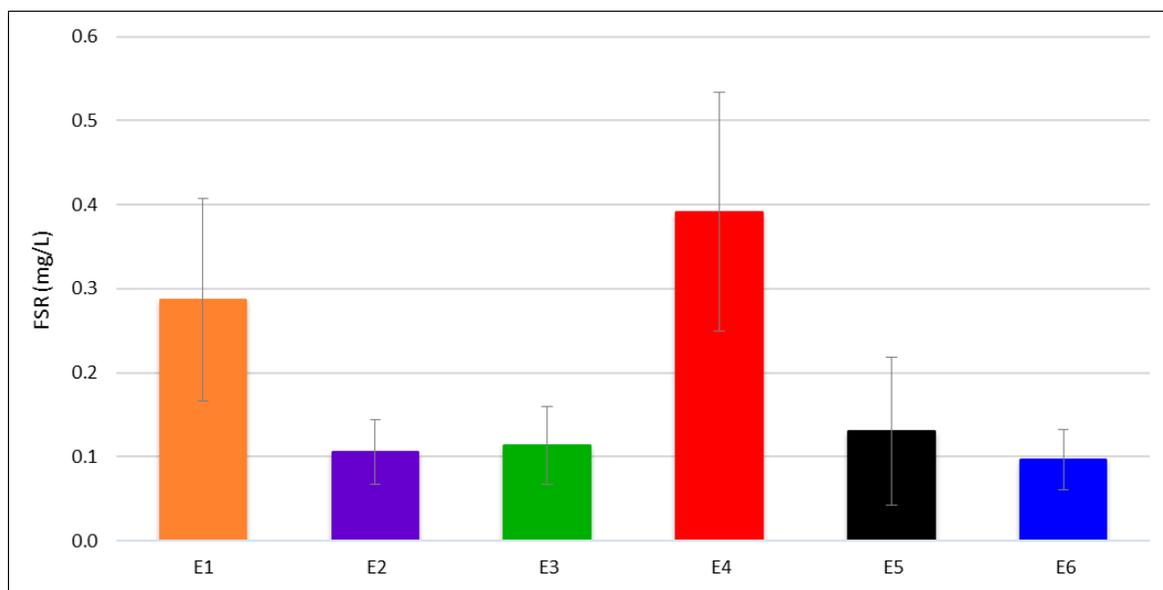


Figura 19. Promedio anual y desviación estándar de FSR en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

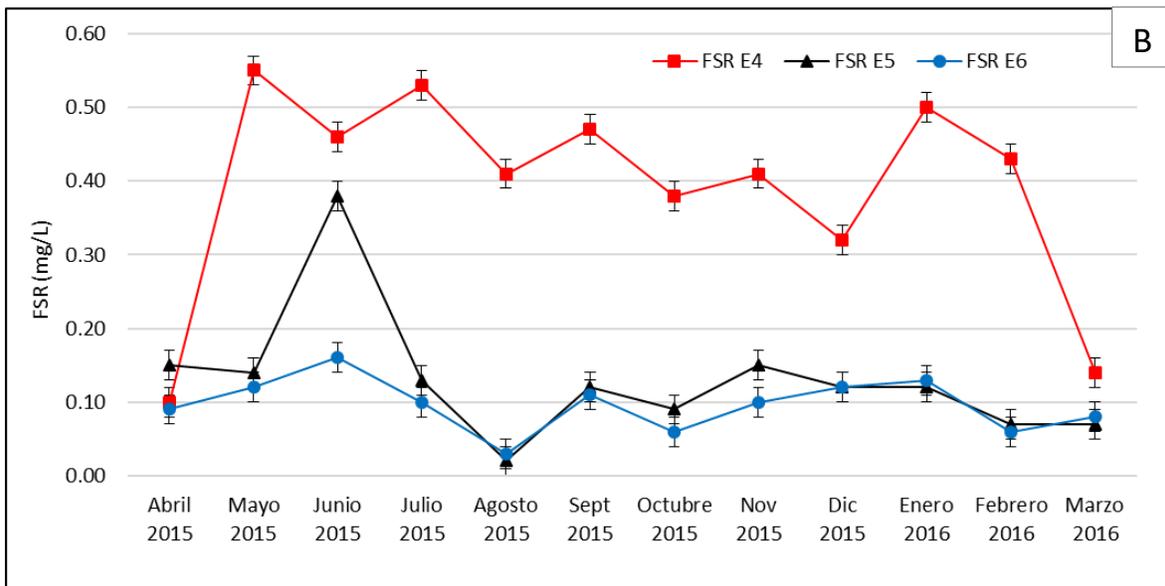
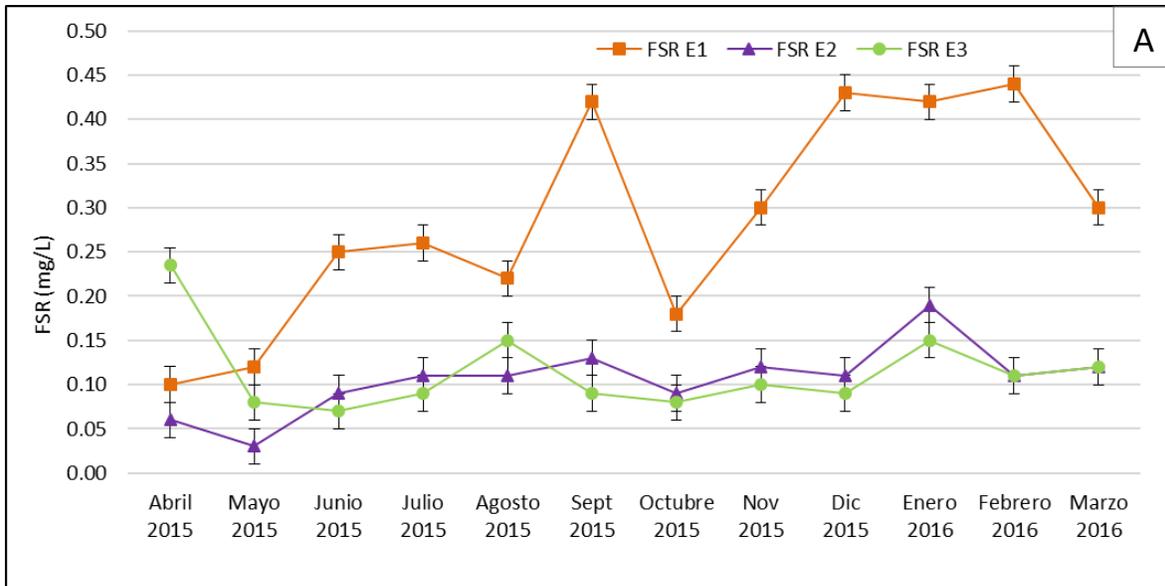


Figura 20. Variación espacial y temporal de FSR con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID)

El NID promedio anual en el Lago Viejo fue de 3.4 ± 1.9 mg/L (Tabla 1), el valor máximo se tuvo en enero de 2016 (E1 = 8.0 mg/L, E2 = 3.8 mg/L y E3 = 3.4 mg/L). El valor mínimo en la E1 se tuvo en marzo de 2016 con 3.0 mg/L, en la E2 en abril de 2015 con 1.4 mg/L y en la E3 en julio de 2015 con 1.6 mg/L (Fig. 22A).

El NID promedio anual en el Lago Mayor fue de 8.0 ± 3.0 mg/L (Tabla 1), el valor máximo se observó en febrero de 2016 (E4 = 13.9 mg/L y E5 = 8.0 mg/L). El valor mínimo en la E4 se tuvo en abril de 2015 con 1.4 mg/L y en la E5 en septiembre de 2015 con 4.8 mg/L (Fig. 22B).

El NID promedio anual en el Lago Menor fue de 2.0 ± 0.4 mg/L (Tabla 1), el valor máximo se encontró en junio de 2015 con 2.9 mg/L y el valor mínimo en julio de 2015 con 1.6 mg/L (Fig. 22B).

El promedio anual más alto lo presento la E4 (10.02 ± 3.06) y el más bajo la E6 (2.03 ± 0.45) (Fig. 21).

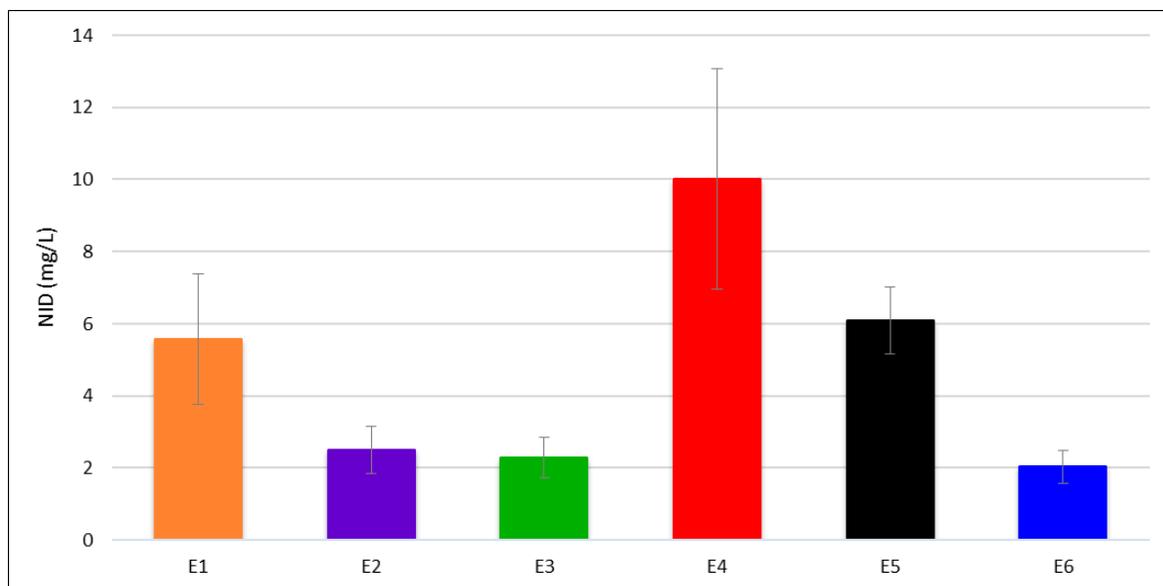


Figura 21. Promedio anual y desviación estándar de NID en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

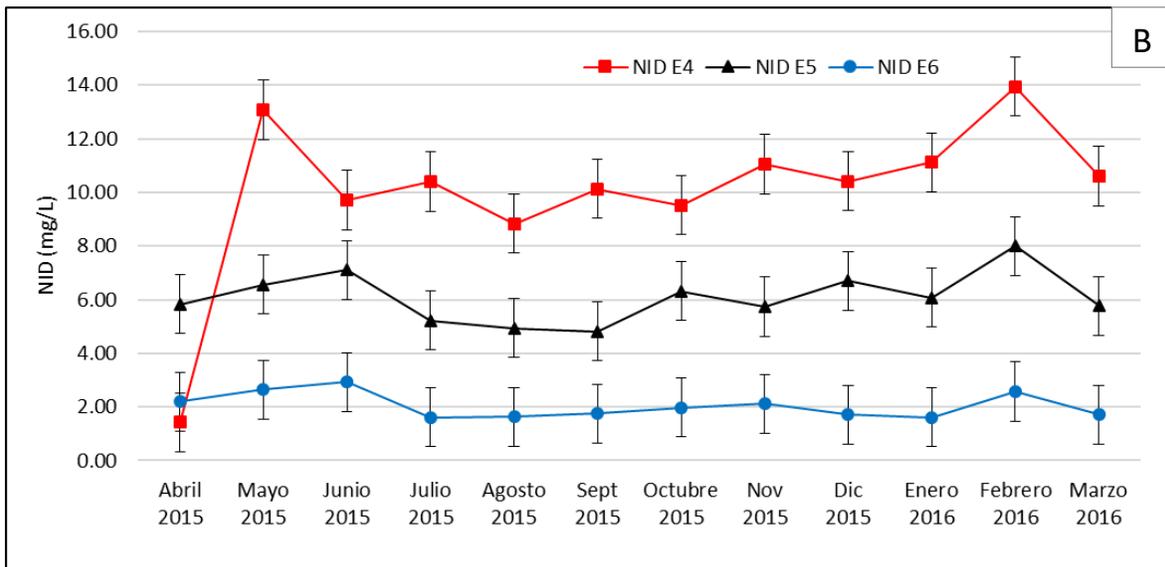
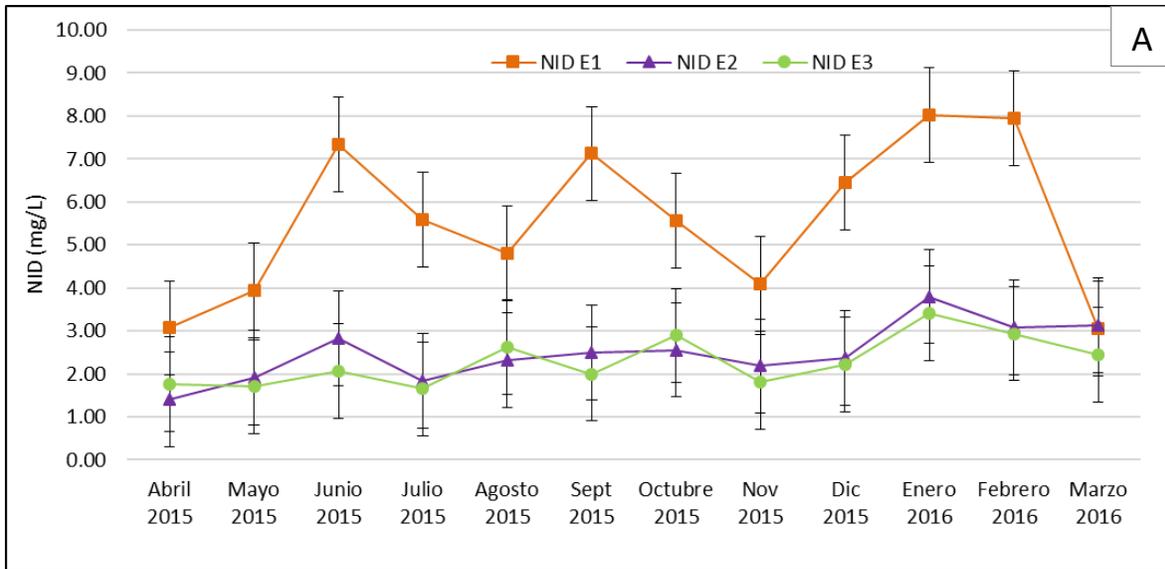


Figura 22. Variación espacial y temporal del nitrógeno inorgánico disuelto (NID) con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lagos Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Producción Primaria Bruta (PPB)

La PPB promedio anual en el Lago Viejo fue de $1,646 \pm 130$ mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E1 se tuvo en noviembre de 2015 con $2,057 \pm 189$ mg C/m³/h¹, en la E2 en octubre de 2015 con $2,571 \pm 340$ mg C/m³/h¹ y en la E3 en agosto de 2015 con $2,314 \pm 234$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo en la E1 se observó en febrero de 2016 con 739 ± 120 mg C/m³/h¹, en la E2 en enero de 2016 con $1,104 \pm 160$ mg C/m³/h¹ y en la E3 en junio de 2015 con 168 ± 117 mg C/m³/h¹ (Fig. 24A).

La PPB anual en el Lago Mayor fue de $1,451 \pm 81$ mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E4 se tuvo en marzo de 2016 con $2,449 \pm 171$ mg C/m³/h¹ y en la E5 en febrero de 2016 con $2,713 \pm 81$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo en la E4 se encontró en julio de 2015 con 657 ± 65 mg C/m³/h¹ y en la E5 en enero de 2016 con $1,072 \pm 187$ mg C/m³/h¹ (Fig. 24B).

La PPB promedio anual en el Lago Menor fue de $1,500 \pm 95$ mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo se obtuvo en febrero de 2016 siendo de $2,198 \pm 120$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo se obtuvo en enero de 2016 siendo de 849 ± 31 mg C/m³/h¹ (Fig. 24B).

El promedio anual más alto lo presento la E3 (1809 ± 173) y el más bajo la E4 (1329 ± 172) (Fig. 23).

En mayo de 2015 no se realizó la incubación en la E6 por lluvia y falta de luz (Fig. 24B).

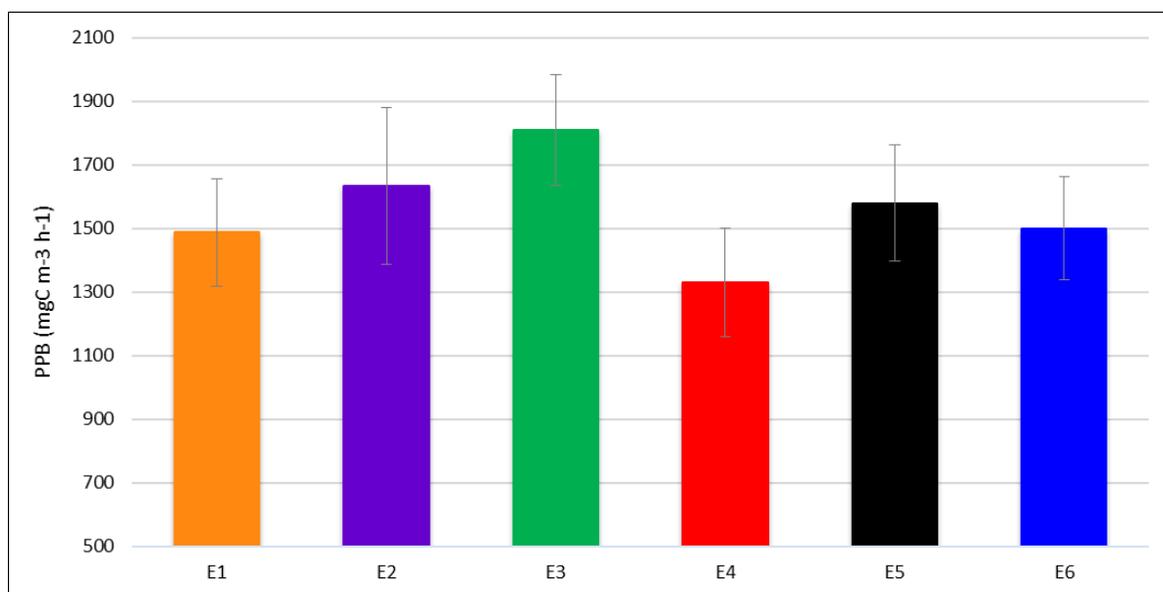


Figura 23. Promedio anual y desviación estándar de la PPB en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

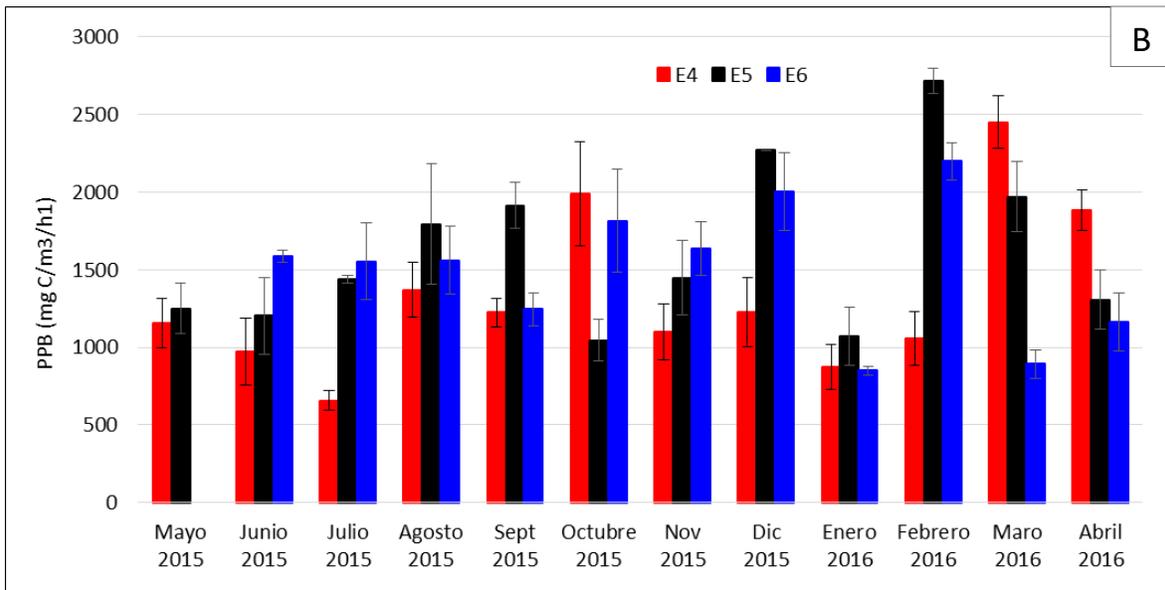
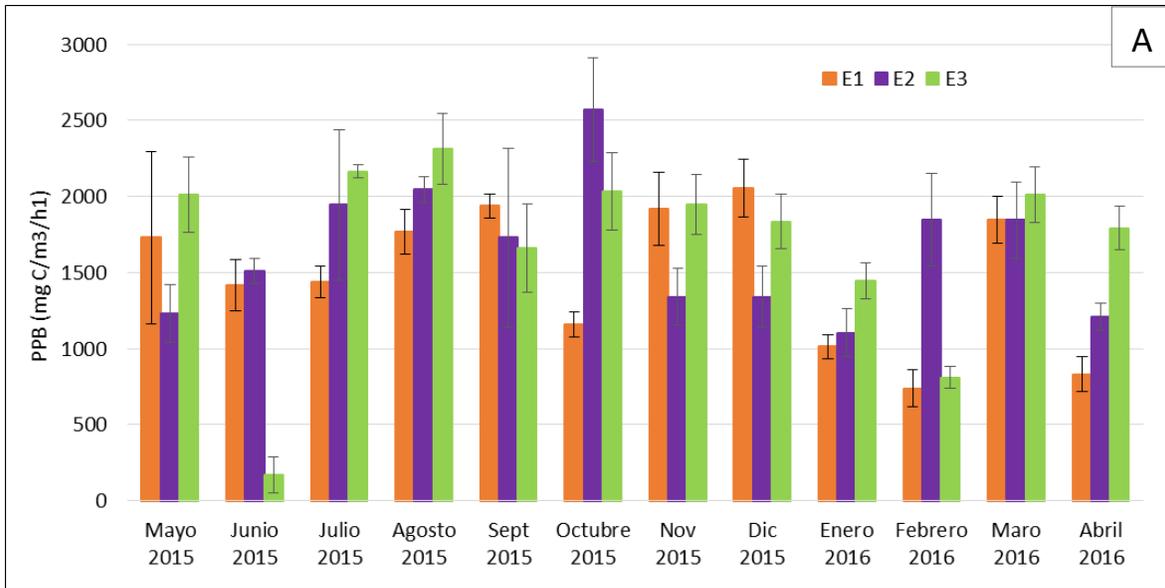


Figura 24. Variación espacial y temporal de la PPB con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lago Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Tabla 2. Promedio y desviación estándar (primer renglón) y mínimos y máximos (segundo renglón) del metabolismo de los lagos de Chapultepec, Ciudad de México. PPB: Producción primaria bruta, PPN: Producción primaria neta, R: Respiración.

	Lago Viejo	Lago Mayor	Lago Menor
PPB	1,646 ± 130	1,451 ± 81	1,500 ± 95
	168 - 2571	657 - 2713	849 - 2198
PPN	1,163 ± 130	942 ± 79	1,072 ± 76
	468 - 2115	209 - 1781	525 - 1417
R	574 ± 82	607 ± 66	499 ± 72
	176 - 1916	91 - 1867	127 - 1025

Producción Primaria Neta (PPN)

La PPN promedio anual en el Lago Viejo fue de $1,163 \pm 130$ mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E1 se encontró en noviembre de 2015 con $1,741 \pm 233$ mg C/m³/h¹ y en las otras dos estaciones en agosto de 2015 (E2 = $1,749 \pm 14$ mg C/m³/h¹, E3 = $2,115 \pm 198$ mg C/m³/h¹). El valor mínimo en la E1 se registró en febrero de 2016 con 592 ± 114 mg C/m³/h¹, en la E2 en noviembre de 2015 con 493 ± 146 mg C/m³/h¹ y en la E3 en enero de 2016 con 468 ± 33 mg C/m³/h¹ (Fig. 26A).

La PPN promedio anual en el Lago Mayor fue de 942 ± 79 mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E4 se midió en marzo de 2016 con $1,538 \pm 93$ mg C/m³/h¹ y en la E5 en diciembre de 2015 con $1,781$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo en la E4 se tuvo en mayo de 2015 con 209 ± 68 mg C/m³/h¹ y en la E5 en octubre de 2015 con 364 ± 92 mg C/m³/h¹ (Fig. 26B).

La PPN promedio anual en el Lago Menor fue de $1,072 \pm 76$ mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo se encontró en diciembre de 2015 siendo de $1,417 \pm 229$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo se obtuvo en enero de 2016 siendo de 525 ± 62 mg C/m³/h¹ (Fig. 26B).

El promedio anual más alto lo presento la E3 (1372 ± 159) y el más bajo la E4 (858 ± 125) (Fig. 25).

En mayo de 2015 no se realizó la incubación en la E6 por lluvia y falta de luz (Fig. 26B).

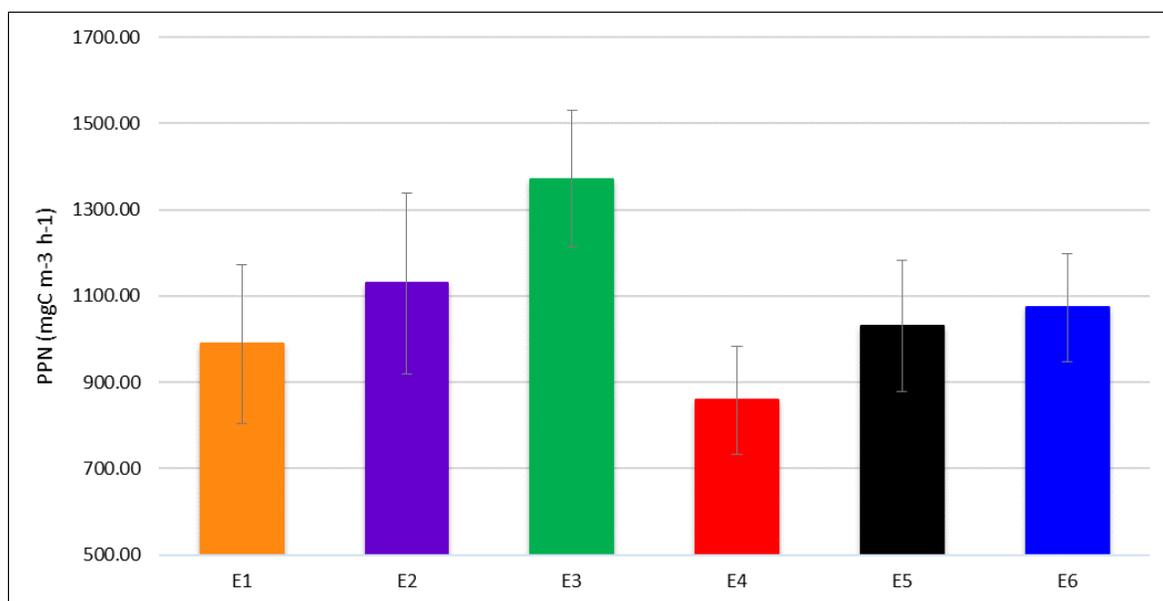


Figura 25. Promedio anual y desviación estándar de la PPN en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

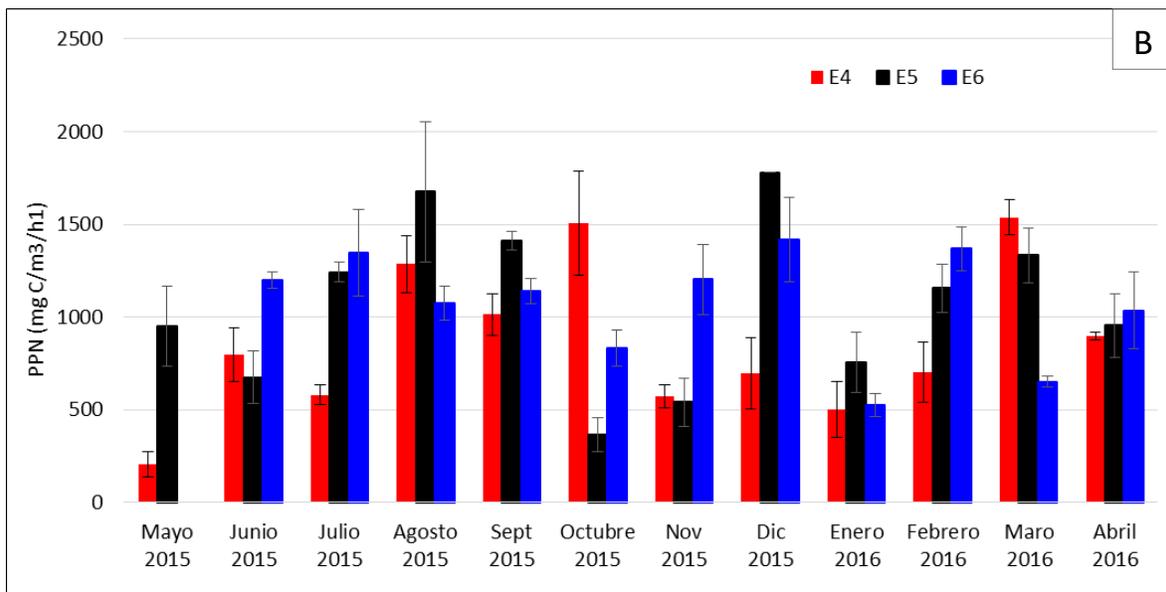
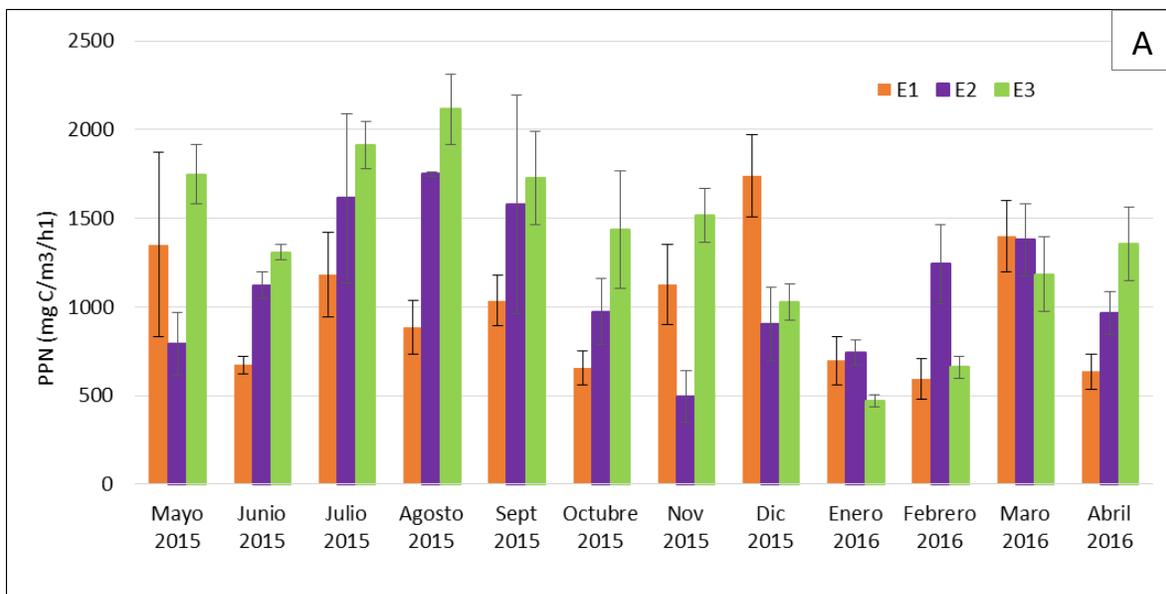


Figura 26. Variación espacial y temporal de la PPN con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lago Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Respiración (R)

La R promedio anual en el Lago Viejo fue de 574 ± 82 mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E1 se tuvo en septiembre de 2015 con $1,085 \pm 205$ mg C/m³/h¹, en la E2 en octubre de 2015 con $1,916 \pm 442$ mg C/m³/h¹ y en la E3 en enero de 2016 con $1,172 \pm 146$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo en E1 y E3 se midió en febrero de 2016 (176 ± 38 mg C/m³/h¹ y 179 ± 32 mg C/m³/h¹ respectivamente), y en la E2 en septiembre de 2015 con 181 ± 50 mg C/m³/h¹ (Fig. 28A).

La respiración promedio anual en el Lago Mayor fue de 607 ± 66 mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo en la E4 se encontró en abril de 2016 con $1,183 \pm 137$ mg C/m³/h¹ y en la E5 en febrero de 2016 con $1,867 \pm 245$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo en la E4 se tuvo en julio de 2015 con 91 ± 35 mg C/m³/h¹ y en la E5 en agosto de 2015 con 141 ± 36 mg C/m³/h¹ (Fig. 28B).

La respiración promedio anual en el Lago Menor fue de 499 ± 72 mg C/m³/h¹ (Tabla 2). El valor máximo se obtuvo en octubre de 2015 siendo de $1,025 \pm 60$ mg C/m³/h¹. El valor mínimo se registró en septiembre de 2015 siendo de 127 ± 48 mg C/m³/h¹ (Fig. 28B).

El promedio anual más alto lo presento la E5 (666 ± 127) y el más bajo la E6 (499 ± 100) (Fig. 27).

En mayo de 2015 no se realizó la incubación en la E6 por lluvia y falta de luz (Fig. 28B).

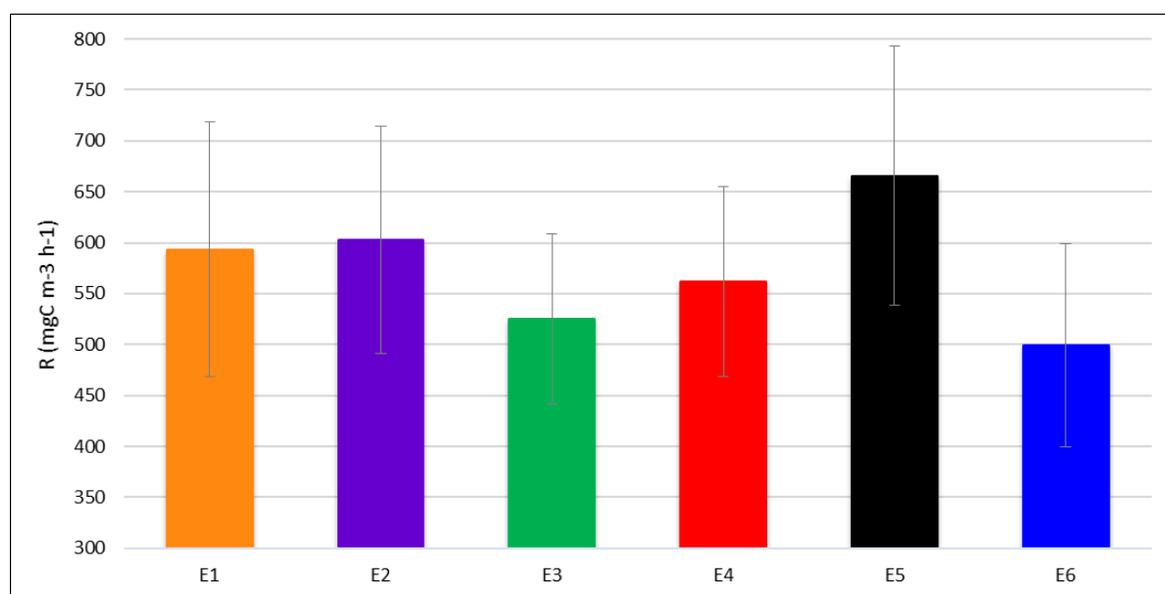


Figura 27. Promedio anual y desviación estándar de la respiración en el Lago Viejo (E1, E2 y E3), en el Lago Mayor (E4 y E5) y en el Lago Menor (E6), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

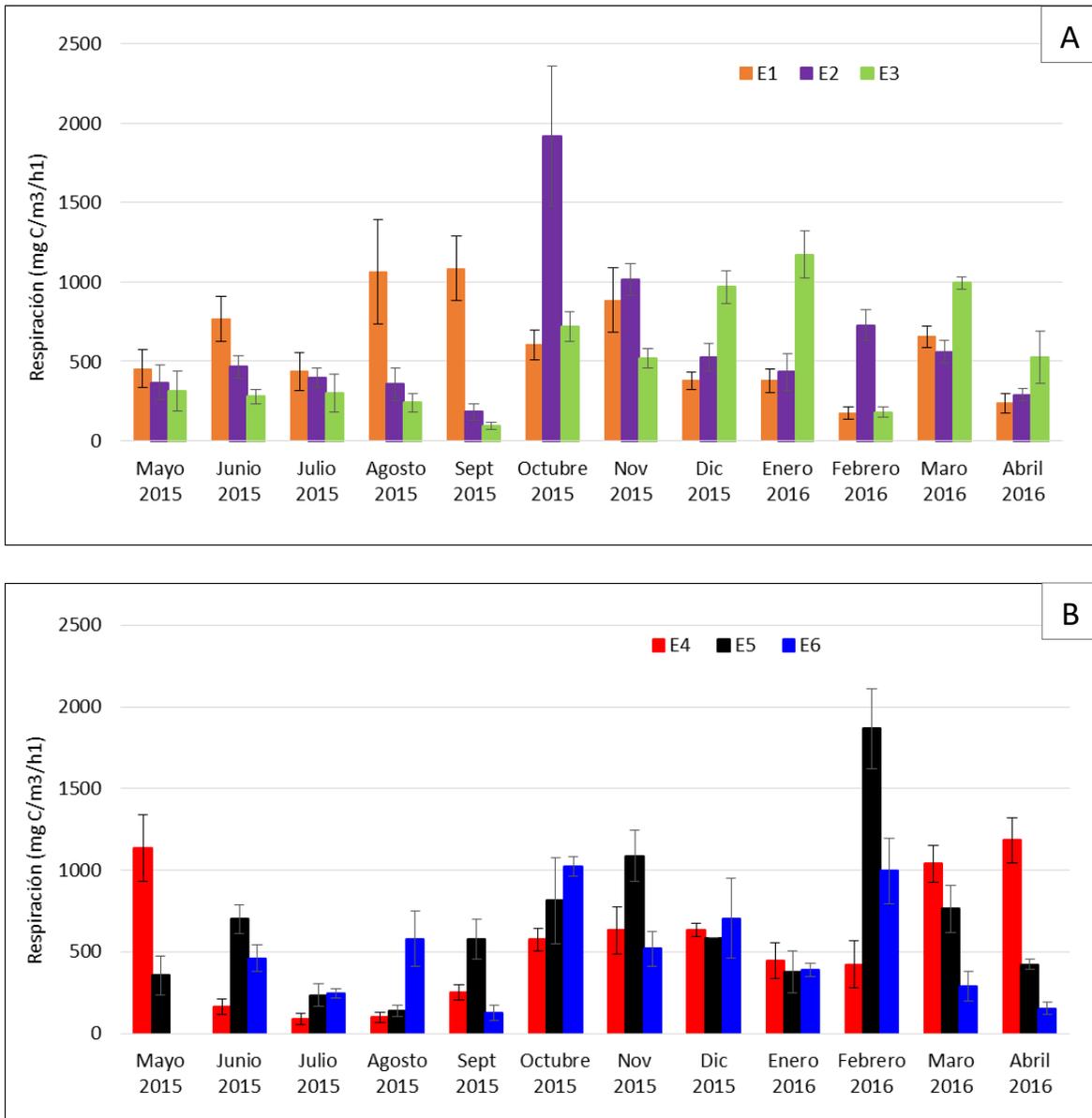


Figura 28. Variación espacial y temporal de la respiración con desviación estándar en el Lago Viejo (A) y en los Lago Mayor y Menor (B), Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis de conglomerados

De acuerdo al análisis de conglomerados realizado en los tres lagos con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes donde el corte se realizó a los 21 de la distancia re-escalado de la combinación de conglomerados, se encontró que se presenta estacionalidad únicamente en el Lago viejo.

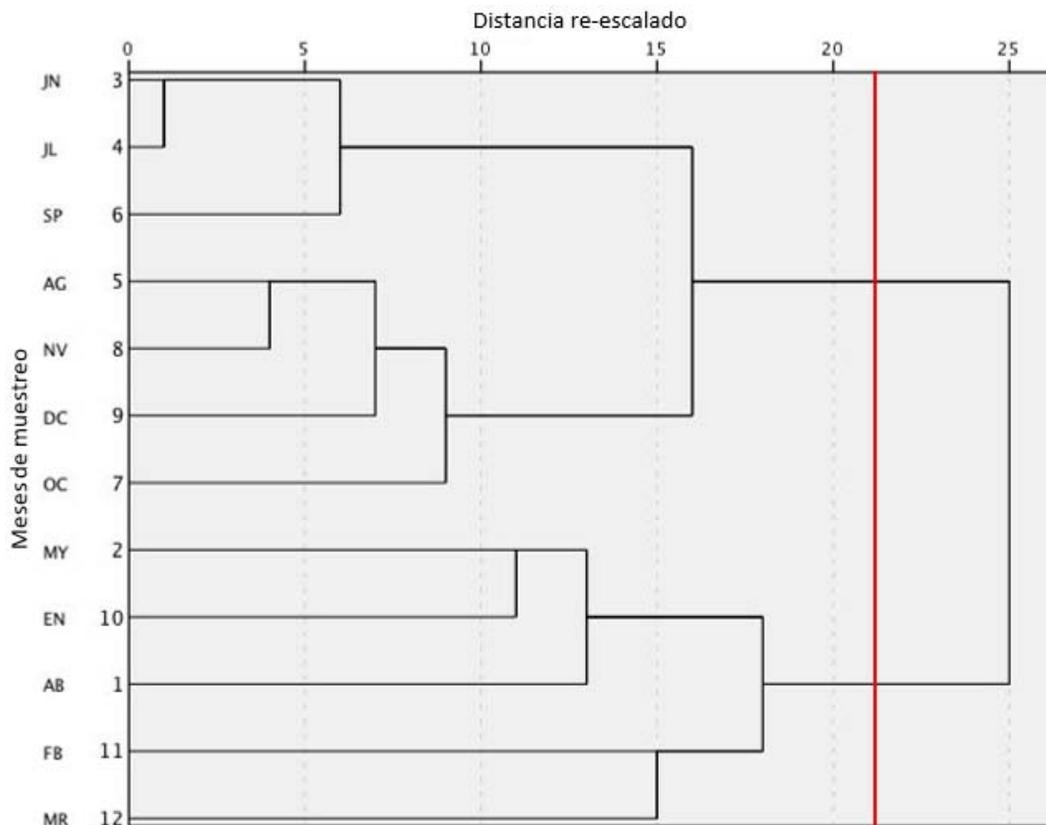


Figura 29. Dendrograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Viejo.

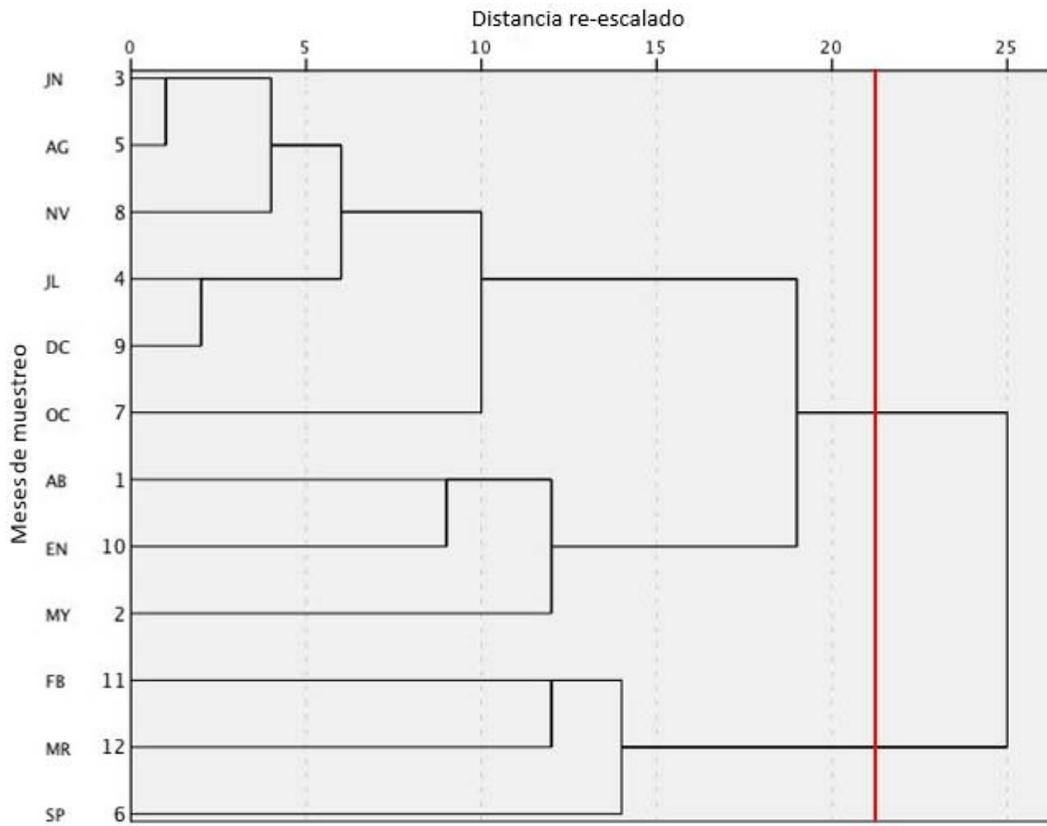


Figura 30. Dendrograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Mayor.

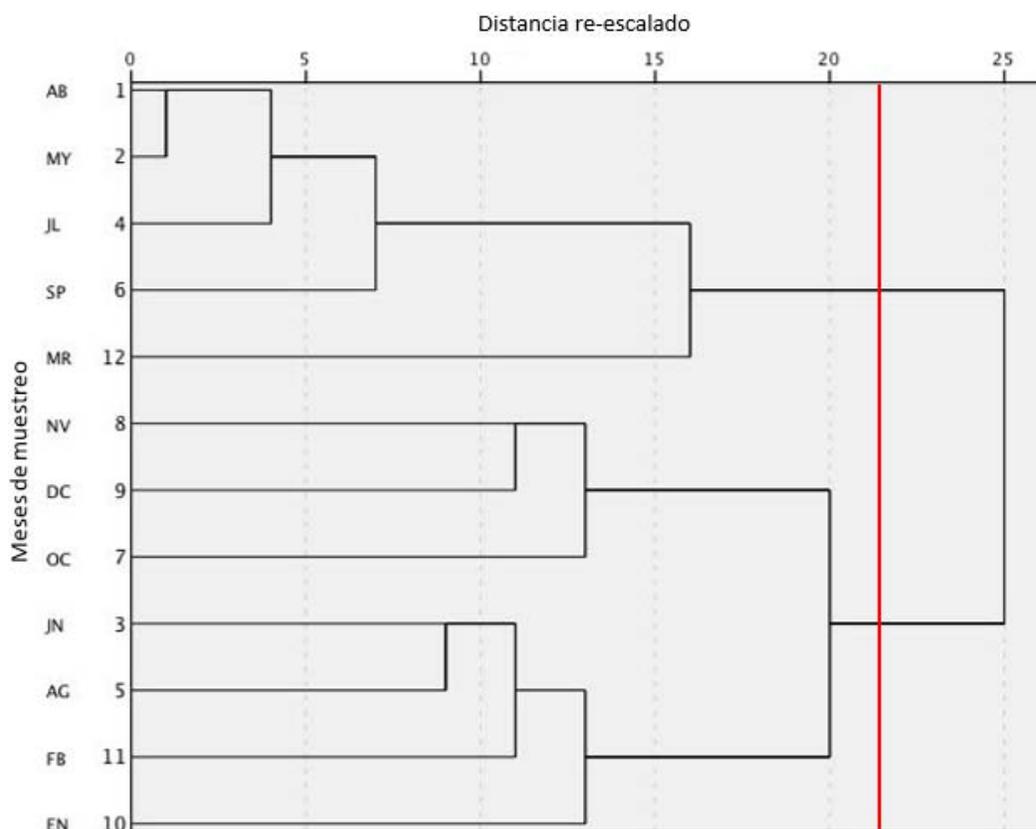


Figura 31. Dendrograma del análisis de conglomerados efectuado a los factores fisicoquímicos y nutrientes en relación a los meses de muestreo en el Lago Menor.

Correlación

Producción primaria bruta. Se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el Lago Viejo con la profundidad del disco de Secchi en la E1 y con la profundidad en la E3; y en el Lago Mayor ($p < 0.01$) con FSR en la E4 (Anexo I).

Producción primaria neta. Se encontró una correlación positiva estadísticamente significativa ($p < 0.01$) en el Lago Viejo con la temperatura y una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con el NID en la E3; y en el Lago Mayor ($p < 0.05$) con FSR en la E4 (Anexo I).

Respiración. Se encontró una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en el Lago Mayor con la profundidad en la E4 y el % OD en la E5.

Variación inter-lacustre (PPB, PPN y R)

Se realizó un análisis estadístico para saber si existían diferencias significativas entre los tres lagos en los valores de PPB, PPN y R.

Producción primaria bruta. De acuerdo al ANDEVA se encontró que existen diferencias significativas entre lagos. La PPB del Lago Viejo ($1,646 \pm 130 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$) fue significativamente mayor ($F_{2,211} = 3.648, p < 0.05$) a la del Lago Mayor ($1,451 \pm 81 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$). El Lago Menor no fue diferente significativamente ni del Lago Viejo ni del Lago Mayor (Fig. 32).

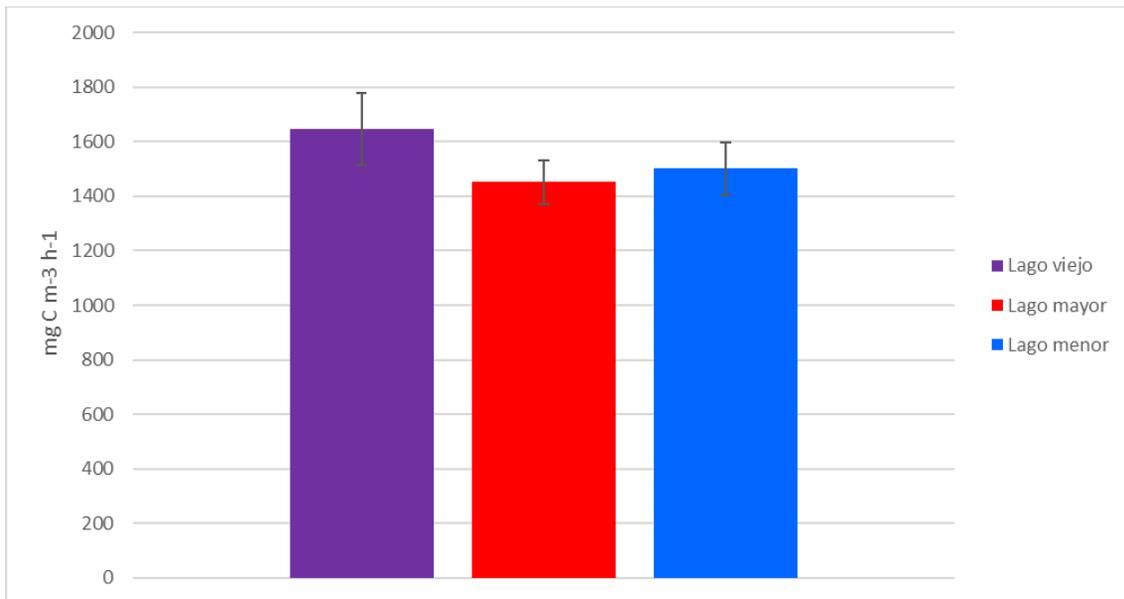


Figura 32. Promedio anual y desviación estándar de la PPB en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Producción primaria neta. El ANDEVA señaló que existen diferencias significativas ($F_{2,211} = 4.618$, $p < 0.05$) entre el Lago Viejo ($1,163 \pm 130$ mg C/m³/h¹) y el Lago Mayor (942 ± 79 mg C/m³/h¹). Al igual que para la PPB, el Lago Menor no fue diferente significativamente de los otros dos lagos (Fig. 33).

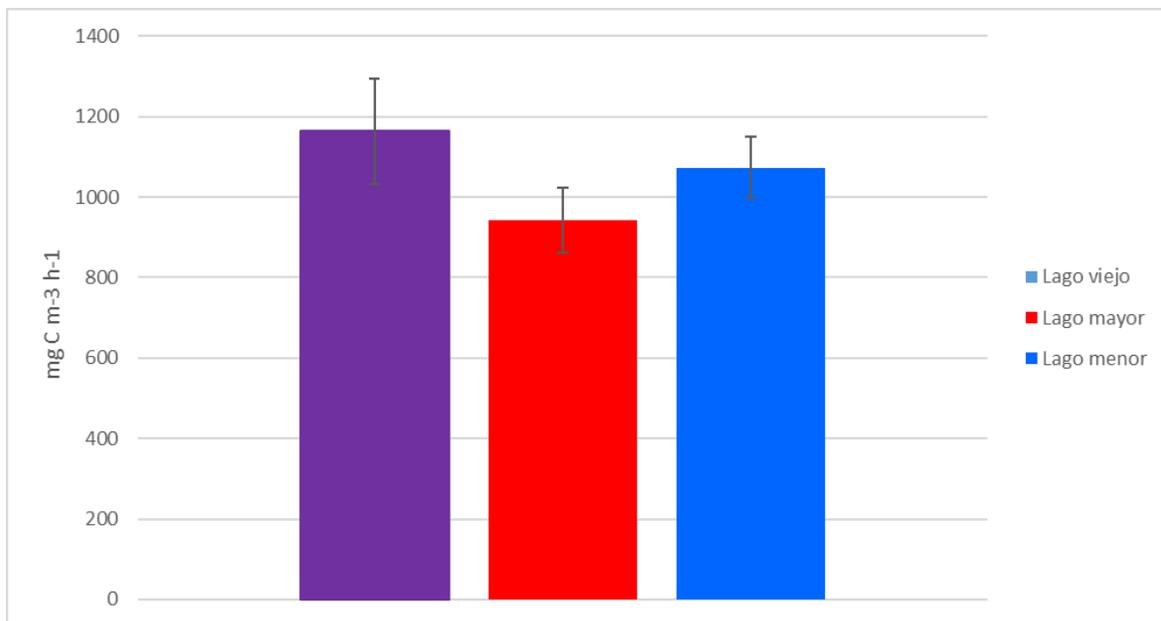


Figura 33. Promedio anual y desviación estándar de la PPN en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Respiración. No se encontraron diferencias significativas entre los promedios anuales de los tres lagos (Fig. 34).

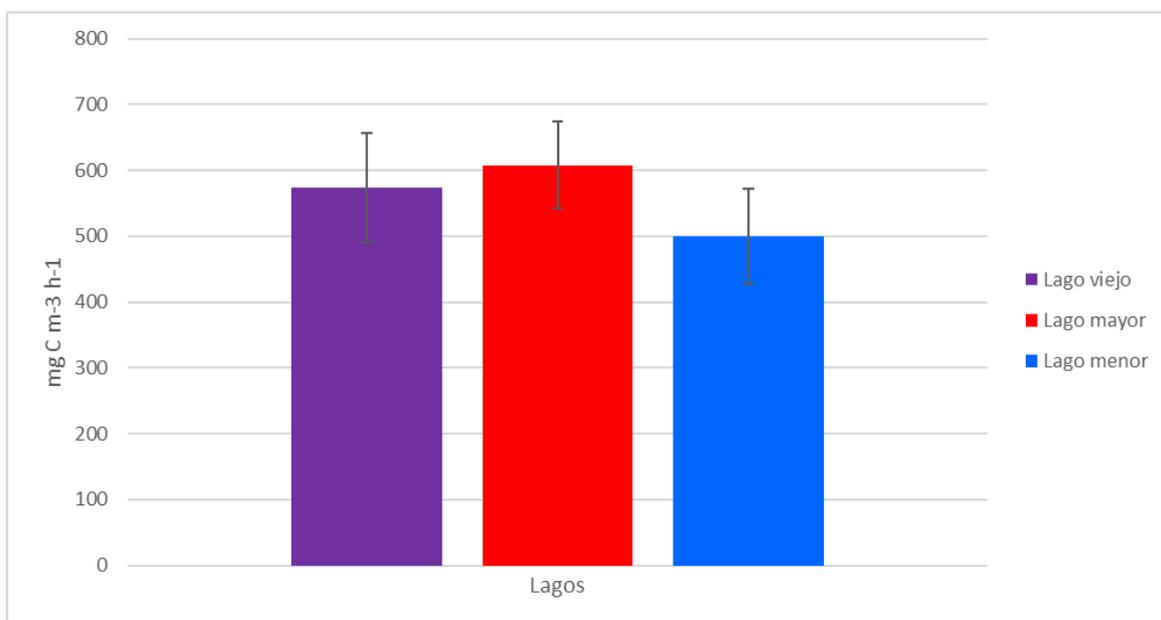


Figura 34. Promedio anual y desviación estándar de la R en el Lago Viejo, en el Lago Mayor y en el Lago Menor, Bosque de Chapultepec, Ciudad de México.

Variación espacial intra-lago (PPB, PPN y R)

Se realizó un análisis estadístico para saber si existen diferencias significativas entre las estaciones de los tres lagos en los valores de PPB, PPN y R.

Producción primaria bruta. El ANDEVA mostró que únicamente la E3 ($1,809 \pm 384 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$) fue significativamente mayor ($F_{5,211} = 4.103, p < 0.05$) que la E4 ($1,329 \pm 532 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$). Entre el resto de las estaciones no se encontró una diferencia significativa (Fig. 23).

Producción primaria neta. El ANDEVA aplicado señaló que si existen diferencias significativas entre las estaciones. La E3 ($1,372 \pm 480 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$) fue significativamente mayor ($F_{5,211} = 5.410, p < 0.05$) a la E1 ($989 \pm 342 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$), E4 ($858 \pm 412 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$) y E5 ($1,030 \pm 416 \text{ mg C/m}^3/\text{h}^1$). No se hallaron diferencias significativas entre el resto de las estaciones (Fig. 25).

Respiración. Conforme al ANDEVA no se presentaron diferencias significativas entre las estaciones (Fig. 27).

DISCUSIÓN

Relación con los parámetros fisicoquímicos y nutrientes

La transparencia del disco de Secchi presenta valores muy bajos para todos los lagos (0.20 m – 0.40 m) (Tabla 1) lo cual se atribuye a las grandes cantidades de fitoplancton lo que ocasiona que el agua se torne turbia, por lo tanto, impide el paso de luz a la parte profunda del lago e impide la fotosíntesis, pero en los primeros centímetros de la columna de agua se aprovecha perfectamente la luz para fotosintetizar (Alcocer, 2015).

La temperatura que presentan los lagos (13.0 °C a 24.4 °C) (Tabla 1) permite colocarlos entre subtropicales y tropicales ya que se encuentran ligeramente por debajo de los reportados por Hutchinson (1957), quien considera intervalos de 20 a 30 °C como usuales para lagos tropicales. Es importante tomar en cuenta que la Ciudad de México (19 °N) se localiza cerca del trópico de Cáncer (23 °N) pero a 2, 240 m s. n. m. lo que ocasiona que haya una ligera variación anual de la temperatura, y, debido a la constante circulación entre cortos intervalos de calentamiento, la estratificación en estos lagos suele ser muy débil (Wetzel, 2001). Es importante destacar que Alcocer (1988) reporta valores similares en los tres lagos (Lago Viejo 15.5 °C, Lago Mayor 18.0 °C y Lago Menor 17.1 °C).

El porcentaje de saturación de OD y la concentración de OD son los parámetros más importantes para estudios de ambientes acuáticos ya que al analizar su comportamiento, brindan un panorama amplio de las condiciones del lago indicando, entre otras cosas, las reacciones biológicas y bioquímicas que ocurren en el agua, aun sin conocer los niveles de producción. Se midieron valores altos del porcentaje de saturación de OD (Lago Viejo 134%, Lago Mayor 186 % y Lago Menor 148%) (Tabla 1) lo que indica que existe una elevada producción primaria ya que valores superiores a 100% hablan de una sobresaturación que solo se puede alcanzar gracias a los florecimientos de fitoplancton (Wetzel, 1975).

Se presentan niveles de pH elevados que variaron entre 7.7 y 11.0 (Tabla 1); estas condiciones básicas son derivadas seguramente de la elevada actividad fotosintética del fitoplancton ya que durante el proceso de fotosíntesis se consume CO₂ y al reaccionar los carbonatos y bicarbonatos con el agua se generan iones OH⁻ lo cual aumenta el pH (Wetzel, 2000). Alcocer (1988) reporta en el Lago Viejo un promedio anual de pH (8.75) inferior al del presente estudio (9.29), lo cual muestra

quizás un aumento de la tasa fotosintética con el paso del tiempo en dicho lago o un cambio en el tipo de agua que se alimentan actualmente o una diferente eficiencia de la planta de tratamiento.

La conductividad eléctrica indica los niveles de iones en el agua, incluyendo nutrientes. Los estudios de Margalef (1983) y Talling y Talling (1965) mencionan que la conductividad por debajo de 600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ es baja, por lo que la conductividad eléctrica en el presente estudio se clasifica como moderada (Lago Viejo 450 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Lago Mayor 507 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y Lago Menor 488 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Tabla 1). Sin embargo, el comportamiento de los niveles de conductividad en el Lago Viejo es ligeramente inferior que el del Lago Mayor y Lago Menor (Fig. 11 A y B), lo que sugiere que la fuente de agua que abastece cada sección del bosque es diferente.

Los niveles de FSR presentes en los lagos (Lago Viejo 0.17 mg/L, Lago Mayor 0.26 mg/L y Lago Menor 0.10 mg/L) (Tabla 1) son elevados según Wetzel (2001) lo que permite que el fitoplancton mantenga un crecimiento y división celular activas.

Elevadas concentraciones de NID pueden promover la proliferación de productores primarios (Camargo y Alonso, 2007), es por esto que los altos valores según Wetzel (2001) de NID obtenidos en Chapultepec (Lago Viejo 3.4 mg/L, Lago Mayor 8.0 mg/L y Lago Menor 2.0 mg/L) contribuyen a la eutrofización de los lagos.

Estado trófico y producción (PPB, PPN y R)

Para determinar el estado trófico de los lagos de Chapultepec se utilizaron los valores de la profundidad del disco de Secchi de acuerdo a Moreno *et al.* (2010) quienes describen diferentes técnicas que permiten evaluar el grado de eutrofia de los sistemas acuáticos. Una de ellas menciona que al ser menor a 1.5m la transparencia promedio del disco de Secchi, serán considerados hipertróficos. Conforme a lo anterior, los tres lagos de Chapultepec presentaron una transparencia promedio de Z_{DS} de 0.13 m, 0.23 m y 0.06 m (Lago Viejo, Lago Mayor y Lago Menor respectivamente) (Fig. 6 A, B) lo que los categoriza como hipertróficos.

De igual forma, los tres lagos de Chapultepec debido a los niveles elevados de FSR (Lago Viejo 0.17 mg/L, Lago Mayor 0.26 mg/L y Lago Menor 0.10 mg/L) y de NID (Lago Viejo 3.46 mg/L, Lago Mayor 8.06 mg/L y Lago Menor 2.04 mg/L) ratifican su clasificación como hipertróficos de acuerdo al

criterio de Wetzel (2001) ya que presentan entre 0.03 y 5 mg/L de fósforo y más de 0.5 mg/L de nitrógeno.

En la tabla 3 se muestran valores de PPB de sistemas epicontinentales que han sufrido algún proceso de eutrofización. En Florida, EEUU, el lago hipertrófico subtropical Apopka presenta valores inferiores a los de este estudio, con 400 – 1 050 mg C/m³/h¹ (Gale y Reddy, 1994). Los “bajos” valores de PPB se atribuyeron a la presencia abundante de sólidos suspendidos de origen terrígeno disminuyendo la penetración de luz en la columna de agua.

Silva y Davies (1987) trabajaron en cinco embalses en Sri Lanka; la profundidad del disco de Secchi varió de 0.75 a 0.90 m mayor a la de Chapultepec de 0.02 – 0.40 m (Tabla 1) y la PPB de 180 – 350 mg C/m³/h¹,) inferior a la del presente estudio debido a la baja cantidad de nutrientes que aportan las aguas con las que se llenan los lagos, sin embargo, durante la temporada octubre a diciembre la productividad fue menor que durante la abril a junio, lo cual demuestra que al igual que en Chapultepec existe una variación temporal de PPB a lo largo del año.

Ramírez-R y Alcaráz (2002) estudiaron la Laguna del parque norte teniendo niveles de PPB 419.8 mg C/m³/h¹ (Tabla 3), inferiores a Chapultepec, ellos asocian sus resultados con los niveles de conductividad (1895.8 µS/cm) y con la razón clorofila a/fosforo. De igual forma Montoya y Aguirre (2010) en Ciénega Escobillitas reportan PPB (110.22 mg C/m³/h¹) (Tabla 3), PPN (74.14 mg C/m³/h¹) y R (75.70 mg C/m³/h¹) inferior a Chapultepec, haciendo notar que los niveles de R superan la PPN por lo que se puede considerar al sistema como exportador de materia, es por ello que a Chapultepec, donde los niveles de producción superan los de respiración, se le considera sumidero de carbono al menos durante las horas de luz.

La PPB en el lago Zeekoevlei, Sudáfrica, varió entre 525 y 1,524 mg C/m³/h¹ (Harding, 1997); los valores más elevados de PPB se registraron cuando la temperatura fue más elevada. En los lagos de Chapultepec se observó un patrón similar con niveles de producción mayores en los meses más cálidos. También atribuyen la variación a la constante mezcla de la zona eufótica (Z_{eu} 0.8m) por el viento logrando una mezcla regular del fitoplancton en esta zona al igual que en los lagos de Chapultepec ya que la Z_{eu} también es muy reducida y está en constante mezcla.

Morlán-Mejía (2010) registró en el lago urbano hipertrófico Tezozomoc, de la Ciudad de México, una PPB de 5,767 mg C/m³/h¹ valor que al menos triplica los resultados en el presente estudio (Lago Viejo 1,646 mg C/m³/h¹, Lago Mayor 1,451 mg C/m³/h¹ y Lago Menor 1,500 mg C/m³/h¹) a pesar de

que en ambos casos se presentan una alta carga de materia orgánica resultado del sobre enriquecimiento de los nutrientes que aporta el agua tratada que alimenta a los lagos. No obstante, la diferencia entre los valores de PPB se atribuye a la cantidad de sales, incluyendo nutrientes, presentes en el agua que es mayor en el lago Tezozomoc el cual muestra una conductividad (1300 - 1914 $\mu\text{s}/\text{cm}$) bastante superior a la de Chapultepec (Lago Viejo 355 – 538 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Lago Mayor 419 – 578 $\mu\text{s}/\text{cm}$, Lago Menor 404 – 604 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (Fig. 11 A, B). Morlán-Mejía solo evaluó el lago durante la época de secas, razón con la que también se puede justificar la diferencia que existe con los valores de PPB de Chapultepec.

Tabla 3. Comparación entre valores de producción primaria bruta de los lagos de Chapultepec con otros sistemas de agua dulce eutróficos.

Lago	Estado trófico	PPB ($\text{mg C}/\text{m}^3/\text{h}^1$) Min - Max	PPB ($\text{mg C}/\text{m}^3/\text{h}^1$) Media	Referencia
Apopka (Florida, EEUU)	Hipertrófico	400 - 1,050		Gale y Reddy (1994)
Laguna del parque norte (Medellín, Colombia).	Eutrófico	62.4 – 791.7	419.8	Ramírez-R. y Alcaráz, 2002)
Ciénega Escobillitas (Córdoba, Colombia)	Euproductivo	0 - 339	110.22	Montoya y Aguirre (2010)
Sri Lanka (embalses)	No se menciona	180 - 350		Silva y Davies (1987)
Waigani Lake (Papua, N. Guinea)	No se menciona	1,640 - 7,875		Osborne (1991)
Zeekoevlei (Sudáfrica)	Hipertrófico	525 - 1,524		Harding (1997)
Tezozomoc (Cd. de México)	Hipertrófico	452 - 11,958		Morlán-Mejía (2010)
Chapultepec (Cd. de México)	L. Viejo	Hipertrófico	168 - 2571	Este estudio
	L. Mayor	Hipertrófico	657 - 2713	
	L. Menor	Hipertrófico	849 - 2198	

Los valores de PPB en el lago tropical Waigani, Papua, Nueva Guinea, fueron de 1,640 a 7,875 mg C/m³/h¹ (Osborne, 1991) también superan el rango de los que presentan los lagos de Chapultepec debido a que más del 80% de los efluentes de aguas residuales de la ciudad entran al lago.

Análisis de conglomerados

La estacionalidad arrojada por el análisis de conglomerados realizado demuestra que los parámetros fisicoquímicos y nutrientes del Lago viejo presentan un comportamiento relacionado con la temporada cálida-lluviosa (Mayo - Octubre) y la fría-seca (Noviembre - Abril). Estacionalidad que no existe en el lago mayor ni en el lago menor.

Correlación

La PPB mostro una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con las variables Z_{DS} y Z ; al disminuir la Z_{DS} se ratifica una mayor eutrofización, por lo que los niveles de PPB son mayores, de igual forma al disminuir la profundidad del lago, aumenta la concentración de nutrientes en el agua, los productores primarios lo aprovechan y por lo tanto aumentan los niveles de PPB, sin embargo, el FSR presento una mayor relación directa con la PPB ($p < 0.01$) ya que es el nutriente menos abundante, y al ser consumido aumentan los niveles de producción, debido a que permite que el fitoplancton mantenga un crecimiento y división celular activas (Anexo I).

La PPN mostro una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con las variables NID y FSR, donde al igual que en la PPB, son los nutrientes menos abundantes y al ser consumidos aumentan los niveles de producción, el FSR permitiendo que el fitoplancton mantenga un crecimiento y división celular activas y el NID promoviendo la proliferación de productores primarios. Sin embargo, la T presentó una correlación positiva estadísticamente significativa con una mayor relación directa con la PPN ($p < 0.01$); comportamiento que resulta lógico ya que se observa una temporalidad mostrando un patrón definido, en la temporada cálida-lluviosa se presentan los valores más altos de PPN y los más bajos en la temporada fría-seca (Anexo I).

La R mostro una correlación negativa estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con la Z y con %OD. Al disminuir la profundidad del lago, aumenta la concentración de oxígeno en el agua, los productores primarios lo aprovechan y por lo tanto aumentan los niveles de R. y para el segundo parámetro, al disminuir el %OD se ratifica que está siendo consumido por los productores primarios y de igual forma, aumenta la R (Anexo I).

La E2 y la E6 no mostraron relación alguna con los factores fisicoquímicos medidos ni con los nutrientes (Anexo I).

Variación inter-lacustre (PPB, PPN y R)

Tanto para PPB como para PPN el Lago Viejo fue mayor significativamente entre los tres lagos, si revisamos el comportamiento de la temperatura (Fig. 10 A, B), se puede observar que de mayo a octubre la temperatura de los tres lagos es superior (cálida - lluviosa) a la que se presenta de noviembre a abril (fría - seca), sin embargo, la PPB y PPN del Lago Viejo muestran un patrón definido relacionado con la temporada del año, siendo los valores más altos en la temporada cálida-lluviosa y los más bajos en la temporada fría-seca, todo esto, debido a que la temperatura regula los procesos enzimáticos de la fotosíntesis y respiración. Sin embargo, el análisis estadístico únicamente mostro diferencias significativas entre la temperatura y la PPN en la E3 del Lago Viejo esto se puede explicar porque la entrada y salida del agua al lago está muy cercana a la E3 por lo que se mantiene la temperatura al haber un constante movimiento (Fig. 3).

La respiración se comporta más heterogéneamente ya que gráficamente no se muestra algún patrón definido con ninguno de los parámetros fisicoquímicos ni con nutrientes.

Variación espacial intra-lago (PPB, PPN y R)

PPB

La E3 muestra un mayor nivel de eutrofización que la E4, al haber mayor producción, el agua torna a una coloración verdosa y es más turbia por lo que impide el paso de luz y la profundidad que logra alcanzar el disco de Secchi es mayor en la E4 (0.40m) que en la E3 (0.12m) (Fig. 8 A, B). Aunado a esto, los altos niveles de producción que muestra la E3 a diferencia de la E4 se justifican también con la alta actividad fotosintética del fitoplancton que provoca la basicidad en los cuerpos de agua teniendo en promedio un pH de 9.6 en la E3 y de 8.8 en la E4 (Fig. 16 A, B). Sin embargo, no existe correlación significativa entre estos parámetros. De igual forma, la E4 es la parte mas pequeña y aislada del Lago Mayor, donde no hay circulación de agua debido a que las tuberías de entrada y salida se encuentran en el otro extremo del lago (Fig. 3) por lo que la materia orgánica no tiene movimiento y al estancarse le aporta al lago una mayor transparencia. Por lo tanto, al no haber diferencia significativa entre las tres estaciones del Lago Viejo (E1, E2 y E3) y entre las dos estaciones del Lago Mayor (E4 y E5), ambos son homogéneos.

PPN

Los altos niveles de PP que se presentan en la E3 a diferencia de las estaciones E1 y E4 se justifican con la alta actividad fotosintética del fitoplancton que provoca la basicidad en los cuerpos de agua, es por esto que la E3 tiene valores de pH inferiores. De igual forma se observa que la cantidad de fitoplancton es menor en la E1, E4 y E5 debido a que el disco de Secchi alcanza mayores profundidades que en la E3. Sin embargo, no existe correlación significativa entre estos parámetros. Por lo tanto, al no haber diferencia significativa entre las dos estaciones del Lago Mayor (E4 y E5) su comportamiento es homogéneo.

Gráficamente la respiración no muestra un patrón definido con ninguno de los parámetros fisicoquímicos ni con nutrientes.

Es importante recordar que la E1 y la E4 son los dos puntos del Lago Viejo y del Lago Mayor respectivamente que se encuentran cerrados al público y no cuentan con movimiento de agua, esto, porque tanto la entrada como la salida de agua a los lagos se encuentra en la parte grande de los mismos, cerca de la E3 y la E5 (Fig. 3).

CONCLUSIÓN

La elevada concentración de nutrientes, la reducida profundidad del disco de Secchi así como la sobresaturación de oxígeno disuelto y los elevados valores de pH registrados durante los muestreos, caracterizan a los lagos de Chapultepec como hipertróficos, lo cual es ratificado por los altos niveles de producción primaria.

Los altos niveles de PPB y PPN son reflejo de la elevada fotosíntesis que lleva a cabo el fitoplancton, mientras que los elevados niveles de R indican la gran cantidad de materia orgánica presente en los lagos que se está degradando.

De acuerdo al análisis de conglomerados los parámetros fisicoquímicos y concentración de nutrientes del Lago Viejo presentan una estacionalidad con la temporada cálida-lluviosa de mayo a octubre y la fría-seca de noviembre a abril, siendo superiores en la primera. No se encontró estacionalidad alguna en el Lago Mayor ni en el Lago Menor.

El Lago Viejo presenta los valores mayores de PPB y PPN, en particular en la E3, mostrando un patrón asociado a la temporada del año, teniendo los valores más altos en la época cálida y los más bajos en la fría. Le sigue en PP el Lago Menor y finalmente el Lago Mayor. Las tasas de R no mostraron diferencias significativas entre los lagos ni entre estaciones.

Al interior del Lago Mayor, la porción más pequeña y aislada, la E4, se comporta de manera diferente al resto de las estaciones refiriéndose a los parámetros de pH, PPB y PPN ya que en las tres se presentan las tasas más bajas.

LITERATURA CITADA

- Alcocer, D. J. 1988. Caracterización Hidrobiológica de los lagos de Chapultepec, México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar (Oceanografía Biológica y Pesquera). UACPyP, CCH, UNAM. México. 88p.
- Alcocer, D. J. 2015. Estudio de la productividad primaria de los Lagos Mayor y Menor de la 1° Sección del Bosque de Chapultepec a través de imágenes satelitales en tiempo real y sobre el impacto de los tóxicos y contaminantes en especies nativas. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica. México. 10p.
- Alcocer, D. J., Flores, M. L., Kato, E., Lugo, A. y E. Escobar. 1993. La ictiofauna remanente del lago de México. Actas VI Congreso Español de Limnología. pp 315-321.
- Alcocer, D. J. y E. Kato. 1987. Evaluación de la restauración de un lago eutrófico mexicano. En: Memorias del V curso y simposio sobre biología de la contaminación. AMICA, S.A. – UNAM, México. 79p.
- Alcocer, J., Kato, E., Robles, E. y G. Vilaclara. 1988. Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del Lago Viejo de Chapultepec. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 4(1): pp 43-56.
- Alcocer, D. J., Lugo, A., Vilaclara, G., Sánchez, Ma. Del R. y M. Chávez. 2007. Los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México. In: G. de la Lanza (comp.). Las aguas interiores de México, conceptos y casos. AGT Editor. México. pp. 113-124.
- Alhonen, P. 1985. Lake restoration: a sediment limnological approach. Aqua. Fenn. pp 269-273.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, E. W. Rice (Ed), R. B. Baird (Ed), A. D. Eaton (Ed), L. S. Clesceri (Ed). (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. Washington. 1,496p.
- Camargo, J. A. y A. Alonso. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. Ecosistemas 16 (2): pp. 98-110.
- Carignan, R., Dolors, P. y C. Vis. 2000. Planktonic production and respiration in oligotrophic Shield lakes. Limnology and Oceanography 45: pp 189-199.

- Cole, J. J., Pace, M. L., Carpenter, S. R. y F. Kitchell. 2000. Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulation. *Limnology and Oceanography* 45: pp 1718-1730.
- Del Valle, I. 2011. Cervantes de Salazar y las fundaciones en falso de la ciudad de México. *Literatura Mexicana XXII.1*. Estados Unidos de América. 25p.
- Edding, M., Tala F. y J. Vázquez. 2006. Fotosíntesis, productividad y algas Marinas. En: Squeo F.A. y L. Cardemil, (eds) *Fisiología Vegetal*. Ediciones Universidad de La Serena. pp 1-39.
- Elías, F., Navarrete, S, Fernández, G. y R. Contreras. 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(2): pp 156-159.
- Gale, P. M. y K. R. Reddy. 1994. Carbon flux between sediment and water column of a shallow, subtropical hypertrophic lake. *Journal of Environmental Quality*. 23: pp 965-972.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, 245p.
- Gardner, T. y H. H. Grann. 1927. Production of plankton in Osto Fjord. *Rapp. Proc. Verb. Conus. Pern. Int. Explore*. 42: pp 9-48.
- González, F. y J. De La Rosa. 1995. *Temas de oceanografía biológica en México*. México. 288p.
- González, M. 1995. Estudio de la variación espacial y temporal de los ciliados planctónicos de los lagos de Chapultepec, D.F. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Edo. de México. México. 62p.
- Granillo, M., Valdivia, B. y M. Villarreal. 2014. *Biología general, los sistemas vivientes*. México. 473p.
- Harding, W. R. 1997. Phytoplankton primary production in a shallow, well-mixed, hypertrophic South African lake. *Hydrobiologia* 344: pp 87-102.
- Hutchinson, G. E. 1957. *A Treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry of Lakes*. Vol. 1. John Wiley & Sons, Nueva York. 1015p.
- Irwin, B. 1991. Coulometric measurement of primary production, with comparison against dissolved oxygen and ¹⁴C methods in a seasonal study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: pp 97-102.

- Lugo, A., Sánchez, Ma. Del R., González, Ma. E. y J. Alcocer. 1998. Temporal patterns of planktonic ciliates abundance in three eutrophic urban lakes. *Verhandlungen-Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. 26: pp 1626-1630.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 767p.
- Moreno, D., Quintero, J. y A. López. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Revista Contactos* 78, pp 25-33.
- Morlán-Mejía, J. 2010. Producción primaria del fitoplancton en un lago hipertrófico durante la época de sequía. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. México. 61p.
- Muro, C. G. 1994. Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los Cladóceros en los tres Lagos de Chapultepec. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Superiores Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 88p.
- Osborne, P. L. 1991. Seasonality in nutrients and phytoplankton production in two shallow lakes: Waigani Lake, Papua, New Guinea, and Barton Broad, Norfolk, England. *Internationale Revue gesamten Hydrobiologie* 76: pp 105-200.
- Peña, P. y E. Levi. 1989. Historia de la hidráulica en México: Abastecimiento de agua desde la época prehispánica hasta el Porfiriato. Comisión Nacional del Agua. Serie divulgación 25.
- Quirós, R. 2007. Manejo y recuperación de lagos urbanos. Facultad de agronomía. Universidad de Buenos Aires. (Documento de trabajo del Área de Sistema de Producción acuáticas, núm. 6). Argentina: Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires. 16p.
- Ramírez, A. 2006. *Ecología, métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 273p.
- Rodríguez, G., L. 2017. Calidad del agua y productividad primaria fitoplanctónica en los tres lagos del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Industrial de Santander. Universidad Nacional Autónoma de México. 79p.
- Schueler, T. y J. Simpson. 2003. Why urban lakes are different? *Watershed. Prof. Teach.* 3: pp 747-750.

- Silva, E. I. L. y R. W. Davies. 1987. The seasonality of monsoonal primary productivity in Sri Lanka. *Hydrobiologia* 150: pp 165-175.
- Steeman-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C14) for measuring organic production in the sea. *J Cons Int Explor Mer* 18: pp 117–140.
- Sven-Olof, R. y W. Rast. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Unesco. 375p.
- Talling, J. F. y I. B. Talling. 1965. The chemical composition of African lake waters. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 50: pp 421-463.
- Vidal-Abarca, G. Ma. R., Suarez, A. Ma. L., Gómez, C. R. y L. Ramírez-Díaz. 1994. Ecología de aguas continentales. *Practicas de Limnología (I)*. Universidad de Murcia. 266p.
- Villalobos, G., Fernández, A. y H. Velasco. 1982. El sistema hidráulico del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal, México.
- Wetzel, R. G. 1975. *Limnology*. Ed. Saunders. Philadelphia. 743p.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3'd Edition. Academic Press, San Diego, CA.
- Wetzel, R. G. y G. E. Likens. 2000. *Limnological Analyses*. Second Edition. Springer-Verlag New York, Inc. 391p.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Florida LAKEWATCH (2010) <http://lakewatch.ifas.ufl.edu/>

INEGI. 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado 17/05/2016.

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825292973>

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del agua en México. 2015.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>

Sedema. 2013. http://www.sedema.df.gob.mx/areasverdesvidaparatodos/bosque_chapultepec.html#VX9VMfl_NBc

Varela, R. 2013. Determinación de la productividad primaria. Recuperado de <http://cariacodev.cbm.usb.ve/wp-content/uploads/2013/07/metodo14.pdf>

	Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	FSR	NID	FFB	PPN	R
Z	1	.393	-.323	-.480	-.758**	-.234	.256	.390	.322	-.254	-.295	-.005
Correlación de Pearson		.206	.306	.115	.004	.465	.423	.210	.307	.450	.378	.988
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ZDS	.393	1	-.515	.147	-.218	.007	.522	.061	.166	-.650*	-.414	-.535
Correlación de Pearson		.206	.087	.648	.496	.982	.081	.851	.606	.030	.205	.090
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
T	-.323	-.515	1	.009	.336	.499	-.382	-.705*	-.555	.549	.221	.621*
Correlación de Pearson		.306	.087	.979	.285	.099	.220	.010	.061	.080	.513	.041
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
OD	-.480	.147	.009	1	.854**	-.061	.071	-.420	-.670*	.247	.365	-.089
Correlación de Pearson		.115	.648	.979	.000	.850	.826	.174	.017	.464	.270	.795
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ODP	-.758**	-.218	.336	.854**	1	.138	-.315	-.595*	-.611*	.385	.294	.202
Correlación de Pearson		.004	.496	.000	.000	.670	.318	.041	.035	.243	.381	.552
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
pH	-.234	.007	.499	-.061	.138	1	-.282	-.722**	-.332	-.171	-.333	.139
Correlación de Pearson		.465	.982	.099	.850	.670	.374	.008	.291	.616	.317	.684
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
K25	.256	.522	-.382	.071	-.315	-.282	1	.300	.006	-.053	.184	-.294
Correlación de Pearson		.423	.081	.220	.826	.374	.344	.984	.877	.589	.380	
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FSR	.390	.061	-.705*	-.420	-.595*	-.722**	.300	1	.706*	-.120	.006	-.214
Correlación de Pearson		.210	.851	.010	.174	.041	.008	.344	.010	.726	.986	.527
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
NID	.322	.166	-.555	-.670*	-.611*	-.332	.006	.706*	1	-.569	-.528	-.284
Correlación de Pearson		.307	.606	.061	.017	.035	.291	.984	.010	.068	.095	.398
Sig. (bilateral)												
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FFB	-.254	-.650*	.549	.247	.385	-.171	-.053	-.120	-.569	1	.804**	.642*
Correlación de Pearson		.450	.030	.080	.464	.243	.616	.877	.726	.068	.002	.024
Sig. (bilateral)												
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
PPN	-.295	-.414	.221	.365	.294	-.333	.184	.006	-.528	.804**	1	.074
Correlación de Pearson		.378	.205	.513	.270	.381	.317	.589	.986	.095	.002	.819
Sig. (bilateral)												
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
R	-.005	-.535	.621*	-.089	.202	.139	-.294	-.214	-.284	.642*	.074	1
Correlación de Pearson		.988	.090	.041	.795	.552	.684	.380	.527	.398	.024	.819
Sig. (bilateral)												
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12

		Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	PSR	NID	FPB	PPN	R
Z	Correlación de Pearson	1	.264	.206	-.543	-.435	-.546	-.062	-.200	.088	.068	.360	-.293
	Sig. (bilateral)		.408	.520	.068	.158	.066	.849	.532	.787	.842	.277	.381
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ZDS	Correlación de Pearson	.264	1	-.222	.184	.008	.129	.132	-.050	.073	.125	-.063	.245
	Sig. (bilateral)	.408		.488	.568	.980	.690	.682	.878	.821	.714	.853	.468
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
T	Correlación de Pearson	.206	-.222	1	-.385	.171	.095	-.269	-.672*	-.822**	.467	.426	.047
	Sig. (bilateral)	.520	.488		.217	.594	.768	.398	.017	.001	.148	.192	.890
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
OD	Correlación de Pearson	-.543	.184	-.385	1	.619*	.474	.433	.013	.198	-.094	-.462	.353
	Sig. (bilateral)	.068	.568	.217		.032	.119	.159	.967	.538	.784	.152	.287
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ODP	Correlación de Pearson	-.435	.008	.171	.619*	1	.424	-.192	-.235	-.369	-.032	-.573	.522
	Sig. (bilateral)	.158	.980	.594	.032		.170	.549	.462	.238	.926	.065	.099
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
pH	Correlación de Pearson	-.546	.129	.095	.474	.424	1	.265	-.403	-.390	.144	-.264	.382
	Sig. (bilateral)	.066	.690	.768	.119	.170		.404	.194	.210	.673	.433	.246
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
K25	Correlación de Pearson	-.062	.132	-.269	.433	-.192	.265	1	-.166	.220	-.189	.088	-.328
	Sig. (bilateral)	.849	.682	.398	.159	.549	.404		.606	.493	.578	.797	.325
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
PSR	Correlación de Pearson	-.200	-.050	-.672*	.013	-.235	-.403	-.166	1	.723**	-.156	.028	-.127
	Sig. (bilateral)	.532	.878	.017	.967	.462	.194	.606		.008	.647	.934	.709
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
NID	Correlación de Pearson	.088	.073	-.822**	.198	-.369	-.390	.220	.723**	1	-.156	-.137	.009
	Sig. (bilateral)	.787	.821	.001	.538	.238	.210	.493	.008		.648	.689	.979
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FPB	Correlación de Pearson	.068	.125	.467	-.094	-.032	.144	-.189	-.156	-.156	1	.565	.576
	Sig. (bilateral)	.842	.714	.148	.784	.926	.673	.578	.647	.648		.056	.050
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
PPN	Correlación de Pearson	.360	-.063	.426	-.462	-.573	-.264	.088	.028	-.137	.565	1	-.346
	Sig. (bilateral)	.277	.853	.192	.152	.065	.433	.797	.934	.689	.056		.271
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
R	Correlación de Pearson	-.293	.245	.047	.353	.522	.382	-.328	-.127	.009	.576	-.346	1
	Sig. (bilateral)	.381	.468	.890	.287	.099	.246	.325	.709	.979	.050	.271	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12

		Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	PSR	NID	FPB	PPN	R
Z	Correlación de Pearson	1	.419	-.187	-.454	-.533	-.420	-.036	-.308	-.165	-.634*	-.219	-.135
	Sig. (bilateral)		.176	.561	.138	.074	.175	.912	.329	.608	.036	.517	.693
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ZDS	Correlación de Pearson	.419	1	-.041	.128	-.229	.512	.455	.088	-.297	-.409	-.235	-.292
	Sig. (bilateral)	.176		.900	.691	.474	.089	.137	.785	.348	.211	.487	.383
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
T	Correlación de Pearson	-.187	-.041	1	-.363	.189	-.033	-.359	.090	-.695*	.475	.969**	-.557
	Sig. (bilateral)	.561	.900		.247	.556	.918	.252	.782	.012	.140	.000	.075
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
OD	Correlación de Pearson	-.454	.128	-.363	1	.690*	.641*	.314	.396	.369	.224	-.583	.631*
	Sig. (bilateral)	.138	.691	.247		.013	.025	.320	.203	.238	.508	.060	.037
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ODP	Correlación de Pearson	-.533	-.229	.189	.690*	1	.417	-.254	.207	.018	.554	-.005	.465
	Sig. (bilateral)	.074	.474	.556	.013		.177	.427	.518	.956	.077	.988	.150
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
pH	Correlación de Pearson	-.420	.512	-.033	.641*	.417	1	.328	.151	.083	.142	-.176	.080
	Sig. (bilateral)	.175	.089	.918	.025	.177		.298	.639	.797	.677	.604	.815
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
K25	Correlación de Pearson	-.036	.455	-.359	.314	-.254	.328	1	.347	-.001	-.232	-.432	.156
	Sig. (bilateral)	.912	.137	.252	.320	.427	.298		.268	.998	.492	.185	.646
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
PSR	Correlación de Pearson	-.308	.088	.090	.396	.207	.151	.347	1	.099	.248	-.225	.330
	Sig. (bilateral)	.329	.785	.782	.203	.518	.639	.268		.759	.462	.506	.321
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
NID	Correlación de Pearson	-.165	-.297	-.695*	.369	.018	.083	-.001	.099	1	-.176	-.654*	.468
	Sig. (bilateral)	.608	.348	.012	.238	.956	.797	.998	.759		.605	.029	.147
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FPB	Correlación de Pearson	-.634*	-.409	.475	.224	.554	.142	-.232	.248	-.176	1	.520	.190
	Sig. (bilateral)	.036	.211	.140	.508	.077	.677	.492	.462	.605		.083	.554
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
PPN	Correlación de Pearson	-.219	-.235	.969**	-.583	-.005	-.176	-.432	-.225	-.654*	.520	1	-.581*
	Sig. (bilateral)	.517	.487	.000	.060	.988	.604	.185	.506	.029	.083		.048
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
R	Correlación de Pearson	-.135	-.292	-.557	.631*	.465	.080	.156	.330	.468	.190	-.581*	1
	Sig. (bilateral)	.693	.383	.075	.037	.150	.815	.646	.321	.147	.554	.048	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12

		Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	PSR	NID	FPB	PPN	R
Z	Correlación de Pearson	1	.237	-.436	-.787**	-.645*	-.794**	-.194	.619*	.740**	-.265	.156	-.666*
	Sig. (bilateral)		.459	.157	.002	.024	.002	.545	.032	.006	.432	.647	.025
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ZDS	Correlación de Pearson	.237	1	-.773**	.005	-.054	-.076	.160	.219	.545	-.205	-.375	.192
	Sig. (bilateral)	.459		.003	.987	.868	.814	.620	.494	.067	.544	.256	.572
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
T	Correlación de Pearson	-.436	-.773**	1	.255	.337	.278	-.239	-.230	-.537	.191	.190	.055
	Sig. (bilateral)	.157	.003		.423	.284	.381	.455	.472	.072	.573	.576	.873
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
OD	Correlación de Pearson	-.787**	.005	.255	1	.943**	.671*	-.133	-.400	-.697*	-.031	-.191	.238
	Sig. (bilateral)	.002	.987	.423		.000	.017	.681	.197	.012	.928	.573	.480
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ODP	Correlación de Pearson	-.645*	-.054	.337	.943**	1	.465	-.333	-.177	-.595*	-.146	-.231	.102
	Sig. (bilateral)	.024	.868	.284	.000		.127	.291	.583	.041	.669	.494	.766
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
pH	Correlación de Pearson	-.794**	-.076	.278	.671*	.465	1	.010	-.809**	-.765**	.469	.385	.211
	Sig. (bilateral)	.002	.814	.381	.017	.127		.976	.001	.004	.146	.242	.534
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
K25	Correlación de Pearson	-.194	.160	-.239	-.133	-.333	.010	1	-.073	.203	-.124	-.453	.449
	Sig. (bilateral)	.545	.620	.455	.681	.291	.976		.823	.527	.717	.162	.166
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
PSR	Correlación de Pearson	.619*	.219	-.230	-.400	-.177	-.809**	-.073	1	.652*	-.829**	-.697*	-.393
	Sig. (bilateral)	.032	.494	.472	.197	.583	.001	.823		.022	.002	.017	.232
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
NID	Correlación de Pearson	.740**	.545	-.537	-.697*	-.595*	-.765**	.203	.652*	1	-.235	-.587	.461
	Sig. (bilateral)	.006	.067	.072	.012	.041	.004	.527	.022		.486	.058	.154
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FPB	Correlación de Pearson	-.265	-.205	.191	-.031	-.146	.469	-.124	-.829**	-.235	1	.777**	.597*
	Sig. (bilateral)	.432	.544	.573	.928	.669	.146	.717	.002	.486		.003	.041
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
PPN	Correlación de Pearson	.156	-.375	.190	-.191	-.231	.385	-.453	-.697*	-.587	.777**	1	-.041
	Sig. (bilateral)	.647	.256	.576	.573	.494	.242	.162	.017	.058	.003		.899
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
R	Correlación de Pearson	-.666*	.192	.055	.238	.102	.211	.449	-.393	.461	.597*	-.041	1
	Sig. (bilateral)	.025	.572	.873	.480	.766	.534	.166	.232	.154	.041	.899	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12

		Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	PSR	NID	FPB	PPN	R
Z	Correlación de Pearson	1	.457	-.229	-.160	-.057	-.008	-.237	-.088	-.042	.413	.301	.200
	Sig. (bilateral)		.136	.475	.619	.860	.980	.457	.785	.897	.207	.368	.555
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ZDS	Correlación de Pearson	.457	1	-.821**	-.113	-.342	.271	.210	-.108	.569	.411	-.088	.650*
	Sig. (bilateral)	.136		.001	.725	.276	.394	.513	.739	.054	.210	.796	.030
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
T	Correlación de Pearson	-.229	-.821**	1	.214	.375	-.123	-.094	.087	-.393	-.241	.114	-.450
	Sig. (bilateral)	.475	.001		.504	.229	.704	.771	.787	.206	.474	.738	.164
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
OD	Correlación de Pearson	-.160	-.113	.214	1	.822**	.357	.399	-.079	-.073	-.563	-.208	-.514
	Sig. (bilateral)	.619	.725	.504		.001	.254	.199	.808	.821	.071	.539	.106
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
ODP	Correlación de Pearson	-.057	-.342	.375	.822**	1	.080	.024	.092	-.316	-.655*	-.087	-.770**
	Sig. (bilateral)	.860	.276	.229	.001		.805	.940	.777	.317	.029	.799	.006
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
pH	Correlación de Pearson	-.008	.271	-.123	.357	.080	1	.541	-.110	.292	-.005	-.090	.110
	Sig. (bilateral)	.980	.394	.704	.254	.805		.070	.734	.356	.988	.792	.748
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
K25	Correlación de Pearson	-.237	.210	-.094	.399	.024	.541	1	-.067	.206	.226	.253	.008
	Sig. (bilateral)	.457	.513	.771	.199	.940	.070		.836	.521	.505	.454	.981
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
PSR	Correlación de Pearson	-.088	-.108	.087	-.079	.092	-.110	-.067	1	.312	-.403	-.417	-.015
	Sig. (bilateral)	.785	.739	.787	.808	.777	.734	.836		.324	.220	.202	.965
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
NID	Correlación de Pearson	-.042	.569	-.393	-.073	-.316	.292	.206	.312	1	.250	-.270	.667*
	Sig. (bilateral)	.897	.054	.206	.821	.317	.356	.521	.324		.459	.421	.025
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
FPB	Correlación de Pearson	.413	.411	-.241	-.563	-.655*	-.005	.226	-.403	.250	1	.688*	.540
	Sig. (bilateral)	.207	.210	.474	.071	.029	.988	.505	.220	.459		.013	.070
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
PPN	Correlación de Pearson	.301	-.088	.114	-.208	-.087	-.090	.253	-.417	-.270	.688*	1	-.239
	Sig. (bilateral)	.368	.796	.738	.539	.799	.792	.454	.202	.421	.013		.455
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
R	Correlación de Pearson	.200	.650*	-.450	-.514	-.770**	.110	.008	-.015	.667*	.540	-.239	1
	Sig. (bilateral)	.555	.030	.164	.106	.006	.748	.981	.965	.025	.070	.455	
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12

		Z	ZDS	T	OD	ODP	pH	K25	PSR	NID	FPB	PPN	R
Z	Correlación de Pearson	1	-.013	-.050	-.417	-.221	-.104	-.364	.197	.004	.337	.432	.105
	Sig. (bilateral)		.968	.878	.177	.489	.748	.245	.539	.990	.341	.213	.772
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
ZDS	Correlación de Pearson	-.013	1	.884**	.507	.788**	.080	.012	-.026	-.165	.026	.330	-.379
	Sig. (bilateral)	.968		.000	.092	.002	.805	.971	.936	.608	.943	.351	.280
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
T	Correlación de Pearson	-.050	.884**	1	.533	.780**	-.021	.002	-.113	-.022	.111	.362	-.282
	Sig. (bilateral)	.878	.000		.074	.003	.948	.996	.727	.947	.761	.304	.430
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
OD	Correlación de Pearson	-.417	.507	.533	1	.851**	.346	.261	-.131	-.127	.022	.036	-.082
	Sig. (bilateral)	.177	.092	.074		.000	.271	.412	.685	.693	.951	.920	.822
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
ODP	Correlación de Pearson	-.221	.788**	.780**	.851**	1	.330	.110	.118	-.135	.011	.268	-.350
	Sig. (bilateral)	.489	.002	.003	.000		.295	.734	.714	.676	.977	.455	.321
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
pH	Correlación de Pearson	-.104	.080	-.021	.346	.330	1	.412	.265	.134	-.024	.290	-.348
	Sig. (bilateral)	.748	.805	.948	.271	.295		.183	.406	.678	.948	.416	.325
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
K25	Correlación de Pearson	-.364	.012	.002	.261	.110	.412	1	.059	.126	-.385	-.066	-.507
	Sig. (bilateral)	.245	.971	.996	.412	.734	.183		.854	.695	.271	.856	.135
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
PSR	Correlación de Pearson	.197	-.026	-.113	-.131	.118	.265	.059	1	.328	-.250	.046	-.440
	Sig. (bilateral)	.539	.936	.727	.685	.714	.406	.854		.298	.486	.900	.203
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
NID	Correlación de Pearson	.004	-.165	-.022	-.127	-.135	.134	.126	.328	1	.446	.331	.367
	Sig. (bilateral)	.990	.608	.947	.693	.676	.678	.695	.298		.197	.350	.297
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	10	10
FPB	Correlación de Pearson	.337	.026	.111	.022	.011	-.024	-.385	-.250	.446	1	.762**	.767**
	Sig. (bilateral)	.341	.943	.761	.951	.977	.948	.271	.486	.197		.006	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
PPN	Correlación de Pearson	.432	.330	.362	.036	.268	.290	-.066	.046	.331	.762**	1	.173
	Sig. (bilateral)	.213	.351	.304	.920	.455	.416	.856	.900	.350	.006		.610
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
R	Correlación de Pearson	.105	-.379	-.282	-.082	-.350	-.348	-.507	-.440	.367	.767**	.173	1
	Sig. (bilateral)	.772	.280	.430	.822	.321	.325	.135	.203	.297	.006	.610	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11

Correlaciones de la estación 6.