



Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México

Javier Alcocer

EDITOR



Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México

Javier Alcocer

EDITOR

Javier Alcocer, María Aurora Armienta, Rocío Fernández, María de Lourdes López-Camacho, Alfonso Lugo, María Guadalupe Oliva, Luis Alberto Oseguera, Laura Peralta, María del Rosario Sánchez y Gloria Vilaclara



F E S I

Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombres: Alcocer Durand, Javier, editor, autor. | Armienta Hernández, María Aurora, autor. | Fernández, Rocío, autor. | López-Camacho, María de Lourdes, autor. | Lugo Vázquez, Alfonso, autor. | Oliva Martínez, María Guadalupe, autor. | Oseguera Pérez, Luis Alberto, autor. | Peralta Soriano, Laura, autor. | Sánchez Rodríguez, María del Rosario, autor. | Vilaclara Fatjo, Gloria, autor.

Título: Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México / Javier Alcocer, editor; Javier Alcocer, María Aurora Armienta, Rocío Fernández, María de Lourdes López-Camacho, Alfonso Lugo, María Guadalupe Oliva, Luis Alberto Oseguera, Laura Peralta, María del Rosario Sánchez y Gloria Vilaclara

Descripción: Primera edición. | México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, 2023

Identificadores: LIBRUNAM 2220854 (libro electrónico) | ISBN 9786073081962 (libro electrónico) (pdf).

Temas: Hidrología -- Investigación -- Ciudad de México -- Chapultepec. | Lagos -- Ciudad de México -- Chapultepec. | Chapultepec (Ciudad de México, México) -- Hidrología.

Clasificación: LCC GB658.8.M49 (libro electrónico) | DDC 551.48072072—dc23

Forma correcta de citar:

Alcocer, J. (Ed.). (2023). Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, FES Iztacala, UNAM. México.

Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México

Primera edición: Octubre de 2023

Editor: Javier Alcocer

D.R. 2023 © Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán,

C.P. 04510, Ciudad de México, México.

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Av. de los Barrios No. 1, Los Reyes Iztacala,

Tlalnepantla de Baz, CP 54090, Estado de México, México.

www.iztacala.unam.mx

ISBN: 978-607-30-8196-2

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Apoyo técnico y diseño: Mariana Vargas Sánchez

Revisión y cuidado de la edición: Carlos Galindo Leal

Hecho en México

ISBN 978-607-30-8196-2





Extracto del códice Boturini mostrando el cerro de Chapultepec y sus manantiales (Biblioteca Nacional de Antropología e Historia, Dr. Eusebio Dávalos Hurtado).

Índice de autores

Javier Alcocer Durand

FES Iztacala, UNAM

jalcocer@unam.mx

María Aurora Armienta Hernández

Instituto de Geofísica, UNAM

victoria@geofisica.unam.mx

Rocío Fernández

FES Iztacala, UNAM

biol.fernandez@gmail.com

María de Lourdes López-Camacho

Museo Nacional de Historia, Instituto
Nacional de Antropología e Historia

lourdes_lopez@inah.gob.mx

Alfonso Lugo Vázquez

FES Iztacala, UNAM

lugov@unam.mx

María Guadalupe Oliva Martínez

FES Iztacala, UNAM

oliva@unam.mx

Luis Alberto Oseguera Pérez

FES Iztacala, UNAM

loseguera@unam.mx

Laura Peralta Soriano

FES Iztacala, UNAM

sorial@unam.mx

María del Rosario Sánchez Rodríguez

FES Iztacala, UNAM

rosarios@unam.mx

Gloria Vilaclara Fatjo

FES Iztacala, UNAM

vilaclara.gloria@iztacala.unam.mx

Contenido

Prólogo.....	8
1. Introducción.....	12
2. Marco histórico del Bosque de Chapultepec y sus lagos.....	16
2.a. Lago del Cuaternario.....	17
2.b. Lago al pie de la zona de petrograbados (Estanque de Los Patos).....	18
2.c. Los Lagos Mayor y Menor de la 1ª Sección y el contenedor virreinal.....	23
2.d. Lago al sur-poniente del Cerro de Chapultepec.....	27
2.e. Los lagos de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec.....	28
3. Los Lagos de Chapultepec.....	32
3.a. Ubicación.....	32
3.b. Forma y dimensiones.....	36
3.c. Fuente de abastecimiento.....	40
4. Condiciones fisicoquímicas del agua.....	48
5. Biota acuática.....	54
5.a. Fitoplancton.....	54
5.b. Zooplancton.....	59
-Ciliados.....	59
-Rotíferos.....	64
-Cladóceros.....	67
-Copépodos.....	67
5.c. Los organismos del fondo: sedimentos y bentos.....	70
5.d. Necton: peces y ajolotes.....	74
5.e. Los “Cuatro Fantásticos”.....	78
- Acocil (<i>Cambarellus montezumae</i>).....	78
- Charal (<i>Chirostoma jordani</i>).....	79
- Mexclapique (<i>Girardinichthys viviparus</i>).....	79
- Ajolote (<i>Ambystoma mexicanum</i>).....	79
6. Calidad del agua.....	84
7. Contaminación.....	92
8. Medida de restauración.....	106
9. Percepción social.....	114
10. Conclusiones.....	120
11. Financiamiento y agradecimientos.....	124
12. Bibliografía.....	125

Prólogo

Dr. Carlos Galindo Leal

CONABIO

El Bosque de Chapultepec vive en el corazón de los mexicanos. Desde tiempos remotos muchos hemos disfrutado de este inspirador espacio otrora a la orilla occidental de los antiguos lagos de la Cuenca del Valle de México. En medio de una de las grandes urbes del planeta, el Bosque de Chapultepec nos ofrece un breve contacto con la naturaleza a millones de personas.

Los lagos -rodeados de ahuehuetes, fresnos, jacarandas y truenos- desde siempre han sido de gran atractivo para los paseantes. Al pasear por sus orillas podemos disfrutar de patos y gansos, garzas, gallinetas, gallaretas, uno que otro zambullidor y, si tenemos suerte, un elegante martín pescador norteño o hasta una majestuosa águila pescadora; varios paseantes se entretienen dando pan a los peces. A pesar del interés que despiertan, los lagos son, quizá, los espacios menos conocidos del Bosque.

No obstante, por debajo del espejo de agua vive un mundo muy distinto y poco conocido. El presente libro, que nos convida Javier Alcocer y una decena de sus colaboradores, nos invita a adentrarnos a este húmedo y desconocido cosmos. En primer lugar, el espejo verde nos impide ver el mundo subacuático. Este color es el resultado de un fenómeno microscópico: el agua que llega a los lagos está plenamente cargada con fertilizantes

(nitrógeno y fósforo) que proporcionan un banquete de fiesta para las microalgas: algas verdes, cianobacterias, diatomeas y criptomonas. Estos humildes organismos unicelulares atrapan la luz solar y la convierten en alimento, que será aprovechado por minúsculos depredadores de una sola célula (protozoos) y estos, a su vez, son devorados por pequeños rotíferos, pulgas de agua (cladóceros) y patas de remo (copépodos). Toda esta liliputiense, pero compleja, red de transferencia de materia y energía descrita en el presente libro, incluye docenas de actores dignos de una serie de ciencia ficción.

En el fondo de los lagos, algunos de cemento y otros de tierra, donde se han ido acumulando sedimentos, vive otra comunidad, otro código postal: larvas de mosquitos enanos y de mosquitos fantasmas, gusanos rojos, sanguijuelas y barqueritos que suben a la superficie para atrapar burbujas de aire y luego bajar nuevamente al fondo. De este ensamble singular y de los aún más pequeños devoradores, se alimentan los “Cuatro Fantásticos”: el acocil de Moctezuma, el mexclapique de la Cuenca de México, el charal del Lerma y el más popular de todos, el magnífico ajolote mexicano.

Estos maravillosos animales, endémicos del centro de México, son pequeños superhéroes, que

han sobrevivido en los Lagos de Chapultepec a pesar de sus extensas modificaciones. Los peces y el ajolote fueron posiblemente introducidos de otros lagos cercanos en el siglo XX; pero el perseverante acocil fue descrito para la ciencia precisamente de “pozas” de Chapultepec en 1858, tras colectarlos el naturalista suizo Henri Louis de Saussure en una breve visita a México.

El acocil y los pequeños peces se alimentan de materia orgánica, larvas de moscos, de libélulas, pulgas de agua y hasta de pequeñas algas. El acocil puede depredar ajolotes chicos, pero cuando estos crecen, se invierten los papeles. El ajolote, de hasta 30 cm de largo, también es omnívoro, su dieta y sus relaciones se refinan con la madurez. De pequeño se alimenta de organismos y larvas de insectos, cuando más grande es voraz depredador de acociles y pequeños peces.

También en los Lagos de Chapultepec se introdujeron la tilapia del Nilo y la carpa euroasiática. Ambas especies son consideradas invasoras en muchas partes del mundo. La tilapia es herbívora con tendencias carnívoras; si bien su alimento preferencial es verde, no desprecia un poco de proteína de pequeños anfibios y peces. Por su parte la carpa, también omnívora, se entretiene escarbando en busca de las presas que se esconden en el sedimento. Ambas especies sobrepasan de la liga de tamaño de las anteriores, alcanzando la tilapia hasta 60 cm y la carpa hasta más de un metro. Su principal impacto en los lagos se debe a que no practican la planeación familiar (pues se reproducen desmesuradamente).

Como consecuencia de la elevada productividad de estos lagos -a los que, como se mencionó, el agua llega cargada con exceso de fertilizantes- hay

una explosión demográfica de microorganismos verdes fotosintetizadores, lo que resulta periódicamente en una sobrepoblación de peces exóticos y en su mortandad catastrófica. Cada vez que esto sucede, los visitantes se alarman ante el dramático espectáculo, sin darse cuenta de que también contribuyen al problema al alimentar a los peces con pan.

Imaginemos por un momento un escenario distinto. Los Lagos de Chapultepec podrían convertirse en hogar seguro y guardería de ajolotes mexicanos, mexclapiques, charales y acociles, una vez que los peces exóticos sean removidos. La reintroducción de plantas nativas acuáticas -como ninfas con hojas flotantes y hermosas flores blancas y amarillas, papas de agua y berros, y en las orillas tules, juncos y zacates de laguna- mejoraría la calidad del agua y los organismos reintroducidos proporcionarían refugio para éstas y otras especies, como las aves acuáticas. La sombra de ahuehuetes, ahuejotes y fresnos mantendría estable la temperatura del agua y proporcionaría diversos hábitats para todos los habitantes lacustres y terrestres.

Los Cuatro Fantásticos fueron parte importante de la alimentación de los antiguos pueblos lacustres y, con excepción del ajolote por estar ahora protegido por las leyes, aún lo siguen siendo. Las plantas acuáticas también fueron utilizadas como alimento, remedio medicinal y fibra para la construcción de petates, canastas y sombreros. Varias de estas especies animales y vegetales han perdido su hábitat debido a la desecación del sistema de lagos de la cuenca de México. Los Lagos de Chapultepec podrían convertirse en lagos de conservación y educación del patrimonio

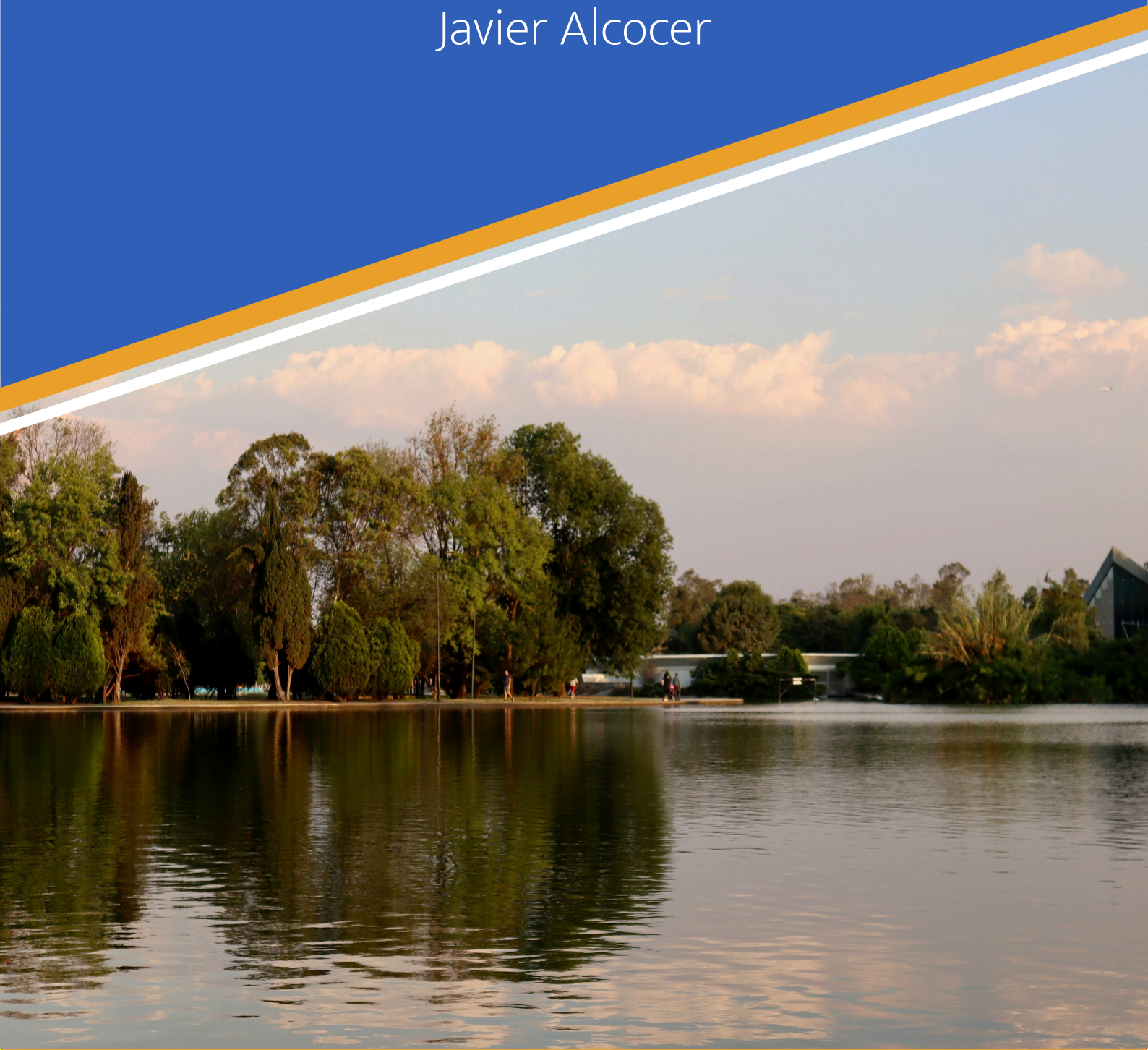
biocultural de México, y en guarderías y viveros para la repoblación de estas importantes especies hacia otros humedales. Dicho escenario es posible gracias al detallado conocimiento reunido en esta oportuna publicación.

Sería indispensable que una iniciativa de rehabilitación de los Lagos de Chapultepec fuera acompañada de un programa de investigación y monitoreo guiado por especialistas como los que participan en el presente libro, que han contribuido desde hace casi 40 años a reunir el conocimiento de este ambiente tan familiar pero, a su vez, tan poco conocido.

Capítulo 1

Introducción

Javier Alcocer



1. Introducción

Javier Alcocer

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

El Bosque de Chapultepec y sus lagos constituyen un sitio con larga trascendencia histórica, cultural y recreativa para la capital del país. Esta zona boscosa se asienta alrededor de la base del cerro volcánico nombrado así por los mexicas en la etapa final de su migración en el siglo XIII, antes de fundar Tenochtitlán. La palabra Chapultepec proviene del náhuatl “chapulli” que significa saltamontes y “tepe” (tl) cerro es decir, “cerro del chapulín”.

Sus enormes ahuehuetes, sus reservorios y los ahora extintos manantiales, han sido testigos de sucesos importantes en la historia de México desde tiempos prehispánicos y hasta la actualidad. Ubicado en un sitio privilegiado, el Bosque de Chapultepec, con su densa zona arbolada y abundantes recursos acuáticos, es una joya y, al mismo tiempo, un patrimonio que debe ser conservado para el gozo de las futuras generaciones de mexicanos.

En las zonas conurbadas del mundo se prevé que la población se duplicará en los próximos 40 años, por lo que es fundamental apoyar el desarrollo de parques y espacios abiertos para lograr ciudades y comunidades saludables. El Bosque de Chapultepec, con sus lagos, se constituye en remanso de paz dentro de una inquieta y bulliciosa metrópoli de concreto, ávida

de la frescura de la naturaleza. A tal grado esto es así, que el Bosque de Chapultepec ganó la medalla de oro en el “International Large Urban Parks Award 2019” por ser el Mejor Parque Urbano del Mundo con base en su diseño, servicios e infraestructura, la protección, compromiso y participación comunitaria, así como por el manejo del parque y su mantenimiento.

Sin lugar a duda, los Lagos de Chapultepec son un destino que todo habitante de la capital y zona conurbada conoce, probablemente desde que siendo todavía niño, en algún momento se escapó de la escuela para “irse de pinta” y, trepado en una de las lanchas, disfrutó de inolvidables momentos de diversión con sus amigos.

Para otros, los Lagos de Chapultepec son sitios tradicionales de convivencia familiar y diversión de fin de semana. Ya sea caminando, corriendo, pedaleando una bicicleta, en patines, o simplemente paseando a la mascota, cada fin de semana una bulliciosa multitud de ciudadanos se congregan alrededor de los lagos. Por todo lo anterior, el Bosque y los Lagos de Chapultepec forman parte de los recuerdos entrañables de todo capitalino.

Los Lagos de Chapultepec cumplen una función eminentemente recreativa; sin embargo, al mismo tiempo se manifiestan como dignos

representantes de nuestra otrora rica historia lacustre prehispánica. Muy pocos sitios quedan ya en la cuenca de México que recuerden su pasado lacustre; pero en los Lagos de Chapultepec aún habitan los típicos representantes de los lagos antiguos de la cuenca de México. Entre éstos se cuentan los acociles o camaroncitos, los charales, los mexclapiques y los famosos ajolotes mexicanos. Algunas de las especies mencionadas se encuentran en peligro de extinción, por lo que los Lagos de Chapultepec elevan su importancia como reservorio o refugio de estas especies, íconos de la fauna lacustre mexicana.

A pesar de lo anterior, los lagos muestran signos evidentes de deterioro, situación reconocida y expresada por los numerosos visitantes, quienes los interpretan como que están “sucios”, “contaminados” o que les “falta mantenimiento”, entre otras descalificaciones.

Sin embargo, a pesar de ser un sitio tan apreciado y visitado por numerosos transeúntes, los Lagos de Chapultepec son prácticamente desconocidos para los usuarios y, en gran medida, aun para las mismas autoridades del Bosque de Chapultepec. Existe una multitud de preguntas y cuestionamientos alrededor de éstos, que buscan urgentemente respuestas.

El presente libro justamente persigue despejar todas estas dudas y cuestionamientos acerca de los Lagos de Chapultepec. La información que se presenta a continuación está fundamentada en estudios científicos responsables y cuidadosamente elaborados. Numerosos académicos y estudiantes colaboraron en la generación de la información aquí incluida y presentada. El libro pretende mostrar al lector, en forma accesible y amena,

muchas de las preguntas que se han hecho sobre los Lagos de Chapultepec y que, hasta ahora es que logran obtener respuestas claras.

Capítulo 2

Marco histórico del Bosque de Chapultepec y sus lagos

Mtra. María de Lourdes López Camacho



2. Marco histórico del Bosque de Chapultepec y sus lagos

Mtra. María de Lourdes López Camacho

MUSEO NACIONAL DE HISTORIA

Este capítulo surge a partir de la pregunta ¿cómo eran los Lagos de Chapultepec en el pasado? La respuesta a esta pregunta es complicada ya que el entorno del Bosque de Chapultepec ha cambiado a través del tiempo, lo mismo que sus cuerpos de agua. Cabe mencionar que dicho Bosque no siempre tuvo la extensión que hoy conocemos; en un primer momento sólo era el cerro y sus

manantiales. A partir de 1890 a 1910, se realizó la compra de los terrenos que integran la 1ª sección. En los años de 1958 a 1964 se adquieren los predios para la 2ª sección, y en la década de 1970 se conformó la 3ª sección. Desde el año 2020 se está configurando la 4ª sección del Bosque.

La parte más antigua del Bosque, la población la identifica como Cerro de Chapultepec, un

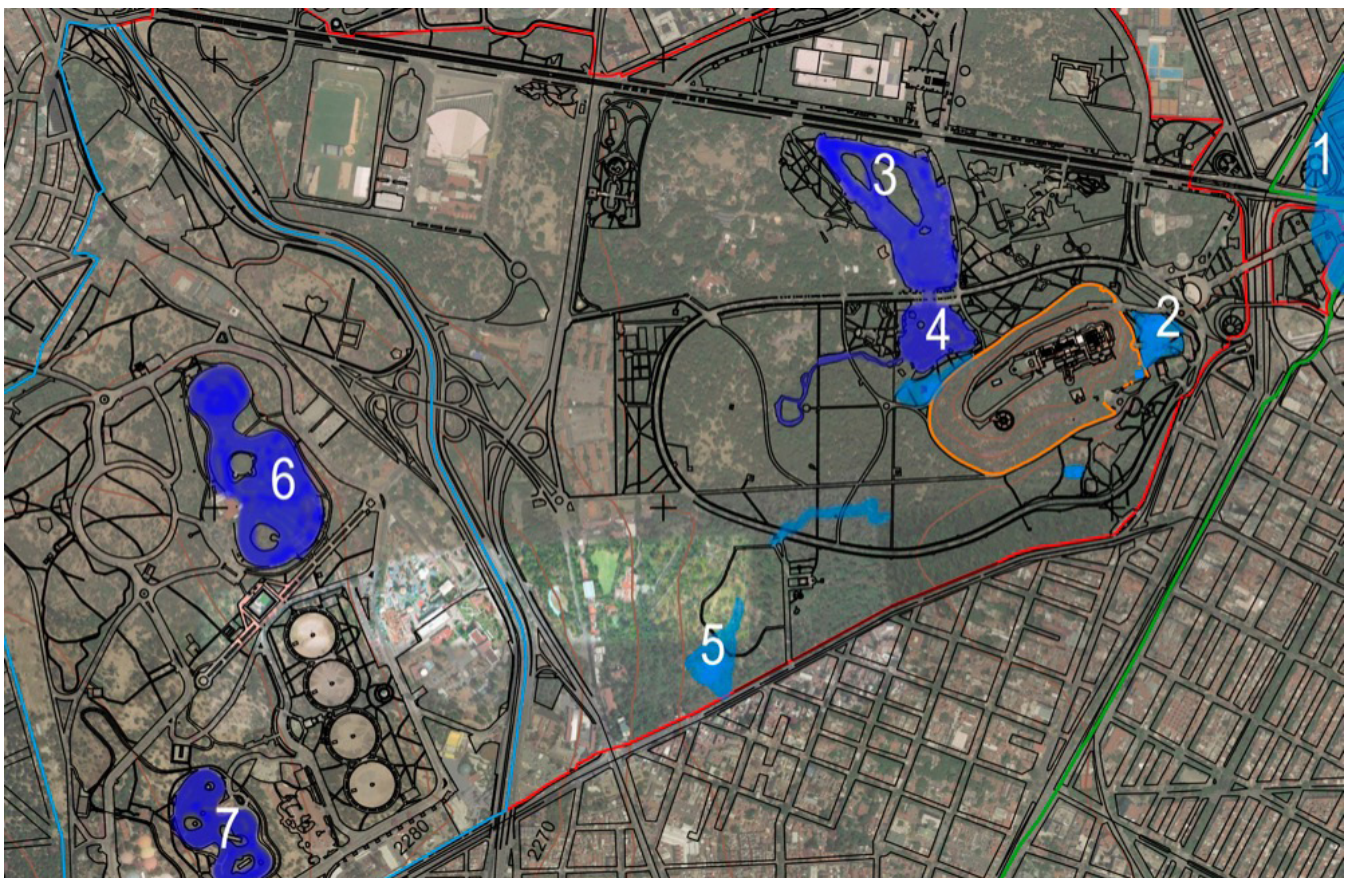


Figura 1. Cuerpos acuáticos en los alrededores del Cerro de Chapultepec: 1. Orilla del lago prehistórico, 2. Lago al pie de zona de petrograbados o “Estanque de Los Patos”, 3. Lago Mayor de la 1ª Sección, 4. Lago Menor de la 1ª Sección y contenedor virreinal, 5. Lago al sur-poniente del Cerro de Chapultepec, 6. Lago Mayor de la 2ª Sección, y 7. Lago Menor de la 2ª Sección (elaborado María de Lourdes López Camacho).

volcán del Periodo Mioceno, que se originó hace 23 millones de años que terminó de formarse hace aproximadamente 5 millones de años, junto con los primeros volcanes de la Cuenca de México [1]: el Peñón de los Baños (Tepetzingo), Zacatépetl y Tlapacoya, antes de que ésta fuera cerrada por el sur por la Formación Chichinautzin, hace cerca de 700,000 años, en el Periodo del Cuaternario [2]. Esta formación dio como resultado una cuenca endorreica, esto es, que al no tener salida al mar, se formaron una serie de lagos (complejo lacustre), entre ellos Texcoco, quedando el Cerro de Chapultepec en la orilla oriental de uno de ellos, conocido como Lago de México. El volcán de Chapultepec presenta fallas que lo atraviesan por lo que, desde tiempos muy tempranos, de entre estas fisuras brotaba el agua, dando pie a la formación de diversos manantiales y acumulaciones de agua que dieron origen a una serie de lagos (Figura 1) que se describen a continuación:

2.a. Lago del Cuaternario

En los primeros tiempos la orilla occidental del complejo lacustre, correspondiente al Lago de México, estuvo entre lo que es hoy el Cerro de Chapultepec y la vialidad del Circuito Interior. Los datos del rescate arqueológico de 2014 mostraron las orillas de un lago prehistórico y restos de megafauna [3]. Aproximadamente a finales del Cuaternario, la orilla occidental del complejo lacustre estaba ubicada en dirección noreste del Cerro de Chapultepec, sus playas debieron estar aproximadamente a 2,228 m s.n.m, dado que en este punto se localizaron restos de mamuts y otros animales prehistóricos. Pensar en

la megafauna prehistórica transitando al pie del Cerro de Chapultepec hace volar la imaginación, pero también evidencia que se trataba de las orillas del lago o partes someras, terrenos cenagosos propicios para que dichos animales pudieran quedar atrapados. Los huesos aún se podían apreciar en el año de 2014 (Figuras 2 y 3) como parte de la estructura de cimentación de la barda que delimita el Circuito Interior.

La ocupación humana en la Cuenca de México está documentada desde el periodo Preclásico, que inicia aproximadamente hace 2,300 a.C. Es lógico suponer que el Cerro de Chapultepec, al ser un lugar con manantiales, haya presentado ocupaciones humanas muy tempranas que aprovecharon el vital líquido. En el Bosque de Chapultepec se han detectado materiales del Preclásico (2300 a 200 a.C.) y asentamientos del Clásico (200 a 900 d.C.) y Postclásico (900 a 1521 d.C.).

Para mediados del siglo XVI, el Cerro de Chapultepec lucía como una elevación rocosa rodeada de vegetación arbórea, ahuehuetes y sabinos, pero sólo al pie del cerro, específicamente donde nacían y corrían sus manantiales. Éstos fueron aprovechados por distintos grupos prehispánicos. Un claro ejemplo es la construcción del acueducto a mediados del siglo XV, en tiempos del tlatoani Moctezuma Ilhuicamina I (el Viejo) y Nezahualcóyotl (tlatoani de Texcoco), que llevaba agua por gravedad a la Ciudad de Tenochtitlan. Esta estructura hidráulica se edificó, siguiendo la orilla del lago, sobre tierra firme.



Figura 2. Defensa de mamut y capa de ceniza de color blanco (Fotografía María de Lourdes López Camacho, agosto 2014).



Figura 3. Los huesos incrustados en los cimientos de la barda que delimita el Circuito Interior (Fotografía María de Lourdes López Camacho, agosto 2014).

2.b. Lago al pie de la zona de petrograbados (Estanque de Los Patos)

Si se considera como punto cero el Alcázar del Castillo de Chapultepec, en dirección este se localizó, por medio de excavaciones, un lago. Aún en el paisaje se aprecia la hondonada, posiblemente por el efecto de la explosión de alguna chimenea del volcán. Esta zona se ubica frente a la talla de Moctezuma II (Figura 4), donde existe una falla que sigue el relieve del cuerpo de una mega serpiente

labrada en la roca con su cabeza ubicada al lado del petrograbado del tlatoani; a sus pies está una pequeña poza que seguramente se llenaba con las aguas que brotaban de dicha fractura y seguían su curso hacia abajo dando origen a este lago que se ubica aproximadamente cuatro metros abajo.

En algunos documentos como el Códice Durán (Figura 5), se evidencia que los escultores tenían los pies en el agua. Es de suponer que el líquido tenía una salida cercana a este punto, que se ubica a 2,244 m s.n.m. De acuerdo con los datos hasta



Figura 4. Zona de Petrograbados (Fotografía María de Lourdes López Camacho, agosto 2014).



Figura 5. Chapultepec, Códice Durán, lámina 9, capítulo XXXI (Fotografía María de Lourdes López Camacho, 2019).

ahora acumulados, el nivel del lago era fluctuante, ubicando el más alto a 2,240 y el más bajo a 2,238 m s.n.m., para el siglo XVI. Estas medidas están referidas al lago que se ubicaba frente a los petrograbados dado que contaba con la estructura del acueducto que formaba un parteaguas que dividía las aguas en dirección sur [4].

Con el fin de visualizar el entorno de Chapultepec en el siglo XVI, se muestra un detalle del plano de

Alonso de Santa Cruz publicado por Linné (Figura 6), donde se puede observar en la parte alta del cerro la capilla a San Miguel Arcángel, más abajo un molino, el palacio de Moctezuma y diferentes tipos de aves acuáticas de patas y picos largos, que muestran el ecosistema acuático que imperaba en la época.

Los manantiales del Cerro de Chapultepec suministraban el vital líquido a la ciudad de

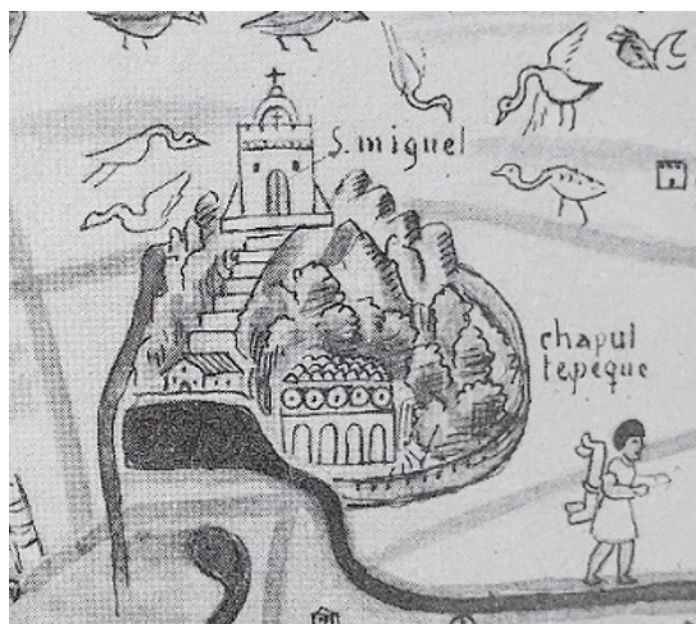


Figura 6. Detalle del mapa II de Alonso de Santa Cruz mostrando al Cerro de Chapultepec (Linné 1948).

Tenochtitlan a través de un par de canaletas [5]. Con la llegada de los españoles, esta estructura fue dañada durante el sitio a la capital mexicana. El capitán Hernán Cortés, como buen estratega militar, cortó la fuente de suministro de agua a Tenochtitlan, como evidencia el siguiente relato: “entré con Pedro de Alvarado de los primeros en poner cerco a la ciudad de México, y les quebramos el agua de Chapultepec [...] conquistada la ciudad Cortés mando reparar los caños de agua de Chapultepec”[6].

Tal era la importancia del Cerro de Chapultepec como proveedor de agua, que Hernán Cortés quiso apropiárselo junto con sus manantiales. No obstante, el rey Carlos I de España y V de Alemania, por Real Cédula del 30 de junio de 1530, proclamó al Cerro y el Bosque como propiedad de la Ciudad de México [7].

A inicios del siglo XVII, el entorno seguía cambiando tal y como se aprecia en el plano

de Juan Trasmonte de 1628 (Figura 7). En ese entonces, la capital de la Nueva España llegaba a los límites de la Alameda, donde se observan el acueducto y las acequias.

La estructura prehispánica fue sustituida por una arquería de tipo europea y contó, en un primer momento, con 900 arcos. En el virreinato el acueducto iniciaba en la caja de agua al pie de la elevación de Chapultepec y seguía el trazo de La Verónica- Calzada de Tacuba- San Cosme- la Alameda- Caja de La Mariscalá. Con el tiempo y crecimiento de la ciudad, se anexó el agua de los manantiales de Santa Fe, motivo por lo que se construyeron otros 108 arcos, dando una total de 1,008. Esta primera arcada se puede observar en el plano de 1628, donde se puede leer la frase: Agua de San Francisco 900 arcos. Del mismo modo, se advierte que el entorno de Chapultepec se deseca como resultado de que el equilibrio de las acequias, caminos de agua y lagos que



Figura 7. Plano, forma y levantado de la Ciudad de México de Juan de Trasmonte, 1628 (Acervo del Museo Nacional de Historia).



Figura 8. Los arcos del acueducto al norte del Cerro de Chapultepec (Fotografía María de Lourdes López Camacho, 2020).

recorrían la capital mexicana se alteró con la llegada de los europeos, quienes trajeron otra visión de cómo construir y distribuir los asentamientos, centros religiosos, la forma de cultivar y criar ganado, entre otros aspectos. Por lo que, la urbe virreinal sufrió graves inundaciones, ello motivó la idea de sacar el agua de la ciudad con diferentes proyectos de desagüe, argumentando que se evitarían inundaciones y se ganarían tierras de cultivo; sin embargo, la desecación y la alcalinidad de los suelos propiciaron otras realidades como fueron los suelos estériles, tolveneras y hundimientos. Hoy en día sobrevive, en la parte norte de la elevación de Chapultepec (Figura 8), una porción de la arquería que venía del Molino del Rey, trayendo agua de Santa Fe.

Con el tiempo, sobre una canaleta que corría en lo que hoy es la Avenida Chapultepec, se

levantó una arquería a finales del virreinato; ésta iniciaba en la caja de agua de Chapultepec, continuaba hacia la fuente del mismo nombre (hoy ubicada frente a una de las salidas del metro Chapultepec) que, dicho de paso, es la única fuente que formó parte de un acueducto y que sobrevive actualmente en la Ciudad de México [8]. Esta arquería continuaba hasta la fuente de Salto del Agua (hoy en su lugar existe una réplica que porta las lápidas conmemorativas originales; sin embargo, la fontana original descansa en el jardín del Museo Nacional del Virreinato en Tepotzotlán, Estado de México). El acueducto de Chapultepec, también llamado Arcos de Belén, contó con 904 arcos.

En algunas litografías de la primera mitad del siglo XVII del Museo Nacional de Historia (Figura 9), se muestra la presencia de un cuerpo acuático

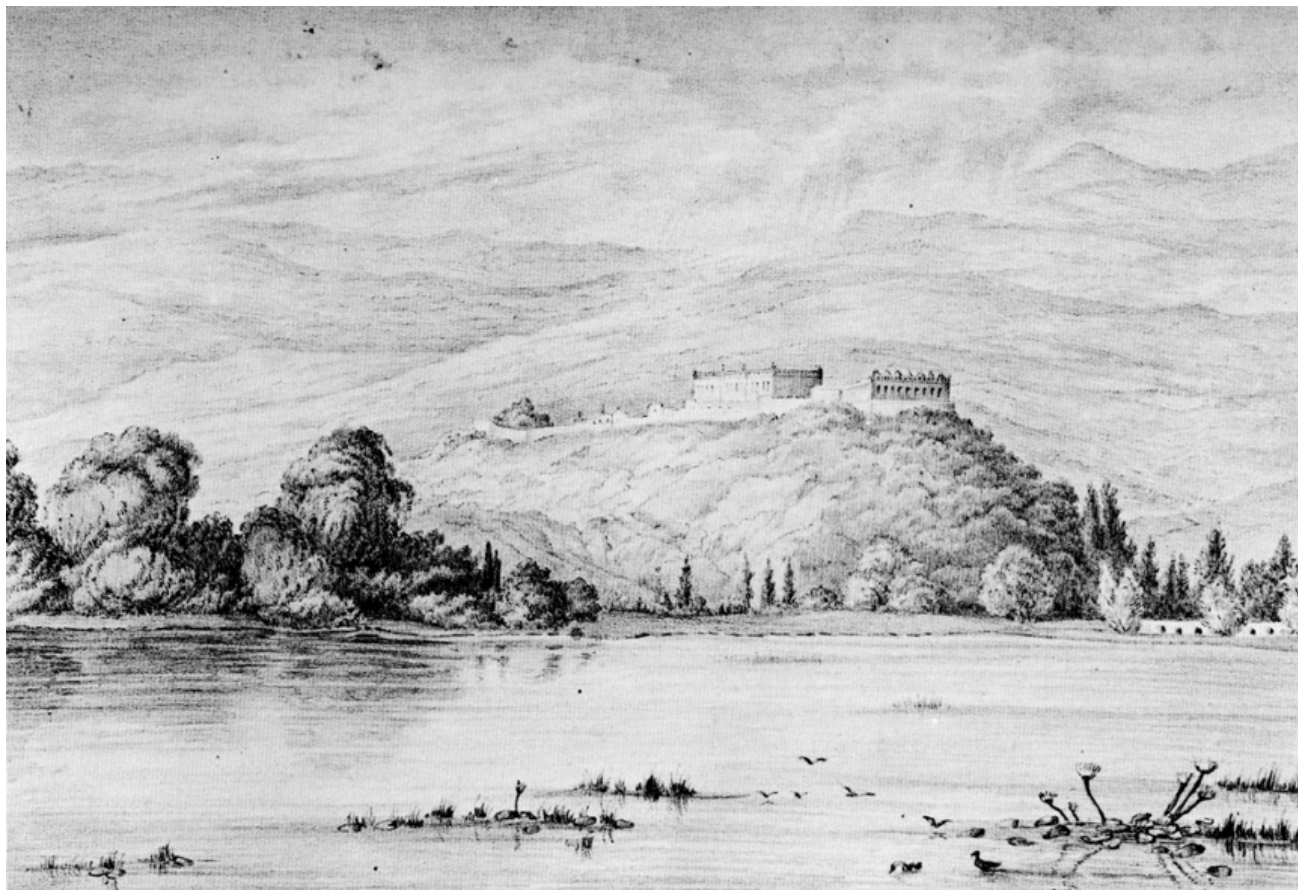


Figura 9. Litografía Chapultepec a finales del siglo XVII (Acervo del Museo Nacional de Historia).



Figura 10. El "Estanque de Los Patos" (Acervo del Museo Nacional de Historia).



Figura 11. El chorro de agua del "Estanque de Los Patos" detrás de la arcada (Detalle del plano Vista de pájaro de la Ciudad de México, 1890, Acervo del Museo Nacional de Historia).

que alcanza la base del Cerro de Chapultepec.

Ésta elevación fue utilizada como asiento de gobernantes en la época prehispánica y, a la llegada de los españoles, los virreyes tuvieron su casa de campo al pie de éste. Sin embargo, a causa de una explosión del molino de pólvora adjunto a

dicha casa, el virrey Matías de Gálvez y Gallardo inició en 1785 la construcción de un Real Palacio en la cumbre del Cerro de Chapultepec, obra que se vio truncada con la muerte de Gálvez y Gallardo en 1787. Con el tiempo, la edificación fue abandonada y utilizada con diversos fines. Es

hasta después de la Independencia, con el General Antonio López de Santa Ana, que se decide trasladar en 1842 el Colegio Militar al Alcázar de Chapultepec, donde estuvo hasta la invasión norteamericana y la heroica defensa por parte de los cadetes en 1847.

Por otro lado, cercano al monumento funerario a los Niños Héroes es donde a finales del siglo XIX, durante el periodo del General Porfirio Díaz, se construyó el “Estanque de Los Patos” (Figura 10) al que posteriormente se le colocó al centro, una fuente de chorro. La fuente se encontraba funcionando desde 1890 (Figura 11), el chorro de agua se observa tras la arquería, de acuerdo con litografías de la época.

Con la llegada de la Revolución mexicana, el espacio fue modificado y después olvidado. En

el área se colocó un estacionamiento, pero como esta zona tendía a inundarse, se adecuó como zona ajardinada colocando juegos y bancas (Figura 12).

2c. Los Lagos Mayor y Menor de la 1ª Sección y el contenedor virreinal

Entre los años de 1871 y 1872, el pintor José Luis Velasco plasma los ahuehuetes del Bosque de Chapultepec cerca de un cuerpo de agua. Las imágenes varían en su composición; algunas de estas pinturas se localizan hoy día en los acervos del Museo Nacional de Arte y del Museo Nacional de Historia. Para esas fechas se observa un lago natural cerca del Cerro de Chapultepec; es en esta zona en la que posteriormente se construyeron los lagos. En un detalle del Plano de la Ciudad de



Figura 12. Zona donde antiguamente estaba ubicado el “Estanque de Los Patos”. (Fotografía María de Lourdes López Camacho, 2022).



Figura 13. Chapultepec, detalle del Plano de la Ciudad de México levantado de orden del Ministerio de Fomento por sus Ingenieros, 1867, de autor desconocido (Fuente: MMOB, SAGARPA, varilla OYBDF02, clasificación, 831-OYB-725-A).

México de 1867 (Figura 13), la zona en cuestión presenta una acumulación de agua que se puede interpretar como un lago natural que debió inspirar la ubicación de los lagos artificiales de principios del siglo XX.

Con el General Porfirio Díaz se reestructuró y amplió el Bosque de Chapultepec, no sólo el Cerro, sino también lo que hoy se conoce como la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec. La Comisión encargada de embellecer el Castillo de Chapultepec solicitó a la empresa constructora de los edificios para la Exposición Nacional Mexicana del año 1896 “la venta de 160,00 varas cuadradas

de terreno que colindan con el Bosque para hacer en ellos parques, prados, jardines y fuentes y otras cosas que estén en armonía con lo que la Exposición establezca”[9].

En los terrenos adquiridos se sembraron diferentes variedades de árboles y plantas, se diseñaron plazas, fuentes y andadores con la idea de tener un parque público a la altura de Europa como el Parque del Retiro en Madrid, o el Jardín de las Tullerías en París, entre otros. Con el fin de volver al Bosque de Chapultepec un espacio digno para los festejos del Centenario de la Independencia, cuya planeación y realización

tomó varios años. El secretario de Hacienda y Crédito Público, el Lic. José Ives Limantour, fue el encargado de coordinar los trabajos en el Bosque de Chapultepec [10]. Entre dichos arreglos destacó la construcción de dos lagos artificiales, uno mayor y uno menor, que se conectaron entre sí (Figura 14).

En septiembre de 1901 había 80 trabajadores empleados para el arreglo del Bosque de Chapultepec, en el área del poniente, como se aprecia en la cita:

“El lecho del lago que se proyecta establecer por ese rumbo, está ya concluido y se ha dado principio á la apertura del canal, que lo comunicara con otro de menores

dimensiones [...] Aprovechando un bonito grupo de árboles, cercano a la ribera, se formó una isla de muy buen efecto, y un islote, en que se alza un frondoso sauz. El canal que comunicará a los dos lagos sigue haciéndose zigzag”[11].

Para marzo de 1902 se mencionaba que cada día concurría más gente al lago que se construyó primero, el menor (Figura 15); y posteriormente continuaron las excavaciones para la creación de un segundo. Estos trabajos dieron origen a los Lagos Mayor y Menor de la 1ª sección del Bosque de Chapultepec que, como se mencionó anteriormente, están interconectados.

Se tienen reportes de que las embarcaciones en



Figura 14. La excavación para construcción de los lagos artificiales de Chapultepec (Archivo Histórico Museo Nacional de Historia, Carpeta: Chapultepec y sus alrededores, s/f.).

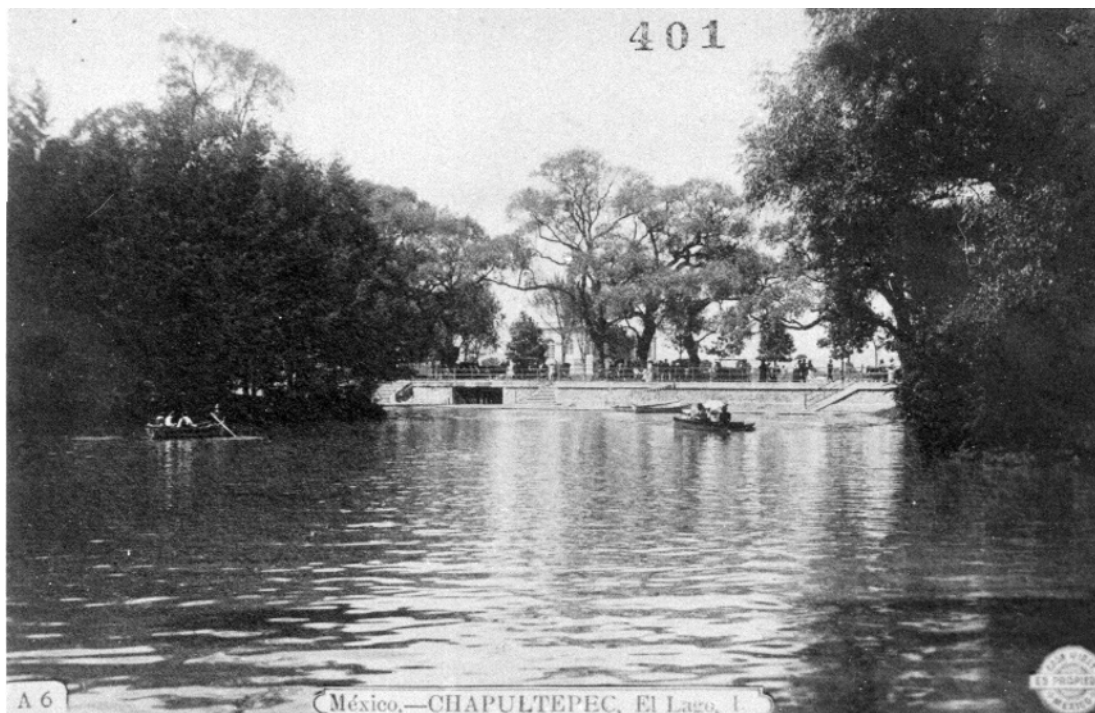


Figura 15. Lago Menor (Lago I) de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec (Archivo Histórico del Museo Nacional de Historia, Carpeta: Chapultepec y sus alrededores, s/f).



Figura 16. Lago Mayor (Lago II) de 1ª Sección del Bosque de Chapultepec (Archivo Histórico del Museo Nacional de Historia, Carpeta: Chapultepec y sus alrededores, s/f).

este primer lago (Menor) sufrían “naufragios”, pero que, dada su poca profundidad, los “náufragos” sólo sufrían un baño [12].

Para el año de 1905 se menciona que inician

“los trabajos en la zona opuesta, al Norte del castillo, hacia los llanos de Anzures, donde se efectúan las obras preliminares para cavar el lago que continuará el pequeño” [13]. La actividad en

el área no cesó; el segundo lago (Mayor) estaba terminado para agosto de 1908, cuando se inauguró el “Automóvil Club”, ubicado, de acuerdo con los periódicos de la época, a un lado del Lago Mayor (Figura 16). No obstante, es el día 22 de septiembre de 1910 cuando la Junta Superior del Bosque de Chapultepec realiza la invitación a la inauguración oficial de los dos nuevos lagos.

Cabe mencionar que cerca del Lago Menor de la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec, a través de investigaciones arqueológicas en el año de 2017 [14], se detectó a una altura de 2,237.70 a 2,237.25 m s.n.m. un contenedor virreinal (Figura 17) clausurado que, al parecer, tuvo un origen prehispánico. Se infiere que dicho estanque debió de aprovechar las aguas de un manantial cercano, mismo que debió de provocar la acumulación del

vital líquido; probablemente inspiró la ubicación de los lagos de la 1ª sección del bosque.

2.d. Lago al sur-poniente del Cerro de Chapultepec

Al sur-poniente del Cerro de Chapultepec existen rastros de otra zona de acumulación de agua, seguramente proveniente de las Lomas del Rey, aunada al acueducto que traía el agua desde Santa Fe hasta los molinos de trigo y pólvora. En esta misma dirección también se localiza un pequeño lago que se aprecia en el plano de 1867 (Figura 13).

Adicionalmente, existían arroyos procedentes del área de Tacubaya, por ejemplo, el cauce que seguía los límites de lo que hoy es el Parque La Hormiga y cruzaba lo que actualmente es el



Figura 17. La ortofoto del “contenedor virreinal”. (Fotografía María de Lourdes López Camacho, agosto 2018).

Zoológico de Chapultepec. Cabe mencionar que, a mediados del siglo XIX, el rancho La Hormiga (Figura 18) contaba con una huerta de árboles frutales y un lago artificial, el cual hoy ha desaparecido de la memoria colectiva. Parte de este espacio lo ocupa ahora el Parque La Hormiga y el Complejo Cultural Los Pinos.

2.e. Los lagos de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec

A principios del siglo XX los terrenos de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec tenían una vocación militar e industrial; era el sitio donde se concentró a las industrias militares y se organizó el ejército mexicano moderno. Asimismo, existían industrias como la Fábrica Nacional de Cartuchos, Fabrica Nacional de Vidrio, así como las Minas de Arena (Figura 19). Respecto a la explotación minera,



Figura 18. Rancho “La Hormiga”. Mapa Terrenos entre la loma de Chapultepec y Tacubaya que acaba de adquirir el DD JP Martínez del Río (Fuente: autor desconocido. MMOB-SAGARPA, varilla OYBDF02, clasificación 831-OYB-725-A).

existió hacia 1922 la Compañía Constructora de Casas de Cemento Armado, S.A. que “contaba con fábricas de block, minas de arena y vaciados de cemento en Tacubaya” [15]. Esta zona pertenecía a Tacubaya; por ejemplo, el río de la Barranca de Dolores es parte de las aguas del río Tacubaya que abastecía el rancho hoy conocido como Del Charro; este líquido se incorporaba a las barrancas de la 3ª sección del Bosque de Chapultepec, al que se sumaban diversos escurrimientos y que desembocaba a la Presa de Dolores. A partir de los mapas se conoce que las minas de arena en la 2ª Sección coinciden con el espacio que hoy ocupa el Lago Mayor y la fuente de Las Ninfas [16].

Los lagos de la 2ª sección del Bosque de Chapultepec son recientes. El Departamento del Distrito Federal adquirió diversos terrenos

en febrero de 1958 para ampliar el Bosque de Chapultepec. El Lago Mayor se construyó en 1960 y el Lago Menor en 1964. En octubre de este último año se inauguró el Restaurante del Lago a un costado de Lago Mayor, replicando la estructura de la 1ª sección.

En resumen, el Cerro de Chapultepec se ubica en la orilla occidental de lo que en otros tiempos fuera el complejo lacustre de la Cuenca de México y que, además, contaba con diversos manantiales y depósitos naturales de agua. La ocupación humana de la zona del Bosque de Chapultepec ha sido continua desde tiempos prehispánicos, dado el aprovechamiento de sus manantiales. A mediados del siglo pasado, el Bosque de Chapultepec se amplió con la 2ª Sección, la cual trato de replicar la conformación de la 1ª Sección, edificando museos,

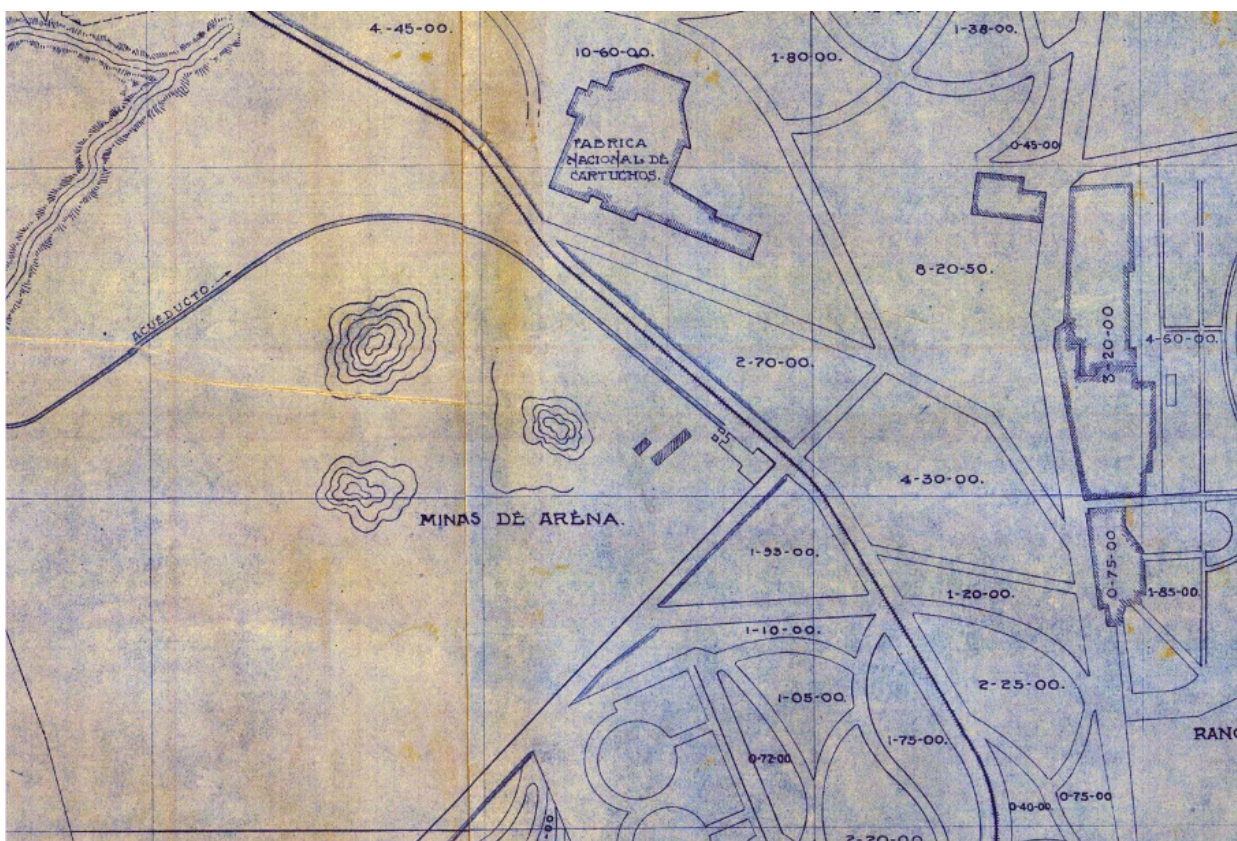


Figura 19. Plano de Chapultepec, Secretaría de Agricultura y Fomento, Departamento de Aguas. Formado para el estudio de dotación de agua de riego. Escala 1: 40,000 (Fuente: MMOB, SAGARPA, varilla OYBDF02, clasificación, 831-OYB-1234-25). (Disponible en línea en: <https://mapoteca.siap.gob.mx/index.php/cgf-df-m5-v2-0121/>).

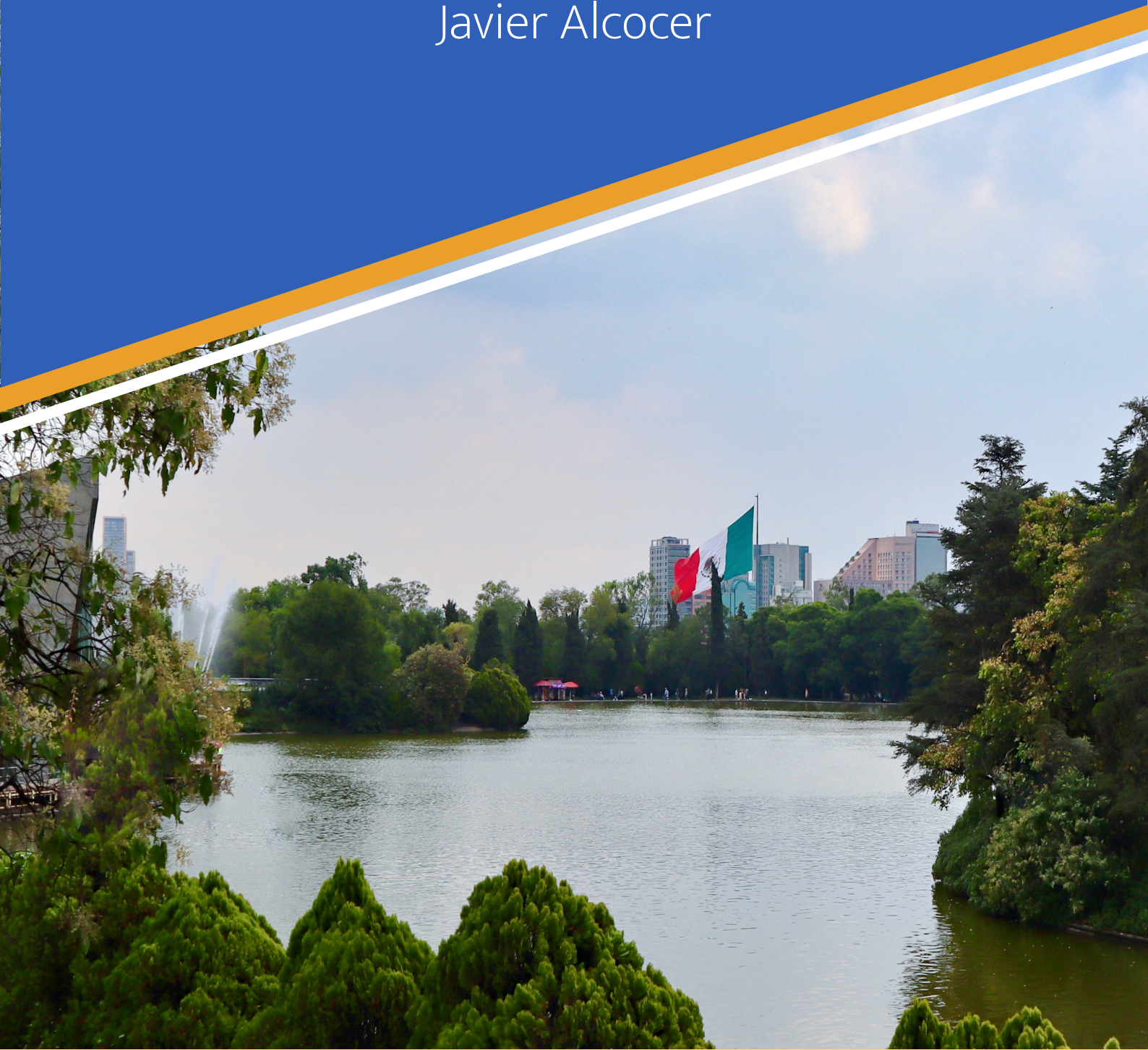
fuentes y dos lagos, llamados Mayor y Menor.

Con el paso del tiempo, los cuerpos de agua tanto naturales como artificiales fueron desapareciendo, modificándose y adaptándose a las nuevas necesidades de la sociedad en turno. Hoy el Bosque de Chapultepec se redescubre como un sitio arqueológico, histórico, ecológico, público y gratuito, el cual es responsabilidad de todos los mexicanos cuidar y conservar para las futuras generaciones.

Capítulo 3

Los Lagos de Chapultepec

Javier Alcocer



3. Los Lagos de Chapultepec

Javier Alcocer

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

A continuación se hace una relatoría de los Lagos de Chapultepec, con lo cual se busca que el lector vaya conociendo mejor estos sorprendentes cuerpos acuáticos, descubra los secretos que resguardan y dé respuesta a las muchas preguntas que acerca de ellos existen. Para lo anterior, se hace un recorrido que parte de mostrar su ubicación privilegiada en la capital del país, así como de describir sus formas y dimensiones. Se menciona la procedencia del agua que los alimenta y de cómo ésta explica, en gran medida, las principales características de calidad de agua que presentan. Asimismo, se detalla el grado de contaminación de los lagos y los contaminantes presentes en el agua y sedimentos de los lagos, así como su procedencia. Se da una introducción a la biota acuática que habita en los lagos, haciendo énfasis en algunas de las especies que nos recuerdan nuestro pasado lacustre. Son cuatro las especies nativas de la Cuenca de México, un tesoro biológico que ha encontrado refugio en los Lagos de Chapultepec. Se da cuenta de los planes y medidas de restauración para mejorar la calidad del agua de los lagos, y se explican las razones de su falta de éxito. Por último, se presenta un análisis de la percepción que tienen los visitantes de los lagos y se responden a las principales preguntas y dudas que más frecuentemente se

expresan. Con lo anterior, se busca dar réplica a todo lo que lectores querían conocer sobre los Lagos de Chapultepec y para lo que no habían encontrado respuesta.

La mayoría de la información incluida en este libro es original, generada por los autores, la cual no ha sido previamente publicada. Las referencias del material publicado se enlistan al final del libro para ser consultados por los lectores. Cabe hacer notar que a través de los medios de difusión (p. ej., periódicos, internet) se han realizado multitud de comunicados respecto a los Lagos de Chapultepec, tanto por las autoridades como por otras fuentes, la mayoría de los cuales no pueden ser confirmados, negados o corregidos.

3.a. Ubicación

Localizado en la alcaldía Miguel Hidalgo de la Ciudad de México, el Bosque de Chapultepec es un parque urbano delimitado por las coordenadas 19°24' y 19°26' N y los 99°11' y 99°12' O, a una altura sobre el nivel del mar de 2,240 m. La extensión del Bosque es de 800 hectáreas divididas en cuatro secciones: la más antigua es la 1ª Sección y las 2ª, 3ª y 4ª Secciones, las más recientes (Figura 20).

El Bosque de Chapultepec presenta un clima

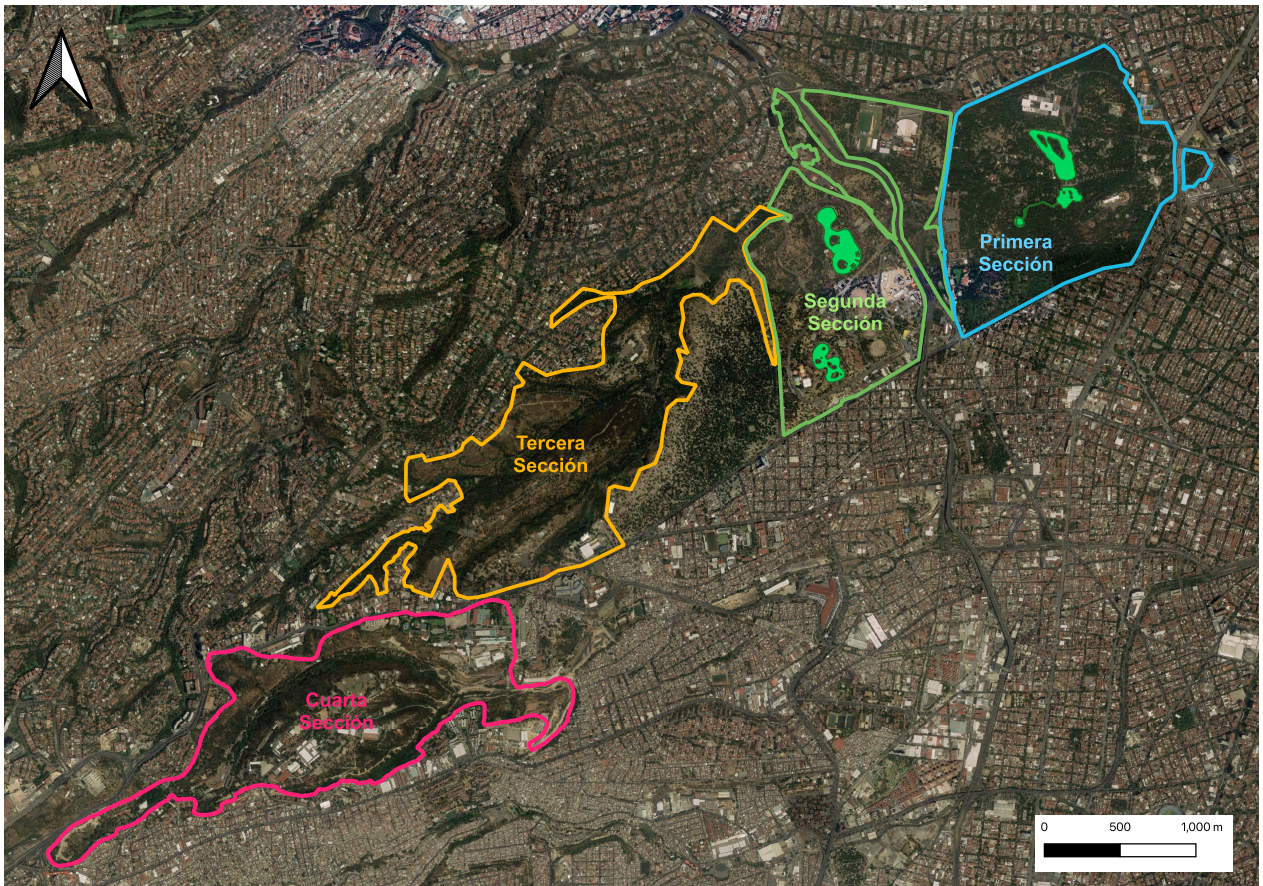


Figura 20. Las cuatro secciones del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México). (Tomado de Google Earth y modificado por Mariana Vargas).

templado subhúmedo con lluvias en verano, que corresponden a los meses de junio a septiembre (García de Miranda, 2004).

En la 1ª Sección del Bosque de Chapultepec se encuentra el Lago Viejo, popularmente conocido como el Lago de Chapultepec. Desde su concepción en tiempos del porfiriato y a pesar de haber sido interconectados mediante un canal, el Lago Viejo de Chapultepec, se conoció como dos cuerpos acuáticos distintos, el Lago Mayor que corresponde al más grande, en la zona norte y el Lago Menor, en la zona sur, de menores dimensiones (Ver el capítulo 2) (Figura 21).

En la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec (al oeste del periférico) se encuentran otros dos cuerpos acuáticos, el mayor de ellos o Lago Mayor (Figura 22) y el de dimensiones más

reducidas o Lago Menor (Figura 23). Finalmente, en la 3ª Sección del Bosque de Chapultepec existe una pequeña represa al norte del Panteón Civil de Dolores. De aquí en adelante, se denominará como un solo cuerpo acuático y con el nombre de “Lago Viejo” al de la 1ª Sección y como “Lago Mayor” y “Lago Menor”, a los dos ubicados en la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec.

No hay acuerdo sobre si el origen del Lago Viejo es natural o artificial. Como se mencionó antes, lo que sí se conoce por evidencia fotográfica es que en 1910 y por orden del entonces presidente General Porfirio Díaz, se realizaron trabajos de “perfeccionamiento” del que denominaban “el gran Lago de Chapultepec”. Muy probablemente el Lago Viejo se haya modificado a partir de un embalsamiento natural. Cincuenta años más tarde,



Figura 21. Lago Viejo de Chapultepec, 1ª Sección del Bosque de Chapultepec. Al norte el Lago Mayor y a sur el Lago Menor (Tomado de Google Earth).

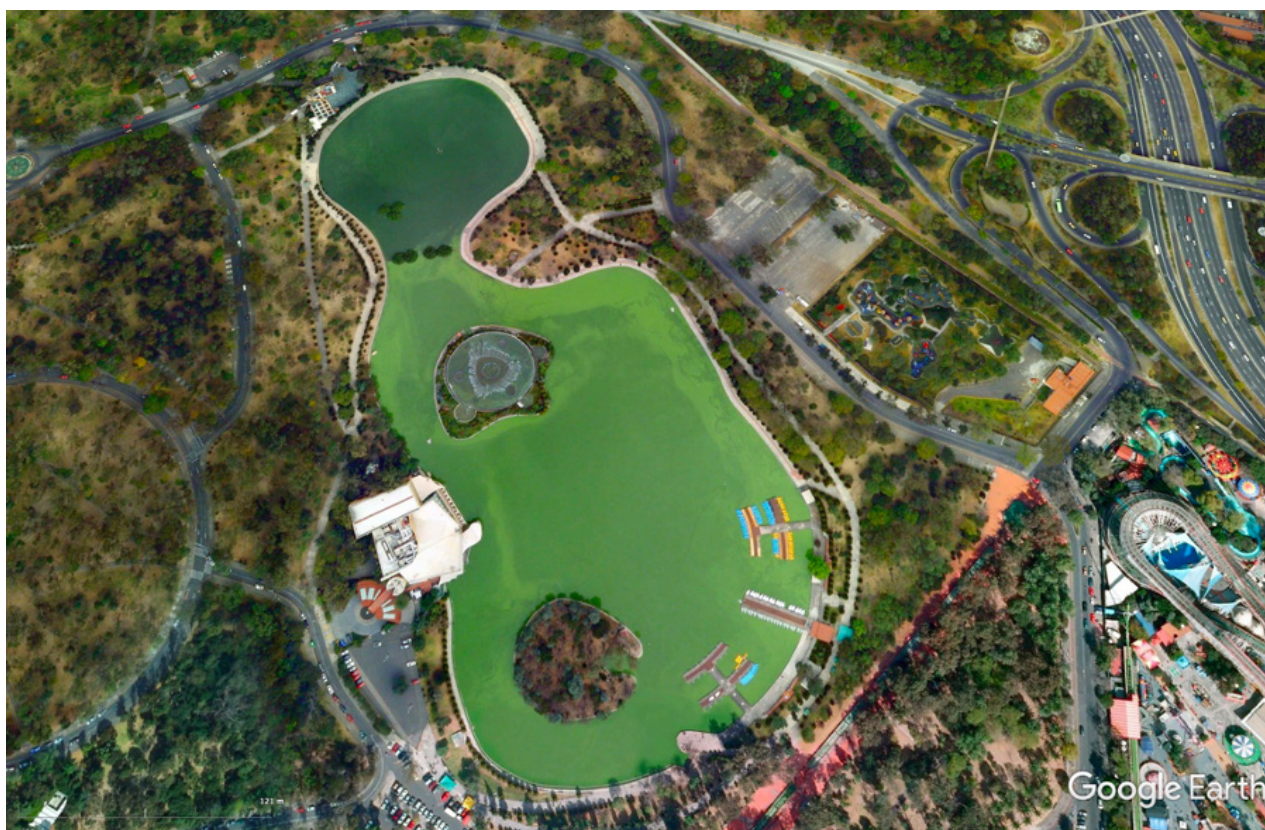


Figura 22. Lago Mayor de Chapultepec, 2ª Sección del Bosque de Chapultepec (Tomado de Google Earth).



Figura 23. Lago Menor de Chapultepec, 2ª Sección del Bosque de Chapultepec (Tomado de Google Earth).



Figura 24. Ubicación de los lagos Viejo (LV), Mayor (LMa), Menor (LMe) y la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec (PTAR), Bosque de Chapultepec (Tomado de Google Earth).

en la década de los años 1960s, se aprovecharon las cavernas y galerías derivadas de la extracción de minerales de la zona para construir los lagos Mayor (1960) y Menor (1964) en la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec (ver el capítulo 2).

Los cuerpos acuáticos del Bosque de Chapultepec son “lagos urbanos”, esto es, aquellos cuerpos acuáticos predominantemente afectados por la población urbana humana y cuya cuenca de drenaje es dominada por la urbanización, más que por la geología, los suelos o la agricultura (Persson, 2012). Los lagos urbanos son parte esencial de muchas de las ciudades, y a menudo, están intrincadamente vinculadas con el tejido social de la ciudad, valoradas con fines de utilidad directa, como el suministro de agua potable, o por su importancia estética, histórica, cultural y religiosa. Hoy en día, la mayoría de las personas están más familiarizadas y en contacto con los lagos urbanos que con los que se ubican fuera de las áreas urbanas.

Los lagos urbanos suelen ser pequeños y poco profundos, contribuyen significativamente a aumentar la calidad de vida de las metrópolis, agregan servicios ecosistémicos tales como almacenamiento de agua de lluvia, evitan inundaciones de áreas urbanas, amortiguan los cambios climáticos urbanos y apoyan actividades recreativas y educativas que se están convirtiendo en una de sus funciones más importantes, si no en la primera. Frecuentemente, los lagos urbanos como los del Bosque de Chapultepec, son alimentados por aguas residuales tratadas, en este caso provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec (Figura 24).

3.b. Forma y dimensiones

El Lago Viejo tiene una forma de triángulo invertido con una estrangulación hacia el ápice que casi lo divide en dos porciones bastante desiguales (la norte mucho mayor que la sur), reduciéndose la comunicación entre ambas a un delgado canal que cruza debajo de la Avenida H. Colegio Militar. En la porción norte, mucho mayor que la sur, se encuentran dos isletas de forma alargada, siendo una de aproximadamente el doble de tamaño de la otra. En la porción sur hay también dos isletas pequeñas (Figura 25).

Parecido a un número “8”, el Lago Mayor también presenta un estrangulamiento que casi divide al lago en dos porciones, la norte mucho más pequeña que la sur. En la porción sur se ubican dos isletas de forma aproximadamente circular y similar en tamaño (Figura 26).

Finalmente, el Lago Menor presenta una forma irregular, similar a una “S” y con seis isletas de distintos tamaños y formas distribuidas a lo largo del lago (Figura 27).

Los tres Lagos de Chapultepec son pequeños (Tabla 1). El Lago Viejo mide 432 m de largo por 208 m de ancho, el Lago Mayor 442 m por 190 m y, finalmente, el Lago Menor 264 m por 150 m. El perímetro de los lagos es de 1,883 m, 1,858 m y 1,082 m para los lagos Viejo, Mayor y Menor, respectivamente. La superficie acuática que presentan los lagos es reducida. El Lago Viejo es un poco más extenso con 60,240 m² (6 hectáreas) que el Lago Mayor con 58,200 m² (5.8 hectáreas), mientras que el Lago Menor posee aproximadamente la mitad de la extensión con 27,600 m² (2.7 hectáreas). Sin embargo, la

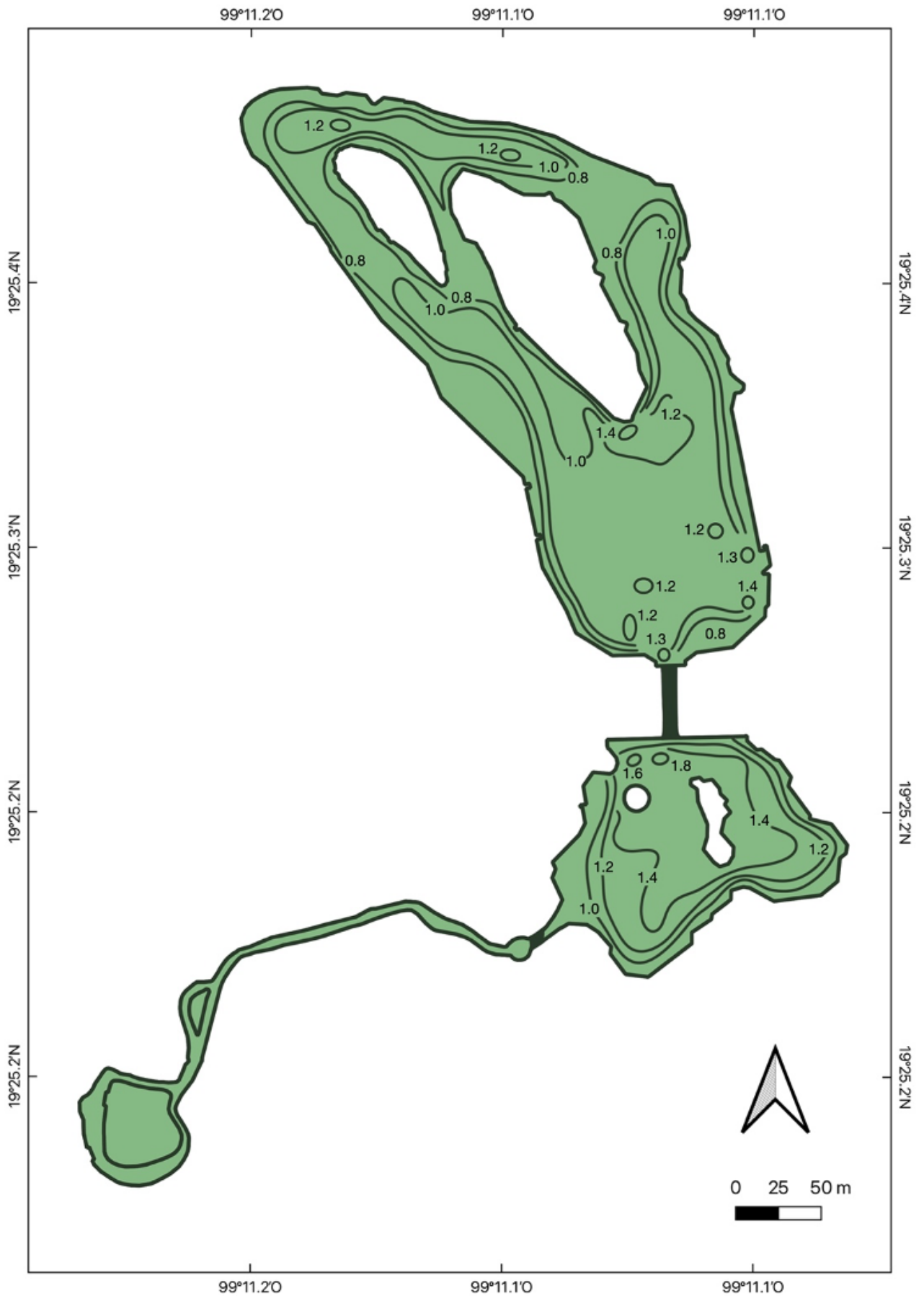


Figura 25. Mapa batimétrico del Lago Viejo de Chapultepec, 1ª Sección del Bosque. Las isobatas (niveles de profundidad) están en metros (Mapa elaborado por Mariana Vargas).

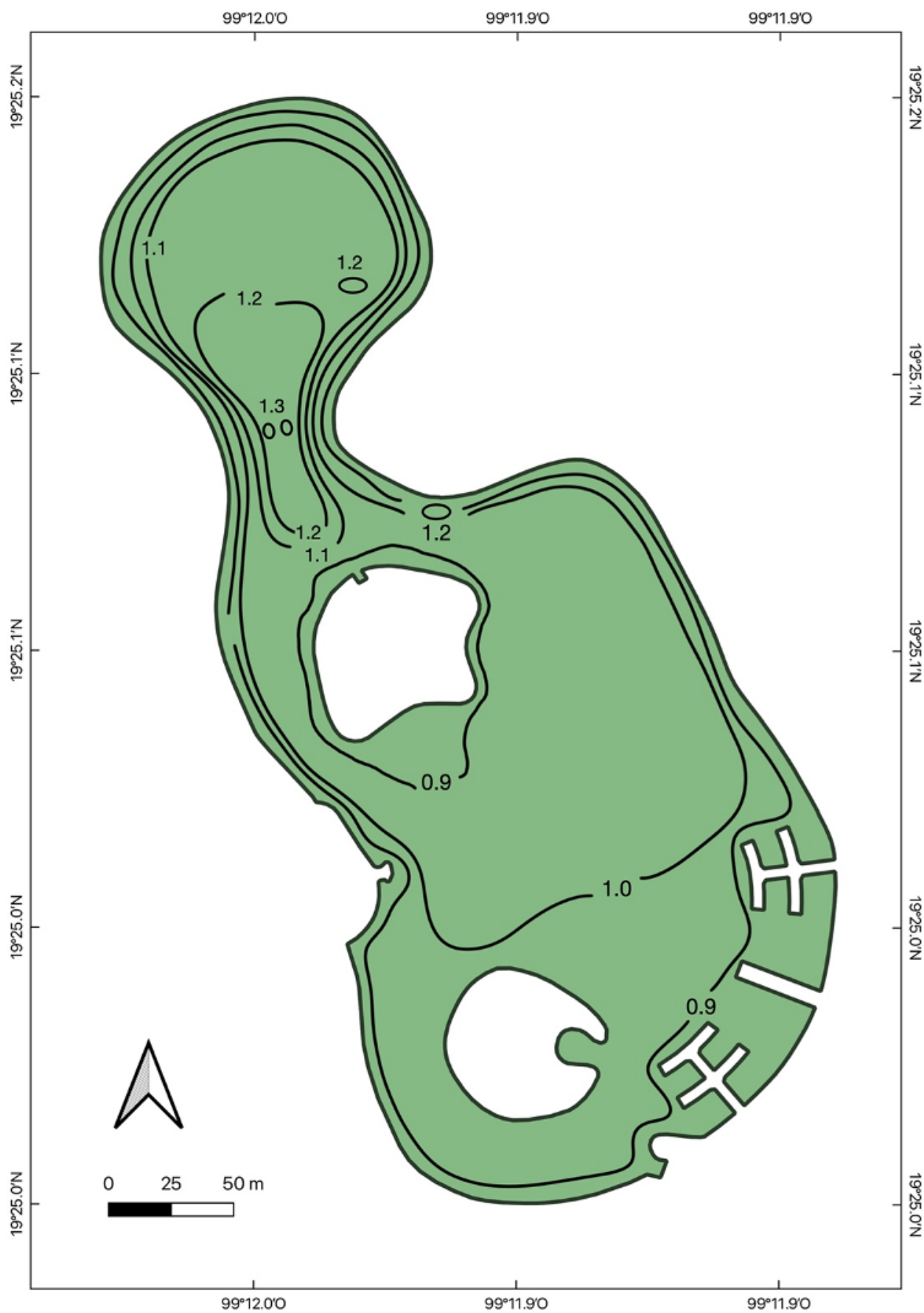


Figura 26. Mapa batimétrico del Lago Mayor de Chapultepec, 2ª Sección del Bosque. Las isobatas (niveles de profundidad) están en metros (Mapa elaborado por Mariana Vargas).

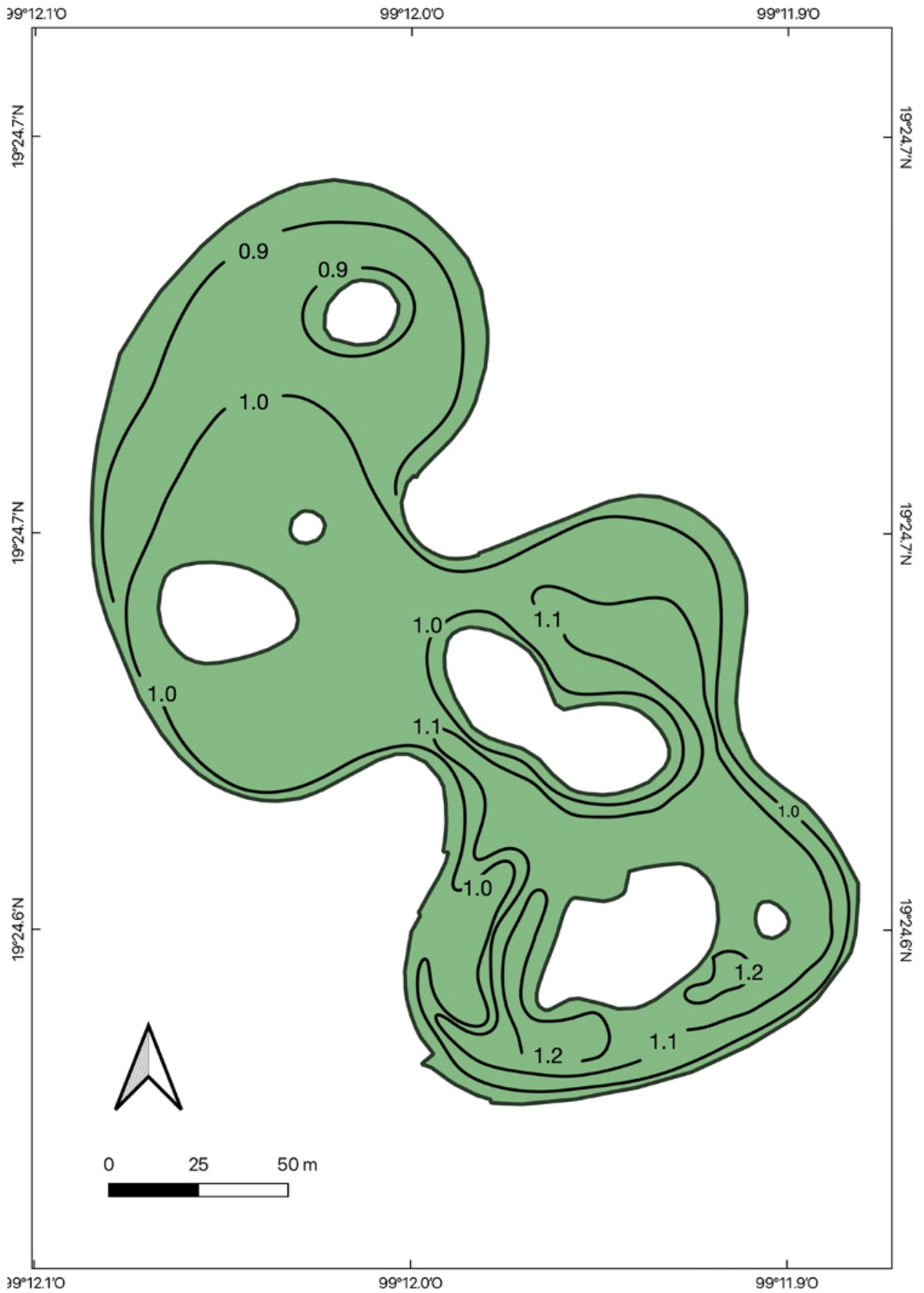


Figura 27. Mapa batimétrico del Lago Menor de Chapultepec, 2ª Sección del Bosque. Las isobatas (niveles de profundidad) están en metros (Mapa elaborado por Mariana Vargas).

presencia de las isletas reduce en un 20%, 10% y 15% la superficie acuática de los lagos Viejo, Mayor y Menor, respectivamente.

Los Lagos de Chapultepec son someros (Cuadro 1), su profundidad es de alrededor de un metro en promedio, aunque se encuentran mayores profundidades hacia sus zonas centrales (profundidades máximas de 1.8 m, 1.3 m y 1.2 m, respectivamente), así como regiones más someras hacia la periferia. Finalmente, los volúmenes de agua que albergan los lagos ascienden a 49,525 m³, 59,709 m³ y 26,573 m³, para los lagos Viejo, Mayor y Menor.

3.c. Fuente de abastecimiento

Los tres Lagos de Chapultepec son abastecidos o alimentados con aguas residuales tratadas. Éstas provienen del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chapultepec, planta que está ubicada en la lateral de Avenida Periférico y Ferrocarril de Cuernavaca, en la colonia Lomas de Chapultepec, alcaldía Miguel Hidalgo (Figuras 24 y 28). La información sobre las PTAR original y nueva que se presenta a continuación procede

de Canales *et al.* (2016), CONAGUA (2016, 2018), SACMEX (2016), SUEZ (2015) y Zuluaga (2016).

La PTAR original de Chapultepec se construyó en 1956. Las aguas residuales que llegaban a la PTAR son tratadas secundariamente, esto es, biológicamente, mediante una técnica denominada de lodos activados. La capacidad de tratamiento de aguas residuales era inicialmente de 160 litros por segundo (L s⁻¹). Sin embargo, después de casi 70 años de uso, la capacidad de tratamiento se vio reducida para tratar tan solo la mitad, esto es, unos 80 L s⁻¹. De éstos, solo entre 20 y 30 L s⁻¹ eran derivados para alimentar los Lagos de Chapultepec (Cuadro 2). De la PTAR se distribuye agua directamente al Lago Viejo de la 1^a Sección y al Lago Menor de la 2^a Sección y, de este último, se deriva agua al Lago Mayor de la 2^a Sección.

La NOM-003-ECOL-1997 establece “los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público”. Estos límites permisibles de contaminantes dependen de los dos tipos de reúso establecidos en la misma norma:

- a. En servicios al público con contacto directo: se refiere a aquellos usos donde la

Cuadro 1. Dimensiones principales de los tres lagos del Bosque de Chapultepec.

Parámetro morfométrico	1ª Sección	2ª Sección	
	Lago Viejo	Lago Mayor	Lago Menor
Largo (m)	432	442	264
Ancho (m)	208	190	150
Superficie (m ²)	60,240	58,200	27,600
Perímetro (m)	1,883	1,858	1,082
Profundidad máxima (m)	1.8	1.3	1.2
Profundidad media (m)	1.0	1.0	1.0
Volumen (m ³)	49,525	59,709	26,573



Figura 28. Ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), original y nueva (Tomado de Google Earth).

población está expuesta físicamente o en contacto directo con el agua. En este caso el agua tratada servirá para rellenar cuerpos de agua artificiales donde se realicen actividades recreativas, como paseo en lancha, canotaje, remo, fuentes de ornato, así como lavado de

automóviles y riego de áreas verdes.

b. En servicios al público con contacto indirecto u ocasional: el público está expuesto de forma indirecta o incidental ya que existe acceso restringido al agua. Dentro de estos usos se encuentra el relleno de lagos

Cuadro 2 Características de calidad de agua del efluente de la PTAR original de Chapultepec.

Parámetro	Símbolo	Rango
pH (unidades de pH)	pH	6.6 - 7.3
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	CE	413 - 635
Nitrógeno total (mg L^{-1})	N_{TOT}	< 1.5 - 10
Fósforo total (mg L^{-1})	P_{TOT}	< 1.0 - 10.1
Sólidos Suspendidos Totales (mg L^{-1})	SST	< 15 - 20
Coliformes fecales (NMP 100 mL^{-1})	C_{FEC}	200 – 38,000
Coliformes totales (NMP 100 mL^{-1})	C_{TOT}	7,200 - > 100,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg L^{-1})	DBO_5	< 1 – 8
Demanda Química de Oxígeno (mg L^{-1})	DQO	< 6 – 55

artificiales donde no se presenten actividades recreativas, fuentes de ornato, riego de jardines y camellones en autopistas, etc.

Por otro lado, la NOM-001-SEMARNAT-1996, establece “los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales”. En ésta se fijan los límites máximos de concentración de contaminantes en las descargas de acuerdo con el uso establecido del cuerpo receptor.

El Criterio SACM-1999 es un documento utilizado por el Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) para regular los parámetros medidos en las PTARs, cuyos límites máximos permisibles no están establecidos en la normatividad mexicana.

Mientras que las dos normas (NOMs) anteriores solamente aplican para el o los efluentes que alimentan los Lagos de Chapultepec, la Ley Federal de Derechos (2016) de CONAGUA define los parámetros de calidad de agua para los lagos, como es el caso de los Lagos de Chapultepec.

El efluente de la PTAR original de Chapultepec cumplía con 5 de los 9 parámetros necesarios para

el cumplimiento de calidad de agua de acuerdo con la normatividad mexicana. Los 4 parámetros restantes no cumplían, esto es, sobrepasaban los límites máximos permisibles de la norma todo el año o al menos una parte de éste (Cuadro 3).

En resumen, el efluente de la PTAR original con el que se alimentaban los Lagos de Chapultepec presentaba concentraciones muy elevadas de fósforo total, coliformes totales y fecales y demanda química de oxígeno, por encima de lo estipulado en las normas mexicanas.

La antigüedad de la PTAR original, la disminución de la capacidad de tratamiento de las aguas residuales y el volumen de agua disponible para reúso, así como el incumplimiento de las normas mexicanas relativas a la calidad de agua del efluente, condujeron a la propuesta de construcción de una nueva PTAR, moderna, de última generación.

La capacidad de tratamiento de aguas residuales de la PTAR nueva de Chapultepec ascendería a 170 L s^{-1} con un efluente de 160 L s^{-1} de aguas tratadas suficientes para abastecer a los tres Lagos de Chapultepec, para el riego de áreas

Cuadro 3. Cumplimiento o incumplimiento de calidad de agua del efluente de la PTAR de Chapultepec original con respecto a las normas mexicanas.

Parámetro	Norma	Cumplimiento
pH	NOM-001-SEMARNAT-1996	SI
CE	Criterio SACM-1999	SI
N _{TOT}	NOM-001-SEMARNAT	SI
P _{TOT}	NOM-001-SEMARNAT	Sobrepasa los 5 mg L ⁻¹
SST	NOM-003-SEMARNAT	SI
C _{FEC}	NOM-003-ECOL-1997	Sobrepasa los 240 NMP 100 mL ⁻¹
C _{TOT}	Criterio SACM-1999 NOM-003-SEMARNAT	Sobrepasa los 1,000 NMP 100 mL ⁻¹
DBO ₅	NOM-001-SEMARNAT	SI
DQO	Criterio SACM-1999	Sobrepasa los 50 NMP 100 mL ⁻¹

Cuadro 4. Características promedio de calidad de agua residual del afluente (influyente) de la PTAR nueva de Chapultepec.

Parámetro	
pH (unidades de pH)	8.2
Nitrógeno total (mg L ⁻¹)	76.2
Fósforo total (mg L ⁻¹)	11.37
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	230
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg L ⁻¹)	476
Demanda Química de Oxígeno (mg L ⁻¹)	715
Grasas y aceites (mg L ⁻¹)	85
Sustancias Activas al azul de metileno (mg L ⁻¹)	60.2

verdes, así como para la recarga de acuíferos, ya que el efluente estimado en el diseño cumpliría con la calidad de agua estipulada en la NOM-014-CONAGUA-2003 para la recarga del acuífero de la Ciudad de México. Las características del agua residual a tratar en la PTAR nueva, es decir, la calidad del agua del afluente (influyente) de la planta se muestra en el Cuadro 4.

A diferencia de la PTAR original Chapultepec, cuyo tratamiento alcanzaba el nivel secundario (pre-tratamiento por cribado y desarenador y tratamiento por lodos activados), el diseño de la nueva PTAR cuenta con un tratamiento que alcanza

el nivel terciario: biorreactor de membrana, con un avanzado tratamiento de pulido compuesto por un pre-tratamiento para remover sólidos gruesos para posteriormente pasar por tecnologías de ultrafiltración, ósmosis inversa y finalmente su desinfección con radiación ultravioleta, con lo que disminuye la materia orgánica, los fertilizantes (fósforo en particular) así como los microorganismos patógenos.

Al momento solo se cuenta con información de la calidad del agua estimada del efluente de la PTAR nueva de Chapultepec, esto es, la que se espera que se alcance (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características de calidad de agua esperada y reportada del efluente de la PTAR nueva de Chapultepec.

Parámetro	Esperada	Reportada
Nitrógeno total (mg L ⁻¹)	< 8	4.5
Fósforo total (mg L ⁻¹)	< 1	1
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	< 5	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg L ⁻¹)	< 30	10
Demanda Química de Oxígeno (mg L ⁻¹)	< 10	-
Turbiedad (NTU)	0.5	-
<i>Escherichia coli</i> (Nº 100 mL)	3	-
Enterococos (Nº 100 mL)	< 3	-
Huevos de helmintos (Nº 1000 mL)	0	-

A pesar de que los medios mencionan que la PTAR nueva de Chapultepec entró en operaciones en 2019 mientras que la PTAR original de Chapultepec fue demolida (p.ej., Mora, 2022), hoy en día no se ha dado a conocer al público, por parte de las autoridades competentes, si efectivamente ya se encuentra funcionando y si las características de calidad de agua de la PTAR nueva cumplen con lo comprometido en el diseño original. Adicionalmente, en las fotografías de Google Earth más recientes disponibles (2021) se observa que la PTAR original de Chapultepec sigue ahí, es decir, no ha sido removida (Figura 29).

Desafortunadamente, a más de tres años de la supuesta entrada en función de la PTAR nueva, la calidad del agua de los lagos no parece haber cambiado ya que, a simple vista, los tres lagos lucen exactamente igual que antes. Esto sugiere que los lagos aún son alimentados por agua tratada secundariamente, en otras palabras, si no la misma, similar a la que recibían de la PTAR original.

Finalmente, sería obligado contar con un programa de monitoreo de calidad de agua de los Lagos de Chapultepec para dar seguimiento a las características limnológicas de los cuerpos



Figura 29. Proceso de construcción de la PTAR nueva de Chapultepec. En enero de 2016 (a) se aprecia la PTAR original de Chapultepec. En febrero de 2017 (b) y marzo de 2018 (c) se aprecia la PTAR nueva de Chapultepec en construcción. Para marzo de 2019 (d) la PTAR nueva de Chapultepec luce terminada y de acuerdo con las noticias ya se encontraba en funcionamiento. En enero de 2020 (e) y febrero de 2021 (f) la PTAR original de Chapultepec sigue apreciándose exactamente igual que desde 2016.

acuáticos al ser alimentados por la PTAR nueva de Chapultepec, con lo que se podría verificar los resultados en los lagos al ser alimentados por agua de mejor calidad y, en su caso, realizar los ajustes necesarios.

Capítulo 4

Condiciones fisicoquímicas del agua

Javier Alcocer, María Aurora Armienta, Luis A. Oseguera
y Gloria Vilaclara



4. Condiciones fisicoquímicas del agua

Javier Alcocer, María Aurora Armienta, Luis A. Oseguera y Gloria Vilaclara

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Los análisis fisicoquímicos caracterizan el conjunto de los Lagos de Chapultepec (datos integrados del total de muestras analizadas) como cuerpos de agua dulce, con un contenido pequeño de sales disueltas reflejado en una salinidad reducida (medida como Sólidos Disueltos Totales, SDT: promedio \pm desviación estándar, 0.32 ± 0.04 g L⁻¹ y mínimo – máximo, 0.25 – 0.41 g L⁻¹). La baja mineralización implica un contenido escaso en iones disueltos, con cloruro de sodio como la sal disuelta predominante; esto concuerda con una fuente originada en aguas de desechos domésticos, confirmando que el abastecimiento

principal de los Lagos es el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Chapultepec. En este marco de referencia, el contenido en cationes de calcio + magnesio es limitado, por lo que las aguas son de poca dureza total (como CaCO₃: 84 ± 15 mg L⁻¹ y 54 – 126 mg L⁻¹), es decir “blandas”. Asimismo, los aniones carbonato + bicarbonato –parte importante de la reserva alcalina, medida como alcalinidad total– no son muy abundantes (como CaCO₃: 92 ± 20 mg L⁻¹ y 63 – 151 mg L⁻¹). Consecuentemente, los Lagos tienen una exigua capacidad para amortiguar los cambios de pH inducidos por la

Cuadro 6. Composición química mayor del agua de los Lagos de Chapultepec. (x = promedio, d.e. = desviación estándar). [CE = Conductividad eléctrica (μ S cm⁻¹), SDT = sólidos disueltos totales o salinidad (g L⁻¹), Si = sílice (mg L⁻¹), CO₃²⁻ = carbonatos (mg L⁻¹), HCO₃⁻ = bicarbonatos (mg L⁻¹), SO₄²⁻ = sulfatos (mg L⁻¹), Cl⁻ = cloruros (mg L⁻¹), Na⁺ = sodio (mg L⁻¹), K⁺ = potasio (mg L⁻¹), Ca²⁺ = calcio (mg L⁻¹), Mg²⁺ = magnesio (mg L⁻¹)].

Descriptorios iónicos	Lago Viejo				Lago Mayor				Lago Menor	
	Zona N		Zona S		Zona N		Zona S		x	d.e.
	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.		
CE	444	64	484	61	523	62	495	56	491	67
SDT	0.30	0.04	0.32	0.04	0.35	0.04	0.33	0.04	0.33	0.05
Si	26	4	29	4	33	4	32	5	30	7
CO ₃ ²⁻	30	10.5	17	12	8	6	41	8	35	17
HCO ₃ ⁻	43	33	79	40	91	36	33	24	58	50
SO ₄ ²⁻	49	9	50	7	49	7	48	6	47	5
Cl ⁻	60	11	55	8	54	7	58	8	62	8
Na ⁺	58	9	60	7	63	8	64	8	66	10
K ⁺	15	2	15	2	16	2	16	2	16	3
Ca ²⁺	19	3	20	2	21	3	19	3	21	4
Mg ²⁺	7	2	9	2	10	2	10	3	8	3

eutrofización (ver Capítulos 5 a 7); es por dicha razón que las aguas de los Lagos de Chapultepec muestran valores tan fluctuantes de pH, desde casi neutros (7.3) hasta predominantemente muy básicos (10.5), con promedio y desviación estándar de 9.2 ± 0.7 .

En el Cuadro 6 se observan diferencias en la composición química asociada con la mineralización en las zonas norte y sur, tanto del Lago Viejo como del Lago Mayor; muy probablemente la restricción en la comunicación entre las zonas de los mismos lagos sea la causa de estas diferencias. Las zonas más pequeñas, la sur del Lago Viejo y la norte del Lago Mayor, presentan valores mayores de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, atribuibles a que -al poseer un menor volumen de agua y la comunicación restringida con el resto del lago- se lleva a cabo una evaporación más intensa y, con ello, un relativo aumento en la concentración de las sales minerales disueltas.

El Cuadro 7 ofrece otros datos de interés para los Lagos de Chapultepec.

La transparencia (profundidad de penetración de luz, medida con Disco de Secchi) se relaciona

inversamente con la turbidez del agua; la transparencia o visibilidad es muy baja (entre 7 y 30 cm en promedio) debido a la elevada turbidez generada por la gran cantidad de materiales particulados suspendidos, tanto vivos (fitoplancton) como inanimados (sedimentos). Incluso son frecuentes los florecimientos de fitoplancton tan densos, que cubren como natas verdes la superficie del agua y llegan a impedir casi totalmente la penetración de la luz. Los valores más bajos (2.5 cm) se registran en el Lago Menor y los más altos (40 cm) en los Lagos Viejo y Mayor; la mayor transparencia se observa en el Lago Mayor y en la zona sur del Lago Viejo, mientras que los valores más bajos están, como se mencionó, en el Lago Menor, ya que presenta un florecimiento permanente de fitoplancton. Estos valores tan bajos indican que menos de un tercio de toda la columna de agua tiene condiciones lumínicas adecuadas para realizar la fotosíntesis (productividad primaria), esto es, que la presencia excesiva de fitoplancton causa un efecto de sombreado (bioturbidez) que limita la penetración de luz en la columna de agua.

La temperatura del agua en los Lagos varía

Cuadro 7. Variables fisicoquímicas del agua de los Lagos de Chapultepec. (x = promedio, d.e. = desviación estándar). [Z_{Ds} = profundidad del disco de Secchi (cm), T = temperatura (°C), pH = potencial de hidrogeniones, OD = concentración de oxígeno disuelto (mg L^{-1})].

Parámetro	Lago Viejo				Lago Mayor				Lago Menor	
	Zona N		Zona S		Zona N		Zona S		x	d.e.
	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.		
Z_{Ds}	10	3	18	10	30	5	17	8	7	4
T	18.9	2.5	18.1	2.7	21.4	2.4	20.8	2.9	18.8	4.0
pH	9.5	0.4	8.9	0.6	7.2	0.8	9.6	0.7	9.8	0.7
OD	9.7	3.2	10.5	4.7	12.5	5.1	14.4	5.4	11.0	5.4

entre 11.2 y 25.7°C. Los valores de temperatura más elevados observados en el Lago Mayor probablemente están asociados con la hora de medición, medio día durante las horas más soleadas, mientras que las temperaturas más bajas de los Lagos Viejo y Menor se relacionan con muestreos por la mañana el primero y por la tarde el segundo, cuando la insolación es menos intensa. Las temperaturas registradas corresponden al clima templado subhúmedo de la zona, combinado con que son lagos someros (poco profundos) y de volumen reducido. Los valores de pH en los Lagos fueron siempre básicos, esto es, por encima de 7, que es el valor de neutralidad. Los resultados de pH más elevados (> 9) se presentan en el Lago Menor, seguido por la zona sur del Lago Mayor y finalmente la zona norte del Lago Viejo. Valores menores de pH (< 9) se encuentran en las porciones más pequeñas de los lagos, la zona sur del Lago Viejo y la zona norte del Lago Mayor.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua de los lagos es elevada, incluso se registran concentraciones extremadamente altas, superiores a los 20 mg L⁻¹. Dichas concentraciones implican una condición de intensa sobresaturación

de oxígeno que alcanza hasta más del 300%. Lo anterior significa que hay tanto oxígeno que ya no se puede disolver más y el agua se sobresatura de este gas, perdiéndose hacia la atmósfera (los Lagos emiten tanto oxígeno de día, que podrían considerarse como parte del pulmón de la sección del Bosque donde se encuentran). Aunque el OD del agua procede usualmente de la disolución del que hay presente en la atmósfera, en el caso de los Lagos de Chapultepec es mayormente resultado de un proceso de fotosíntesis tan intenso que provoca el efecto contrario, es decir, la pérdida de OD de la columna de agua por debajo de los florecimientos microalgales; de esta manera se establecen condiciones microaerófilas (OD < 1 - 2 mg L⁻¹) o incluso anóxicas (OD = 0 mg L⁻¹). Tales condiciones pueden ocurrir a pesar de ser tan someros, pues en la capa de agua inferior de los Lagos y cerca de los sedimentos, se observan los valores más bajos de OD, entre la ausencia total (anoxia) o entre 0 y 1 mg L⁻¹. Como se ha mencionado, esto es así por la pérdida de OD hacia la atmósfera y también porque la materia orgánica que se acumula en el fondo se descompone, generando una demanda de oxígeno muy masiva que provoca la disminución

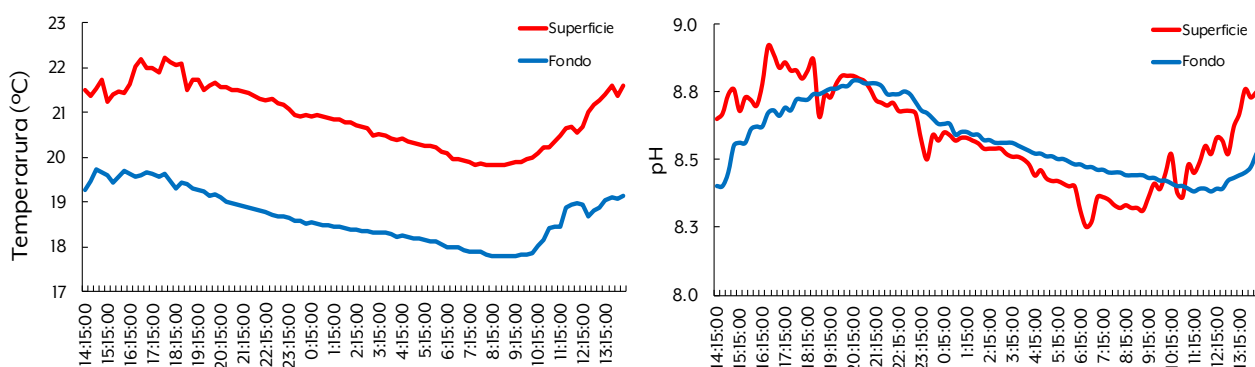


Figura 30. Variación de la temperatura (izquierda) y pH (derecha) durante un día, esto es veinticuatro horas, en el Lago Viejo de Chapultepec. [rojo = superficie (a 20 cm de profundidad), azul = fondo (a 80 cm de profundidad)].

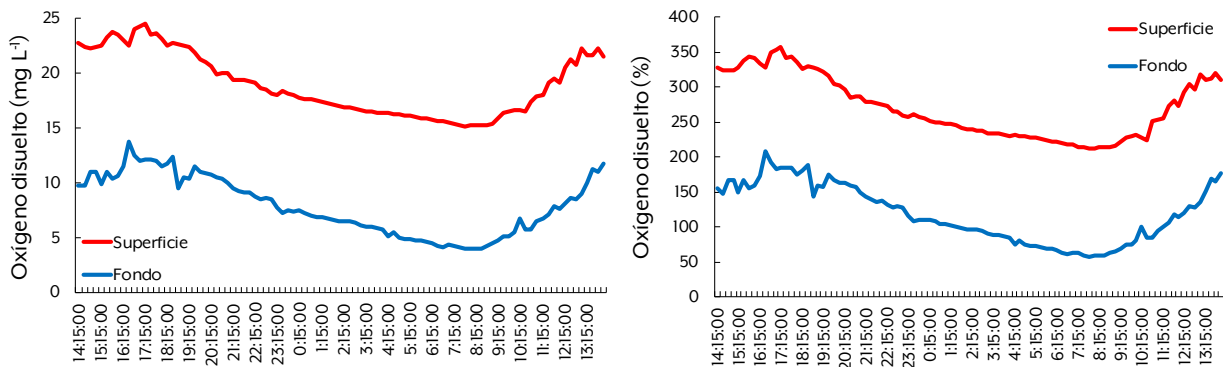


Figura 31. Variación de la concentración de oxígeno disuelto (izquierda) y porcentaje de saturación de OD (derecha) durante un día, esto es, veinticuatro horas, en el Lago Viejo de Chapultepec [rojo = superficie (a 20 cm de profundidad), azul = fondo (a 80 cm de profundidad)].

o el agotamiento del OD en la parte profunda. Dichas condiciones contrastantes –elevadas concentraciones de OD en las capas superficiales y bajo o incluso ausencia de OD en el fondo– son típicas de los cuerpos de agua muy productivos, eutróficos a hipereutróficos, que generan en la superficie grandes cantidades de materia orgánica en forma principalmente de fitoplancton, el cual se va acumulando en el fondo cuando muere, consumiendo el OD al ser degradada la materia orgánica por los microorganismos.

Las características de someridad, baja conductividad eléctrica (otra medida de la salinidad, ver Cuadro 6), escasa reserva alcalina y eutrofización con elevada producción primaria, impulsan una importante variabilidad fisicoquímica a lo largo del ciclo dial (diario). Para ilustrar lo que sucede, cada 15 minutos a lo largo de 24 horas se midieron los cambios de temperatura, pH y oxígeno disuelto (OD) en dos profundidades del Lago Viejo, la primera cerca de la superficie (0.2 m) y la segunda cerca del fondo (0.8 m) (Figuras 30 y 31).

En superficie, la temperatura mayor (19.7°C) se encontró a las 17:00 h, mientras que en fondo (19.2°C) se registró entre las 16:45 y 17:45 h. La diferencia entre ambas profundidades fue de

0.5°C, lo que genera una estratificación térmica de la columna de agua. Por otro lado, la temperatura mínima (17.8°C) se observó entre las 8:00 y las 9:45 hrs. en ambas profundidades, lo que indica que la columna del lago estaba mezclada y la estratificación térmica previamente mencionada fue una condición meramente temporal a lo largo de todo un día de veinticuatro horas.

El pH mayor (11.3) en superficie se observó a las 16:45 y 17:00 hrs., mientras que el de fondo (10.5) se registró a las 18:00 hrs. La diferencia entre ambas profundidades fue de 0.8 unidades de pH, lo que señala una diferencia de pH de la columna de agua, siempre superior en superficie con respecto al fondo. Por otro lado, el pH mínimo (10.9) se observó a las 20:30 hrs. y en fondo (9.9) a las 11:00 hrs.

Al igual que para la temperatura, el valor máximo de OD se encontró por la tarde (entre 17:00 y 17:15 h.), con 24.6 mg L⁻¹ en la superficie y 15.6 mg L⁻¹ en el fondo, una diferencia de 9 mg L⁻¹. Este contraste es producto de la elevada producción primaria en la superficie, reflejada en la sobresaturación de OD y, es importante volver a señalarlo, el Lago se convierte entonces en un emisor neto de oxígeno hacia la atmósfera.

Por otro lado, la concentración mínima de oxígeno disuelto en superficie (15.1 mg L^{-1}) se encontró a las 7:45 hrs. y para el fondo (4.3 mg L^{-1}) entre las 8:00 y las 8:45 hrs. Lo anterior contrasta con el comportamiento de la temperatura, que no mostró diferencia en los valores mínimos de la superficie y el fondo. La disparidad entre superficie y fondo del OD fue de casi 11.0 mg L^{-1} , lo cual se debe a que –cuando ya no hay luz para la realización de la fotosíntesis– domina la respiración en toda la columna, por lo tanto la concentración de OD empieza a disminuir en ambas profundidades (Figura 31). Sin embargo, el consumo de OD es mucho mayor en el fondo

debido a que también se degrada la materia orgánica que se ha ido acumulando. Aunque no existe una estratificación térmica permanente, la diferencia en la concentración de OD entre la superficie y el fondo indica que, a pesar de la mezcla diaria de toda la columna de agua, tanto la respiración de los organismos como la cantidad de materia orgánica en descomposición cerca del fondo es muy elevada y, por ende, se consumen grandes cantidades de OD. A pesar de ello, en el estudio de caso de las variaciones en un día (24 h), las concentraciones de OD mínimas registradas se encontraron muy por encima de los valores considerados como anoxia e incluso hipoxia.

Capítulo 5

Biota Acuática

Javier Alcocer, Rocío Fernández, Alfonso Lugo, María Guadalupe Oliva, Luis A. Oseguera Laura Peralta, María del Rosario Sánchez y Gloria Vilaclara



5. Biota acuática

Javier Alcocer, Rocío Fernández, Alfonso Lugo, María Guadalupe Oliva, Luis A. Oseguera, Laura Peralta, María del Rosario Sánchez y Gloria Vilaclara

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Los Lagos de Chapultepec están habitados por una gran diversidad de organismos, desde microscópicos hasta los más grandes, entre los que se encuentran los peces y las numerosas aves acuáticas tales como patos, cisnes y garzas. Quizás lo que más llama la atención sean los peces ya que, además de apreciarse a simple vista por su gran talla, son muy numerosos, en particular en el Lago Mayor. Por otro lado, aunque no se reconozca como tal, las natas verdes que flotan sobre la superficie y cuya presencia causan disgusto a muchos visitantes, no son otra cosa que el acúmulo de numerosas plantas microscópicas, fitoplancton, que al agregarse se hacen muy evidentes. En resumen, diferentes tipos de plantas y animales microscópicos y macroscópicos se encuentran conviviendo en los Lagos de Chapultepec lo cual los constituye como un reservorio único de vida acuática, y los convierte en ecosistemas con gran diversidad.

Un punto muy interesante, es que dentro de esta gran diversidad de biota acuática se encuentran especies que se consideran nativas o habitantes típicos de los cuerpos acuáticos de la cuenca de México, tanto de los que aún persisten como pueden ser los canales de Xochimilco y la laguna de Zumpango, como los que ya han desaparecido o han sido desecados.

Entre estas se cuentan los acociles, los charales, los mexclapiques y los ajolotes (véase los “Cuatro Fantásticos” más adelante). Al mismo tiempo, estas especies conviven con otras que claramente han sido introducidas o “sembradas” en los lagos tales como las tilapias y las carpas. Estas especies son exóticas y fueron traídas de territorios tan lejanos como Asia y África. Como quiera que hayan llegado a los Lagos de Chapultepec, estos cuerpos acuáticos representan un reservorio valioso para una gran diversidad de biota acuática dentro de la “selva de asfalto” que constituye la Ciudad de México, asimismo, se podría decir que los Lagos de Chapultepec representan un oasis en el desierto citadino. A continuación, se presenta una descripción más detallada de los organismos que viven en los lagos.

5.a. Fitoplancton

En los Lagos de Chapultepec viven 40 especies diferentes de fitoplancton. El grupo de las clorofitas o algas verdes presenta el mayor número de especies con 28 (70%), seguido del grupo de las cianobacterias o algas azul-verdes, el cual consiste en ocho especies (20%). Las algas doradas o diatomeas están representadas por tres especies (7.5%) y, finalmente, la clase

Cryptophyta está presente con solo una especie (2.5%), *Cryptomonas ovata* (Figura 32).

Puede considerarse que, en general, los Lagos de Chapultepec tienen una riqueza baja de

especies de fitoplancton (Cuadro 8). Esto se debe a que las condiciones hipertróficas o de muy elevada productividad que prevalecen en ellos favorecen a unas pocas especies sobre el resto, en particular

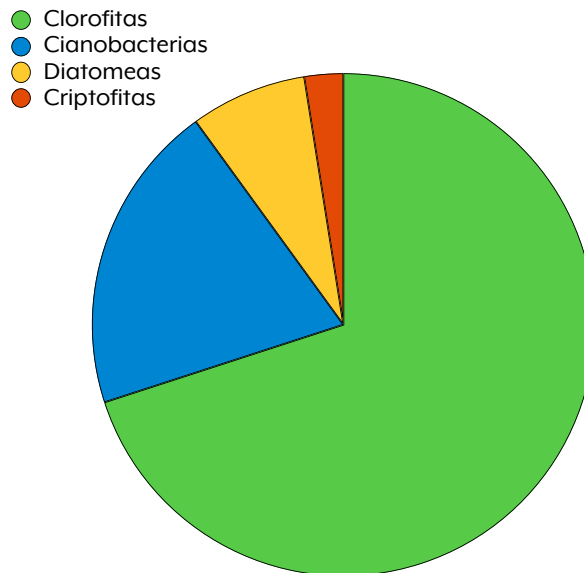


Figura 32. Número de especies de fitoplancton identificadas por clase taxonómica en los Lagos de Chapultepec.

Cuadro 8. Listado taxonómico de las especies de fitoplancton registradas en los Lagos de Chapultepec.

Nº	Taxa	Nº	Taxa
	Chlorophyta	22	<i>Oocystis</i> sp.
1	<i>Actinastrum hantzschii</i>	23	<i>Pectinodesmus pectinatus</i>
2	<i>Acutodesmus acuminatus</i>	24	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>
3	<i>Acutodesmus dimorphus</i>	25	<i>Pteromonas aculeata</i>
4	<i>Carteria</i> sp.	26	<i>Pteromonas angulosa</i>
5	<i>Chlamydomonas globosa</i>	27	<i>Scenedesmus bicaudatus</i>
6	<i>Chlorogonium</i> sp.	28	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
7	<i>Coelastrum astroideum</i>		Cianobacteria
8	<i>Desmodesmus maximus</i>	29	<i>Merismopedia tenuissima</i>
9	<i>Desmodesmus protuberans</i>	30	<i>Microcystis aeruginosa</i>
10	<i>Desmodesmus</i> sp.	31	<i>Microcystis</i> sp.
11	<i>Dimorphococcus</i> sp.	32	<i>Microcystis flosaquae</i>
12	<i>Eudorina elegans</i>	33	<i>Microcystis novacekii</i>
13	<i>Golenkinia radiata</i>	34	<i>Microcystis panniformis</i>
14	<i>Gonium pectorale</i>	35	<i>Pseudanabaena</i> cf. <i>limnetica</i>
15	<i>Kirchneriella lunaris</i>	36	<i>Pseudanabaena mucicola</i>
16	<i>Micractinium pusillum</i>		Bacillariophyta
17	<i>Monoraphidium arcuatum</i>	37	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
18	<i>Monoraphidium griffithii</i>	38	<i>Nitzschia palea</i>
19	<i>Monoraphidium irregulare</i>	39	<i>Nitzschia amphibia</i>
20	<i>Monoraphidium minutum</i>		Cryptophyta
21	<i>Monoraphidium nanum</i>	40	<i>Cryptomonas ovata</i>

del grupo de las cianobacterias o algas azul-verdes

Lo anterior explica el predominio en abundancia de solo cinco de las 40 especies de fitoplancton que habitan en los Lagos de Chapultepec, todas ellas pertenecientes al mismo género: *Microcystis aeruginosa*, *M. novacekii*, *M. panniformis*, *M. flos-aquae* y *Microcystis sp.* (Figura 33).

Las condiciones de elevada productividad o eutrofización de los Lagos de Chapultepec se expresan a través de la gran abundancia de fitoplancton, que llega a alcanzar valores extremos de hasta casi 40 millones de células de fitoplancton, en un mililitro de agua de lago (Cuadro 9). Sin

embargo, de todas las especies, tres contribuyeron con más del 90% de la abundancia, salvo en la zona norte del Lago Mayor donde es ligeramente menor, con un 84%.

De las tres especies, *Microcystis aeruginosa* fue la más importante en los lagos Viejo y Menor, aportando más del 60%. *Microcystis novacekii* fue la más importante en el Lago Mayor. Finalmente, *Microcystis panniformis* presentó cantidades menores al 20% en todos los lagos (Figura 34).

Las especies de *Microcystis* forman colonias en las cuales las células esféricas se encuentran contenidas dentro de un mucílago que las ayuda

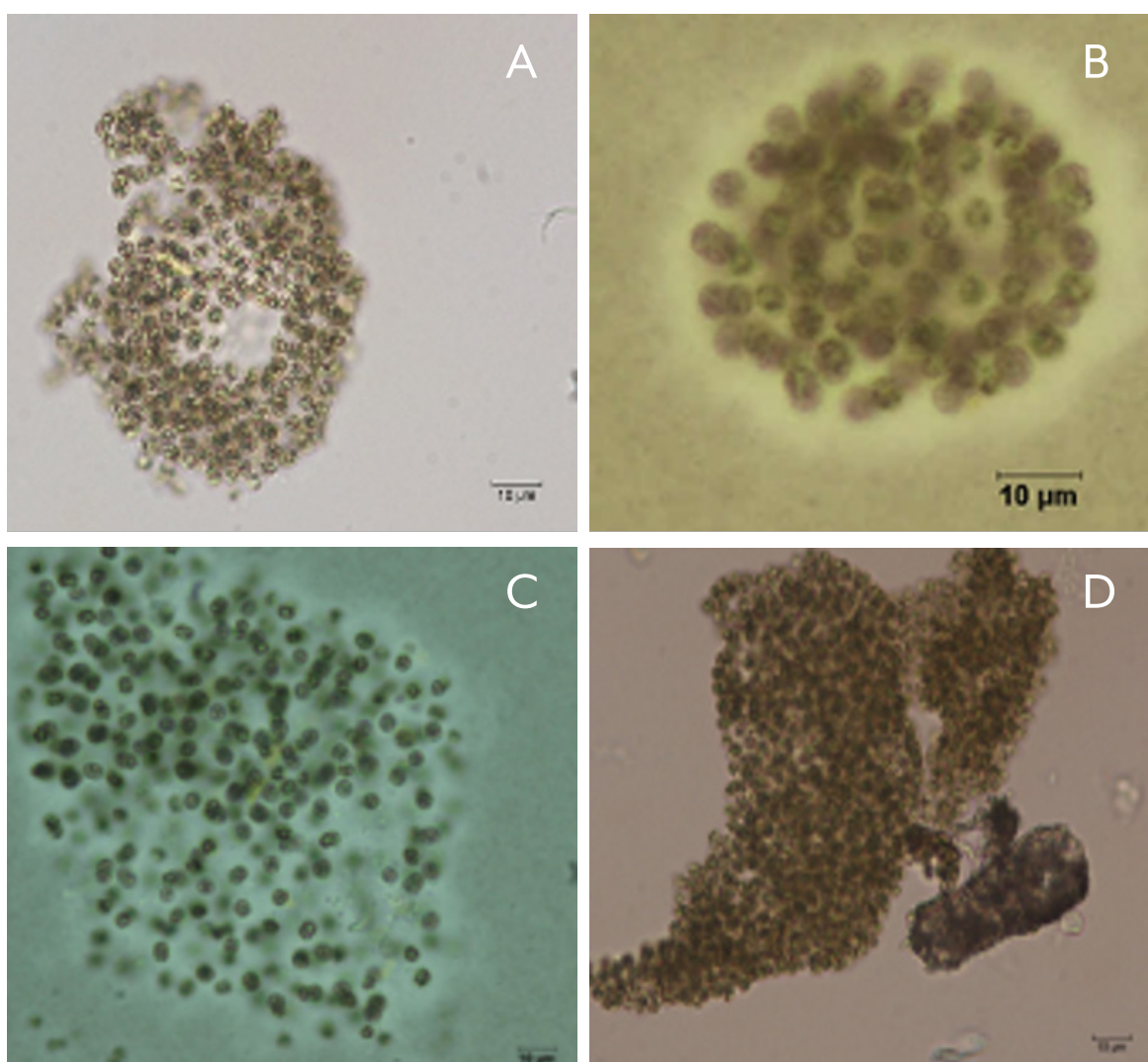


Figura 33. Diferentes especies de la cianobacteria *Microcystis* de los Lagos de Chapultepec. a) *Microcystis aeruginosa*; b) *Microcystis flos-aquae*; c) *Microcystis novacekii* y d) *Microcystis panniformis*. (Fotografías: María Guadalupe Oliva).

Cuadro 9. Densidad total de fitoplancton (cél mL⁻¹) en los Lagos de Chapultepec. (Promedio ± desviación estándar). (Los totales dan el intervalo de mínimo a máximo).

Taxa	Lago Viejo		Lago Mayor		Lago Menor
	Zona N	Zona S	Zona N	Zona S	
1	-	180 ± 623	-	366 ± 1,69	-
2	-	-	231 ± 801	93 ± 258	-
3	101 ± 496	604 ± 1,921	-	,	-
4	-	,	95 ± 299	101 ± 302	-
5	1,085 ± 3,954	839 ± 1,960	95 ± 299	164 ± 404	-
6	58 ± 283	303 ± 931	-	,	-
7	116 ± 567	282 ± 975	76 ± 264	123 ± 421	-
8	-	-	871 ± 1,313	154 ± 534	-
9	261 ± 912	155 ± 382	1,033 ± 1,185	44 ± 102	-
10	-	-	545 ± 1115	,	-
11	-	-	6,621 ± 10,023	193 ± 667	-
12	-	-	8 ± 28	0 ± 13	-
13	-	34 ± 117	568 ± 1,189	92 ± 205	-
14	-	475 ± 1,537	280 ± 804	137 ± 361	-
15	-	,	230 ± 796	321 ± 752	-
16	853 ± 2,683	540 ± 1,438	16,712 ± 39,151	9,071 ± 27,393	-
17	904 ± 796	497 ± 669	98 ± 186	86 ± 170	-
18	31 ± 87	226 ± 569	76 ± 205	25 ± 70	-
19	575 ± 894	102 ± 172	190 ± 243	143 ± 296	282 ± 82
20	2,680 ± 6,489	4,483 ± 10,972	75 ± 260	184 ± 637	935 ± 270
21	18,561 ± 36,078	11,099 ± 15,056	1,642 ± 3,475	2,281 ± 3,305	-
22	243 ± 1,190	-	93,038 ± 123,890	10,673 ± 14,886	-
23	-	-	694 ± 2,405	-	-
24	-	-	539 ± 1,283	624 ± 1,265	-
25	82 ± 335	288 ± 842	341 ± 863	298 ± 891	-
26	4,616 ± 8,299	10,018 ± 15,176	1,270 ± 1,500	3,260 ± 6,875	1,648 ± 694
27	32 ± 3159	-	116 ± 401	-	-
28	3,930 ± 9,3677	1,714 ± 4,402	191 ± 428	74 ± 255	-
29	20,394 ± 23,558	21,815 ± 56,616	1,155 ± 3,204	2,990 ± 4,980	20 ± 77
30	5,892,408 ± 4,603,710	3,933,425 ± 4,879,294	300,448 ± 458,233	1,729,170 ± 1,428,536	14,150,647 ± 12,411,172
31	208,528 ± 116,160	182,377 ± 138,832	31,766 ± 30,365	115,740 ± 116,232	306,379 ± 406,999
32	155,775 ± 252,271	364,580 ± 577,699	27,302 ± 78,293	50,704 ± 172,600	167,431 ± 67,655
33	2,030,681 ± 2,642,362	971,738 ± 1,287,131	1,271,522 ± 1,507,095	2,037,972 ± 2,371,477	4,129,956 ± 5,240,624
34	1,301,798 ± 4,278,928	377,907 ± 620,877	3,229 ± 11,185	2,153 ± 7,457	319,431 ± 92,212
35	8,514 ± 8,595	3,649 ± 5,747	3,886 ± 4,213	12,574 ± 11,218	15,168 ± 6,334
36	94,555 ± 93,580	62,293 ± 76,291	10,816 ± 17,009	52,407 ± 69,730	129,784 ± 126,195
37	94 ± 323	20 ± 70	850 ± 1,270	19 ± 66	20 ± 6
38	557 ± 1,753	1,910 ± 5,583	-	-	-
39	263 ± 716	769 ± 2,445	137 ± 230	324 ± 784	-
40	292 ± 486	457 ± 754	2,909 ± 4,309	2,299 ± 3,642	-
Total	1,152,654 – 37,426,998	961,769 - 19,879,154	86,434- 5,103,868	53,285 -7,658,652	53,285 -7,658,652

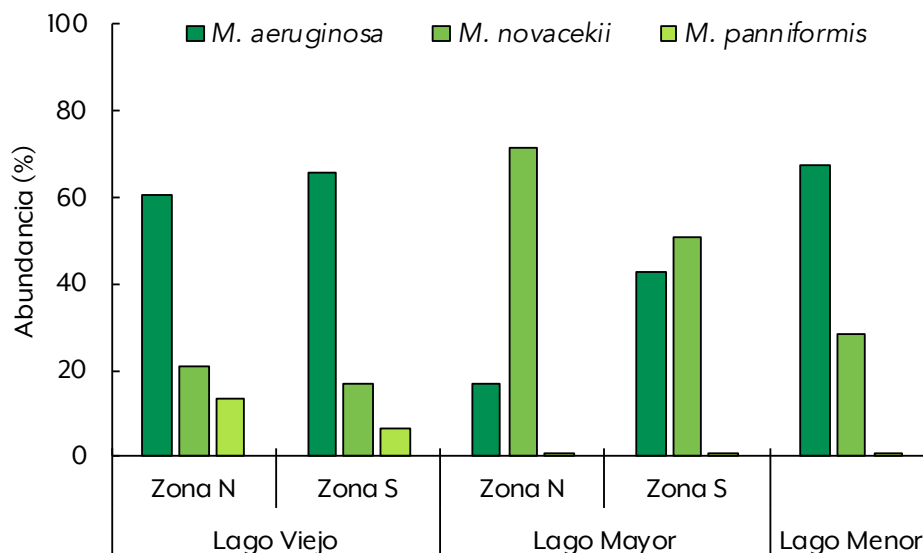


Figura 34. Contribución porcentual a la abundancia de las 3 especies de fitoplancton más importantes del género *Microcystis* en los Lagos de Chapultepec.

a flotar, y evita que puedan ser consumidas por el zooplancton por la gran talla de sus colonias.

El resto de las especies (37) aportan un porcentaje reducido a la abundancia total del fitoplancton. Descontando *Microcystis*, otras dos especies de cianobacterias, *Pseudanabaena mucicola* y *Pseudanabaena limnetica*, se cuentan entre las segundas más abundantes. En este caso, las cianobacterias tienen forma de filamentos formados por pequeñas células más o menos cilíndricas (Figura 35).

P. mucicola vive típicamente asociada a las

colonias de *Microcystis*, mientras que *P. limnetica* flota libremente en la columna de agua. Estas dos especies son más abundantes en el Lago Viejo y en el Lago Menor. En el Lago Mayor son importantes solo en la zona sur (Figura 36).

A pesar de que hay más especies de clorofitas o algas verdes, la mayoría de ellas no son abundantes. La densidad más alta se presenta en la zona norte del Lago Mayor, son importantes también en el Lago Viejo, mientras que en el Lago Menor son escasas. Las especies de clorofitas que aportaron las mayores abundancias son *Oocystis*

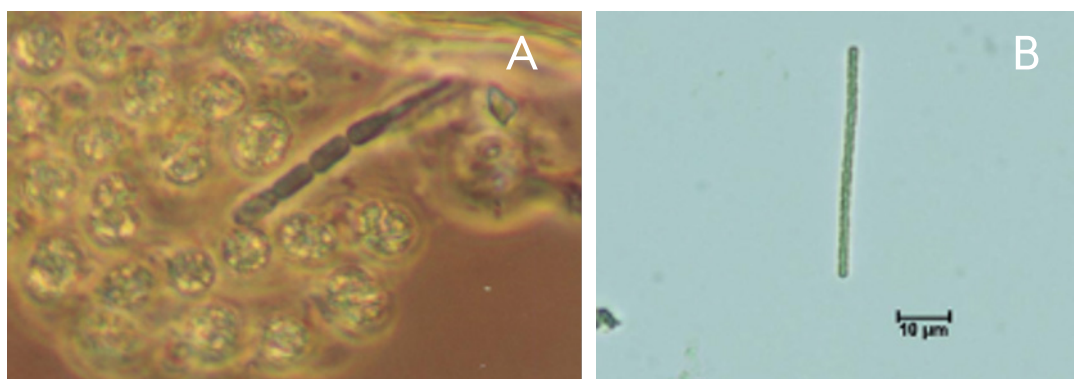


Figura 35. Especies de cianobacterias del género *Pseudanabaena* de los Lagos de Chapultepec: a) *Pseudanabaena mucicola* y b) *Pseudanabaena limnetica* (Fotografías: María Guadalupe Oliva).

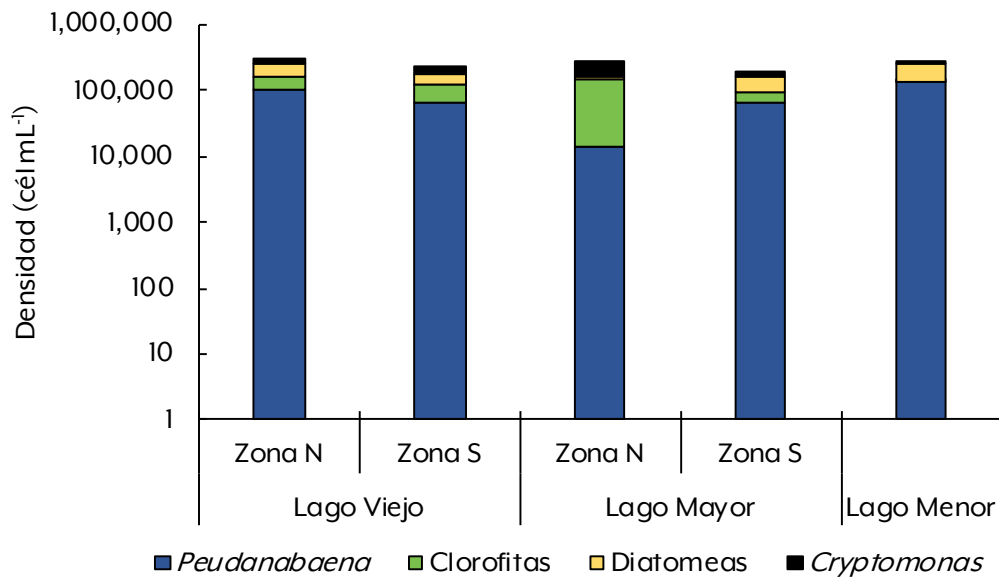


Figura 36. Densidad de los grupos de fitoplancton en los Lagos de Chapultepec descontando la contribución de *Microcystis*.

sp., *Pteromonas angulosa*, *Monoraphidium nanum* y *Micractinium pusillum*. Numerosas especies de la clase Chlorophyta se consideran asociadas a condiciones eutróficas.

En los Lagos de Chapultepec se observa la presencia escasa de tres especies de diatomeas (Bacillariophyta). *Cyclotella meneghiniana* vive suspendida en la columna de agua, mientras que las otras dos, ambas del género *Nitzschia*, normalmente están adheridas o asociadas a un sustrato; sin embargo, fácilmente se desprenden de éste, por lo que es común encontrarlas formando parte del fitoplancton.

En las Figuras 37, 38 y 39 se ilustran las numerosas especies de fitoplancton que se encuentran en los Lagos de Chapultepec, pero en abundancia reducida comparativamente con la cianobacteria *Microcystis*.

5.b. Zooplancton

El zooplancton está conformado por diferentes

grupos de microorganismos que se alimentan de microalgas y cianobacterias, que son organismos fotosintéticos microscópicos, pero también son capaces de comerse a otros microorganismos como las bacterias que degradan la materia orgánica. Entre los grupos que habitualmente se encuentran en el zooplancton están los protistas ciliados, los rotíferos y dos grupos de pequeños crustáceos (diminutos parientes de los camarones): los cladóceros o pulgas de agua y los copépodos. Estos cuatro grupos de organismos son parte integral del zooplancton de los tres Lagos de Chapultepec.

- Ciliados

Los ciliados son organismos microscópicos formados en su mayoría por una sola célula. Típicamente tienen numerosos pelillos cortos en casi todo su cuerpo y que por llamarse “cilios” dan origen al nombre del grupo. El movimiento de los cilios permite que el organismo se desplace a través

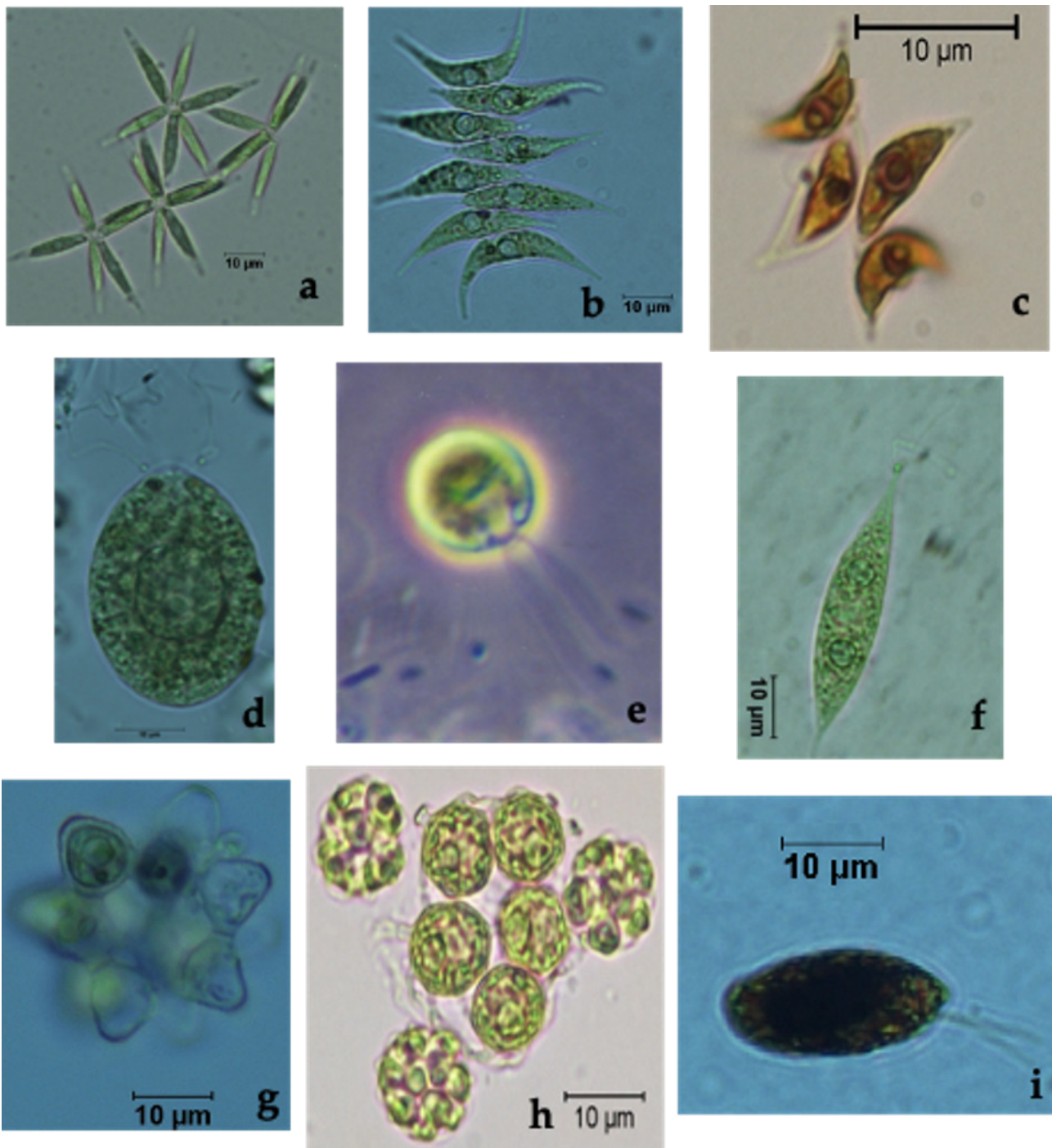


Figura 37. Especies de fitoplancton: a) *Actinastrum hantzschii*, b) *Acutodesmus acuminatus*, c) *Acutodesmus dimorphus*, d) *Carteria sp.*, e) *Chlamydomonas globosa*, f) *Chlorogonium sp.* g) *Coelastrum astroideum*, h) *Coelastrum cambricum*, i) *Cryptomonas ovata* (Fotografías: Ma. Guadalupe Oliva y José Ignacio de Jesús).

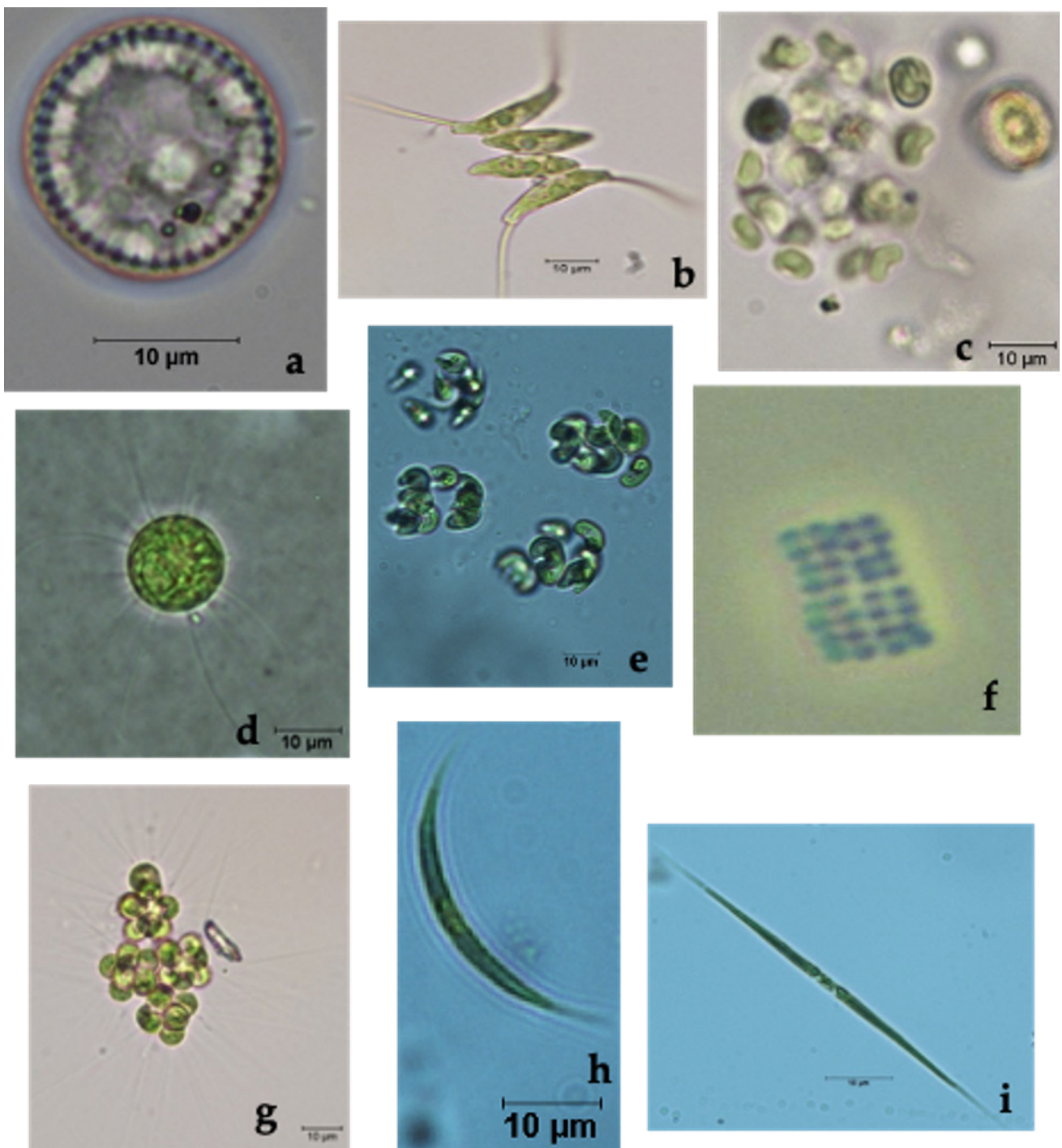


Figura 38. a) *Cyclotella meneghiniana*, b) *Desmodesmus protuberans*, c) *Dimorphococcus cf. lunatus*, d) *Golenkinia radiata*, e) *Kirchneriella obesa*, f) *Merismopedia tenuissima*, g) *Micractinium pusillum*, h) *Monoraphidium arcuatum*, i) *Monoraphidium griffithii*. (Fotografías: Ma. Guadalupe Oliva y José Ignacio de Jesús).

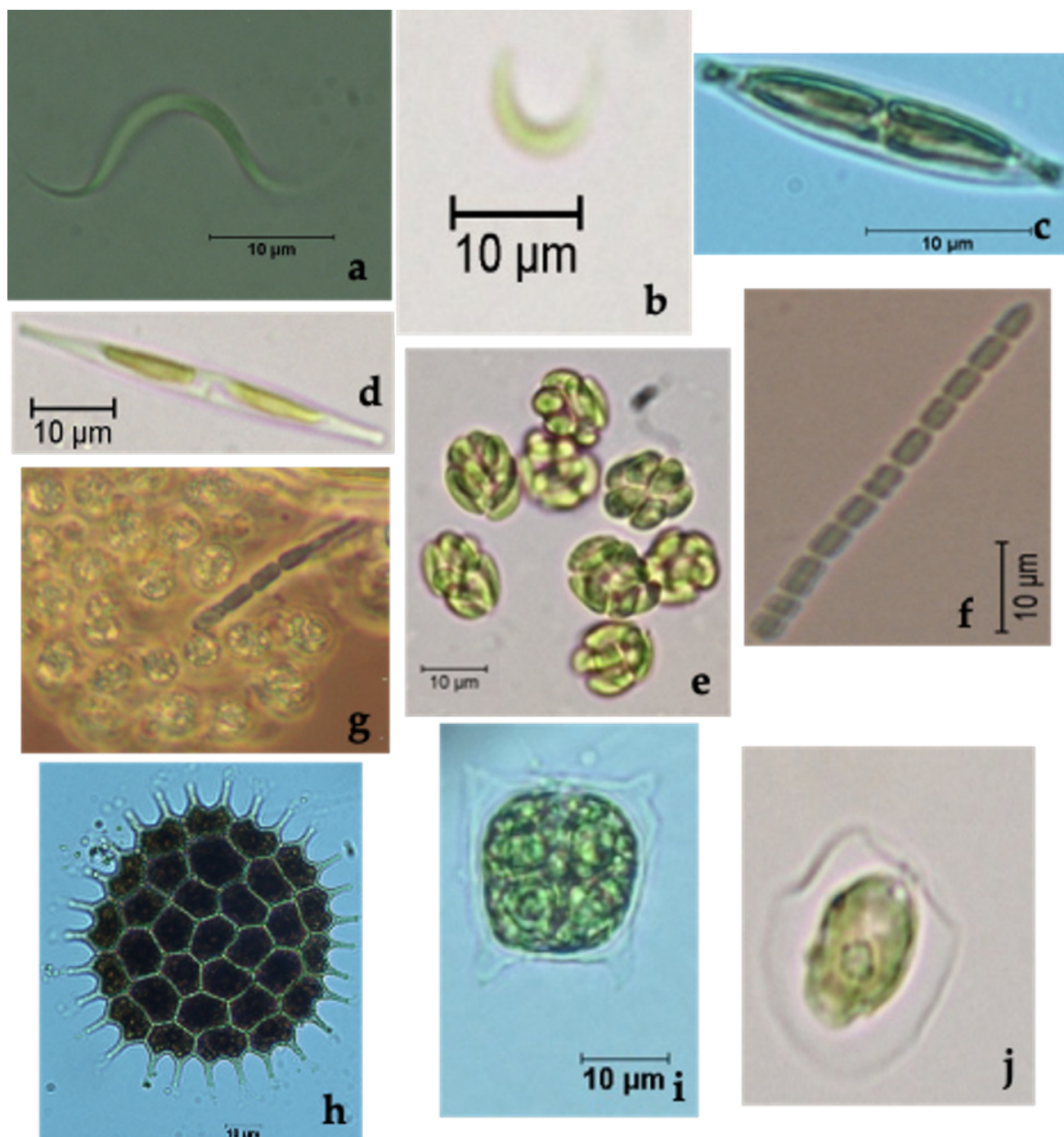


Figura 39. a) *Monoraphidium irregulare*, b) *Monoraphidium minutum*, c) *Nitzschia amphibia*, d) *Nitzschia palea*, e) *Oocystis sp.*, f) *Pseudanabaena limnetica*, g) *Pseudanabaena mucicola*, h) *Pseudopediastrum boryanum*, i) *Pteromonas aculeata*, j) *Pteromonas angulosa*. (Fotografías: Ma. Guadalupe Oliva y José Ignacio de Jesús).

del agua. Las bacterias son la fuente principal de alimento de los ciliados; éstas son filtradas del agua y posteriormente devoradas. Otras especies de ciliados comen microalgas unicelulares del fitoplancton, algunos flagelados que son protistas más pequeños y que típicamente tienen uno o más pelillos largos denominados flagelos que se mueven como un látigo, o incluso, pueden devorar a otros ciliados y hasta algunos rotíferos de tamaño pequeño. Esta capacidad de alimentarse de diferentes presas hace que los ciliados sean muy importantes dentro de lo que se llama la red trófica microbiana, que incluye la información de “quién se come a quién” dentro de los diferentes grupos de microorganismos. Los ciliados, a su vez, pueden ser consumidos por algunos rotíferos, cladóceros y copépodos, así como también son una fuente importante de alimento para las larvas

de peces (Figuras 40 y 41).

En el zooplancton de los Lagos de Chapultepec se encuentran 27 especies de ciliados: 20 en el Lago Viejo, 22 en el Lago Mayor y 11 en el Lago Menor. Sin embargo, solamente 5 especies de ciliados son abundantes: *Cyclidium glaucoma*, *Halteria grandinella*, *Aspidisca cicada*, *Vorticella microstoma* y *Coleps hirtus*. *Cyclidium* es un ciliado muy pequeño (20 μm) que se alimenta de bacterias. *Halteria* también come bacterias y algunos flagelados y tiene la característica de moverse dando de pronto grandes “saltos” en el agua. Este movimiento le permite escapar rápidamente de los organismos que quieren comérselo.

Aspidisca es un ciliado “reptante” que vive asociado a cúmulos de bacterias y fitoplancton y que parece “caminar” sobre la superficie de estos cúmulos. Al caminar, va devorando las bacterias

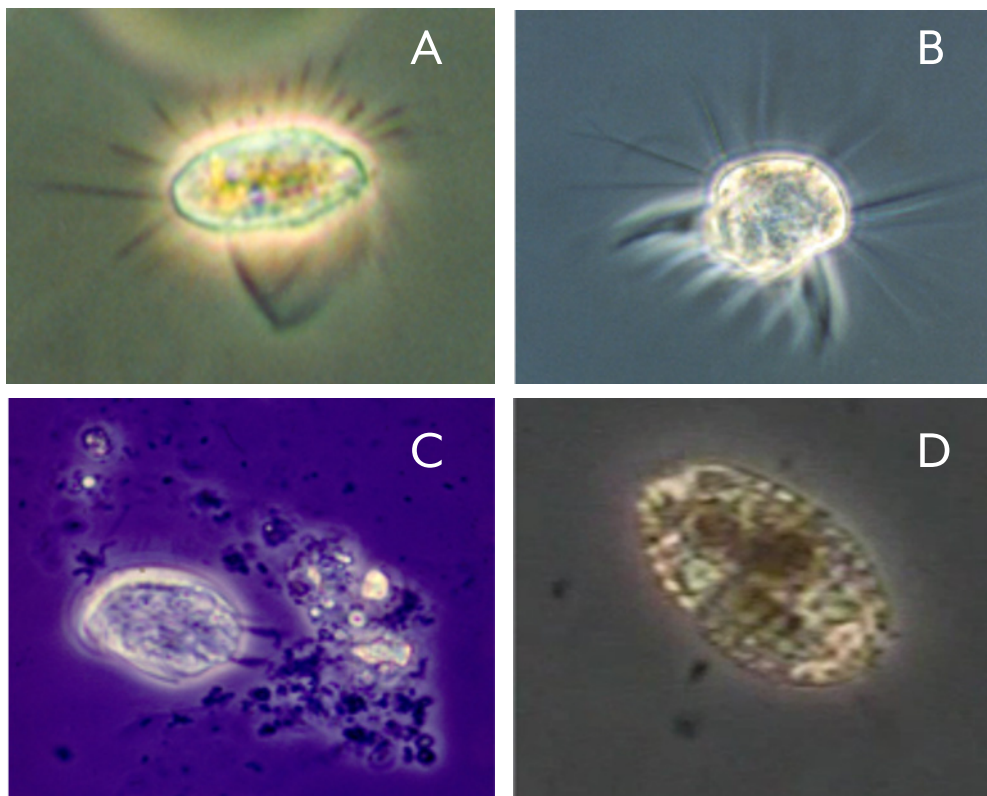


Figura 40. Protistas ciliados más abundantes en los Lagos de Chapultepec. A) *Cyclidium glaucoma*, B) *Halteria grandinella*, C) *Aspidisca cicada* y D) *Coleps hirtus* (Fotografías de Alfonso Lugo).

que logra desprender de la superficie de estas partículas. *Vorticella* es un ciliado que tiene un pedúnculo o prolongación con el cual se fija a algún sustrato. Tiene cilios solamente en la región de la boca y moviéndolos crea corrientes de agua que le llevan el alimento, bacterias principalmente, para ser ingerido. Finalmente, *Coleps* es un organismo que se especializa en comer los restos de otros organismos muertos, por ejemplo, rotíferos, cladóceros y copépodos. Es como el zopilote del mundo microscópico.

Las abundancias más elevadas de ciliados se observan en el Lago Menor, mientras que la zona norte del Lago Viejo presenta relativamente pocos organismos y un poco más en la porción sur. Las densidades en el Lago Mayor fueron apenas mayores que las del Lago Viejo (Figura 42).

Las especies de ciliados, así como sus abundancias, pueden ser utilizadas como indicadores biológicos de la calidad del agua

donde viven de acuerdo con un sistema antiguo y muy probado llamado el “sistema de los saprobios”. Este se aplica para la contaminación asociada a la concentración de materia orgánica en el agua. El método ha clasificado a numerosas especies acuáticas como indicadoras de contaminación baja (oligosaprobiedad), media (mesosaprobiedad) o alta (polisaprobiedad). En los Lagos de Chapultepec predominan condiciones de contaminación alta (alfa-mesosaprobias), excepto en la zona sur del Lago Viejo, que presenta condiciones de contaminación moderada (beta-mesosaprobias) (Figura 43).

- Rotíferos

A diferencia de los ciliados, los rotíferos son pluricelulares y contienen sistemas y órganos sencillos. Se asemejan a los ciliados porque también tienen cilios, pero en este caso los cilios



Figura 41. Uno de los protistas ciliados más abundantes en los Lagos de Chapultepec *Vorticella microstoma*. (Fotografías de Alfonso Lugo).

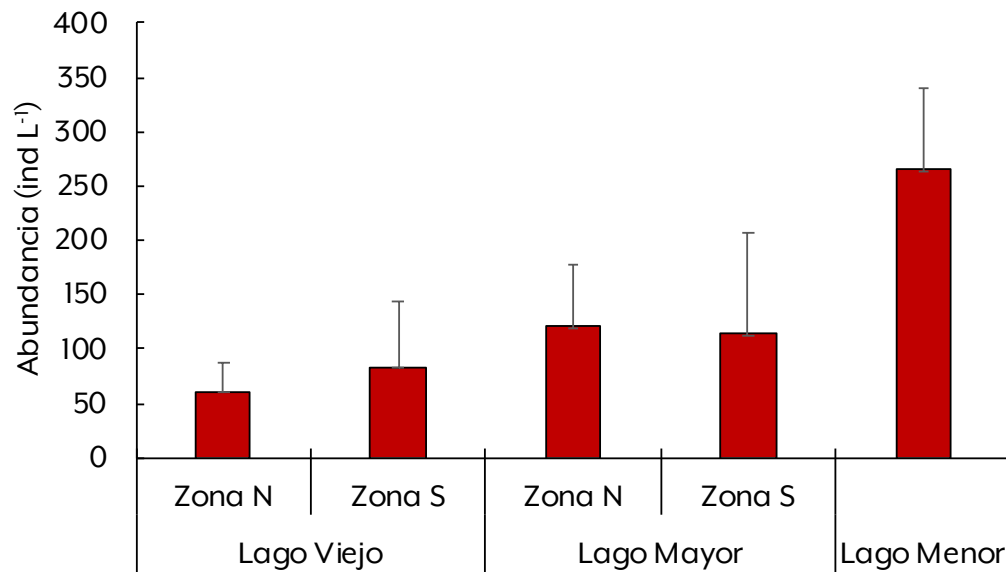


Figura 42. Abundancia promedio del total de ciliados en los tres Lagos de Chapultepec.

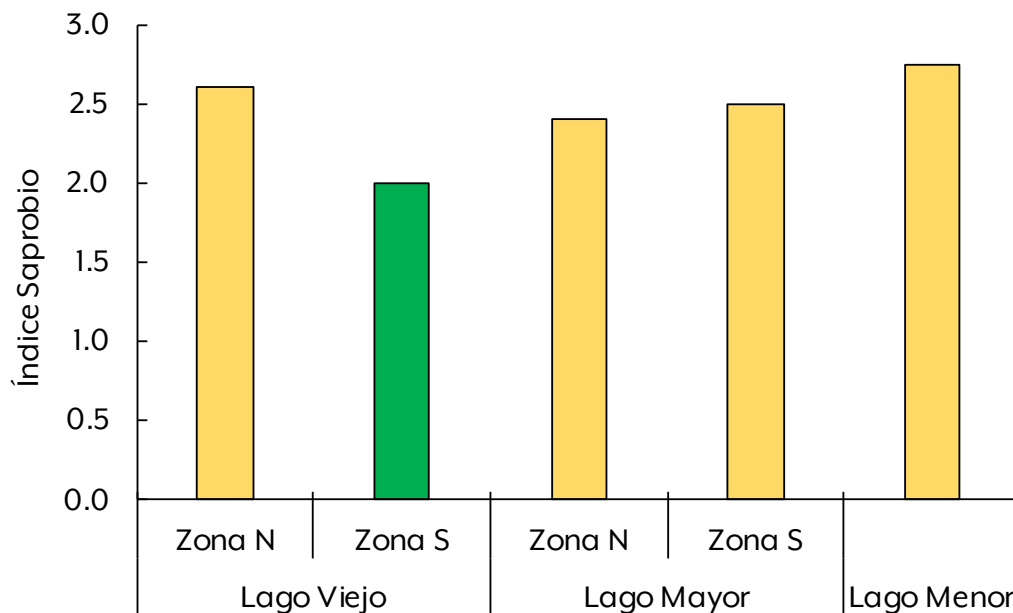


Figura 43. Condiciones de contaminación por materia orgánica calculadas para cada zona de los Lagos de Chapultepec según las especies de ciliados y su abundancia. [Amarillo: contaminación alta (alfa-mesosaprobias), verde: contaminación moderada (beta-mesosaprobias)].

sólo se encuentran en una estructura llamada corona, la cual les permite moverse y alimentarse. La mayoría de las especies de rotíferos son filtradoras y se alimentan de microalgas, bacterias y algunos protistas. También existen algunas especies depredadoras cuyas presas pueden ser otros rotíferos, ciliados y cladóceros pequeños. Las poblaciones de rotíferos en los cuerpos de agua

casi siempre están formadas sólo por hembras que se reproducen por partenogénesis (los huevos se desarrollan sin necesidad de ser fecundados por un macho) y dan origen a otras hembras genéticamente idénticas a sus madres. Sólo en condiciones adversas se producen huevos que dan lugar a machos que rápidamente fecundan a las hembras para formar huevos de resistencia y así

permanecer en un tipo de hibernación hasta que las condiciones ambientales sean propicias para salir del huevo.

La riqueza de especies de rotíferos en los Lagos de Chapultepec es baja con tan sólo diez especies, cuando en cuerpos acuáticos no contaminados pueden encontrarse más de 100 especies. Las diez especies se encontraron en los Lagos Viejo y Mayor, mientras que en el Lago Menor sólo se encontraron nueve. Las especies dominantes en el Lago Viejo son *Brachionus havanaensis*, *B. calyciflorus* y *Keratella cochlearis*, en el Mayor son *B. caudatus*, *B. calyciflorus* y *K. cochlearis*, finalmente, en el Lago Menor son *B. havanaensis*, *B. caudatus* y *K. cochlearis*. Solo *K. cochlearis*

es dominante en los tres lagos (Figura 44). Los rotíferos son el componente más abundante del zooplancton de los tres Lagos de Chapultepec y alcanzan densidades promedio de 900 ind L⁻¹ en la parte sur del Lago Viejo y de 1,000 ind L⁻¹ en la zona norte del mismo lago. En el Lago Mayor los valores son elevados: 1,460 ind L⁻¹ en la zona norte y 1,812 ind L⁻¹ en la zona sur. El Lago Menor fue muy parecido a la zona sur del Lago Mayor, con un valor de 1,800 ind L⁻¹ (Figura 45). Casi todas las especies de rotíferos observadas en los Lagos de Chapultepec son típicas de ambientes con fitoplancton abundante, es decir, eutróficos. Las células pequeñas de fitoplancton constituyen su alimento principal, al igual que algunas bacterias.

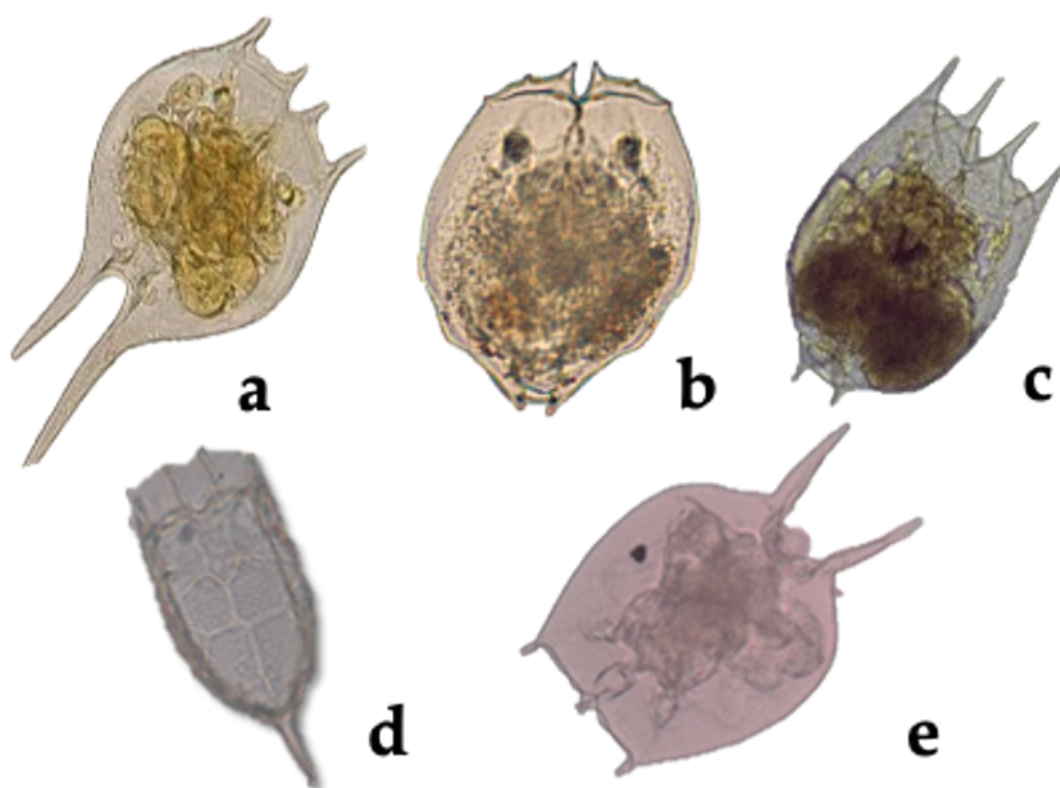


Figura 44. Especies de rotíferos más abundantes en el plancton de los Lagos de Chapultepec. a) *Brachionus havanaensis*, b) *Brachionus angularis*, c) *Brachionus calyciflorus*, d) *Keratella cochlearis* y e) *Brachionus caudatus* (Fotografías de Marlen Santiago).

Solamente *Asplanchna sieboldi* es carnívora y depredadora y se alimenta de otros rotíferos, ciliados y pequeños cladóceros; sin embargo, esta especie está presente en densidades bajas en los tres lagos.

Cladóceros

Los cladóceros, comúnmente conocidos como “pulgas de agua”, son el componente menos abundante del zooplancton en los tres Lagos de Chapultepec. Se encuentran solamente dos especies, ambas de tamaño pequeño (menos de medio milímetro): *Bosmina longirostris* y *Moina macrocopa* (Figura 46).

Una explicación posible para la escasa presencia de cladóceros en los Lagos de Chapultepec es que el tipo de alimento disponible no es el más adecuado para ellos y por esta razón las poblaciones no crecen bien. Sin embargo, otro factor posible es la depredación ya que los peces suelen alimentarse de estos organismos. Son más abundantes en la

zona norte del Lago Mayor y en el Lago Menor (Figura 47).

Copépodos

Los copépodos son otro grupo de crustáceos pequeños. Tienen importancia como alimento para peces, así como consumidores de fitoplancton y de otros organismos de menor talla como los ciliados, rotíferos, cladóceros y otros copépodos. A diferencia de los rotíferos y cladóceros, estos organismos se reproducen sexualmente, lo cual implica que sus poblaciones naturales están formadas por machos y hembras que deben encontrarse y realizar la cópula para generar huevos fértiles. Los copépodos cambian de forma a lo largo de su ciclo de vida. Inician su vida en forma de pequeñas larvas con forma de “arañitas” llamadas larvas nauplio. Las larvas crecen y van aumentando su tamaño, así como el número de sus apéndices hasta que cambian a una forma diferente, similar a la forma adulta, pero de menor

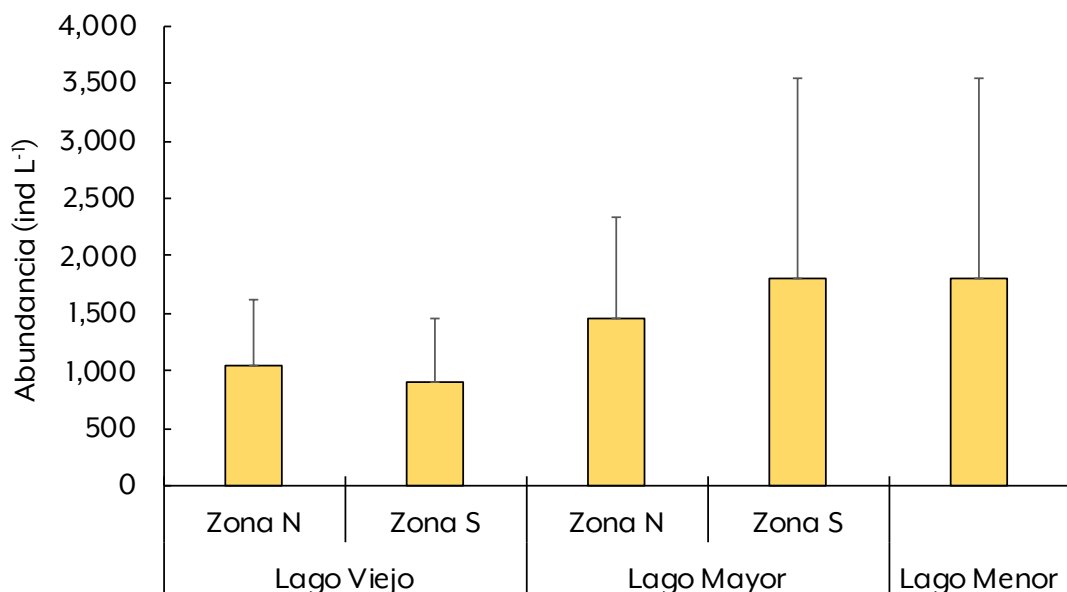


Figura 45. Abundancias promedio de los rotíferos en los Lagos de Chapultepec.

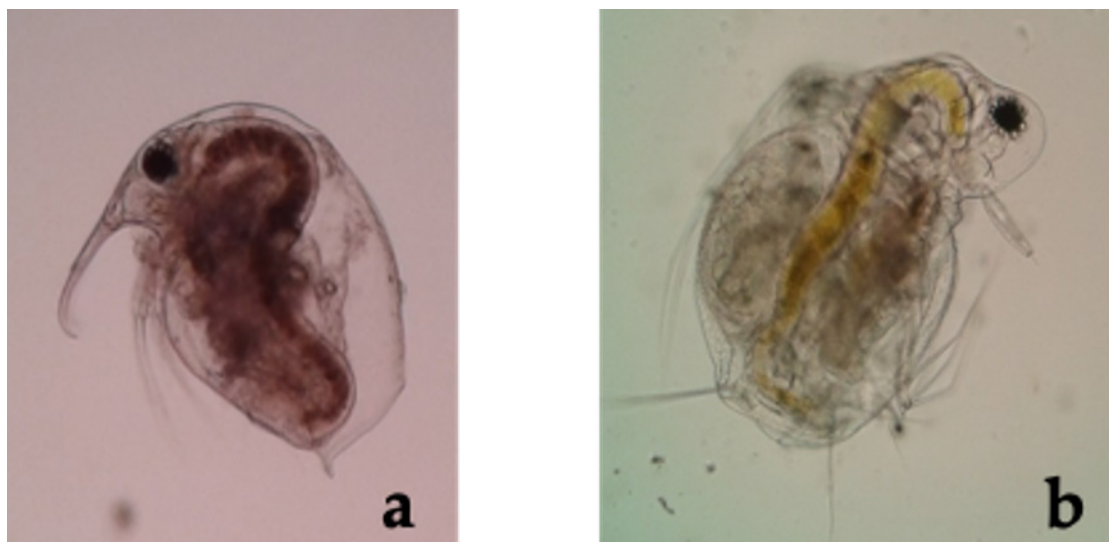


Figura 46. Especies de cladóceros presentes en el zooplancton de los Lagos de Chapultepec. a) *Bosmina longirostris* y b) *Moina macrocopa* (Fotografías de Marlen Santiago).

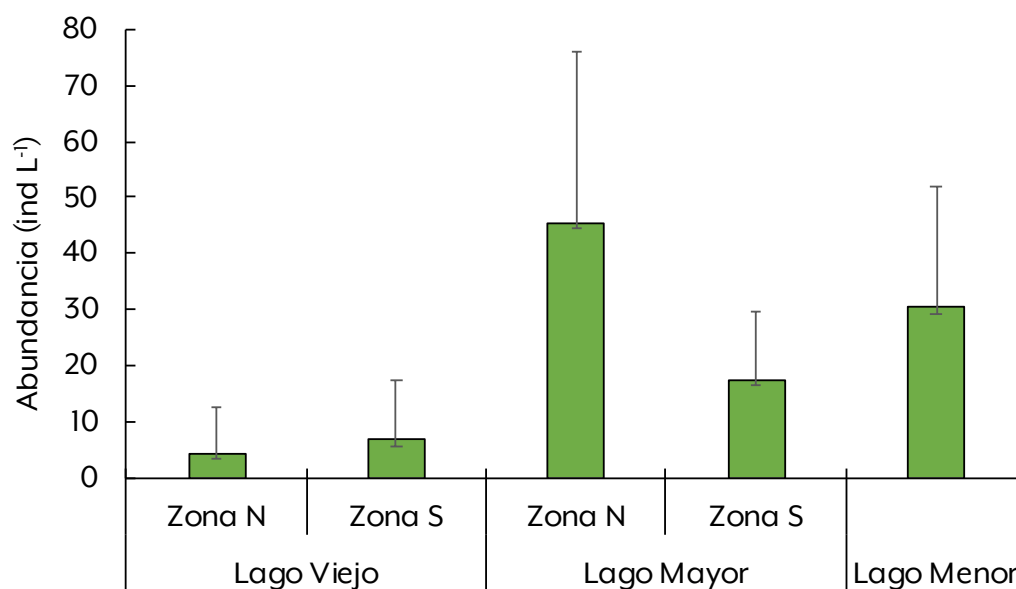


Figura 47. Abundancias promedio de cladóceros en los Lagos de Chapultepec.

tamaño y que siguen desarrollando partes del cuerpo y apéndices hasta llegar finalmente al estado adulto y diferenciarse con mayor claridad en machos y hembras.

Mastigodiatomus patzcuarensis pertenece al grupo de los denominados calanoideos. Se alimentan de fitoplancton mediante filtración. La otra especie es *Acanthocyclops americanus*, se considera omnívoro ya que consume diversos tipos

de comida como rotíferos, pequeños cladóceros y ciliados, pero también se alimenta de microalgas (Figura 48).

La especie más abundante en los tres Lagos de Chapultepec es *Mastigodiatomus patzcuarensis*. El Lago Menor tiene los valores más elevados de larvas, con 266 ind L⁻¹; la zona sur del Lago Viejo presenta la mayor concentración de copépodos juveniles con 139 ind L⁻¹, mientras que los

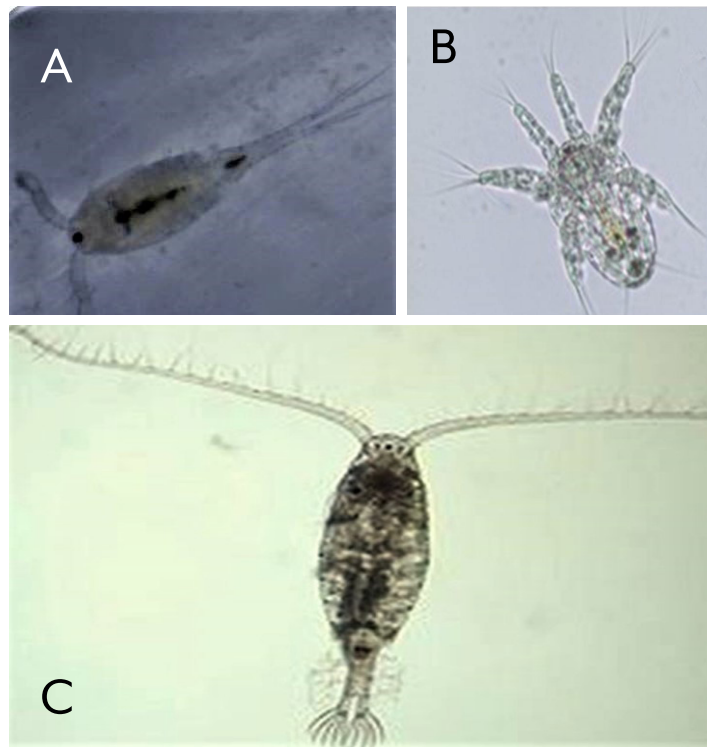


Figura 48. Especies de copépodos del zooplancton de los Lagos de Chapultepec. a) *Acanthocyclops americanus*, b) larva nauplio de *A. americanus* y c) *Mastigodiptomua albuquerquensis*. (Fotografías de Alfonso Lugo).

ejemplares adultos nunca rebasan los 100 ind L⁻¹ en ninguno de los lagos, pero son más numerosos en el Lago Menor (Gráfica 49).

En los tres lagos, la fase adulta fue la menos abundante (Figura 49) y es probable que esto se deba a lo mismo que ocurre con los cladóceros, a que los peces se alimentan de los copépodos y prefieren los organismos de mayor tamaño, es decir, a los adultos. Las larvas y los juveniles, por ser más pequeños, pueden más fácilmente pasar desapercibidos para los peces, y de esta forma evitar ser consumidos.

En conclusión, el zooplancton de los Lagos de Chapultepec, desde los ciliados hasta los copépodos, se ve fuertemente afectado por la composición y la abundancia del alimento disponible, básicamente el fitoplancton. Muchas de las especies de fitoplancton que están en los

Lagos de Chapultepec presentan “defensas” tales como cubiertas mucilaginosas, espinas, toxinas o baja calidad nutritiva, que las protegen de ser consumidas. Por esta razón, aunque aparentemente existe gran disponibilidad de alimento para el zooplancton, en realidad una parte importante de este no puede ser consumido. Esto explica por qué la riqueza de especies de todos estos grupos de zooplancton es baja. Para el caso de las formas de mayor tamaño, es muy probable que un factor negativo adicional sea el consumo que realizan los peces sobre ellos. Esto reduce aún más las abundancias de estas especies, principalmente de los cladóceros y los copépodos adultos. La composición del zooplancton en estos lagos no favorece un consumo intenso de fitoplancton y esto se suma con el fuerte crecimiento de las microalgas y cianobacterias para mantener las

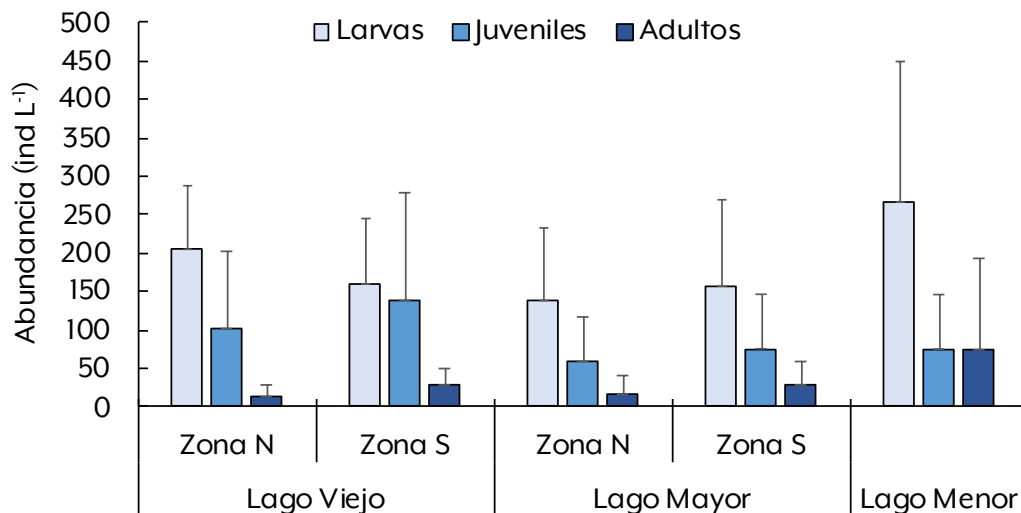


Figura 49. Densidad promedio por estadio de crecimiento de los copépodos en los Lagos de Chapultepec.

condiciones eutróficas, es decir, con presencia de elevadas densidades de fitoplancton.

5.c. Los organismos del fondo: sedimentos y bentos

Aunque se ha dicho que los tres Lagos de Chapultepec tienen fondo de concreto y por ende artificial, solo en los dos lagos de la 2ª Sección esto es cierto. Una de las principales diferencias entre el Lago Viejo y los lagos Mayor y Menor se presenta en el tipo de sustrato y los sedimentos. En el Lago Viejo el fondo es natural y está cubierto por sedimentos. En los lagos Mayor y Menor el fondo es artificial, compuesto por concreto colado sobre una red de alambrado. Los sedimentos del Lago Mayor han cambiado a lo largo del tiempo, desde existir una delgada capa de sedimento hasta periodos donde no hay sedimento sobre el concreto. Esto último ha sucedido cuando el lago se ha vaciado ya sea accidentalmente al fracturarse el fondo o bien, drenado específicamente para darle "limpieza". En el caso del Lago Menor, los sedimentos son de tipo floculento, es decir, muy

acuoso, inconsistente, no consolidado (Figura 50).

Por su origen, alimentación y por estar ubicados dentro del Bosque de Chapultepec, la fuente principal de sedimentos para los Lagos de Chapultepec es autóctona, esto es, que se origina en los lagos mismos. Sin embargo, también reciben sedimentos de fuentes alóctonas o externas que son transportados hasta los lagos. La gran cantidad de algas que se producen en los lagos y que dan origen a su característico color verde, al morir se depositan en el fondo constituyendo sedimentos orgánicos. La fuente alóctona es el acarreo de sedimentos terrestres (p. ej., arcillas, limos) por lluvia y viento procedentes de las zonas aledañas como los prados, los caminos, etc. Sin embargo, también las labores de mantenimiento de las orillas y otro tipo de obras que se construyen cerca de los lagos han sido fuente de sedimentos gruesos (p. ej., arenas y gravas). Estos últimos constituyen los sedimentos terrígenos.

En el Lago Viejo predominan (87%) los sedimentos finos, lodos compuestos por arcillas y limos, que se distribuyen en casi todo el



Figura 50. Ocasionalmente el color de las aguas de los lagos cambia de un característico verde brillante a café como en el caso del Lago Menor (Fotografía de Paulina Vázquez Quintero).

lago; solo en algunas zonas de la periferia se encuentran los sedimentos gruesos constituidos por arenas combinadas con lodos. Los primeros son autóctonos y orgánicos y los segundos son terrígenos e inorgánicos. El Lago Mayor, también presenta de forma mayoritaria sedimentos finos (75%), lodos en este caso, y en algunas zonas como en el muelle y en la porción norte, sedimentos

más gruesos compuestos por limos arenosos. El Lago Menor presenta la mayor proporción de sedimentos finos (90%) respecto a los otros dos lagos.

Como resultado de que la mayor parte de los sedimentos en los tres Lagos de Chapultepec sea de origen autóctono y por ende orgánico, el contenido de materia orgánica de los sedimentos

es elevado y son clasificados como sedimentos orgánicos. El porcentaje de materia orgánica en la porción sur del Lago Viejo es de $19.2 \pm 3.8\%$, mientras que en la porción norte los porcentajes fueron menores, con $13.4 \pm 3.0\%$. El porcentaje de materia orgánica en los lagos Mayor y Menor fue mayor al del Lago Viejo con $25.9 \pm 2.8\%$ y $31.6 \pm 2.2\%$, respectivamente. Los sedimentos de los lagos Viejo y Mayor son similares entre sí y diferentes a los del Lago Menor. Para los lagos Viejo y Mayor los sedimentos son de color verde-oscuro, grisáceo a negro, tersos y con mayor consistencia que los del Lago Menor que son suaves y floculentos y de color amarillo a café.

Los organismos que viven asociados al fondo de los cuerpos acuáticos, ya sea sobre o dentro de los sedimentos, se denominan organismos bentónicos y en conjunto, como comunidad, bentos. En los sedimentos de los Lagos de Chapultepec se encuentran diez especies diferentes de organismos bentónicos, siete de ellos son insectos, uno es un crustáceo y dos son gusanos.

Los “mosquitos” viven en el fondo de los lagos en su estado larval y cuando maduran salen al aire

volando ya que los adultos son aéreos y alados. Estos mosquitos de los Lagos de Chapultepec no pican. Por otro lado, los denominados como “moscos”, chinches acuáticas o “barqueritos”, pueden nadar desde el fondo hasta la superficie de los lagos. Son conocidos porque suelen ser vendidos secos como alimento para aves canoras.

Los acociles o “camaroncitos” son famosos ya que se capturan para ser consumidos después de guisarse con jitomate, cebolla, ajo, hierbas y chile en tacos o cocidos en tamales. Los “gusanos” son bien conocidos entre los aficionados al acuarismo ya que los venden vivos, en “madejas”, como alimento para peces de ornato. Son de característico color rojo brillante y se conocen también como “gusano tubifex”. Finalmente, se encuentran también las “sanguijuelas”, a pesar de su fama como “chupadoras de sangre” (hematófagas), existen muchas que se alimentan de plantas y de detritos (Cuadro 10).

No todas las especies mencionadas viven en todos los lagos ni en todas las zonas (Cuadro 11). En el Lago Viejo se encuentran en total 9 de las 10 especies, 5 especies en la zona aislada (sur)

Cuadro 10. Especies de organismos bentónicos que habitan los fondos de los Lagos de Chapultepec.

Clase	Orden	Familia	Género/Especie	Nombre común
Insecta	Diptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	Mosquito
		Chironomidae	<i>Dicrotendipes</i>	Mosquito
		Chironomidae	<i>Tanytus</i>	Mosquito
		Chaoboridae	<i>Chaoborus</i>	Mosquito
	Hemiptera	Corixidae	<i>Trichocorixella mexicana</i>	Mosco
		Corixidae	<i>Krizousacorixa femorata</i>	Mosco
		Corixidae	<i>Corisella edulis</i>	Mosco
Malacostraca	Decapoda	Cambaridae	<i>Cambarellus montezumae</i>	Acocil
Oligochaeta	Tubificida	Tubificidae	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	Gusano
Hirudinea	Rhyncobdellida	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	Sanguijuela

y 9 en la zona abierta (norte). En el Lago Mayor se encuentran 5 especies, 4 en la zona aislada (norte), mientras que solo 2 en la abierta (sur). Finalmente, en el Lago Menor se encuentran tan solo 3 especies.

Únicamente tres de las 10 especies se encuentran presentes en todos los lagos, todos ellas mosquitos: *Chironomus*, *Dicrotendipes* y *Chaoborus*. Por otro lado, de las tres especies de “moscos” o “barqueritos”, dos se encuentran solo en la zona abierta (norte) del Lago Viejo y la tercera solo habita la zona aislada (norte) del Lago Mayor. El “acocil” exclusivamente se encuentra en la zona aislada (sur) del Lago Viejo. Esto último es muy importante, ya el lago de Chapultepec es la “localidad tipo” de *Cambarellus montezumae*, es decir, el sitio donde fue muestreado por primera vez este acocil (“pozas de Chapultepec”), al recibir su descripción científica en 1958 por el Dr. De Saussure y que originalmente nombró como *Cambarellus (Cambarellus) montezumae*.

Sin lugar a duda, el Lago Viejo es el que alberga la mayor abundancia de organismos bentónicos;

los lagos Mayor y Menor presentan alrededor del 10% de lo registrado en el Lago Viejo. Dentro del Lago Viejo, la zona aislada (sur) contiene aproximadamente la mitad de los organismos bentónicos que la zona abierta (norte). En la zona abierta (norte) del Lago Viejo la dominancia es *Chironomus* > *Tanypus* > *Limnodrilus hoffmesteri*, mientras que en la aislada (sur) es: *Tanypus* > *Limnodrilus hoffmesteri* > *Chironomus*. Para la zona aislada (norte) del Lago Mayor la dominancia es *Chironomus* > *Trichocorixella mexicana* y para la abierta (sur) es solo *Chironomus*. Finalmente, en el Lago Menor la dominancia es *Chironomus* > *Chaoborus*. En resumen, los organismos bentónicos más abundante son los “mosquitos” *Chironomus* y *Tanypus* y por debajo de éstos el “gusano” *Limnodrilus hoffmesteri* (Cuadro 12).

El “Índice Biótico” es una escala diseñada para evaluar, *grosso modo* en tres categorías, la contaminación de los cuerpos acuáticos de acuerdo con los organismos presentes en ellos: organismos sensibles, moderadamente sensibles y tolerantes a la contaminación. Además de la

Cuadro 11. Presencia/Ausencia de los organismos bentónicos que habitan los fondos de los Lagos de Chapultepec.

Género/Especie	Lago Viejo		Lago Mayor		Lago Menor
	Zona N	Zona S	Zona N	Zona S	
<i>Chironomus</i>	X	X	X	X	X
<i>Dicrotendipes</i>	X	X	–	X	X
<i>Tanypus</i>	X	X	–	–	–
<i>Chaoborus</i>	–	X	X	–	X
<i>Trichocorixella mexicana</i>	–		X	–	–
<i>Krizousacorixa femorata</i>	–	X	–	–	–
<i>Corisella edulis</i>	–	X	–	–	–
<i>Cambarellus montezumae</i>	–	X	–	–	–
<i>Limnodrilus hoffmesteri</i>	X	X	X	–	–
<i>Helobdella</i>	X	X	–	–	–
Total	5	9	4	2	3

categoría, para designar el grado de contaminación hay que considerar la abundancia de cada una de las especies, siendo que las más abundantes tienen mayor peso para indicar un nivel de contaminación en comparación con las especies que se encuentran en menor número, esto es, que son más escasas.

De todas las especies bentónicas presentes en los Lagos de Chapultepec, solo el “acocil” se considera como sensible a la contaminación, todas las demás se catalogan como tolerantes a la contaminación. Adicionalmente, el “acocil” se encuentra solo en una parte del Lago Viejo y en muy baja abundancia. Por lo anterior, con base en el mayor número de especies tolerantes a la contaminación y que éstas son las más abundantes, el Índice Biótico indica que los Lagos de Chapultepec presentan una contaminación elevada. Esta evaluación coincide con otros indicadores en mostrar a los Lagos de Chapultepec como muy contaminados, aunque en

este caso, el tipo de contaminación se identifica claramente con el proceso de eutrofización, esto es, los lagos están eutrofizados.

5.d. Necton: peces y ajolotes

El conjunto de organismos que habitan en la columna de agua de los cuerpos acuáticos y que, por poseer movilidad propia, son capaces de desplazarse activamente, con independencia de las corrientes se denomina “necton”. El necton de los Lagos de Chapultepec incluye a peces y anfibios, aunque ocasionalmente se encuentra algún reptil acuático como las culebras de agua.

En los Lagos de Chapultepec se han registrado el “charal del río Lerma” (*Chirostoma jordani*), el “mexclapique de la Cuenca de México”, también: “mezclapique”, “mexcalpique”, “mezcalpique” e incluso “mesclapique” (*Girardinichthys viviparus*),

Cuadro 12. Densidad (ind m²) y promedio \pm desviación estándar de los organismos bentónicos que habitan los fondos de los Lagos de Chapultepec.

Género/Especie	Lago Viejo		Lago Mayor		Lago Menor
	Zona N	Zona S	Zona N	Zona S	
<i>Chironomus</i>	1,630 \pm 739	252 \pm 265	15 \pm 17	44 \pm 89	54 \pm 82
<i>Dicrotendipes</i>	319 \pm 347	93 \pm 99	0	4 \pm 7	5 \pm 9
<i>Tanytus</i>	1,404 \pm 467	1,411 \pm 342	0	0	0
<i>Chaoborus</i>	4 \pm 7	0	4 \pm 7	0	30 \pm 51
<i>Trichocorixella mexicana</i>	0 \pm 0	0	11 \pm 14	0	0
<i>Krizousacorixa femorata</i>	1 \pm 1	0	0	0	0
<i>Corisella edulis</i>	1 \pm 1	0	0	0	0
<i>Cambarellus montezumae</i>	1 \pm 2	0	0	0	0
<i>Limnodrilus hoffmesteri</i>	1,204 \pm 519	615 \pm 640	4 \pm 7	0	0
<i>Helobdella</i>	4 \pm 7	7 \pm 15	0	0	0
Total	4,566	2,378	34	48	89

Cuadro 13. Especies de necton registrados en los Lagos de Chapultepec en dos periodos con una diferencia de poco más de 30 años.

Especie	Nombre común	Lago Viejo		Lago Mayor		Lago Menor	
		1985	2017	1985	2016	1985	2017
<i>Chirostoma jordani</i>	Charal	X	X	X	–	X	–
<i>Girardinichthys viviparus</i>	Mexclapique	X	X	X	–	X	–
<i>Goodea atrippinnis</i>	Tiro	–	–	X	X	–	–
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilapia	–	–	X	X	X	–
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	X	X	X	X	–	–
<i>Ambystoma mexicanum</i>	Ajolote	X	X	–	–	–	–

el “tiro” (*Goodea atrippinnis*), la “mojarra tilapia del Nilo” (*Oreochromis niloticus*), la carpa común europea (*Cyprinus carpio*) y el “ajolote” o “axolote” mexicano (*Ambystoma mexicanum*) (Cuadro 13).

Es muy importante destacar que los charales, mexclapiques, tiros y ajolotes, son representantes de la fauna nativa de la zona lacustre de la cuenca de México. Sin embargo, también se encuentran en los Lagos de Chapultepec especies denominadas “exóticas”, ajenas a los lagos y ríos del país, que fueron introducidas en los lagos, como son la tilapia del Nilo (que procede de África), y la carpa (originaria de Europa y Asia). La Secretaría de Pesca llevó a cabo la introducción de estos peces exóticos para fomentar la pesca deportiva. Posteriormente, se prohibió dicha actividad (Figura 51).

Al ser artificiales, la presencia de carpas y tilapias en los lagos Mayor y Menor no es de extrañar, ya que son resultado de su introducción por parte de las autoridades competentes. Sin embargo y a pesar de que se menciona que el Lago Viejo también es artificial, es el único en donde viven las especies nativas de la cuenca de México. Lo anterior hace pensar que, si bien se hicieron obras de remodelación en el Lago Viejo, éstas se llevaron a cabo sobre un cuerpo acuático preexistente el

cual, en algún momento, recibía alimentación natural a través de riachuelos por donde llegaron estas especies nativas, estableciéndose en lo que ahora es el Lago Viejo de Chapultepec. La tradición oral cuenta que en este lago también se veían ranas e incluso culebras de agua, lo cual habla de un hábitat acuático natural (Figura 52).

Sin embargo, existen otras alternativas que pudieran explicar la presencia de las especies exóticas en el Lago Viejo. Una de ellas es que, a lo largo del tiempo, el lago fue el receptor de innumerables “mascotas” que los niños ya no querían tener y cuidar en casa y que los padres llevaban y depositaban en el lago con el fin de deshacerse de éstos. Por otro lado, existe la posibilidad, aunque no hay registros que lo atestigüen de que las mismas autoridades llevaron a cabo introducciones de estas especies. Sin embargo, es extraña –como se reconoce públicamente– la introducción de carpas y tilapias, pero no los charales, mexclapiques, tiros y ajolotes. De cualquier manera, estas últimas especies no son comúnmente seleccionadas para siembras en cuerpos acuáticos recreativos. A pesar de lo anterior, parece ser que las autoridades han realizado introducciones no reportadas



Figura 51. Fotografías de los años 1980s (arriba) y 1960s (abajo) que muestran niños pescando en el lago de Chapultepec (“Cuando se iba de pesca al lago de Chapultepec”. El Universal, 19/11/2016, <https://www.eluniversal.com.mx/entrada-de-opinion/colaboracion/mochilazo-en-el-tiempo/nacion/sociedad/2016/11/19/cuando-se-iba>).



Figura 52. “Culebra de agua” (*Thamnophis* sp.) capturada en los Lagos de Chapultepec en mayo del 2018. (Fotografías de Paulina Vázquez Quintero).

públicamente de algunas especies (p. ej., charales).

A pesar de ello y a lo largo del tiempo algunas especies han ido “desapareciendo” de los lagos. Por ejemplo, a causa de la formación de grietas o fracturas en el fondo de concreto del Lago Mayor, como la que apareció el 5 de julio del 2006, de 12 m de diámetro y 10 m de profundidad y condujo al vaciamiento total del lago (Figura 53). Las autoridades mencionaron que la vida acuática, compuesta por carpas europeas y tilapias del Nilo, fueron transportadas al lago Nabor Carrillo, cerca de Texcoco. Después de realizar lo que las autoridades denominaron “un rescate integral” se reparó la grieta, se rellenó con agua y se sembraron nuevamente carpas y tilapias.

Del análisis parasitológico realizado a los “charales” y “mexclapiques” de los Lagos de

Chapultepec se reconocieron dos especies de gusanos planos o cestodos parasitando a los peces: un adulto de la lombriz asiática *Schyzocotyle acheilognathi* y una larva de la familia Gryporhynchidae. Afortunadamente, menos del 10% de los peces resultaron positivos a la infección por helmintos parásitos. Lo anterior implica cargas parasitarias extremadamente bajas. Sin embargo, haría falta hacer un análisis parasitológico similar a las demás especies de peces, en especial a las muy abundantes “mojarras tilapias”, ya que se menciona que son pescadas con autorización de la Dirección General del Bosque de Chapultepec para su posterior consumo.



Figura 53. Grieta que condujo al vaciamiento del Lago Mayor el 5 de julio del 2006. (“¿Algún día el lago de Chapultepec se quedó sin agua?” México Travel Channel 26/08/2021, <https://mexicotravelchannel.com.mx/estados/20210826/lago-de-chapultepec-artificial-seco-lago-mayor-historia/>).

5.e. Los “Cuatro Fantásticos”

El Lago Viejo es un valioso reservorio, un oasis dentro de la Ciudad de México, donde se resguardan especies insignia o bandera (“*flagship species*”) y endémicas de la fauna acuática mexicana, especies que el Dr. Carlos Galindo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) denominó, muy apropiadamente, los “Cuatro Fantásticos”: el acocil (*Cambarellus montezumae*), el charal (*Chirostoma jordani*), el mexclapique (*Girardinichthys viviparus*) y el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) (Cuadro 14).

Acocil (Cambarellus montezumae)

Es un crustáceo que habita lagos, ríos y canales de la Ciudad y el Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Querétaro, Michoacán y Jalisco. Su coloración es entre café claro y oscuro, aunque varía con la alimentación. Su tamaño es pequeño, pero puede alcanzar hasta 4 cm. Las hembras son más grandes que los machos. Parecen camarones pequeños, por lo que también se les llaman “camaroncitos”. Su nombre náhuatl es “acuitzil”, que quiere decir “torcido de agua”, por cómo se retuercen al ser sacados del agua. Se consumen desde tiempos prehispánicos ya cocidos en tacos con aguacate y cilantro, en tamales o en caldo.

Cuadro 14. Categoría de riesgo de las cuatro especies insignia presentes en los Lagos de Chapultepec. (1 The IUCN Red List of Threatened Species 2020, 2 NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo).

Especie	IUCN Red List ¹	NOM-059-SEMARNAT-2010 ²
<i>Cambarellus montezumae</i>	Riesgo bajo (Least concern)	Sin clasificar
<i>Chirostoma jordani</i>	Riesgo bajo (Least concern)	Sin clasificar
<i>Girardinichthys viviparus</i>	En peligro (Endangered)	En peligro de extinción
<i>Ambystoma mexicanum</i>	Peligro crítico (Critically endangered)	En peligro de extinción

Charal (Chirostoma jordani)

Es un pez que habita lagos y lagunas a lo largo del Altiplano Central. Su coloración es blanquecina con una banda plateada en los costados. Su tamaño es pequeño (6-12 cm). Ata o amarra sus huevecillos con filamentos a plantas acuáticas y otros sustratos como rocas o troncos donde se desarrollan. Su nombre náhuatl es “*iztamichin*”, que quiere decir pescado blanco. Desde tiempos prehispánicos se comen fritos, asados y en tamales, entre otras formas. Es un alimento muy apreciado por su carne blanca y delicado sabor.

Mexclapique (Girardinichthys viviparus)

Es un pez que habita lagos, lagunas y ríos de la Ciudad y Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y Querétaro. Las hembras son de color

verde olivo a amarillo, mientras que los machos son negro azabache. Su tamaño es pequeño, alcanzando hasta 5 cm. Su nombre náhuatl es “*kuitlapetlatl*”, que significa pez; también se conoce como mexclapique, mezclapique, mextlapique, meztlapique chehua o sardinita. Desde tiempos prehispánicos se comen tostados, en mole o en tamales con chile, epazote y nopales. Se vende en plazas y mercados.

Ajolote (Ambystoma mexicanum)

Es una salamandra que habita lagos y canales de la Ciudad de México y sus alrededores. Es endémica de la Ciudad de México y el Estado de México, es decir solo se encuentra en esa zona. Su coloración es oscura entre negro y café. Su tamaño alcanza los 13 cm. Es una “salamandra neoténica”, es decir, que permanece toda su vida con forma de

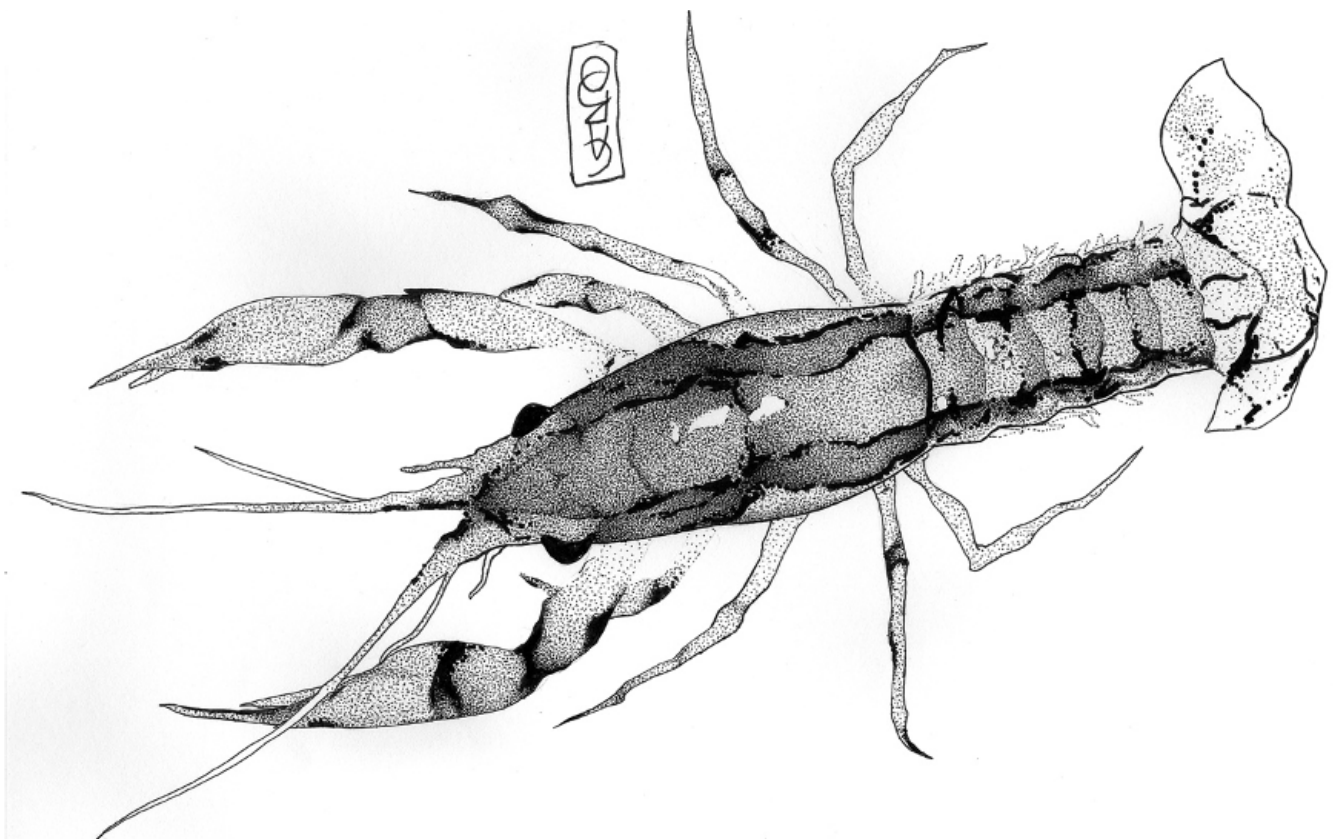


Figura 54. El acocil (*Cambarellus montezumae*). (Ilustración por Edgar M. Caro Borrero).

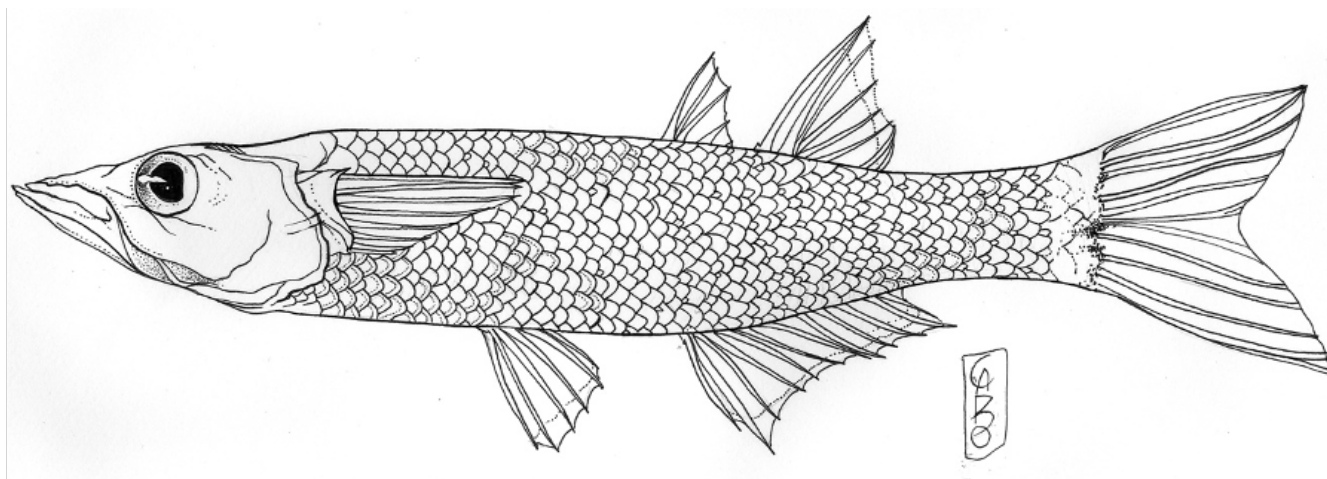


Figura 55. El charal (*Chirostoma jordani*). (Ilustración por Edgar M. Caro Borrero).

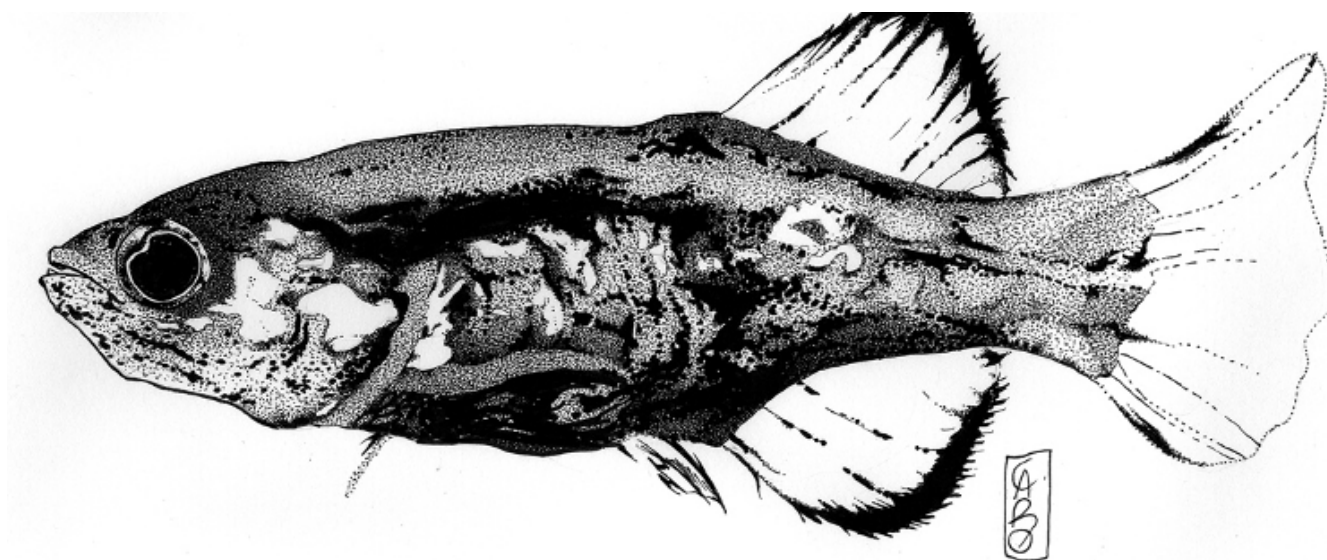


Figura 56. El mexclapique (*Girardinichthys viviparus*). (Ilustración por Edgar M. Caro Borrero).

juvenil y alcanza la adultez reproductiva sin hacer metamorfosis a salamandra adulta. Su nombre náhuatl es “axolotl”, que quiere decir monstruo acuático. Desde tiempos prehispánicos se comen en tamales y en caldillo. Se cree que es muy buena para curar los males del aparato respiratorio, por lo que incluso se hace y comercializa un “jarabe” (p. ej., *Ajolutius*).

juvenil y alcanza la adultez reproductiva sin hacer metamorfosis a salamandra adulta. Su nombre náhuatl es “axolotl”, que quiere decir monstruo acuático. Desde tiempos prehispánicos se comen en tamales y en caldillo. Se cree que es muy buena para curar los males del aparato respiratorio, por lo que incluso se hace y comercializa un “jarabe” (p. ej., *Ajolutius*).

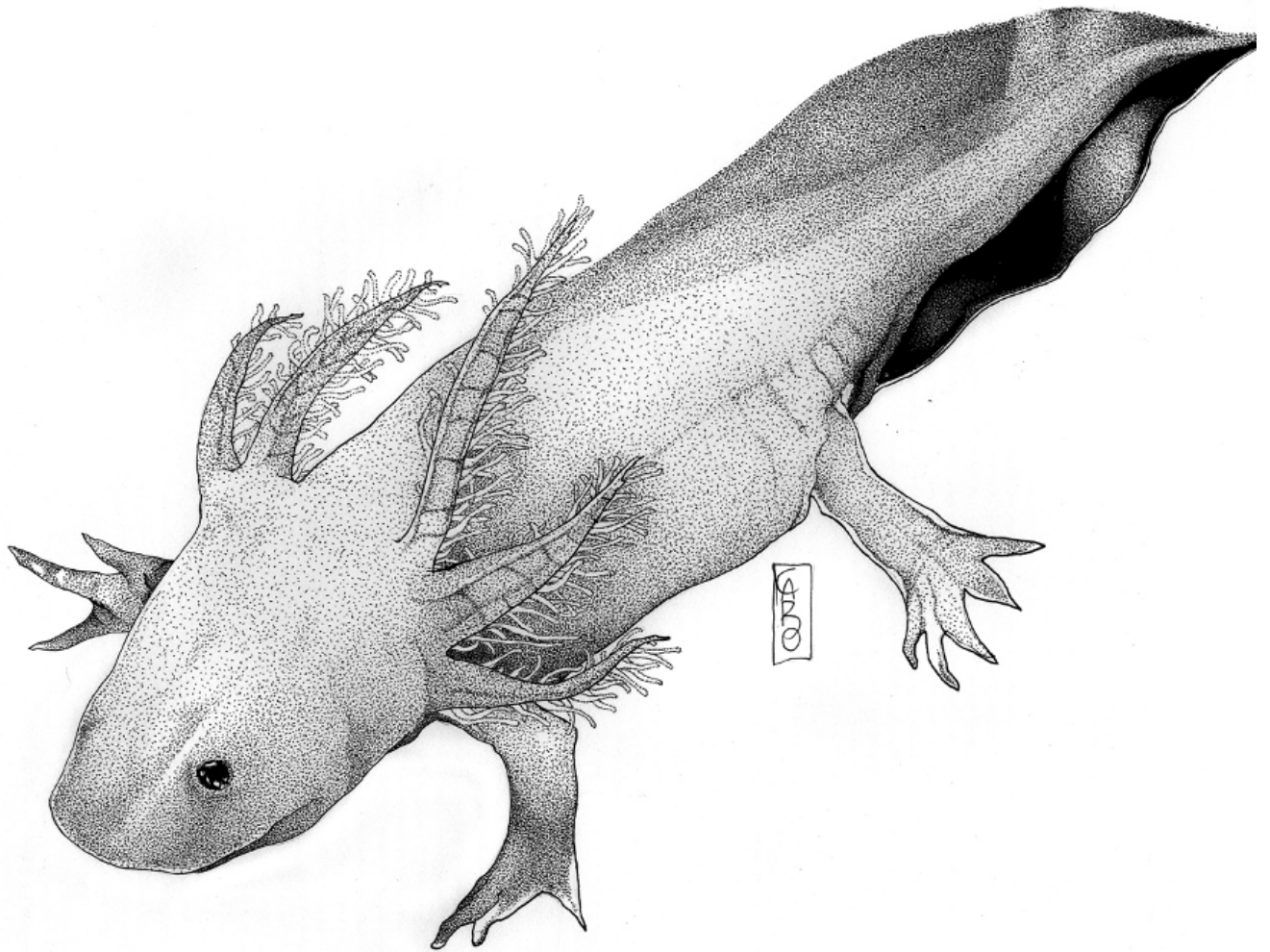
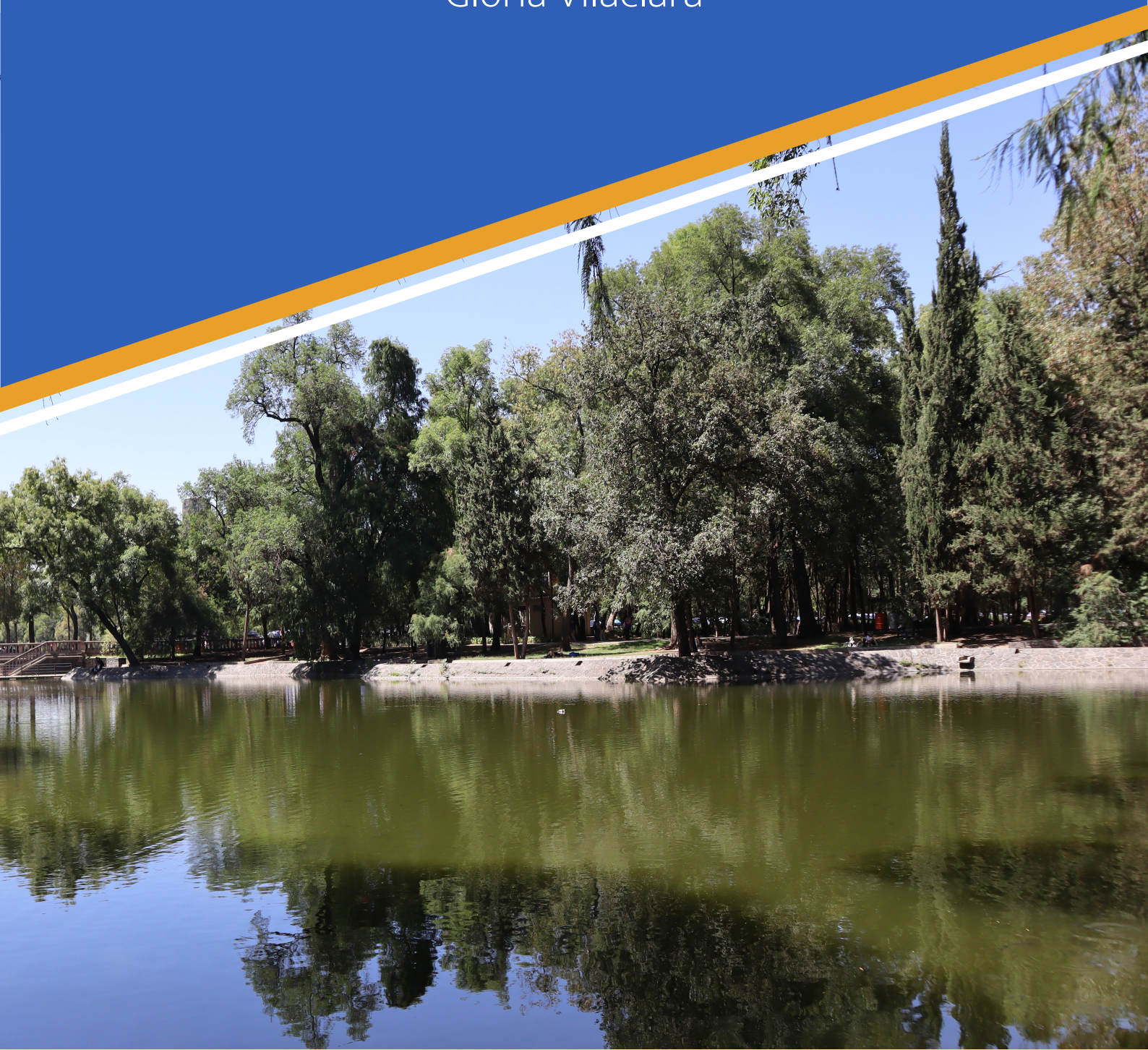


Figura 57. El ajolote (*Ambystoma mexicanum*). (Ilustración por Edgar M. Caro Borrero).

Capítulo 6

Calidad del agua

Javier Alcocer, Alfonso Lugo, Luis A. Oseguera y
Gloria Vilaclara



6. Calidad del agua

Javier Alcocer, Alfonso Lugo, Luis A. Oseguera y Gloria Vilaclara

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Con el fin de evaluar la calidad del agua el gobierno mexicano ha establecido normas desde 1994, muchas de las cuales siguen vigentes hoy en día. Entre éstas se pueden mencionar:

- NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas en aguas y bienes Nacionales.
- NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Sin embargo, estas normas aplican a las aguas de descarga que se vierten en los cuerpos acuáticos (p.ej., el efluente de la PTAR Chapultepec) y no a la calidad del agua de los cuerpos acuáticos mismos. Por lo anterior, con el fin de tener una referencia de la calidad de agua de los Lagos de Chapultepec, se hace una comparación con la Ley Federal de Derechos (LFD) y con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (Acuerdo CE-CCA-001/89). La LFD aplica en materia de aguas nacionales y establece parámetros de calidad de agua en dos diferentes usos: como fuente de abastecimiento para uso público y como protección de la vida

acuática; asimismo, establece los límites máximos permisibles de contaminantes básicos en descargas de aguas residuales. El Acuerdo CE-CCA-001/89 establece criterios ecológicos de calidad de agua para calificar a los cuerpos de agua como aptos para su uso como fuente de abastecimiento de agua potable en actividades recreativas o para la protección de la vida acuática.

Además, el Índice de Calidad de Agua (ICA) se diseñó como un método para dar a conocer, de forma más accesible y comprensible a la población en general, la calidad del agua de los cuerpos acuáticos. El ICA es un sistema cualitativo que permite hacer comparaciones de niveles de contaminación. El ICA consideraba 18 parámetros con distinto peso relativo, según su importancia en una evaluación total, sin embargo, hacía una evaluación parcial que no corresponde a la realidad (Cuadro 15). El cumplimiento de las NOMs es un reto principal para mantener una buena calidad de agua, la cual se define como la medida crítica de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos acuáticos en función del uso que se le vaya a dar.

La carga orgánica (DBO_5 , DQO) más elevada se presenta en el Lago Menor, seguida de manera similar por los Lagos Viejo y Mayor. Las áreas más aisladas de los Lagos Viejo y Mayor muestran

Cuadro 15. Indicadores de calidad de agua de los Lagos de Chapultepec. (x = promedio, d.e. = desviación estándar). [DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg L⁻¹), DQO = Demanda Química de Oxígeno (mg L⁻¹), SST = Sólidos Suspendingos Totales (mg L⁻¹), C_{FEC} = coliformes fecales (NMP 100 mL⁻¹), C_{TOT} = coliformes totales (NMP 100 mL⁻¹)].

	Lago Viejo				Lago Mayor				Lago Menor	
	Zona N		Zona S		Zona N		Zona S		x	d.e.
	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.		
DBO ₅	18	7	19	7	19	9	16	4	25	11
DQO	117	29	82	24	77	34	86	31	300	173
SST	68	17	45	18	37	11	52	21	151	61
C _{FEC}	51	105	429	660	734	879	48	88	192	451
C _{TOT}	117	162	1,090	1,015	3,478	4,268	91	112	299	479

concentraciones ligeramente mayores que las áreas abiertas. La DBO₅ promedio en el Lago Viejo varía de 11 a 45 mg L⁻¹, en el Lago Mayor de 9 a 35 mg L⁻¹ y en el Lago Menor de 9 a 46 mg L⁻¹. Con respecto a la DQO, los valores son de 40 a 165 mg L⁻¹ en el Lago Viejo, de 24 a 160 mg L⁻¹ en el Lago Mayor y en el Lago Menor de 153 a 267 mg L⁻¹. Los sólidos suspendidos totales se encuentran entre 17 y 98 mg L⁻¹ en el Lago Viejo, de 20 a 88 mg L⁻¹ en el Lago Mayor y de 95 a 320 mg L⁻¹ en el Lago Menor. Las áreas más aisladas de los Lagos Viejo y Mayor muestran concentraciones ligeramente menores que las de las áreas abiertas.

Desde un punto de vista microbiológico, en los lagos se observa contaminación de origen fecal, la cual se encuentra más concentrada en las áreas

más aisladas de los lagos Viejo (sur) y Mayor (norte). En el Lago Viejo, las bacterias coliformes fecales fluctúan entre menos de 2 y 2,400 NMP 100 ml⁻¹, en el Lago Mayor entre menos de 2 y 3,000 NMP 100 ml⁻¹ y, finalmente, en el Lago Menor entre menos de 2 y más de 1,600 NMP 100 ml⁻¹.

Con el objeto de mejorar el criterio de evaluación de la calidad de agua se utilizan tres parámetros indicadores (DBO₅, la DQO y SST), que muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos (Cuadro 16).

En resumen, el agua de los Lagos de Chapultepec supera los límites máximos permisibles establecidos en las NOMs, en la LFD y en el

Cuadro 16. Porcentaje (%) del año en el que el agua de los Lagos de Chapultepec se clasifica de contaminada a fuertemente contaminada con base en el ICA. (DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, SST = Sólidos Suspendingos Totales).

Parámetro	Lago Viejo		Lago Mayor		Lago Menor
	Zona N	Zona S	Zona N	Zona S	
DBO ₅	4	17	17	0	25
DQO	100	92	92	92	100
SST	0	0	0	0	42

Acuerdo CE-CCA-001/89 para el uso recreativo al que están destinados.

6.a. Nutrientes

El fósforo total (P_{TOT}) en los Lagos de Chapultepec varía entre 0.18 y 1.47 mg L⁻¹. Las zonas restringidas de los Lagos Viejo (al sur) y Mayor (al norte) presentan las concentraciones más elevadas, mientras que la zona norte del Lago Viejo las concentraciones más bajas. El P_{TOT} está incorporado en la gran cantidad de organismos como el fitoplancton y materia orgánica presentes.

El fósforo reactivo soluble (PRS) es el fósforo que está disponible para ser utilizado por los organismos fotosintéticos, principalmente el fitoplancton. La concentración de este nutriente en los lagos es baja, debido a que la mayor parte del fósforo se encuentra incorporado a la biomasa de la gran cantidad de fitoplancton observado. Las concentraciones de PRS más bajas se encuentran en la zona norte del Lago Viejo y en el Lago Menor,

donde existe una gran cantidad de fitoplancton. En cambio, la zona sur del Lago Viejo y la norte del Lago Mayor tienen las concentraciones más elevadas de PSR, ya que en ellas la cantidad de fitoplancton es comparativamente menor (Cuadro 17).

El nitrógeno total (N_{TOT}) en los Lagos de Chapultepec varía entre las concentraciones mayores en el Lago Mayor (9.4 - 24.8 mg L⁻¹ de N) y las menores en el Lago Viejo (4.8 - 15.2 mg L⁻¹ de N), mientras que el Lago Menor muestra concentraciones intermedias (8.4 - 20.0 mg L⁻¹ de N).

El amoníaco (N-NH₃) es una forma química del nitrógeno especialmente importante ya que en concentraciones elevadas es tóxico, condición que se incrementa con el aumento de la temperatura y valores básicos de pH. En el Lago Viejo, particularmente en la zona sur, la concentración de N-NH₃ varía de 0.02 a 3.95 mg L⁻¹, alcanzando ésta última una concentración francamente tóxica. Las concentraciones en el Lago Mayor

Cuadro 17. Concentración de nutrientes en los Lagos de Chapultepec. (x = promedio, d.e. = desviación estándar). [P_{TOT} = fósforo total (mg L⁻¹), PSR = fósforo soluble reactivo (mg L⁻¹), N_{TOT} = nitrógeno total (mg L⁻¹), N-NO₃ = nitrógeno como nitratos (mg L⁻¹), N-NO₂ = nitrógeno como nitritos (mg L⁻¹), N-NH₃ = nitrógeno como amonio (mg L⁻¹), NID = nitrógeno inorgánico disuelto (mg L⁻¹)].

	Lago Viejo				Lago Mayor				Lago Menor	
	Zona N		Zona S		Zona N		Zona S			
	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.	x	d.e.
P_{TOT}	0.38	0.24	0.51	0.11	0.62	0.23	0.40	0.10	0.48	0.17
PSR	0.11	0.04	0.29	0.12	0.39	0.14	0.13	0.09	0.10	0.04
N_{TOT}	10.88	2.65	8.18	1.96	15.33	2.46	14.18	4.21	14.03	3.58
N-NO ₃	3.71	1.23	2.16	0.58	8.10	2.43	5.24	0.74	1.79	0.35
N-NO ₂	0.29	0.06	0.07	0.08	0.58	0.63	0.52	0.32	0.08	0.10
N-NH ₃	1.58	1.50	0.16	0.10	1.35	1.78	0.33	0.60	0.17	0.13
NID	5.58	1.81	2.39	0.-61	10.02	3.06	6.09	0.92	2.04	0.46

fluctúan entre 0.04 y 5.85 mg L⁻¹ y las más altas concentraciones de N-NH₃ se observan en la zona norte. Finalmente, en el Lago Menor el N-NH₃ presenta concentraciones menos elevadas (0.02 a 0.53 mg L⁻¹) en comparación con los otros dos lagos.

Las concentraciones de nitrógeno como nitritos (N-NO₂⁻¹) son en muchos casos muy elevadas, particularmente en el Lago Mayor y la zona sur del Lago Viejo. Las concentraciones varían de 0.003 a 0.36 mg L⁻¹ en el Lago Viejo, de 0.004 a 2.43 mg L⁻¹ en el Lago Mayor y 0.003 a 0.34 mg L⁻¹ en el Lago Menor. Aunque los nitritos no son tan tóxicos, en las elevadas concentraciones que se detectaron sí pueden resultar tóxicos.

La concentración de nitrógeno como nitratos (N-NO₃⁻¹) en los Lagos de Chapultepec es alta. En el Lago Viejo las concentraciones varían entre 1.3 y 6.8 mg L⁻¹, siendo la zona sur la que presenta las concentraciones mayores. Sin embargo, en el Lago Mayor es donde se observan las concentraciones más elevadas con un rango de 1.3 a 10.3 mg L⁻¹, y es particularmente en la zona norte donde se alcanzan los valores máximos. En el Lago Menor las concentraciones son las más bajas, con 1.5 a

2.4 mg L⁻¹. El comportamiento de la concentración de N_{TOT} en los lagos es similar al del N-NO₃⁻¹.

Finalmente, el nitrógeno inorgánico disuelto (NID), que es la suma de los nitritos, nitratos y amoníaco, en los Lagos de Chapultepec varía ampliamente, encontrando las concentraciones mayores en la zona norte y las menores en el Lago Menor. Las concentraciones de la zona sur del Lago Viejo son parecidas a las del Lago Menor, mientras que las de la zona norte del Lago Viejo son parecidas a las de la zona sur del Lago Mayor.

6.b. Estado trófico

A consecuencia del elevado aporte de nutrientes, particularmente fósforo –a través de su fuente de alimentación, el efluente de la PTAR Chapultepec–, los tres lagos los tres Lagos de Chapultepec presentan una muy elevada producción primaria. La gran cantidad de fertilizantes disponibles en el agua de los lagos son aprovechados por las microalgas (fitoplancton) que en estos habitan, y que se desarrollan de forma profusa. La gran cantidad de fitoplancton se refleja claramente en el intenso color verde brillante de sus aguas,



Figura 58. El color verde característico del estado eutrófico de los lagos contrasta con el blanco del plumaje de las aves que los visitan (Fotografía de Javier Alcocer Durand).

así como en la presencia de “natas” que flotan en la superficie. Una elevada producción primaria perdurable caracteriza a los lagos, tal como los de Chapultepec, como ecosistemas eutróficos o hipertróficos (Figura 58).

Uno de los criterios más importantes para definir el estado trófico o de productividad primaria de un cuerpo acuático, es a través de la concentración de clorofila, pigmento fotosintético presente en todos los productores primarios. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), –así como Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS), Centro de Tecnología Ambiental de la Organización Panamericana de la Salud (OPS)–, fundamentan su Sistema de Clasificación de Estado Trófico de Lagos Cálidos Tropicales en la concentración de clorofila “a” presente en los cuerpos acuáticos. Al respecto, las concentraciones registradas en los Lagos de Chapultepec corresponden a un estado trófico que va del eutrófico al hipertrófico (clorofila “a” > 100 $\mu\text{g L}^{-1}$). Los valores más extremos se alcanzan en el Lago Menor (>900 $\mu\text{g L}^{-1}$), seguido del Mayor (> 750 $\mu\text{g L}^{-1}$) y finalmente el Viejo (> 550 $\mu\text{g L}^{-1}$); sin embargo, los valores promedio, sin dejar de ser altos, se registran en el Lago Menor, seguido

del Lago Viejo y por último el Lago Mayor. Las zonas aisladas del Lago Viejo (sur) y Mayor (norte) son menos productivas que las zonas más amplias respectivas (Cuadro 18).

Los valores del Índice de Estado Trófico de Carlson, basado en la profundidad del disco de Secchi, es decir, la transparencia, las concentraciones de fósforo total y de clorofila, confirman el estado eutrófico-hipertrófico de los Lagos de Chapultepec (Cuadro 19).

6.c. Metabolismo y productividad primaria

El término “metabolismo lacustre” representa el balance entre dos procesos opuestos que se desarrollan en el lago: la producción primaria (PP) y la respiración (R). La PP es la creación de materia orgánica a partir de inorgánica (CO_2 , H_2O , N, P) y luz del Sol y la llevan a cabo los organismos fotosintéticos (plantas macroscópicas, algas y algunas bacterias) a través del proceso de la fotosíntesis. Por otro lado, la R la llevan a cabo todos los organismos del lago, desde bacterias hasta peces y consiste en la oxidación de la materia orgánica a inorgánica nuevamente, para la obtención de energía.

Cuadro 18. Concentraciones de clorofila ($\mu\text{g L}^{-1}$) en los tres Lagos de Chapultepec. (Mín = valor mínimo, Máx = máximo, x = promedio y d.e.= desviación estándar).

Lago		Mín	Máx	x	d.e.
Lago Viejo	Zona N	208	596	415	99
	Zona S	143	565	336	105
Lago Mayor	Zona N	109	773	295	147
	Zona S	175	647	328	115
Lago Menor		206	943	469	194

Cuadro 19. Porcentaje del año en el que el agua de los Lagos de Chapultepec se clasifica como eutrófica (Eu) o hipertrófica (Hiper) con base en el Índice de estado trófico de Carlson (Z_{DS} = profundidad del disco de Secchi, P_{TOT} = concentración de fósforo total, Clor = concentración de clorofila).

Lago	Zona	Z_{DS}		P_{TOT}		Clor	
		Eu	Hiper	Eu	Hiper	Eu	Hiper
Lago Viejo	Zona N	20.8	79.2	87.5	12.5	45.8	54.2
	Zona S	58.3	41.7	16.7	83.3	83.3	16.7
Lago Mayor	Zona N	100.0	0.0	8.3	91.7	91.7	8.3
	Zona S	66.7	33.3	41.7	58.3	91.7	8.3
Lago Menor		16.7	83.3	25.0	75.0	58.3	41.7

De este balance entre PP y R pueden darse tres resultados: a) que predomine la PP y entonces se denomina metabolismo autotrófico, b) que predomine la R y entonces se denomina metabolismo heterotrófico, y c) que exista un balance entre PP y R, lo que sucede raramente.

La transformación total de carbono inorgánico a orgánico por los organismos autótrofos (algas y bacterias) se define como producción primaria bruta (PPB), mientras que la oxidación total del carbono orgánico a inorgánico por organismos tanto autótrofos como heterótrofos se denomina respiración (R). La diferencia entre la PPB y la R se le llama producción primaria neta (PPN).

De los tres Lagos de Chapultepec, el Lago Viejo fue el que registró la PPB mayor, con un promedio y desviación estándar anuales de $1,726 \pm 413 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ en la Zona Norte y de $1,488 \pm 458 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ en la sur. La PPB anual en el Lago Mayor fue más elevada en la zona sur ($1,595 \pm 525 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) que en la norte ($1,375 \pm 550 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$). La PPB anual del Lago Menor resultó de $1,500 \pm 416 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y tampoco fue diferente a la encontrada en los otros dos lagos. No se detectaron diferencias en la PPB entre los tres lagos.

Al igual que la PPB, el promedio anual mayor de PPN se observó en la zona norte del Lago Viejo con $1,251 \pm 449 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, mientras que en la zona sur se midieron PPN de $989 \pm 362 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. En la zona sur del Lago Mayor se registró el promedio anual más elevado de PPN con $1,041 \pm 509 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y en la zona norte de $881 \pm 429 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. La PPN del Lago Menor fue de $1,073 \pm 281 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. De la misma forma que para la PPB, no se observaron diferencias en la PPN entre ninguno de los lagos (Figura 59).

En cuanto a la R, el promedio anual mayor se encontró en la zona sur del Lago Mayor con $665 \pm 472 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ y el menor en la zona norte del mismo lago con $594 \pm 357 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$. En el Lago Viejo el promedio anual mayor de R se observó en la zona sur ($593 \pm 304 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) y la menor en la zona norte ($564 \pm 409 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$). Finalmente, el promedio anual de R del Lago Menor ($499 \pm 304 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$) fue similar a los medidos en los Lagos Viejo y Mayor.

En los lagos eutróficos muy productivos, como los Lagos de Chapultepec, la PPB es muy elevada y supera ampliamente a la R, por lo que el metabolismo que predomina es el autotrófico

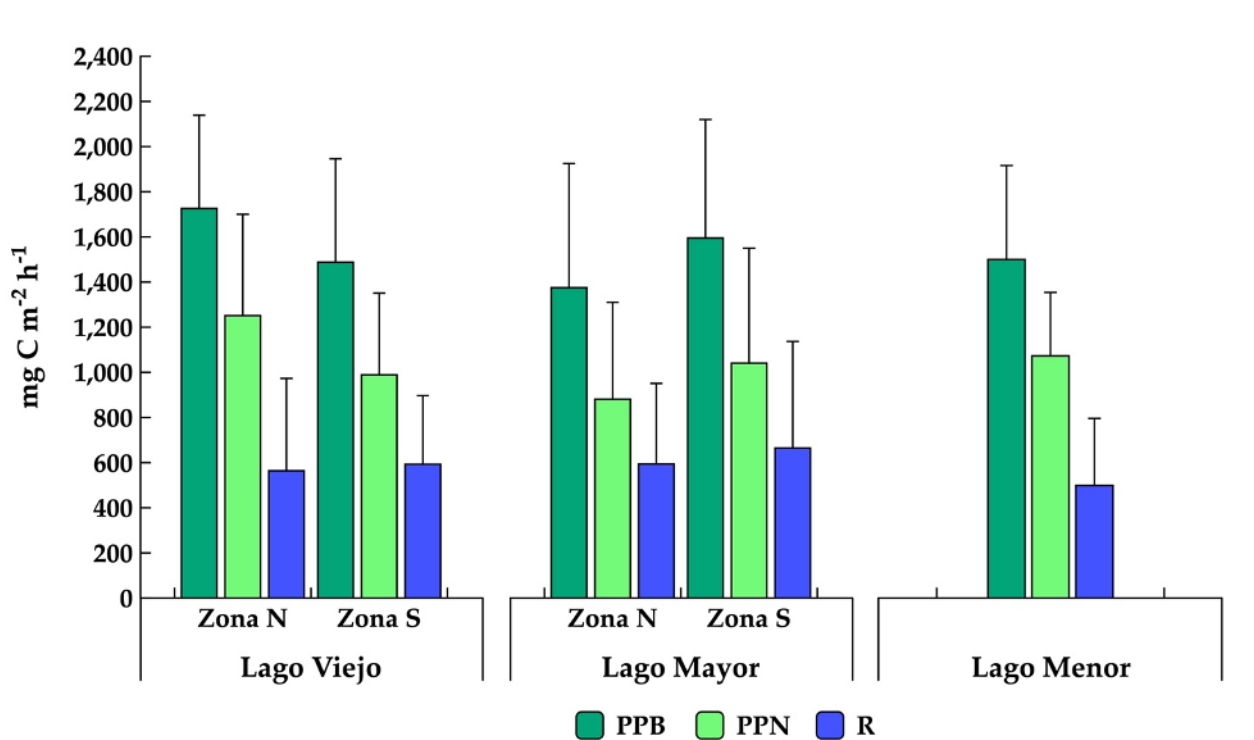


Figura 59. Promedios anuales de la producción primaria bruta (PPB), producción primaria neta (PPN) y respiración (R) de los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México.

en el cual la materia orgánica producida es mucho mayor que la respirada por lo que ésta se acumula, comúnmente en los sedimentos de los lagos.

Capítulo 7

Contaminación

Javier Alcocer, Rocío Fernández, Alfonso Lugo y
Luis A. Oseguera



7. Contaminación

Javier Alcocer, Rocío Fernández, Alfonso Lugo y Luis A. Oseguera

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Como se ha mencionado, las aguas de alimentación de los Lagos de Chapultepec proceden del efluente de la PTAR Chapultepec. La planta trata aguas residuales provenientes del drenaje ciudadano, el cual conduce aguas negras (contaminadas con heces y orina) y grises (agua de lavamanos, regaderas, bañeras), así como los desechos de numerosas microindustrias que se encuentran inmersas dentro del tejido ciudadano, esto es, no hay una separación de drenajes domésticos e industriales. Ahora bien, dependiendo del uso que se le da al agua serán las características que tendrá el agua residual. Lo anterior trae como consecuencia que el agua a tratar en la PTAR Chapultepec contenga, entre los principales contaminantes procedentes de las fuentes domésticas y urbanas: sólidos suspendidos, materia orgánica biodegradable, nutrientes, microorganismos patógenos y sólidos inorgánicos disueltos; por otro lado, de las fuentes industriales: los mismos que los anteriores, pero además metales pesados, materia no biodegradable, contaminantes orgánicos, micro y nanoplásticos, así como los denominados contaminantes emergentes.

En la PTAR Chapultepec se remueven, al menos en parte, algunos de los contaminantes mencionados, mientras que otros son vertidos –junto con el efluente de la planta– a los Lagos de

Chapultepec. De esta forma, es de esperar que en los lagos se encuentren distintos contaminantes aportados (con el agua de alimentación). Habría que sumar a lo anterior los contaminantes que son transportados vía aérea, dado que la atmósfera de la Ciudad de México se encuentra contaminada con distintas sustancias en forma tanto particulada como gaseosa.

7.a. Metales pesados y contaminantes orgánicos

En los sedimentos de los Lagos de Chapultepec se encuentran acumulados metales pesados y compuestos orgánicos (como, por ejemplo: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, PAHs, y Bifenilos Policlorinados, PCBs; las siglas usan universalmente el idioma inglés), que seguramente llegaron a los cuerpos acuáticos tanto a través de su fuente de alimentación, esto es, el efluente de la PTAR Chapultepec, así como por depósito de la atmósfera. De esta manera, la contaminación de las aguas residuales y de la atmósfera de la Ciudad de México acaban contaminando los sedimentos de los Lagos de Chapultepec.

La importancia de los metales pesados radica en que, dependiendo de su concentración, pueden llegar a ser tóxicos para la vida acuática. Además, los metales pueden bioacumularse a través de las

redes tróficas, incrementando su concentración y por lo tanto su toxicidad. Los metales que se encuentran en concentraciones más elevadas en los sedimentos de los Lagos de Chapultepec son plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn), seguidos en concentraciones más bajas por cadmio (Cd), arsénico (As), níquel (Ni) y cromo (Cr).

La concentración más elevada de metales en los sedimentos se registra en el Lago Viejo, particularmente en la zona sur, la aislada, con $1,307 \mu\text{g g}^{-1}$ de sedimento, mientras que en la

norte es de $883 \mu\text{g g}^{-1}$; de manera similar, pero con menores valores, la zona aislada del Lago Mayor, la norte, presenta mayores concentraciones de $809 \mu\text{g g}^{-1}$, comparativamente con la sur $686 \mu\text{g g}^{-1}$. El Lago Menor presenta una concentración intermedia entre las dos zonas del Lago Mayor, con $795 \mu\text{g g}^{-1}$. Las concentraciones más elevadas de zinc y plomo se encuentran en el Lago Viejo, y las de cobre en el Lago Mayor (Figura 60).

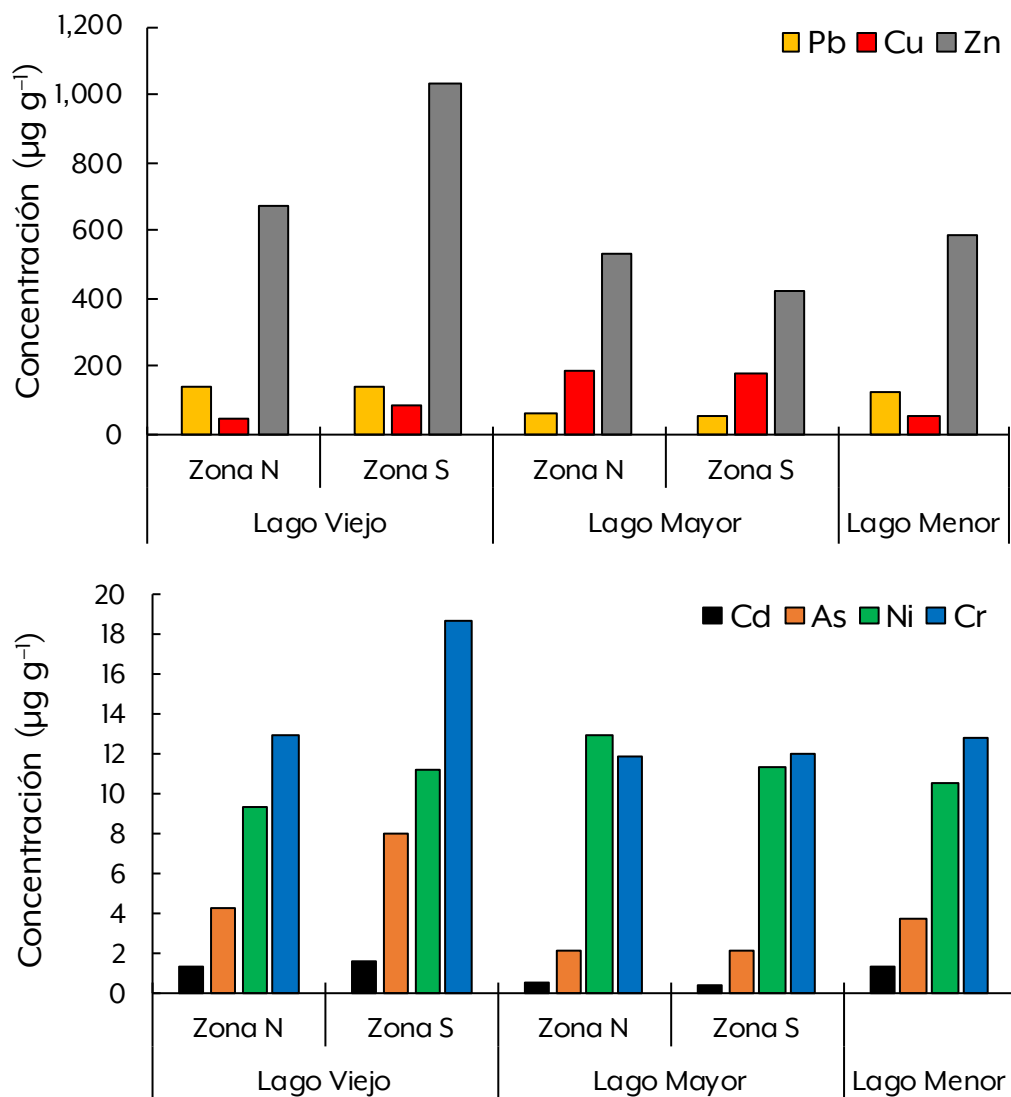


Figura 60. Concentración de metales pesados en los sedimentos ($\mu\text{g g}^{-1}$) de los Lagos de Chapultepec. (Pb = plomo, Cu = cobre, Zn = zinc, Cd = cadmio, As = arsénico, Ni = níquel, Cr = cromo).

Por otro lado, los bifenilos policlorados (PCBs) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) son compuestos orgánicos persistentes altamente contaminantes. Esto se debe a sus características de bioacumulación y a los efectos adversos en la biota. Pueden llegar hasta las PTAR a través del alcantarillado urbano o al depósito atmosférico para incorporarse a los cuerpos acuáticos y posteriormente ingresar a las redes tróficas.

Con relación a los PCBs en los sedimentos de los Lagos de Chapultepec (Figura 61), la concentración

en la zona aislada, la norte, del Lago Mayor (con $1,239 \text{ ng g}^{-1}$) resulta muy elevada (entre 3.7 y 6.1 veces más) en comparación con la zona sur del Lago Mayor y los Lagos Viejo y Menor. Es importante mencionar que en los sedimentos de los Lagos de Chapultepec se encuentran pesticidas en general y en particular DDTs. Las mayores concentraciones se registran en el Lago Viejo, particularmente en la zona aislada (la sur), así como en la zona aislada del Lago Mayor (la norte).

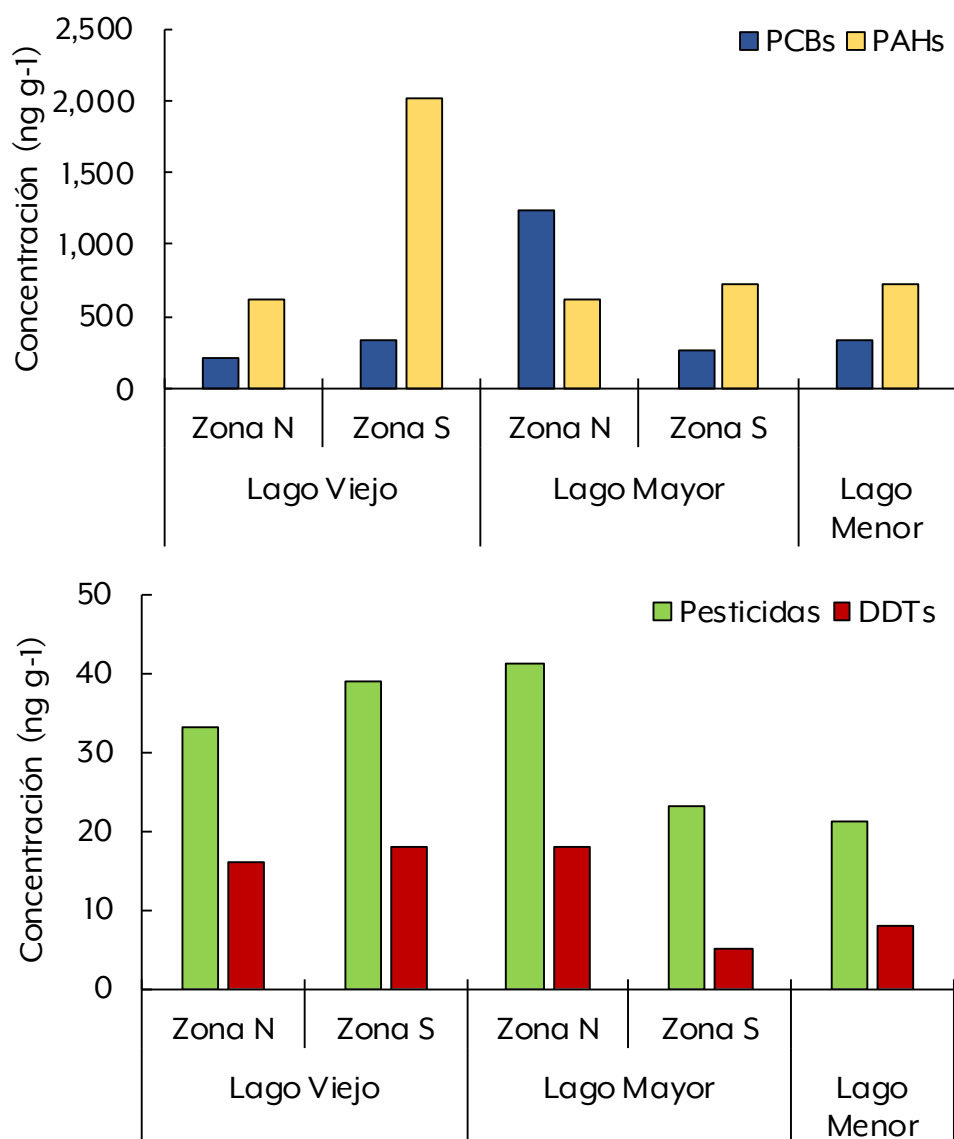


Figura 61. Concentración de bifenilos policlorados (PCBs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), así como pesticidas en general y DDTs en particular en los sedimentos (ng g^{-1}) de los Lagos de Chapultepec.

Un comportamiento similar a los PCBs se observa con los PAHs en los sedimentos de los Lagos de Chapultepec, pero en este caso la concentración en la zona aislada, sur, del Lago Viejo (con 2,019 ng g^{-1}) resulta muy elevada (entre 2.8 y 3.3 veces más) en comparación con la zona norte del Lago Viejo y los Lagos Mayor y Menor. Los PAHs más abundantes son fluoranteno, pireno y fenantreno.

Las elevadas concentraciones de PCBs en general y de DDTs en particular en los lagos Viejo y Mayor se reflejan en el contenido de estos contaminantes en su biota, tal como el “mexclapique de la Cuenca de México” (*Girardinichthys viviparus*) y el “charal de Lerma” (*Chirostoma jordani*). La concentración de PCBs en el mexclapique del Lago Mayor alcanza 292 ng g^{-1} , mientras que solo 161 ng g^{-1} en el Lago Viejo; por otro lado, en el charal alcanza 134 ng g^{-1} . Sin embargo, los valores de DDT tanto en el mexclapique (41 ng g^{-1}) como en el charal (33 ng g^{-1}) del Lago Viejo, tienen mayor concentración que en el mexclapique (32 ng g^{-1}) del Lago Mayor.

Se ha encontrado que la presencia combinada de metales, PCBs y PAHs tiene un efecto tóxico en el fitoplancton. Este efecto fue más negativo en el Lago Menor que en el Lago Mayor, asociado a la antigüedad/acumulación de los sedimentos. Debido a que el Lago Mayor se ha vaciado en varias

ocasiones, los sedimentos acumulados en él son más jóvenes y están en menor cantidad, mientras que los del Lago Menor son más abundantes y antiguos. Los contaminantes se acumulan en los sedimentos y, por ende, entre mayor sea la cantidad y la antigüedad de los sedimentos, mayor será la concentración de los contaminantes y superior su efecto tóxico en la biota. El Lago Viejo es el que tiene mayor cantidad de sedimentos acumulados y con mayor antigüedad, lo que hace suponer que su toxicidad será mayor. De la misma manera, la contaminación con una serie de químicos que se denominan “disruptores endócrinos” tienen efectos adversos en los peces de los lagos Mayor y Menor.

7.b. Toxinas

Cuando algunas especies de cianobacterias como *Microcystis* y *Pseudanabaena*, ambas comunes en los Lagos de Chapultepec, mueren y se descomponen, liberan toxinas al agua que, al alcanzar concentraciones elevadas, representan un riesgo para la salud humana y la de los animales (Figura 62).

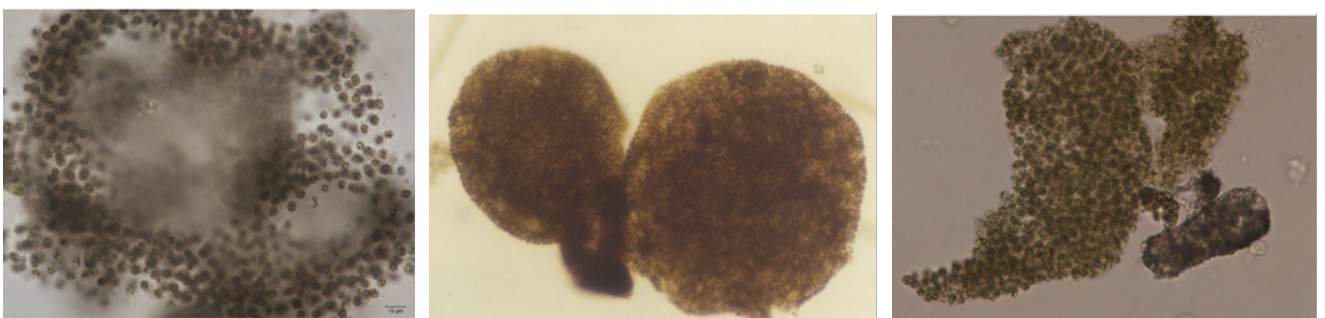


Figura 62. Ejemplos de especies de *Microcystis* de los Lagos de Chapultepec (Fotografías de María Guadalupe Oliva).

Las cianobacterias suelen multiplicarse y alcanzar densidades muy elevadas, fenómeno que se denomina “floreCIMIENTO”. Estos organismos poseen mecanismos que les permiten flotar (p. ej., vacuolas de gas o mucílago) y concentrarse en la superficie del agua de forma tal que los florecimientos son muy evidentes. Cuando el agua muestra temperaturas más altas, con poco movimiento y hay grandes cantidades de fertilizantes (nitrógeno y fósforo), es frecuente que se desarrollen florecimientos fitoplanctónicos (Figura 63).

En los Lagos de Chapultepec estos florecimientos están presentes prácticamente todo el año, es decir, son perennes. Los florecimientos se pueden observar cómo natas de diferentes tonalidades de verdosas a marrones. Diferentes especies de cianobacterias y a veces también de clorofitas, pueden ser responsables de generar estos florecimientos perennes que resultan de la alternancia de diferentes especies de cianobacterias y clorofitas. Las cianobacterias producen una amplia variedad de toxinas; el tipo de toxina y que tan tóxica puede ser depende de la especie que la produce. A diferencia de las anteriores, los

floreCIMIENTOS de clorofitas no producen toxinas.

En realidad, los florecimientos de cianobacterias siempre han existido (Figura 64). El relato confiable más antiguo de un florecimiento de este tipo se remonta al siglo XII, mientras que los efectos tóxicos que producen las toxinas de las cianobacterias en el ganado se reconocen desde hace más de 100 años. Algunas cianotoxinas afectan el hígado (hepatotoxinas) y el sistema nervioso (neurotoxinas), mientras que otras simplemente irritan la piel.

En los Lagos de Chapultepec se ha registrado la presencia de cianotoxinas y la más común se denomina microcistina, ya que está asociada a florecimientos de las especies del género *Microcystis*. De acuerdo con los valores de referencia sobre las cianotoxinas relevantes para la salud humana publicada por Organización Mundial de la Salud (OMS), la concentración de microcistinas-LR para cualquier actividad recreativa (p. ej., nado, pesca y navegación) debe ser menor a $24 \mu\text{g MC-LR eq L}^{-1}$. En los Lagos de Chapultepec se han reportado concentraciones de microcistinas-LR –producidas por *Microcystis aeruginosa* y *M. panniformis*– que varían de



Figura 63. Acumulación de florecimiento algal en la orilla (natas) y densas poblaciones de peces en el Lago Viejo (Fotografías de Rocío Fernández).



Figura 64. Color verde de las aguas del Lago Viejo (arriba), Lago Mayor (abajo izquierda) y Lago Menor de Chapultepec (abajo derecha), identificando típicos florecimientos de cianobacterias (Fotografías de Luis A. Oseguera).

7 a 78 $\mu\text{g MC-LR eq L}^{-1}$. Lo anterior indica que hay momentos en los que la concentración de cianotoxinas en los Lagos de Chapultepec sobrepasa por mucho el máximo recomendable por la OMS.

Los experimentos llevados a cabo para probar si las aguas de los Lagos de Chapultepec pueden ser tóxicas para los organismos acuáticos que los habitan, en este caso, mediante el empleo de zooplancton (cladóceros y rotíferos), mostraron que la esperanza de vida de estos organismos se ve afectada y disminuye más entre mayor sea la concentración de las toxinas, aunado a que la toxicidad aumenta cuando mayor es la temperatura del agua. En resumen, las cianobacterias de los Lagos de Chapultepec, el género *Microcystis* en

particular, son altamente tóxicas y, tomando en cuenta el uso recreativo de los lagos, deben ser controladas.

Hay tres formas principales de exposición a las toxinas: por contacto directo con la piel, por ingestión accidental y por inhalación de aerosoles (pequeñas gotas de agua). En los Lagos de Chapultepec coexisten las tres formas de exposición, ya que frecuentemente los visitantes entran en contacto con el agua de los lagos de manera accidental o intencional. El riesgo de exposición es especialmente importante para las mascotas, comúnmente perros, que incluso se meten a nadar y beben el agua de los lagos (Figura 65).

Los síntomas de exposición a las cianotoxinas



Figura 65. Mascotas nadando en el Lago Mayor de Chapultepec expuestas a los florecimientos de cianobacterias. (https://fastly4sqi.net/img/general/width960/21115573_HbHtkAh30TaGfCGeoWcLcbPDwwwXjp3dlE4FR9kyjbl.jpg <https://www.minube.com.mx/rincon/perros-clavadistas-del-lago-de-chapultepec-a3634941>).

pueden incluir: irritación de piel y mucosas, pérdida de apetito, vómitos, debilidad, dificultad para respirar y convulsiones. Si un animal experimenta alguno de estos síntomas, se debe consultar a un veterinario lo antes posible y asegurarse de informarles que el animal puede haber estado en contacto con toxinas de cianobacterias.

7.c. Toxicidad asociada al nitrógeno

Dos compuestos nitrogenados inorgánicos, comúnmente encontrados en los lagos son el amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2^{-1}). Sin embargo, al alcanzar concentraciones elevadas resultan ser tóxicos para la mayoría de los organismos acuáticos. El amoníaco es excretado continuamente por los peces, a través de las branquias, la orina o el excremento. También se produce directamente por la descomposición microbiana de la materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno, mismas que pueden encontrarse en las aguas cercanas y en el fondo de los lagos.

Existen dos procesos a través de los cuales

disminuye la toxicidad del amoníaco: el primero es muy rápido y consiste en la reacción de este compuesto con el agua para formar el ion amonio (NH_4^{+1}) que es menos tóxico. Debido a que casi siempre coexisten las formas de amoníaco (NH_3) y de amonio (NH_4^{+1}), se suele denominar nitrógeno amoniacal a la suma de ambas formas.

Sin embargo, la transformación de amoníaco en amonio a través de su reacción con el agua depende de varios factores, principalmente de la temperatura y del pH. En condiciones de pH neutro (7.0) y temperaturas cálidas ($20\text{ }^\circ\text{C}$), el 99.6% del nitrógeno amoniacal está en forma de ion amonio y el restante 0.4% en forma de amoníaco. Esto significa que la toxicidad es baja. Ahora bien, a esa misma temperatura ($20\text{ }^\circ\text{C}$), pero con un pH básico (9.0), el porcentaje de amoníaco aumenta hasta un 28.4%, lo que hace que las condiciones del agua puedan ser muy tóxicas para los organismos cuando la concentración es tan elevada.

En presencia de oxígeno en el agua, el ion amonio se transforma –a través del proceso llamado nitrificación– primero en nitrito (NO_2^{-1}) y luego en nitrato (NO_3^{-1}). Los microbios llevan

a cabo la nitrificación, y –en orden de mayor a menor toxicidad– se presentan el ion amonio, el nitrito y el nitrato. En los cuerpos de agua poco alterados, esto es, limpios o poco contaminados, el proceso de nitrificación impide que tanto el amoníaco como el nitrito se acumulen en exceso como para alcanzar niveles tóxicos.

En los Lagos de Chapultepec y como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica como resultado del tratamiento de las aguas residuales en la PTAR, se producen concentraciones elevadas de amoníaco y nitritos. Además, la degradación microbiana de la materia orgánica generada dentro de los mismos lagos, también los produce, particularmente en o cerca del fondo. Por lo anterior, la presencia de amoníaco y nitritos es constante en el agua de los lagos, aunque suelen presentarse variaciones importantes en tiempo y espacio.

Con respecto a la concentración del nitrógeno amoniacal, la parte más crítica es la zona norte del Lago Mayor, debido a que se trata de un área aislada con comunicación restringida con el resto del lago. Lo anterior promueve que en esta zona se acumule materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica libera amoníaco, alcanzando concentraciones mayores a los 5 mg L⁻¹ en ciertos meses, tales como de diciembre a febrero o bien entre mayo y septiembre. Se considera que concentraciones de nitrógeno amoniacal por encima de 3 o 4 mg L⁻¹ resultan letales para la mayoría de las especies, lo que puede derivar en las muertes masivas de peces como las observadas en el Lago Mayor de Chapultepec. En la zona sur del Lago Mayor la situación es frecuentemente menos crítica, ya que las concentraciones de

nitrógeno amoniacal son generalmente más bajas (<1 mg L⁻¹).

En el Lago Viejo se presenta un comportamiento parecido. En la zona sur, la más aislada y pequeña, se alcanzan valores de entre 3 y 4 mg L⁻¹ de nitrógeno amoniacal –por ejemplo, en septiembre y de diciembre a febrero–, aunque en otros periodos las concentraciones se mantienen alrededor de 1 mg L⁻¹. En la zona norte del Lago Viejo, así como en el Lago Menor, las concentraciones de nitrógeno amoniacal son considerablemente menores (alrededor de 0.05 mg L⁻¹ de nitrógeno amoniacal) (Figura 66).

Los nitritos muestran un comportamiento similar al descrito para el nitrógeno amoniacal. La zona norte del Lago Mayor presenta las concentraciones mayores (hasta 2.4 mg L⁻¹), con picos de concentración que coinciden con los del nitrógeno amoniacal en mayo, septiembre, diciembre y febrero. La zona sur del Lago Mayor muestra concentraciones elevadas de nitritos (máximo de 1.4 mg L⁻¹), aunque por debajo de los de la zona norte. Se considera que una concentración de nitritos superior a 0.5 mg L⁻¹ resulta mortal para diversas especies de peces. Se presentan picos superiores a 0.5 mg L⁻¹ en mayo, diciembre, febrero y marzo, mientras que en los otros meses los valores también son relativamente altos (0.25 a 0.53 mg L⁻¹). De manera similar al nitrógeno amoniacal, la zona norte del Lago Viejo (0.005-0.165 mg L⁻¹) y el Lago Menor (0.003-0.335 mg L⁻¹) presentan las concentraciones más bajas de nitritos.

Con el fin de reconocer los efectos de las concentraciones de nitrógeno amoniacal y nitritos sobre la biota acuática en los Lagos de

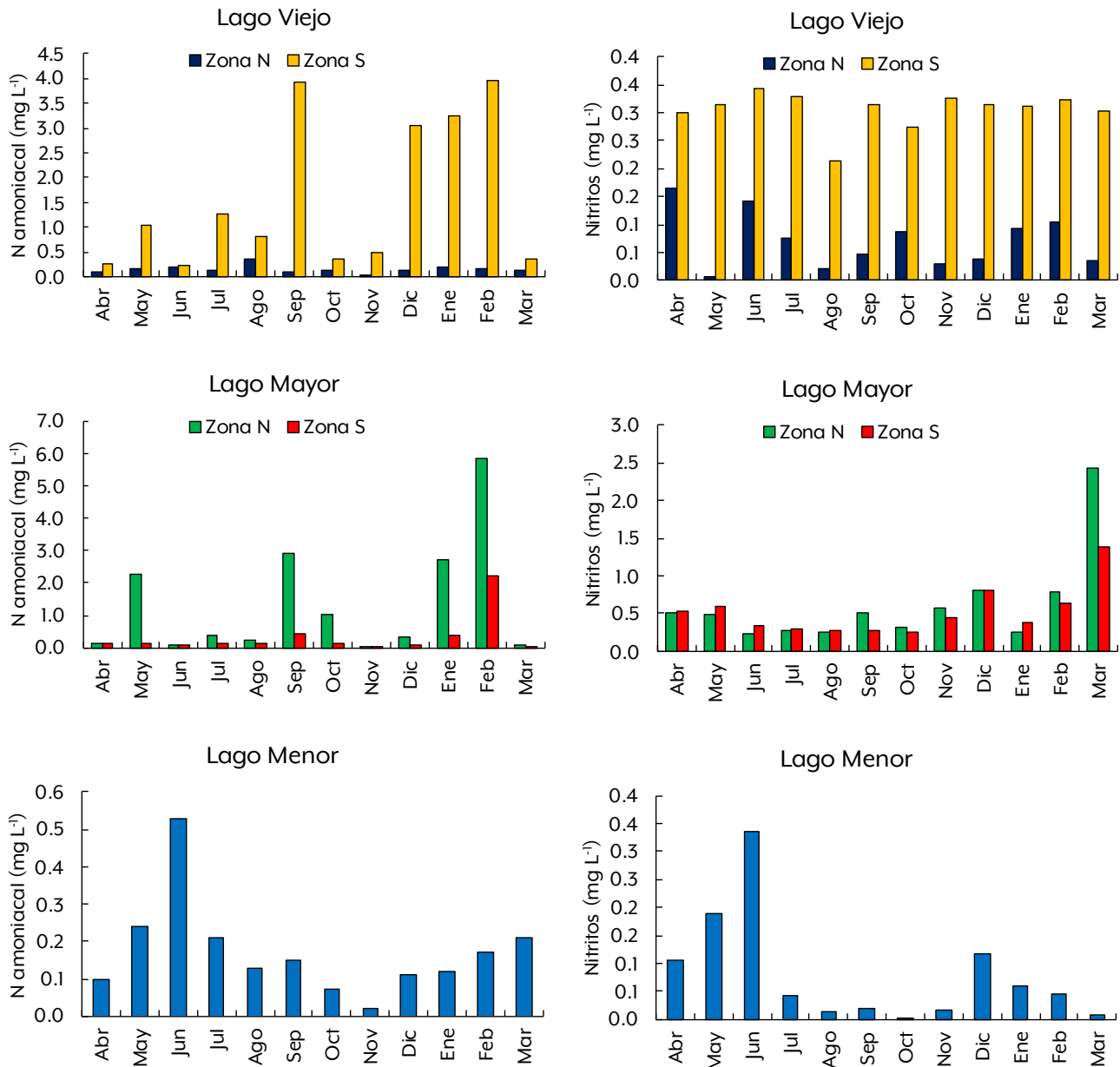


Figura 66. Variación temporal de la concentración de nitrógeno amoniacal (izquierda) y nitritos (derecha) en las diferentes zonas de los Lagos de Chapultepec. (Las gráficas están a diferentes escalas).

Chapultepec, se llevaron a cabo experimentos de laboratorio que evidenciaron los efectos de la toxicidad del nitrógeno amoniacal y nitritos sobre el mexclapique (*Girardinichthys viviparus*).

En general, los mexclapiques expuestos a los tóxicos, aunque incrementaron el consumo de alimento, lo aprovecharon poco, excretaron más amoniacal y generaron mayor cantidad de heces fecales, lo que llevó a que requirieran mayor

energía para mantenerse vivos, como consecuencia, redujeron su crecimiento y reproducción.

En conclusión, las concentraciones presentes de nitrógeno amoniacal y nitritos en los Lagos de Chapultepec afectan de forma crónica y severa el estado fisiológico general y el crecimiento de los mexclapiques. Aunque estos tóxicos no matan rápidamente a los peces, de todas maneras los están afectando a largo plazo y pueden llegar a causar la

desaparición de las poblaciones de mexclapiques que habitan en los Lagos de Chapultepec.

En resumen, las concentraciones presentes de nitrógeno amoniacal y nitritos de los Lagos de Chapultepec en ocasiones pueden matar de forma inmediata a numerosos peces cuando esto no ocurre, se sigue presentando una afectación menos severa de los peces, que puede pasar desapercibida, pero es igualmente dañina a largo plazo.

7.d. Mortandades de peces

Una de las quejas frecuentes con relación a los Lagos de Chapultepec son los eventos de mortandad masiva de peces que se observan

con una frecuencia anual aproximadamente (p. ej., el más reciente en noviembre-diciembre de 2022), principalmente en el Lago Mayor de Chapultepec (Figura 67). Sin embargo, también se han reportado mortandades en el Lago Menor, así como en los canales asociados al Lago Viejo. De la evidencia gráfica (fotografías, videos) consultada en internet, las mortandades del Lago Mayor muestran principalmente tilapias y carpas, aunque algunas noticias mencionan también a charales. A diferencia de lo anterior, la de los canales que llegan al Lago Viejo muestran peces pequeños que pudieran ser más bien charales y mexclapiques.

Se han dado diversas explicaciones a las mortandades de peces. Las fuentes oficiales (p. ej., SEDEMA) han mencionado problemas de



Figura 67. Acúmulo de peces “boqueando” o muertos en la superficie en los Lagos de Chapultepec (Fotografías de Paulina Vázquez Quintero -izquierda- y Luis A. Oseguera Pérez -derecha-).

abasto de agua asociado a una fuga en la planta de tratamiento (PTAR Chapultepec), lo que se asoció a una disminución en el nivel de las aguas del lago (<https://www.capital21.cdmx.gob.mx/noticias/?p=4399>). Otras explicaciones mencionan la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua debido a la densidad elevada de peces, la disminución del nivel del lago, las altas temperaturas y la contaminación del agua, entre otras (Figura 68).

La realidad es que todas ellas y otras más pueden contribuir a que se presenten mortandades masivas. Pero existen otras causas, que no han sido mencionadas por parte de las autoridades, probablemente por desconocimiento y por no escuchar el consejo de los expertos. Entre éstas se pueden mencionar la toxicidad de compuestos nitrogenados (NH_3 , NO_2^{-1}) y la presencia de toxinas (ver capítulos 7b y 7c).

La combinación fatal del aumento del pH con la presencia de concentraciones elevadas de compuestos nitrogenados (ambas características comunes en sistemas eutróficos, es decir, muy productivos como son los Lagos de Chapultepec). La elevada producción primaria asociada a la presencia abundante de fitoplancton (de ahí el color verde brillante de las aguas) hace que aumente el pH, el cual a su vez modifica químicamente los fertilizantes nitrogenados (p. ej., nitratos) aportados en el agua de abastecimiento (efluente de la PTAR Chapultepec) y conducen a que éstos se transformen a amoníaco (NH_3 , como ya se ha mencionado, compuesto sumamente tóxico para la vida acuática. El amoníaco daña la piel y las branquias de los peces. Asimismo, las concentraciones elevadas de nitritos (NO_2^{-1})

impiden que el oxígeno del agua puede ser tomado a través de las branquias de los peces, los cuales terminan asfixiándose y muriendo, de ahí que se vean boqueando en la superficie del lago, no porque no exista oxígeno disuelto, sino porque no pueden incorporarlo. En el capítulo 7c se explica con más detalle la toxicidad de los compuestos nitrogenados.

Otra posibilidad, igualmente asociada a las condiciones de eutrofización de los Lagos de Chapultepec, es que favorece el desarrollo masivo de las ya mencionadas cianobacterias planctónicas (capítulo 7b), con cepas que producen toxinas, lo que evita que las consuman, a la par que disminuyen la competencia con otras especies de fitoplancton. Pues bien, estas cianotoxinas resultan tóxicas no solo para otras especies de fitoplancton y el zooplancton, sino para toda la vida acuática en general. Incluso hay muchos casos reportados de muerte de ganado por abreviar en estanques con crecimientos masivos de estas algas productoras de cianotoxinas. En el capítulo 7b se explican con más detalle las cianotoxinas.

Cabría poner en perspectiva el significado de la muerte de numerosas tilapias y carpas observada en los Lagos de Chapultepec. Evidentemente es un hecho que causa conmoción entre los visitantes de los lagos; no es un espectáculo grato porque pone en evidencia numerosos peces en agonía y muerte. Sin embargo, hay que recordar que las tilapias y carpas son especies exóticas que, al coexistir con las nativas (p. ej., charales y mexclapique), compiten por espacio y alimento.

Las tilapias son peces que inician su reproducción en edad temprana y lo hacen profusamente, aumentando en número de forma



Figura 68. Peces hacinados en los Lagos de Chapultepec (Fotografías de Paulina Vázquez Quintero -arriba, Javier Alcocer Durand -abajo-).

vertiginosa. Además, las tilapias comen de todo, incluyendo los peces nativos, que son de talla más pequeña, así como a los acociles. Por lo anterior, tienden a aventajar y finalmente imponerse a las especies nativas, llevándolas a su desaparición. Sumado a ello, las numerosas tilapias excretan amoníaco que resulta ser, como se ha mencionado (en este capítulo y el capítulo 7c), muy tóxico para la vida acuática, incluso para las tilapias

mismas, como se ha evidenciado a través de las mortandades.

Con base en lo anterior habría que preguntarse la pertinencia de fomentar la presencia de tilapias y carpas en los Lagos de Chapultepec, si lo deseable es garantizar que las especies nativas, características de la cuenca de México, tengan un refugio en donde prosperar en medio de la gran ciudad.

Capítulo 8

Medidas de restauración

Javier Alcocer y Luis A. Oseguera



8. Medidas de restauración

Javier Alcocer y Luis A. Oseguera

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

A lo largo del tiempo, las autoridades en turno responsables del manejo del Bosque de Chapultepec (p. ej., la Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental) han implementado una serie de medidas tendientes a resolver lo que se ha denominado “problemas de contaminación” o de “calidad del agua” de los Lagos de Chapultepec. Sin embargo, sin contar con un entendimiento claro de la problemática y de sus causas, difícilmente pueden encontrarse soluciones efectivas para las diversas problemáticas. Este es el caso de todas las medidas de restauración puestas en práctica en los Lagos de Chapultepec y, como era de esperarse, han resultado insuficientes (Figura 69).

En 1985 se implementó el Programa de Reintegración Ecológica del Bosque de Chapultepec, uno de cuyos objetivos fue dragar la porción sur, la más pequeña y aislada del Lago

Viejo, con el fin de “disminuir los efectos negativos del deterioro de las aguas”. Evidentemente, la remoción de los sedimentos de esta porción pequeña del Lago Viejo no logró ninguna mejoría en las condiciones ambientales generales del Lago Viejo. Si bien al retirar los sedimentos se elimina parte de la materia orgánica y nutrientes (fertilizantes) atrapados en los sedimentos, la cantidad de materia orgánica presente en el lago es tan elevada –debido a su estado trófico, producto de su elevada productividad primaria–, que no se propició ningún cambio. Además, si no se elimina la fuente de entrada de fertilizantes, poco efecto tiene el intentar retirar una pequeña porción de lo que se encuentra atrapado en los sedimentos. A pesar de lo anterior, en 2005 se volvió a realizar otro dragado en el Lago Viejo con resultados igualmente nulos.



Figura 69. Personal del Bosque de Chapultepec llevando a cabo labores de recolección de organismos muertos en los Lagos de Chapultepec (izquierda) incluyendo algunos ejemplares de ajolotes (derecha) (Fotografías de Paulina Vázquez Quintero).

La presencia casi constante de una “nata” verdosa en la superficie de los Lagos de Chapultepec, rasgo característico de los sistemas acuáticos eutróficos, suele causar descontento entre los múltiples visitantes y, a veces, incluso malos olores (Figura 70). Para remediar este problema, se solicitó a la Secretaría de Marina que llevara a cabo la remoción de las “natas” del Lago Viejo, mediante el empleo de desnatadores (*skimmers*), equipos usados para la recuperación de petróleo derramado y que queda flotando sobre la superficie del agua. Los desnatadores pueden desnatar cualquier aceite que flote y fluya sobre el vertedero. Sin embargo, las natas de los Lagos de Chapultepec no son petróleo ni aceite, sino

fitoplancton, el cual al intentar recolectarlo con el desnatador, se fracciona y se dispersa a través de separarse y sumergirse las células. Por tales motivos, no se atrapa prácticamente nada del fitoplancton que conforma las “natas”, a excepción de una mínima cantidad recolectada en los vertederos.

Como alternativa de remediación para los problemas de contaminación de los Lagos de Chapultepec, la Comisión Nacional del Agua recomendó la instalación de aireadores, equipos que bombean y lanzan el agua en forma de chorro, lo que hace que el agua se mezcle con el aire e incorpore oxígeno, favoreciéndose de esta manera la oxidación de la materia orgánica (Figura 71). Asimismo, al



Figura 70. “Nata” de fitoplancton flotando sobre la superficie del agua (Fotografía de Paulina Vázquez Quintero).



Figura 71. Aireadores en el Lago Viejo de Chapultepec (Fotografía de Mariana Vargas).

oxigenar la columna de agua se pueden evitar las mortandades de organismos, cuando la causa sea una importante reducción e incluso agotamiento (anoxia) del oxígeno disuelto en el agua, o también para disminuir el riesgo de que se forme el muy tóxico amoníaco en ausencia de oxígeno disuelto.

Sin descartar que pudieran llegar a presentarse episodios de anoxia en los lagos (i.e., valores inferiores a 1 mg OD L^{-1}), los estudios realizados solo han registrado algunos valores de concentración baja de oxígeno disuelto que se presentan en raras ocasiones, mientras que la mayor parte del tiempo los lagos presentan concentraciones elevadas de oxígeno disuelto, incluso de condiciones de sobresaturación (i.e., valores mayores al 100%) (Figura 72).

De esta forma, los aireadores no aportan de manera significativa una mejora de la calidad de agua de los lagos; incluso al oxidar la materia orgánica, ésta se convierte en fertilizante, con lo cual se promueve aún más la causa central de los problemas: la eutrofización de los Lagos de Chapultepec. Sin embargo, sí pueden ayudar a disminuir la producción de nitrógeno amoniacal y nitritos, favoreciendo su conversión a nitratos, y esto de nuevo incide en incrementar mucho más la fertilización de los lagos.

Otra medida alternativa, tomada a discreción de las autoridades del Bosque de Chapultepec, fue la aplicación del químico hidroxiclورو de aluminio (PACI) (Figura 73). Este producto se emplea como coagulante en el proceso de potabilización de las aguas para consumo

humano y para el tratamiento de aguas residuales, entre otros usos. Es probable que la intención de añadir el compuesto a las aguas del Lago Viejo de Chapultepec fuera intentar disminuir la turbidez del lago, generada por la gran cantidad de fitoplancton presente. Al favorecer la coagulación y floculación, se separan y eliminan los sólidos suspendidos en el agua por precipitación, procesos que mejoran la claridad del agua y reducen la turbidez. Sin embargo, la coagulación y floculación no son un remedio definitivo del problema, sino un paliativo temporal que da la idea de que se resuelve el problema

al disminuir –temporalmente– la turbidez del agua. Al sedimentarse y eventualmente morir, los microorganismos descomponen el fitoplancton, por lo que transforman la biomasa algal en nutrientes que se liberan al agua, mismos que causan el problema principal. En el caso observado en el Lago Viejo de Chapultepec, con la aplicación del hidroxocloruro de aluminio se presentó el reemplazo de las cianobacterias dominantes previamente, por las clorofitas o algas verdes, manteniéndose una elevada productividad primaria, y con ello la turbidez.

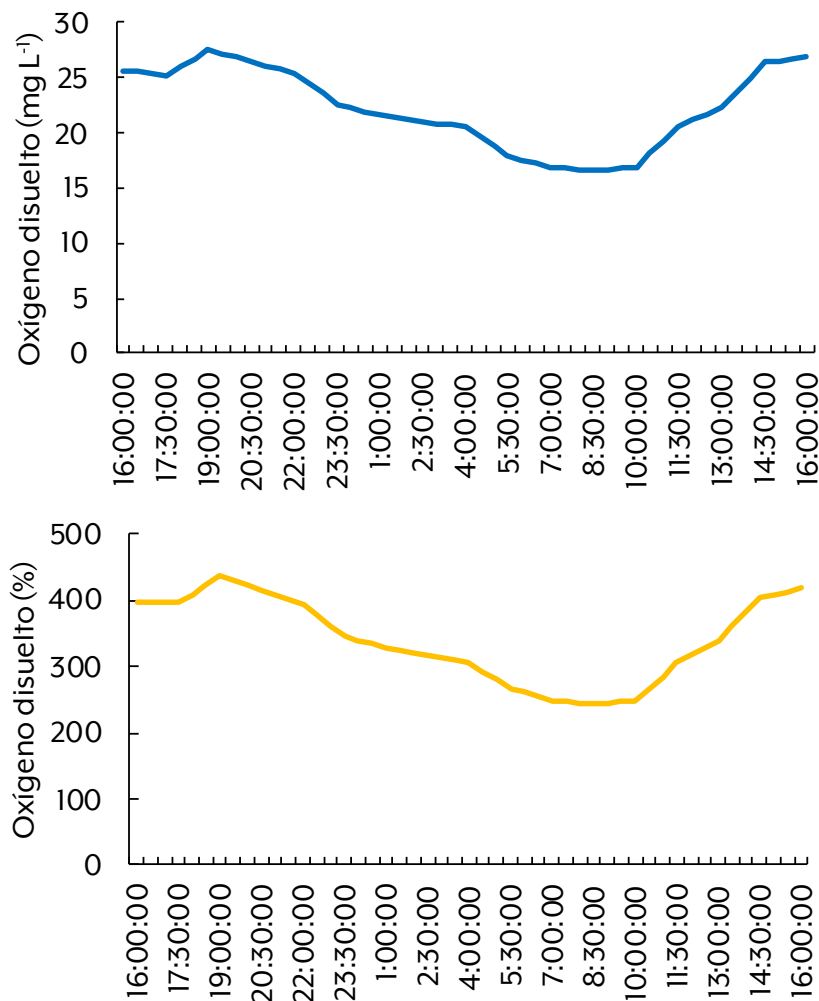


Figura 72. Ciclo 24 horas de la concentración de oxígeno disuelto (arriba) y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (abajo) en el Lago Mayor de Chapultepec (febrero 11-12 de 2018).



Figura 73. Floculante aplicado a las aguas del Lago Viejo de Chapultepec (Fotografía de Luis A. Oseguera Pérez).

En resumen, ninguna de las medidas que se han implementado para tratar de resolver los “problemas de contaminación” o de “calidad del agua” de los Lagos de Chapultepec ha sido exitosa ni parcial, ni mucho menos definitivamente. La razón es muy simple; todas las medidas implementadas se han encaminado a disminuir a disminuir los efectos –que no las causas– del problema, probablemente en respuesta a las quejas más frecuentes de los usuarios. Es decir, ninguna de las medidas anteriores se ha dirigido a resolver la raíz del problema; el exceso de nutrientes (eutrofización) asociado al tipo de agua que alimenta a los lagos. Los lagos urbanos son ecosistemas complejos y están sujetos a diversas manipulaciones, por ello lo ideal sería que las autoridades responsables del Bosque de Chapultepec consultaran la opinión de expertos –los limnólogos, científicos concedores de los procesos lacustres–,

que han realizado estudios en los Lagos de Chapultepec, incluso a demanda específica de la Dirección del Bosque de Chapultepec, Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y con apoyo financiero del CONACYT a través del Fondo Mixto CONACYT – Gobierno del Distrito Federal.

La construcción y puesta en marcha de la PTAR nueva de Chapultepec promete dar inicio a la solución de raíz al problema, a través de disminuir la cantidad de fertilizantes (fósforo y nitrógeno) en el efluente que alimenta los Lagos de Chapultepec. Sin embargo, hay que tomar en cuenta la “carga” de nutrientes que se encuentra almacenada en los sedimentos de los lagos y que hará que la respuesta de cambio de los lagos pueda tomar largo tiempo. Desafortunadamente, no hay evidencia física ni informe alguno que indique que los lagos estén ya siendo alimentados con agua tratada terciariamente.

Ahora bien, cabría hacerse primero varias preguntas. ¿Qué características de calidad de agua se espera que tengan estos lagos urbanos? ¿Cuál es la finalidad o uso destinado de los mismos? ¿Se debe privilegiar la conservación de sus especies acuáticas, o que luzcan como acuarios? Como se mencionó con antelación, el uso destinado de los lagos es recreativo de contacto secundario, lo cual demanda una calidad de agua muy diferente a si fueran a ser empleados para la natación o como suministro de agua potable. Por otro lado, los lagos urbanos alrededor del mundo no son acuarios, no contienen aguas transparentes con pececillos de colores. Las características de calidad de agua de los lagos urbanos dependen del tipo de agua con el que se les alimenta, aunque la mayoría de ellos reciben los efluentes de las PTAR con tratamiento secundario. Tal es el caso del lago del Parque Tezozómoc, en la Alcaldía Azcapotzalco. Sin embargo, cuando son alimentados con aguas de mejor calidad, tal y como sucede en los lagos urbanos de Central Park en la ciudad de Nueva York, las aguas presentan coloración azul, mayor transparencia y ausencia de natas fitoplanctónicas. Adicionalmente, especies como los “Cuatro Fantásticos” de los Lagos de Chapultepec, en condiciones naturales habitan cuerpos acuáticos que no son de aguas transparentes y cristalinas, por lo que –si se quiere que los Lagos de Chapultepec se constituyan en un refugio natural para ellas– se deben de emular las condiciones de su hábitat natural.

Y a pesar de que resulta muy llamativo

para los visitantes la presencia de grandes cantidades de peces, en este caso principalmente de tilapias, éstas no son “compatibles” con la preservación de los lagos para constituir un refugio natural de las especies nativas, como se mencionó con antelación. En primera instancia, las tilapias son exóticas, es decir, no son nativas de la cuenca de México. Segundo y como se ha venido diciendo, las tilapias se reproducen masivamente e incrementan rápidamente sus poblaciones, con lo que logran competir muy exitosamente con las especies nativas, a las que desplazan y llevan eventualmente a su desaparición. Asimismo, las altas densidades de tilapias como las que se alcanzan en el Lago Mayor han conducido, al menos algunas veces, a las mortandades observadas de tiempo en tiempo en este lago y que están asociadas a que los peces desechan al agua grandes cantidades de amoníaco como parte de su metabolismo; ya se ha visto que bajo las condiciones de pH elevado comúnmente registradas en los lagos, el amoníaco se vuelve muy tóxico incluso para las propias tilapias, además de para el resto de la biota acuática. Por último, las tilapias son omnívoras, esto es, comen de todo; pero entre lo que comen se incluyen los huevecillos, larvas y juveniles de los charales, mexclapiques y ajolotes e incluso pueden comerse a los acociles.

Por otro lado, la presencia de tilapias y carpas ha llevado a una actividad de entretenimiento, sobre todo para los niños que visitan los lagos, basada en alimentarlas con migas de pan y galletas que se venden en

los expendios ubicados alrededor de los lagos. Alimentar estos peces favorece que crezcan y se reproduzcan con las complicaciones descritas anteriormente, pero además el migajón que no consumen se va al fondo y se descompone, liberándose fertilizante que mantiene la elevada productividad primaria o eutrofización de los lagos, fenómeno que se está tratando de disminuir. Por todo lo mencionado, se debe impedir que esta actividad se lleve a cabo, pues tiene consecuencias negativas para los lagos, su conservación y restauración.

Finalmente, sería muy importante dar seguimiento a los cambios que pudieran presentarse en los lagos derivados del cambio del agua con el cual se alimentan y que se espera proceda eventualmente de la PTAR nueva de Chapultepec y que, de acuerdo con lo esperado, sería de mejor calidad. Para ello habría que establecer un programa de monitoreo limnológico que permitiera ir

reconociendo los cambios y los tiempos en los que se presenten éstos, lo cual podría ser de gran ayuda para evaluar las respuestas de los lagos y, en su caso, hacer los ajustes necesarios para acelerar el proceso de restauración de los lagos.



Figura 74. Visitantes alimentando a la fauna local con las migas de pan o galletas que se comercializan en los comercios cercanos (Fotografías de Javier Alcocer).

Capítulo 9

Percepción social

Javier Alcocer



9. Percepción social

Javier Alcocer

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Un ejercicio encaminado a conocer la opinión de los usuarios que visitan el Bosque de Chapultepec permitió reconocer, a través de realizar 1,105 encuestas: las actividades que desarrollan en los lagos, el monto de dinero que se gastan en su visita, en compañía de quién asisten a los lagos, cuál es su opinión sobre los lagos, qué preguntas tienen sobre los lagos y qué sugerencias y/o qué les gustaría encontrarse en su próxima visita. Con base en la información recabada, los resultados en 2015-2016 fueron los siguientes.

Casi el 50% de los encuestados fueron mujeres y el otro 50% hombres. El rango más común de edades de los visitantes es de 21 a 30 años (34.2%), seguido de 10 a 20 años (25.1%) y en tercer lugar de 31 a 40 años (18.0%); las personas mayores a 60 años son los menos numerosos (3.5%). Los visitantes frecuentes, aquellos que asisten al Bosque de Chapultepec entre 1 y 7 veces a la semana, son pocos (13.5%); casi la mitad de los visitantes lo hace cada 15-30 días (23.7%) o una vez cada 2 a 6 meses (24.1%). Finalmente, más de la mitad de los visitantes (51.6%) gastan entre \$100 y \$300 en su visita, casi una cuarta parte (22.1%) gasta menos de \$100 y poco menos del 10% menciona un gasto de entre \$500 y más de \$1000 por visita.

La visita al Bosque y Lagos de Chapultepec

son es una actividad social, como lo denota el hecho de que el 66.6% de los visitantes vayan en familia y 19.9% con amigos. Dentro del conjunto de atractivos que ofrece el Bosque de Chapultepec (p.ej., con anterioridad los juegos mecánicos, el Castillo de Chapultepec), los lagos constituyen el primer (29.1%) o segundo (28.6%) mayor atractivo y foco central de la visita. Y, entre los tres lagos, el que mayor atractivo tiene es el Lago Viejo (68.8%), seguido por el Lago Mayor (30.4%); El Lago Menor es el que llama menos la atención de los visitantes. El mayor atractivo de los lagos, en la percepción de los usuarios, es su belleza escénica (44.9%).

Cerca de la mitad de los usuarios (44.7%) elige visitar a los lagos para caminar o correr alrededor de ellos; aunque ir a remar y pasear en lancha se encuentra en la segunda posición (20%). Relajarse o incluso pasear a las mascotas también son actividades mencionadas. La mayoría de los visitantes (37.4%) gusta de ver que hay vida en los lagos, los peces y las aves son los animales que más interés generan, en particular darles de comer para que se acerquen. Pero otro grupo importante (22.4%) disfrutan de la paz y la tranquilidad que imparten los remansos acuáticos. Y, por supuesto, remar se encuentra en tercera posición (7.7%).

Por otro lado, también existen aspectos

negativos en los lagos. Casi con el mismo porcentaje (26.4% y 26.1%), a las personas les disgusta el color verde y la turbidez de las aguas, así como la presencia de “basura”. Un grupo reducido (13.5%) menciona directamente que están contaminados. Esta opinión disiente con que casi a la mitad de los usuarios, como se mencionó, les gusta la belleza escénica.

Enseguida, el limnólogo “*Dr. Chapul*” (Figura 75) responde a las preguntas más frecuentes que sobre los Lagos de Chapultepec externaron los visitantes y usuarios entrevistados.

[¿Por qué son verdes los lagos? \(ver capítulo 6\).](#)

La respuesta es porque son eutróficos, esto es, muy productivos y albergan una gran cantidad de fitoplancton, que son microplantas y, como todas las plantas, son verdes. La elevada productividad primaria va asociada a una degradación en la calidad del agua y los impactos negativos que esto conlleva en los ecosistemas. La razón de ser verdes es que contienen un pigmento denominado

clorofila, necesario para realizar la fotosíntesis y que les confiere el color verde a las plantas. La segunda duda más frecuente es si se les da mantenimiento a los lagos, cada cuándo y cómo. La realidad es que desafortunadamente no hay un programa de mantenimiento de los lagos. Las actividades que se realizan no responden a ningún programa ni plan de manejo limnológico.

[¿Cuál es la procedencia u origen del agua que tienen los lagos? \(ver capítulo 3\).](#)

Pues bien, el agua que alimenta los lagos procede del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Chapultepec es decir y como lo indica su nombre, son aguas residuales tratadas. Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas por los humanos y posteriormente desechadas (aguas grises y negras), por lo cual su calidad ha disminuido, haciéndolas no aptas para muchos usos. Dependiendo del grado de tratamiento que se les da, se eliminan algunas sustancias contaminantes. Por ejemplo, si el



Figura 75. Dr. Chapul. (Diseño de dgar M. Caro Borrero).

tratamiento es secundario, se eliminan sólidos y principalmente, materia orgánica. Las autoridades competentes, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), se encargan de definir el volumen de agua tratada y la frecuencia con la que se dotará a cada lago.

[¿Qué tan profundos son los lagos? \(ver capítulo 3\).](#)

Los Lagos de Chapultepec son muy someros, con una profundidad promedio de tan solo un metro. Algunas partes pueden alcanzar 1.1 o 1.2 m de profundidad, sin embargo, otras presentan profundidades inferiores a 0.5 m. Los lagos urbanos son normalmente someros, tal y como se observa en los Lagos de Chapultepec.

[¿Qué animales habitan los lagos? \(ver capítulo 5\).](#)

A pesar de que casi el 80% de las personas menciona que hay organismos en los lagos, el 70% reconoce que no saben qué tipo de organismos son. Los más grandes y visibles son los peces, principalmente tilapias y carpas. Es difícil ver a los peces pequeños como los charales y los mexclapiques; incluso los ajolotes, a pesar de ser de tamaño grande, no suelen acercarse a la superficie ni a las orillas durante el día. Por supuesto, también existen una cantidad grande de organismos más pequeños, de una variada diversidad de animales y plantas, que se encuentran en la columna de agua o bien en los sedimentos del fondo.

[¿Por qué no cuidan los lagos y el agua está sucia? \(ver capítulos 6 y 7\).](#)

Más que sucia, el agua de los lagos, como se mencionó, está eutrofizada. La abundancia de fertilizantes –que llegan con el agua de abastecimiento de los lagos– favorece que el fitoplancton se desarrolle sin control, formado incluso “natas” que flotan sobre la superficie y dan a los lagos un aspecto desagradable. De la misma manera, las aguas son turbias por la presencia abundante de fitoplancton, que les confiere asimismo el característico color verde a las aguas.

[¿Está contaminada el agua, en qué grado? \(ver capítulos 6 y 7\).](#)

La eutrofización es un tipo de contaminación, pero además de fertilizantes, en las aguas que alimentan los lagos y que proceden del efluente de la PTAR de Chapultepec, se han encontrado otros contaminantes como metales pesados, así como compuestos orgánicos complejos (PCBs, PAHs, disruptores endócrinos, etc.). Asimismo, el fitoplancton presente en los lagos produce toxinas y éstas pueden considerarse también un tipo de contaminación, dado el uso recreativo de los lagos.

[¿Hace daño el agua, qué tipo de enfermedades causa? \(ver capítulo 7\).](#)

Antes que nada, recordemos que el agua con que se alimenta los lagos no es potable, sino tratada. Por otro lado, hay que tomar en cuenta que el objetivo al que están destinados los lagos es la recreación con contacto indirecto o accidental del agua con los usuarios. Sin embargo, a lo largo de la historia se ha visto que el contacto del agua de los lagos con los usuarios es más directo. Son comunes las

“guerritas” con agua entre ocupantes de distintas lanchas, las caídas desde las lanchas al agua, que se use el agua de los lagos para enjuagarse o limpiarse las manos y frecuentemente se ven a las mascotas, específicamente los perros (ver Figura 65, capítulo 7), que se meten a nadar a los lagos, a perseguir a los patos o incluso los dueños les avientan la pelota al agua para que vayan a recogerla y la traigan de vuelta. Incluso el fitoplancton presente en los lagos puede producir toxinas que son dañinas para la biota acuática, incluyendo a los perros que se meten a los lagos y beben agua de éstos. Asimismo, la adición de floculantes como el hidroxiclорuro de aluminio –que se mencionó con anterioridad–, así

como de otro tipo de compuestos químicos para el control de las algas –denominados “alguicidas” que frecuentemente contienen cobre (p. ej., sulfato de cobre)– debe de llevarse a cabo con mucha precaución y siguiendo las instrucciones de dosificación cuidadosas; estos compuestos son muy tóxicos y pueden dañar no solo a las algas, sino a la biota acuática en general, así como a los usuarios y sus mascotas. Aun el contacto de estos compuestos en forma de aerosoles, igual que cuando la gente juega con el agua, aventándola con los remos, etc., puede ser agresivo para la piel, los ojos y, en general, las mucosas.

Capítulo 10

Conclusiones

Javier Alcocer



10. Conclusiones

Javier Alcocer

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

El problema fundamental que aqueja a los Lagos de Chapultepec tiene nombre y se denomina eutrofización. Este proceso se genera por el aporte desmedido de fertilizantes, nitrógeno y fósforo principalmente, a las aguas de los lagos. Los fertilizantes promueven el desarrollo, a menudo desmedido de las plantas microscópicas que viven en las aguas de los lagos, es decir, del fitoplancton. El crecimiento masivo de fitoplancton trae consigo, en primera instancia el característico color verde intenso de sus aguas, así como la formación frecuente de natas que flotan sobre la superficie de los lagos. Un porcentaje importante del fitoplancton no es consumido, muere y se sedimenta al fondo. En los sedimentos del fondo de los lagos, los microorganismos se encargan de descomponer esta materia orgánica, consumiendo grandes cantidades de oxígeno disuelto para ello; tal situación puede llevar a que se presenten condiciones de baja disponibilidad de oxígeno disuelto o incluso de anoxia, con efectos muy negativos para la vida acuática, en particular para los peces y ajolotes que son más sensibles y pueden llegar a morir. Además, la materia orgánica en descomposición genera malos olores, en particular en las épocas con intensa insolación.

Pero al mismo tiempo, la elevada actividad fotosintética del fitoplancton –en un medio de

escasa reserva alcalina (capítulo 4)– puede llevar a que el pH del agua aumente y se haga básico. Cuando el pH es básico, el nitrógeno disuelto en el agua se transforma químicamente a una forma muy tóxica, el amoníaco, extremadamente dañino para la vida acuática, en particular para especies sensibles como los peces y ajolotes. Una vez más, esta condición puede llevar a que se den mortandades de organismos.

Otro aspecto negativo de la eutrofización es que las condiciones de elevada fertilización favorecen el predominio de las cianobacterias, un grupo de fitoplancton que puede producir toxinas (cianotoxinas) que las protegen de sus consumidores y tienden a eliminar a los competidores. Estas cianotoxinas resultan tóxicas para la vida acuática en general y pueden llegar a irritar –por contacto con el agua y/o aerosoles (gotitas muy pequeñas de agua contaminada que se introducen en el aire)– los ojos y mucosas, así como la piel en forma de enrojecimiento o salpullido, en particular en las personas que son sensibles a éstas. Pero de ser ingeridas, las cianotoxinas pueden causar intoxicación, como podría ser el caso de las mascotas que suelen meterse a nadar e incluso beber el agua de los lagos.

En resumen, la eutrofización conduce a

desarrollar una serie de condiciones negativas e indeseables en los Lagos de Chapultepec ya que, aun cuando su uso primordial es la recreación, su aspecto se torna desagradable. Pero aún peor si los lagos tienen, además, gran valía como reservorio de especies acuáticas importantes –como los charales, mexclapiques, acociles y ajolotes–, especies endémicas y algunas de ellas en peligro de extinción, que son sensibles y pueden morir.

Como se ha venido reiterando, desafortunadamente el origen del problema de la eutrofización viene del agua con que se alimentan los lagos, en este caso, del efluente de la PTAR de Chapultepec. Las aguas residuales o de desecho que llegan a la PTAR de Chapultepec son tratadas de forma secundaria, con lo cual se elimina en gran medida el exceso de materia orgánica presente en éstas. Sin embargo, el tratamiento secundario no sólo no elimina los fertilizantes que pudieran venir en el agua residual, sino que –al degradarse la materia orgánica– ésta se convierte en nutrientes, lo que termina hiperfertilizando las aguas del efluente de la PTAR de Chapultepec. De esta manera no es sorprendente que los lagos, al estar siendo hiperfertilizados, se hayan eutrofizado y la situación continúe y empeore. Con la entrada en funcionamiento de la PTAR nueva de Chapultepec, que según se ha informado da tratamiento terciario al agua residual, se espera que disminuyan los fertilizantes del agua que alimenta a los lagos y, con ello, al menos se controle eventualmente la eutrofización. Sin embargo, no hay información al momento que confirme la puesta en marcha de la PTAR nueva, la que, según se informó en algunos medios, debía de estar en funcionamiento desde el 2019; sin embargo y de acuerdo con lo que se

aprecia en los lagos, nada ha cambiado haciendo dudar de si los lagos están recibiendo aguas tratadas terciariamente.

Adicionalmente, estudios recientes han mostrado que el efluente de la PTAR de Chapultepec, además de gran cantidad de fertilizantes, también lleva otros contaminantes importantes. Es muy probable que estos contaminantes lleguen a la PTAR de Chapultepec en las aguas residuales. Una vez más, el tratamiento que reciben en la planta no remueve estos contaminantes. De esta manera, se vierten a los Lagos de Chapultepec metales pesados y compuestos orgánicos complejos (PCBs, PAHs) que son tóxicos para la vida acuática; también otros, como el DDT o moléculas que emulan hormonas (disruptores endócrinos), con el resultado de alterar el desarrollo y reproducción de la biota acuática.

Queda claro entonces que lo primero que debe hacerse para resolver o controlar al menos el problema de eutrofización y contaminación de los Lagos de Chapultepec, es reducir la carga de fertilizante vertida junto con el agua de alimentación, así como remover los metales pesados y compuestos orgánicos complejos (PCBs y PAHs).

Es muy importante recordar que los Lagos de Chapultepec, como la mayor parte de los lagos urbanos, tienen un uso designado para recreación donde el usuario tiene un contacto secundario o indirecto con las aguas. Por esta razón, los usuarios deben saber con claridad que estos cuerpos acuáticos no son estanques de aguas transparentes y con peces de ornato. Más aún, al albergar fauna acuática nativa de la cuenca de la cuenca de México, los Lagos de Chapultepec

podrían emular las características naturales de los cuerpos acuáticos de la cuenca de México (p.ej., Zumpango, Xochimilco), cuyas aguas son someras, turbias y productivas. Los Lagos de Chapultepec pueden constituir el tipo de hábitat en el que los acociles, charales, ajolotes y demás especies acuáticas se encuentran de forma natural.

Hasta la construcción de la PTAR nueva de Chapultepec, todos los intentos de “restaurar” o “mejorar” la calidad del agua de los Lagos de Chapultepec, por parte de las autoridades del Bosque de Chapultepec, han sido infructuosas. Las razones son simples: 1) no se han dirigido a resolver la raíz del problema, sino que se han enfocado en tratar de

cambiar algún aspecto estético desagradable (p. ej., uso de floculantes para disminuir la turbidez), y 2) la falta de conocimiento científico del problema ha conducido a implementar acciones no pertinentes, desorientadas (p. ej., uso de desnatadores, dragado de sedimentos, plaguicidas). Más aún, no hay evidencia que muestre que la PTAR nueva de Chapultepec ya está en función; sin embargo, como la apariencia de los lagos ha permanecido igual después de más de tres años en que debería de estar funcionando, todo indica que realmente aún no está en función, o al menos no en función completa.

Capítulo 11

Financiamiento y agradecimientos



11. Financiamiento y agradecimientos

Los autores reconocen a las agencias que financiaron las investigaciones que permitieron generar la información científica presentada en esta publicación: “Limnología de los Lagos de Chapultepec”, 1984; Secretaría Ejecutiva del Consejo de Estudios de Posgrado (SECEP), “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”, 2012; Fondo Mixto CONACYT - Gobierno del Distrito Federal 189194.

A las alumnas que realizaron sus trabajos de tesis en los Lagos de Chapultepec: Flores Téllez María de Lourdes, Guzmán Marín Martha Alicia, Lagunas Sánchez Mayela Yorneri, Martínez Paz María Fernanda, Moranchel Mendoza Miriam, Olguín Flores Zaira Myriam, Rendón Neydar Verónica, Rodríguez Giraldo Lucely, Santiago Silva Sandra Ithandahui. Un reconocimiento especial a Ángela Caro Borrero y Vilma S. Ardiles Gloria por el diseño de la encuesta, la primera, y ambas por la aplicación de los cuestionarios respectivos. Un agradecimiento especial a Mariana Vargas Sánchez por la elaboración de los mapas y a Edgar M. Caro Borrero por las ilustraciones de los “Cuatro Fantásticos” y el “Dr. Chapul” incluidos en este documento.

Por su apoyo para los análisis de laboratorio se reconoce a Esperanza Robles Valderrama, María de Guadalupe Sáinz Morales, Alejandra Aguayo Ríos, Olivia Cruz Ronquillo, Omar Neri Hernández.

Se agradece el apoyo recibido por parte de la Dirección de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala a través de su directora, la Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga, así como al personal de la Coordinación Editorial de la FESI por el apoyo logístico para la publicación del presente libro. Finalmente, a la Dra. Elva Escobar Briones y al Dr. Carlos Galindo Leal por sus valiosos comentarios y sugerencias.

12. Bibliografía

Citas del Capítulo 2. Marco histórico del Bosque de Chapultepec y sus lagos

- [1] López Camacho, M.L. y Moreno M.L. 2023. El poder, los jardines y el agua en Chapultepec. Capítulo V. En: Rodríguez, A., Miranda, E., Urquijo, P. y Bibiano, J. (Coords.) Agua, paisajes y jardines nahuas. Facultad de Arquitectura, UNAM Volumen II. En prensa.
- [2] Mapa geológico I. 1975. Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. México.
- [3] Martínez Lemus, M.L. 2016. Proyecto Rescate Arqueológico en el Predio de la Subestación Eléctrica Diana Bancos 1 y 2 + MVAR-CFE, México.
- [4] Proyecto Bosque Cerro y Castillo de Chapultepec, 2017-2018. 2022. Informe final. Consejo de Arqueología.
- [5] Cortés, Hernán, 1979. Cartas de Relación. Editorial Porrúa. México, p. 65.
- [6] Díaz del Castillo, B. 1980. Historia de la conquista de la Nueva España. Editorial Porrúa S.A. Introducción y notas de Joaquín Ramírez Cabañas. Colección "Sepan Cuanto..." No. 5. México. 700 pp.
- [7] López Camacho, M.L. 2014. El uso y distribución del agua en Chapultepec. pp. 119-146. En: M.L. López Camacho (Coord.). Las contribuciones arqueológicas en la formación de la historia colonial. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 639 pp
- [8] López Camacho, M.L. 2016. Las fuentes como parte de los acueductos: el caso particular de la fuente de Chapultepec. pp. 137-170. En: En: M.L. López Camacho (Coord.). Desenterrando fragmentos de historia siglos XVI al XIX. Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 607 pp.
- [9] La Voz de México. Chapultepec, 23 de octubre de 1895, p. 3.
- [10] La Voz de México. Noticias, Obras de embellecimiento en el Bosque del Castillo de Chapultepec. - Los señores D. Eduardo Cañas, D. Eduardo González Gutiérrez y D. José Y. Limantour, 1895, p. 3
- [11] La Voz de México. Información del día, Chapultepec, México, 5 de septiembre de 1901. El tiempo, Naufragios en el Lago de Chapultepec, 19 de marzo de 1902, p. 2.
- [13] El Mundo. En Chapultepec, Nuevos Prados, 10 de marzo de 1905, México, p. 1.
- [14] López Camacho, M.L. 2022. Proyecto Bosque Cerro y Castillo de Chapultepec, 2017-2018. Consejo
-

de Arqueología. México.

- [15] Miranda Pacheco, S. 2007. Tacubaya: de suburbio veraniego a Ciudad, México. IHH, UNAM. México. p 123.
- [16] La cimentación del Lago Mayor de la 2ª Sección del Bosque de Chapultepec sufrió una fractura en junio de 2006, justo por encontrarse sobre una mina. La fuente de las Ninfas esta sobre un terreno similar. http://www.colegioacademicosfi.unam.mx/PonenciasVIForo2013/Presentaciones/ponencia_proyecto_chapultepec_.pdf

Archivo Técnico del Consejo de Arqueología-INAH

- Martínez Lemus, M.L. 2016. Proyecto Rescate Arqueológico en el Predio de la Subestación Eléctrica Diana Bancos 1 y 2 + mvar-cfe, Informe técnico final. Dirección de Salvamento Arqueológico-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - Moreno Cabrera, M.L. 2004. Proyecto Arqueológico de restauración del Museo Nacional de Historia, Castillo de Chapultepec, etapas Alcázar y Castillo. Informe final DSA-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Tomos I, II, III y IV. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2010. Rescate introducción de fibra óptica en Los Pinos y La Hormiga. Informe final. Dirección de Salvamento Arqueológico-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2010. Supervisión y vigilancia de la última etapa del proyecto: Recuperación monumental y ambiental de los Baños de Moctezuma, fase 2009. DSA-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2011. Proyecto Arqueológico Bosque, Cerro y Castillo de Chapultepec. Informe parcial. Museo Nacional de Historia- Dirección de Salvamento Arqueológico-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2013. Proyecto Arqueológico Bosque, Cerro y Castillo de Chapultepec. Informe parcial. Museo Nacional de Historia- Dirección de Salvamento Arqueológico-Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2019. Salvamento Conagua: plantas de pulimento en la primera y segunda sección del bosque de Chapultepec. Informe final. Museo Nacional de Historia- Dirección de Salvamento Arqueológico -Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
 - López Camacho, M.L. 2022. Proyecto Bosque Cerro y Castillo de Chapultepec, 2017-2018. Informe técnico final. Museo Nacional de Historia- Dirección de Salvamento Arqueológico -Instituto Nacional de Antropología e Historia. Mecanoescrito. México.
-

Archivo Histórico del Museo Nacional de Historia

- Fondo fotográfico, Carpeta de Chapultepec- Alrededores, s/f
- Hemeroteca Nacional UNAM
- La Voz de México, Chapultepec, 23 de octubre de 1895, p. 3
- La Voz de México, Noticias, Obras de embellecimiento en el Bosque del Castillo de Chapultepec, 1895, p. 3.
- La Voz de México, Información del día, Chapultepec, México, 5 de septiembre de 1901.
- El tiempo, Naufragios en el Lago de Chapultepec, 19 de marzo de 1902, p. 2.
- El Mundo, En Chapultepec, Nuevos Prados, 10 de marzo de 1905, México, p. 1.

Bibliografía de referencia

- Alcocer, I. 1935. Apuntes sobre la antigua México Tenochtitlan. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México. 110pp.
 - Alcocer, J. 1988. Caracterización hidrobiológica de los Lagos de Chapultepec, México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar (Oceanografía Biológica y Pesquera). UACPyP, CCH, UNAM. 88 pp.
 - Alcocer, J. y A. Lugo. 1995. The urban lakes of Mexico City. (Lago Viejo de Chapultepec). *LakeLine* 15(2): 14-15, 31.
 - Alcocer, J., E. Kato, E. Robles 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: 43-56.
 - Alcocer, J., A. Lugo, G. Vilaclara, M.R. Sánchez y M. Chávez. 2007. Los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México. pp. 113-124. En: G. de la Lanza (Comp.). *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*. AGT Editor. México. ISBN: 978-968-468-137-3
 - Arzate-Cárdenas; M., Olvera-Ramírez, R. y Martínez-Jerónimo, F. 2010. *Microcystis* toxigenic strains in urban lakes: a case of study in Mexico City. *Ecotoxicology* 19: 1157-1165. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0499-7>
 - Canales, A., Tische, A., Gómez, C., Boucheteil, F. 2016. Preservation of water in the heart of Mexico City. Aquifer recharge and water treatment. Noviembre 2016. Suez México.
 - CONAGUA. 2016. PTAR Chapultepec. Informe Preventivo. Proyecto Integral de Rehabilitación -Modernización de la PTAR-Chapultepec. Reúso del agua residual tratada en el Bosque de Chapultepec Distrito Federal. Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento y Saneamiento. CONAGUA – SUEZ. México.
 - CONAGUA. 2018. Esquema integral de saneamiento de los lagos y reúso del agua residual tratada en el Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México. Agosto 2018. CONAGUA. México.
-

- Cortés, H. 1979. Cartas de relación. Editorial Porrúa Nota preliminar de Manuel Alcalá, "Sepan Cuantos..." No. 7, México. 331 pp.
 - Departamento del Distrito Federal. 1975. Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. Talleres Gráficos de la Nación. México. Tomos I, II, III y IV.
 - Duran, fray Diego. 1990. Códice Duran, por fray Diego Duran. Arrendadora Internacional. México. 152 pp.
 - Fernández R., Oseguera L.A. y Alcocer J. 2019. 2.22. Carbono orgánico particulado fitoplanctónico de tres lagos urbanos hipereutróficos: Bosque de Chapultepec, Ciudad de México. pp. 360-364. En: Paz-Pellat, F. A. Velázquez y M. Rojo (Eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono sus Interacciones en México. Síntesis a 2019. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, Universidad Autónoma de Nayarit, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Nayarit y Stanford University-México Economía Limpia 2050-USAID. Texcoco, Estado de México, México. 541 pp.
 - García de Miranda, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. México. 90 pp.
 - Linné, S. 1948. El Valle y la Ciudad de México en 1550. SEDUE/Museo Etnográfico de Estocolmo. México. 220 pp.
 - López Camacho, M.L. 2012. El agua en la época colonial. pp. 83-101. En: El agua y el Valle de México. Secretaría de Medio ambiente y recursos Naturales, Conagua, México. 254 pp.
 - López Camacho, M.L. 2014. El uso y distribución del agua en Chapultepec. pp. 119-146. En: M.L. López Camacho (Coord.). Las contribuciones arqueológicas en la formación de la historia colonial. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 639 pp.
 - López Camacho, M.L. 2016. Las fuentes como parte de los acueductos: el caso particular de la fuente de Chapultepec. pp. 137- 170. En: Desenterrando fragmentos de historia siglos XVI al XIX. Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 607 pp.
 - López Camacho, M.L. 2019. El pueblo de San Miguel Chapultepec, un pueblo olvidado. pp. 19-31. En: Arqueología, Revista de la Coordinación Nacional de Arqueología 58. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
 - López Camacho, M.L. 2019. Un acercamiento a las placas conmemorativas y a los escudos de los siglos XVI a XIX en la Ciudad de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia-SC. 127 pp.
 - López Camacho, M.L. 2021. Un acercamiento a los petrograbados en la Cuenca de México: una historia de su destrucción. pp. 459-479. En: M.P. Casado y L. Mirambell (Coords.). Retos y perspectivas en el estudio del arte rupestre en México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 566 pp.
 - Miranda Pacheco, S. 2007. Tacubaya: de suburbio veraniego a Ciudad, México. Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM. México. 123 pp.
 - Mora, K. 2022. Planean más agua de reuso para Paseo de la Reforma. El Sol de México. 13 de marzo
-

- de 2022. <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/planean-mas-agua-de-reuso-para-paseo-de-la-reforma-7985116.html>
- Nandini, S., Zamora-Barrios, C.A. y Sarma, S.S.S. 2020. A long-term study on the effect of cyanobacterial crude extracts from Lake Chapultepec (Mexico City) on selected zooplankton species. *Environmental Toxicology and Chemistry* 39(12): 2409-2419. <https://doi.org/10.1002/etc.4875>
 - Olguín-Flores Z.M., Lagunas-Sánchez M. Alcocer J. y Oseguera L.A. 2017. 4.4. Lagos del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México: Metabolismo lacustre. pp. 172-177. En: F. Paz Pellat y R. Torres Alamilla (Eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California.* Texcoco, Estado de México, México. 656 pp. ISBN: 978-607-96490-5-0.
 - Olivares-Rubio, H.F., Dzul-Caamal, R., Gallegos-Rangel, M.E., Madera-Sandoval, R.L., Domínguez-López, M.L., García-Latorre, E. y Vega-López, A. 2015. Relationship between biomarkers and endocrine-disrupting compounds in wild *Girardinichthys viviparus* from two lakes with different degrees of pollution. *Ecotoxicology* 24: 664–685. <http://dx.doi.org/10.1007/s10646-014-1414-4>
 - Persson, J. 2012. Urban lakes and ponds. In: Bengtsson, L., Herschy, R.W., Fairbridge, R.W. (eds) *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series.* Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_15
 - Rendón-Neydar, V., D. Cortés-Guzmán, J. Alcocer y L.A. Oseguera. 2018. 4.36. Biomasa de los macroinvertebrados bentónicos en tres lagos urbanos del Bosque de Chapultepec, México. pp. 393-399. En: F. Paz Pellat, A. Velázquez Rodríguez y M. Rojo Martínez (Eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2018. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada y la Universidad Autónoma de Baja California.* Texcoco, Estado de México, México. 656 pp. ISBN: 978-607-964960-6-7.
 - SACMEX. 2016. Resultados analíticos puntuales de la calidad del agua en el efluente de la P.T.A.R. Chapultepec. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Dirección Ejecutiva de Planeación y Construcción. Dirección Técnica. Subdirección de Control de la Calidad del Agua. Unidad Departamental der Investigación Tecnológica.
 - SUEZ. 2015. La PTAR Chapultepec. Reúso del agua residual tratada en el Bosque de Chapultepec, CDMX. SUEZ. México.
 - Tovar y de Teresa, R. 2010. *El ultimo brindis de don Porfirio, 1910: Los festejos del Centenario.* Taurus. México. 323 pp.
 - Vasconcelos, V., Martins, A., Vale, M., Antunes, A., Azevedo, J., Welker, M., Lopez, O. & Montejano, G. 2010. First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon* 56(3): 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.04.011>
-

- Vega-López, A., Ayala-López, G., Posadas-Espadas, B.P., Olivares-Rubio, H.F. & Dzul-Caamal, R. 2013. Relations of oxidative stress in freshwater phytoplankton with heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 165: 498-507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.01.026>
-

El Bosque de Chapultepec es el parque urbano de más importancia y mayor belleza paisajística en la Ciudad de México, además de tener una gran importancia ecológica. En este entorno privilegiado, el libro “Descubriendo los Lagos de Chapultepec, Ciudad de México” narra las muy interesantes particularidades de los cuerpos acuáticos del Bosque, y lo hace de manera comprensible, con visión holística y lenguaje accesible. El libro parte del relato del marco histórico, para proseguir con la descripción de las características ambientales y biológicas de los Lagos de Chapultepec. Se presenta su ubicación, forma, fuente de alimentación y las condiciones fisicoquímicas del agua. Después, introduce muy detalladamente la biota acuática que habita en los lagos, tanto microscópica como macroscópica; en la biota destacan los “Cuatro Fantásticos”, las

especies insignia (un crustáceo, el acocil; dos peces, charal y mexclapique, y un anfibio, el ajolote) remanentes del pasado lacustre de la Ciudad de México. Seguidamente se aborda la calidad del agua y aspectos de contaminación de los lagos, así como las medidas de restauración que se han venido implementando, aunque desafortunadamente sin el debido éxito. El libro concluye dando respuestas puntuales a las preguntas que más frecuentemente expresan los visitantes de los lagos. Esta obra es la primera en su tipo que presenta, de manera completa y sencilla, lo que hoy en día se conoce sobre estos lagos maravillosos, que se constituyen en un apreciado remanso de paz en una ciudad donde el agua escasea tanto, y como refugio para la imprescindible conservación de especies de fauna acuática emblemática para México.

