

## EL FITOPLANCTON DE UN CANAL DE XOCHIMILCO Y LA IMPORTANCIA DE ESTUDIAR ECOSISTEMAS ACUÁTICOS URBANOS

Zitlali López-Mendoza<sup>1</sup>, Rosaluz Tavera<sup>2\*</sup> y Eberto Novelo<sup>3\*\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Biología, <sup>2</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales,

<sup>3</sup>Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.

E-mails: \*r\_tavera@ciencias.unam.mx, \*\*enm@ciencias.unam.mx

### RESUMEN

El fitoplancton del canal El Bordo en Xochimilco se estudió durante la época de lluvias de 2008 y la época seca de 2009. El objetivo fue conocer la estabilidad de la flora de una zona que requiere medidas de remediación. Los resultados de este estudio mostraron una composición diversa del fitoplancton, en la que destacó el registro de varias especies no observadas previamente en México y concretamente en Xochimilco. Los resultados del monitoreo reflejan en los factores fisicoquímicos una proporción de variación baja (9-17%), a pesar de la intensidad de las actividades agropecuarias que prevalecen en la zona de estudio. Un tercer resultado fue la identificación de un grupo funcional que reúne especies que son típicas de cuerpos de agua someros, tropicales y eutróficos, como el canal El Bordo. Se discute la posibilidad de asociar este grupo funcional con un estado estable en el ecosistema, lo que puede aplicarse en medidas de remediación. Consideramos que es útil estudiar las comunidades de ecosistemas acuáticos urbanos con un alto grado de alteración, pues la cantidad de conocimiento acumulado en una región podría hacer la diferencia entre conservar o perder estos ecosistemas.

**Palabras Clave:** Algas, eutrofia, grupo funcional, México

### ABSTRACT

Phytoplankton Channel El Bordo in Xochimilco was studied during the 2008 rainy season and the dry season of 2009. The objective was to determine the stability of the flora of an area requiring remediation. The results of this study showed a diverse composition of phytoplankton, which highlighted the registration of several species not previously observed in Mexico and specifically in Xochimilco. Monitoring results reflect the physicochemical factors ratio low variation (9-17%), although the intensity of agricultural activities prevalent in the study area. A third result was the identification of a functional group that brings together species that are typical of shallow water bodies, tropical and eutrophic, such as channel El Bordo. The possibility to associate this functional group with a stable state in the ecosystem, which can be applied in remediation is discussed. We find it useful to study communities of urban aquatic ecosystems with a high degree of alteration, since the amount of accumulated knowledge in a region could make the difference between keeping or losing these ecosystems.

**Key Words:** Algae, freshwater eutrophication, functional group, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

**X**ochimilco es uno de los últimos ambientes acuáticos que quedan de lo que fue un impresionante ecosistema lacustre en la época prehispánica, la gran cuenca del Valle de México<sup>1</sup>. Aunque esta pérdida es enorme desde el punto de vista ecológico, no disminuyó el contenido cultural del lugar, ni su importancia económica<sup>2</sup>; porque es todavía una fuente de abastecimiento agrícola para la población y cumple la función de ser un área de esparcimiento, como en general sucede con los cuerpos de agua urbanos en varias ciudades del mundo, grandes o pequeñas<sup>3</sup>.

La situación de Xochimilco como ecosistema acuático es de gran interés en ecología, no sólo por albergar una valiosa diversidad, sino también porque el conocimiento de las comunidades fitoplanctónicas permite identificar cambios en la calidad del agua. La aproximación a nivel de comunidad funciona porque las especies comparten sus respuestas adaptativas y configuran gran cantidad de interacciones bióticas<sup>4</sup>. Una interpretación reciente para abordar el estudio de la comunidad fitoplanctónica se refiere al grupo funcional y fue presentada por Reynolds *et al.*<sup>5</sup>; estos autores proponen que “grupo funcional”, aplica a las algas como un equivalente al concepto “tipo de vegetación” para las plantas, y de la misma forma, se construye con base en las especies de presencia relevante (dominantes) en la comunidad. Sin embargo, a diferencia de las plantas, lo especial en el fitoplancton es que al intentar describirlo como “un tipo de vegetación característico de un tipo de ambiente” o “grupo funcional”, se enfrenta el problema de su ubicación espacial y temporal, pues su posición en un ambiente fluido lo hace tridimensionalmente variable y más difícil de trabajar en el medio acuático, que en el terrestre, cuya estabilidad espacial es mayor en el tiempo. Algunos autores<sup>6,7</sup> han sugerido que un tiempo de dos a tres semanas continuas es el mínimo para distinguir un grupo funcional que identifique una comunidad fitoplanctónica. Por consiguiente, para reconocer grupos funcionales en el fitoplancton se requiere que una cierta composición de taxones dominantes permanezca estable durante al menos 15 días, para reconocerlos como típicos de esa comunidad en ese período.

En este estudio de la composición fitoplanctónica del canal El Bordo, en Xochimilco, identificamos un conjunto de especies que permaneció durante al menos dos meses consecutivos en ese lugar, condición característica de los grupos funcionales antes mencionada. Nuestros resultados indicaron que la composición de especies coincide enteramente con el grupo funcional “J” que es aquel que distingue a los lagos someros eutróficos, con aguas turbias y gran cantidad de materia orgánica. Así como en el canal El Bordo, un seguimiento de las especies del plancton fotosintético de cualquier comunidad, permitiría identificar cambios de un grupo funcional a otro, que reflejarían la alteración del ecosistema. Si se pretendiera revertir el estado eutrófico de un sistema acuático como Xochimilco, un seguimiento de la comunidad fitoplanctónica sería imprescindible para saber

cómo responde el ecosistema ante ese manejo; por ejemplo, una disminución en el aporte de nutrimentos hacia la cuenca podría reducir la biomasa fitoplanctónica modificando la composición de especies, que a su vez se reflejará en las comunidades consumidoras y en cómo repercutirán los cambios inducidos, en el futuro mediano.

Sin embargo, los estudios sobre fitoplancton en sistemas acuáticos urbanos no dejan de ser un tema controvertido. En el escenario de Xochimilco y debido a su relación con el entorno social, incluyendo la salud pública, implica incorporar una visión conservacionista a las políticas de manejo; aquí pueden surgir preguntas sobre las rutas a seguir, ¿se mantiene a Xochimilco como está, esperando que no colapse?, ¿se planifica un programa de rescate del ecosistema, que albergue estudios formales sobre la biota?<sup>8</sup>. En el entorno científico, indudablemente la amenaza de la pérdida de la biodiversidad es un tema central, pero en el entorno político y especialmente por el cumplimiento de compromisos internacionales, debe ser urgente atender el problema. Xochimilco fue declarado por la UNESCO “Patrimonio Cultural de la Humanidad”<sup>2,9</sup> y es inadmisibles que colapse.

Ante lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue estudiar, en época seca y de lluvias, qué tanto refleja la estabilidad del fitoplancton la alteración ecológica del ambiente acuático, supuestamente implícita en la eutrofización.

## ÁREA DE ESTUDIO

El canal El Bordo forma parte del Lago de Xochimilco y para todo el sistema de canales, el agua proviene de la zona de captación de la ladera norte de la Sierra Chichinautzin y de las descargas, tanto de comunidades aledañas como del asentamiento urbano que rodea completamente al sistema acuático, que generalmente carecen de regulación (contaminación difusa). De manera sobresaliente hay que mencionar el vertido de aguas residuales parcialmente tratadas<sup>10</sup>.

El sistema de canales forma un humedal permanente que representa un remanente del gran lago que caracterizaba a la Cuenca de México, integrado por los lagos de Xochimilco, Chalco, Xaltocan, Zumpango, Tenochtitlan y Texcoco. Estos lagos integraron una cuenca formada por depresión durante el Cuaternario Superior. El clima corresponde a C (W2) (w) b (i'), templado subhúmedo con lluvias en verano según la clasificación de Köppen, modificada por García<sup>11</sup>. La precipitación pluvial media anual es de 620.4 mm, y la mayor parte se concentra entre los meses de mayo y octubre. La temperatura media anual oscila entre los 12 y 18 °C, con poca variación de las temperaturas medias mensuales (entre 5 y 7 °C).

El canal El Bordo tiene una longitud de 2.4 km y una profundidad que varía entre 0.40 y 1.0 m, dependiendo de la época del

año; los puntos de recolección se localizaron en las siguientes coordenadas Punto A: 19° 17' 10.61" N y 99° 05' 58.73" O; Punto B: 19° 17' 04.67" N y 99° 05' 21.43" O y Punto C: 19° 17' 00.40" N y 99° 04' 49.47" O. Debido a la escasa profundidad de la zona, la columna de agua tiene una circulación completa<sup>12</sup>.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Las recolecciones se hicieron de septiembre a noviembre de 2008 y de marzo a mayo de 2009. En campo se determinó directamente temperatura del agua, pH, conductividad y oxígeno

disuelto durante la época de lluvias de 2008 y la época seca de 2009 (Tabla I), con un potenciómetro-conductímetro y un oxímetro de campo (ambos Conductronic<sup>MR</sup>). Para el análisis del fitoplancton se recolectaron muestras en el centro del canal, con una red de 10 µm de apertura de malla, que fueron preservadas con formol al 2%. A partir de estas muestras se realizaron preparaciones utilizando gelatina glicerina como medio de montaje<sup>13</sup>. Las muestras y las preparaciones se depositaron en la colección XoDF (Xochimilco-Distrito Federal) del Herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM (FCME). La concentración

Fecha de recolección	Factores fisicoquímicos					Nutrientes		
	muestra	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µScm <sup>-1</sup> )	OD mg l <sup>-1</sup>	NID mg l <sup>-1</sup>	Ptot mg l <sup>-1</sup>	[SiO <sub>2</sub> ] mg l <sup>-1</sup>
08/09/08	Xo 59	18.4	8.4	876	4.6	2.696	4.36	26.1
	Xo 60	18.3	8.9	663	5.5	0.411	1.65	20.9
	Xo 61	17.4	8.7	668	5.5	0.966	2.95	21
06/10/08	Xo 77	17.6	10.9	876	5.3	1.412	3.29	35.8
	Xo 78	18.0	11.0	837	4.6	1.093	2.46	24.7
	Xo 79	17.8	10.8	828	5.7	0.805	3.16	29.5
03/11/08	Xo 95	14.8	7.7	718	5.5	1.214	6.62	47.3
	Xo 96	14.8	8.1	698	5.5	1.767	6.24	35.2
	Xo 97	15.4	8.4	704	5.3	2.182	6.34	38.5
23/03/09	Xo 122	16.4	9.6	663	7.6	0.362	5.43	0.2
	Xo 123	17.4	9.6	682	7.2	0.758	3.99	0.21
	Xo 124	17.0	8.9	717	7.2	1.598	4.59	0.23
13/04/09	Xo131	19.0	9.3	699	6.6	0.776	5.55	1.8
	Xo132	18.6	9.7	678	7.6	2.142	3.97	1.3
	Xo133	18.5	9.5	688	7.2	1.797	4.35	1.42
25/05/09	Xo 149	19.6	9.2	668	4.6	1.416	4.86	36.4
	Xo 150	20.3	9.3	684	5.7	1.448	4.46	23.6
	Xo 151	20.1	9.3	689	5.5	2.148	4.28	26.1
Desviación estándar		1.62090106	0.92286939	74.0798897	1.02888035	0.65355671	1.35600251	15.78075
Media aritmética		17.7444444	9.31055556	724.222222	5.92777778	1.38838889	4.36388889	20.57
Coeficiente de Variación		0.09134696	0.09912076	0.10228889	0.17356932	0.47073029	0.31073259	0.76717307
CV expresado como porcentaje		9%	10%	10%	17%	47%	31%	77%

**Tabla I. Valores de factores ambientales (fisicoquímicos y nutrientes) monitoreados durante seis recolecciones en el canal El Bordo. Los nutrientes se expresan como nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo total (Ptot). El coeficiente de variación (CV) se expresa porcentualmente y como el cociente de la desviación estándar y la media aritmética.**

de nutrientes se determinó a partir de una muestra de 300 mL transportada en hielo (4 °C). Las formas inorgánicas disueltas fueron: nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) por el método de reducción de cadmio; nitrito ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) por el método de diazotización; amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) por el método del salicilato. Como suma de estas formas nitrogenadas, se obtuvo la concentración de nitrógeno inorgánico total disuelto (NID). También se determinó el fósforo total (Ptot) por el método de digestión ácida y dióxido de sílice por el método del silicomolibdato (Tabla I). Estos métodos se basaron en Hach<sup>14</sup> y se hicieron por espectrofotometría (Hach DR-2010), con base en los estándares aprobados para el análisis de agua dulce de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)<sup>15</sup>.

Para la observación de especies se usó un microscopio fotónico Nikon Optiphot-2 con contraste diferencial de interferencias (DIC), con una cámara Nikon Coolpix S10VR. Se realizaron dibujos de las especies que complementan la morfología documentada en las fotos. En la determinación taxonómica se utilizó bibliografía especializada para cada grupo. Los sistemas taxonómicos empleados fueron los de Komárek & Mares<sup>16</sup> para Cyanoprokaryota; Novelo<sup>17</sup> para Bacillariophyta; Starmach<sup>18</sup> para Cryptophyta y Dinophyta; Dillard<sup>19</sup>, Komárek & Fott<sup>20</sup> y Guiry & Guiry<sup>21</sup> para Chlorophyta. Los cambios de nomenclatura anotados en las descripciones se consultaron además en la base de datos AlgaeBase<sup>21</sup>. En los resultados, sólo se presentan las

medidas de las especies que ya cuentan con una descripción completa y una ilustración detallada, para México y se anota la fuente más adecuada. Las especies que se describen e ilustran ampliamente en este trabajo, son las que no se habían registrado antes en México o cuya información estaba incompleta.

La información sobre la distribución se obtuvo de la base de datos Taxfich<sup>22,23</sup>. La frecuencia de presencia en las recolecciones se utilizó para calificar a las especies como dominantes, constantes, frecuentes o raras, conformando cada categoría proporcionalmente, con el número de recolecciones y veces en las que cada especie fue observada (Tabla II; Figura 1).

## RESULTADOS

Los valores de factores ambientales, fisicoquímicos y nutrientes se muestran en la Tabla I. Se incluye el cálculo del coeficiente de variación ( $N = 18$ ) que mostró que los factores fisicoquímicos monitoreados presentaron una proporción de variación baja (9-17%), en cambio los nutrientes mostraron una variación alta (mayor a 30%).

En la Figura 1 se muestran los valores de frecuencia de cada especie; las clasificaciones siguen el siguiente criterio: dominante, las especies que aparecen entre 5 y 6 recolecciones; constantes entre 3 y 4 veces; frecuentes sólo 2 veces, y raras las obtenidas en una sola recolección.

Especie	Sep	Oct	Nov	Lluvia	Mar	Abr	May	Seca	Presencia anual	Presencia continua
<i>Aulacoseira granulata</i>				0			+	1	1	-
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Tabularia fasciculata</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Encyonema mesianum</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Gomphonema affine</i>			+	1	+			0	2	-
<i>Gomphonema parvulum</i>			+	1	+			1	2	-
<i>Amphora ovalis</i>				0	+		+	1	2	-
<i>Pteromonas aculeata</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Pteromonas angulosa</i>	+		+	2				0	2	-
<i>Pandorina morum</i>				0		+		1	1	-
<i>Lacunastrum gracillimum</i>				0	+	+		2	2	C
<i>Pediastrum duplex</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Pediastrum patagonicum</i>	+	+	+	3	+	+		2	5	C
<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C

Tabla II. Listado de especies del canal El Bordo. La presencia en las muestras se indica por un signo positivo; la presencia anual equivale a la suma de presencias y la presencia por época tiene una C cuando su presencia fue continua durante al menos dos meses consecutivos.

Especie	Sep	Oct	Nov	Lluvia	Mar	Abr	May	Seca	Presencia anual	Presencia continua
<i>Pseudopediastrum boryanum</i> var. <i>caribeanum</i>	+	+	+	3	+			1	4	C
<i>Pseudopediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i>		+		1	+	+		2	3	C
<i>Stauridium tetras</i>				0	+			1	1	-
<i>Eutetramorus fottii</i>	+			1	+		+	2	3	-
<i>Acutodesmus acuminatus</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Acutodesmus dimorphus</i>				0	+			1	1	-
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i>	+			1	+	+		2	3	C
<i>Desmodesmus armatus</i>		+	+	2	+	+	+	3	5	C
<i>Desmodesmus communis</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Desmodesmus magnus</i>	+			1				0	1	-
<i>Desmodesmus opoliensis</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Desmodesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Desmodesmus pannonicus</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Desmodesmus subspicatus</i>	+	+	+	3	+	+	+	3	6	C
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	+		+	2				0	2	-
<i>Tetrastrum triangulare</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Verrucodesmus verrucosus</i>				0			+	1	1	-
<i>Kirchneriella irregularis</i>	+			1	+		+	2	3	-
<i>Monoraphidium contortum</i>	+			1	+		+	2	3	-
<i>Monoraphidium irregulare</i>	+			1				0	1	-
<i>Gregiochloris lacustris</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Hindakia tetrachotoma</i>				0	+			1	1	-
<i>Micractinium crassisetum</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Micractinium pusillum</i>	+		+	2	+		+	2	4	-
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	+			1		+		1	1	-
<i>Echinocoleum polymammilatum</i>	+		+	2	+		+	2	4	-
<i>Lagerheimia ciliata</i>	+			1			+	1	2	-
<i>Tetrachlorella alternans</i>	+		+	2	+		+	2	4	-
<i>Oocystidium ovale</i>				0	+		+	2	2	-
<i>Cryptomonas ovata</i>	+			1				0	1	-
<i>Merismopedia tenuissima</i>	+		+	2				0	2	-
<i>Durinskia baltica</i>				0	+		+	2	2	-

Tabla II. Listado de especies del canal El Bordo. La presencia en las muestras se indica por un signo positivo; la presencia anual equivale a la suma de presencias y la presencia por época tiene una C cuando su presencia fue continua durante al menos dos meses consecutivos.

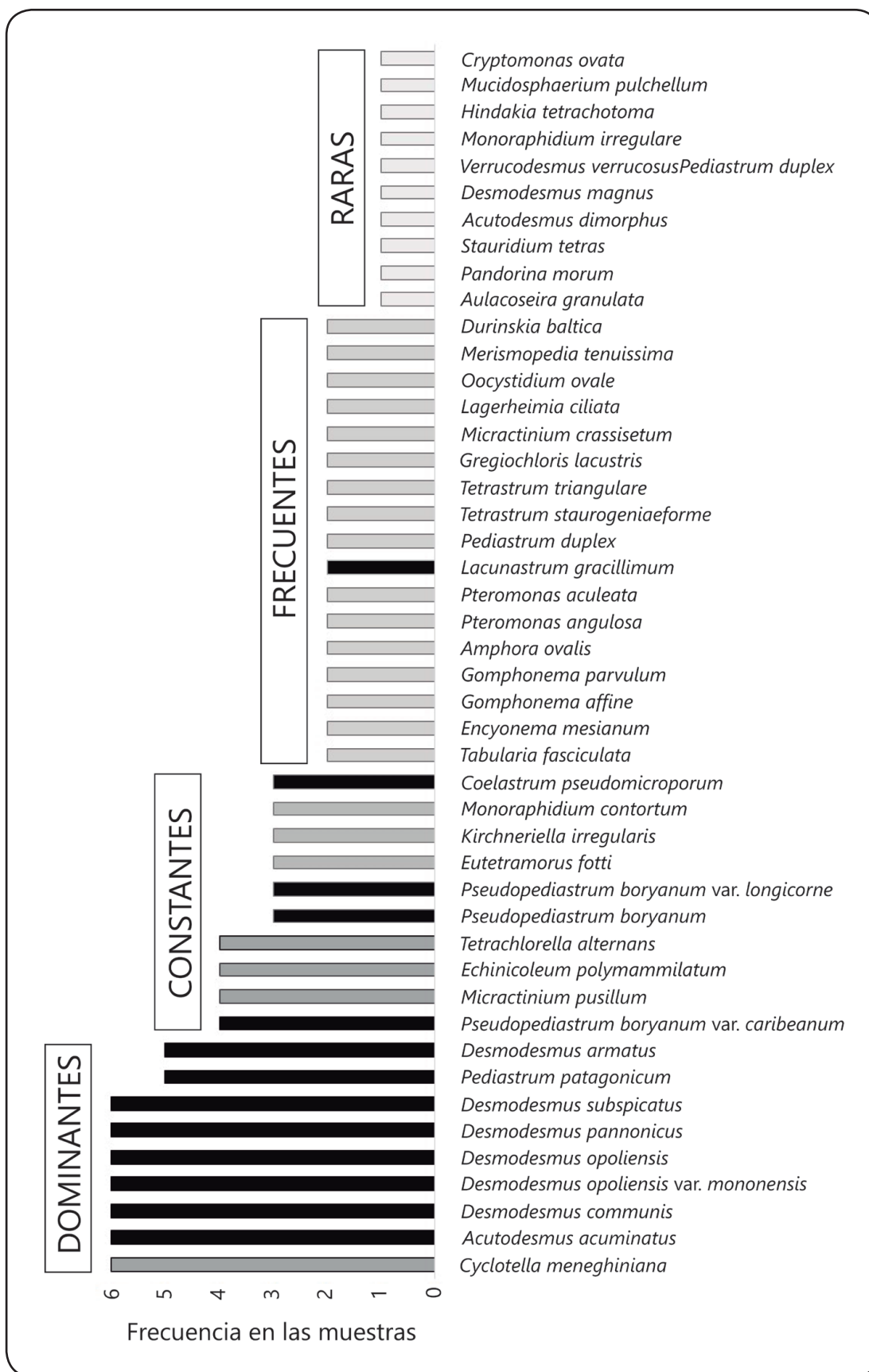


Figura 1. Especies del fitoplancton del canal El Bordo ordenadas por su valor de frecuencia en las recolecciones, que las califica como dominantes (5-6 recolecciones), constantes (3-4 recolecciones), frecuentes (2 recolecciones) y raras (1 recolección). Las barras en negro distinguen a las especies dominantes a frecuentes y que integran el Grupo Funcional "J", típico de cuerpos de agua tropicales y eutróficos, de acuerdo con Reynolds et al. 2002<sup>5</sup>.



Se encontraron en total 46 taxones que pertenecen a 5 divisiones: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta, Cyanoprokaryota y Dinophyta; trece de estos taxones no estaban registrados en la zona y tres representan nuevos registros para México: *Pediastrum patagonicum*, *Pseudopediastrum boryanum* var. *caribeanum* y *Echinocoleum polymammilatum* (Tabla II).

La división Chlorophyta fue el grupo mejor representado en el canal El Bordo durante el estudio (Tabla II); esta División incluyó principalmente especies de los géneros *Desmodesmus*, *Pediastrum*, *Pseudopediastrum*, *Acutodesmus* y *Coelastrum*. De acuerdo con nuestros resultados, las especies de estos géneros pertenecen a las categorías de dominantes y constantes (Figura 1) y tuvieron presencia continua en al menos dos meses consecutivos; se puede incluir a *Lacunastrum gracillimum*, clasificada como frecuente (Tabla II). Las especies de estos géneros han sido consideradas como integrantes del Grupo Funcional que se denomina “J”, de acuerdo con Reynolds *et al.*<sup>5</sup> (Figura 1).

### Descripciones de especies

Las Divisiones, las Familias y las especies siguen un orden alfabético en cada categoría taxonómica.

#### Bacillariophyta, Aulacoseirales, Aulacoseiraceae

*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
Diámetro de la valva 8.6-10.0 µm. Herbario: DFXo-151. Descripción completa en Buendía-Flores<sup>24</sup>. Se registró en el canal El Japón en Xochimilco y en la Laguna de los Reyes Aztecas, en Tláhuac<sup>24,25</sup>. En este estudio sólo fue observada durante mayo (época seca).

#### Thalassiosirales, Stephanodiscaceae

*Cyclotella meneghiniana* Kützing  
Diámetro de la valva 10.0-17.5 µm; 6 estrías en 10 µm. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Descripción completa en Buendía-Flores<sup>24</sup>. Se registró en el canal El Japón y en la Laguna de los Reyes Aztecas, en Tláhuac<sup>24,25</sup> y durante septiembre de 2007 (época de lluvias) en el canal El Bordo y en el Lago Huetzalín del Parque Ecológico Xochimilco (PEX)<sup>26,27</sup>. En este estudio fue observada durante los seis meses.

#### Fragilariales, Fragilariaceae

*Tabularia fasciculata* (C. Agardh) D.M. Williams & F.E. Round  
Valvas de 65.0-67.0 µm de largo y 3.0-4.0 µm de ancho. 12-14 estrías en 10 µm. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Novelo<sup>17</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; fue observada en marzo y mayo (época seca).

#### Cymbellales, Cymbellaceae

*Encyonema mesianum* (Cholnoky) D.G Mann  
Valvas de 27.5-32.0 µm de largo y 10.0-12.0 µm de ancho. 9

estrías en el área ventral y 11 en la dorsal. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Buendía-Flores<sup>24</sup>. Se registró su presencia en el PEX durante 2006 y 2007<sup>27</sup>. En este estudio fue observada en marzo y mayo (época seca).

#### Gomphonemataceae

*Gomphonema affine* Kützing

Valvas de 37.5-42.0 µm de largo y 10.0-12.0 µm de ancho. 9 estrías centrales y 8 terminales en 10 µm. Herbario: DFXo-96, DFXo-122. Descripción completa en Buendía-Flores<sup>24</sup>. Se registró en el PEX durante 2006 y 2007<sup>27</sup>. En este estudio fue observada en noviembre (época de lluvias) y marzo (época seca).

*Gomphonema parvulum* Kützing

Valvas de 25.0-28.0 µm de largo y 7.5-10.0 µm de ancho. 8-11 estrías en 10 µm. Herbario: DFXo-96, DFXo-122. Descripción completa en Buendía-Flores<sup>24</sup>. Se registró en el PEX durante 2006 y 2007<sup>27</sup>. En este estudio fue observada en noviembre (época de lluvias) y marzo (época seca).

#### Thalassiosiphysales, Catenulaceae

*Amphora ovalis* (Kützing) Kützing

Valvas de 22.5-25.0 µm de largo y 4.7-7.0 µm de ancho. 12 estrías en 10 µm. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Novelo<sup>17</sup>. Se registró previamente en otros canales de Xochimilco<sup>28</sup>. En este estudio fue observada en marzo y mayo (época seca).

#### Chlorophyta, Chlamydomonadales, Phacotaceae

*Pteromonas aculeata* Lemmermann

Célula de 17.5-29.0 µm de largo y 18.5-23.0 µm de ancho. Protoplasto de 14.0-22.0 µm de largo y 12.0-15.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Cortés-López<sup>29</sup>, quien la registró en Xochimilco en la Laguna de la Virgen en la época de lluvias. En este estudio fue observada en marzo y mayo (época seca).

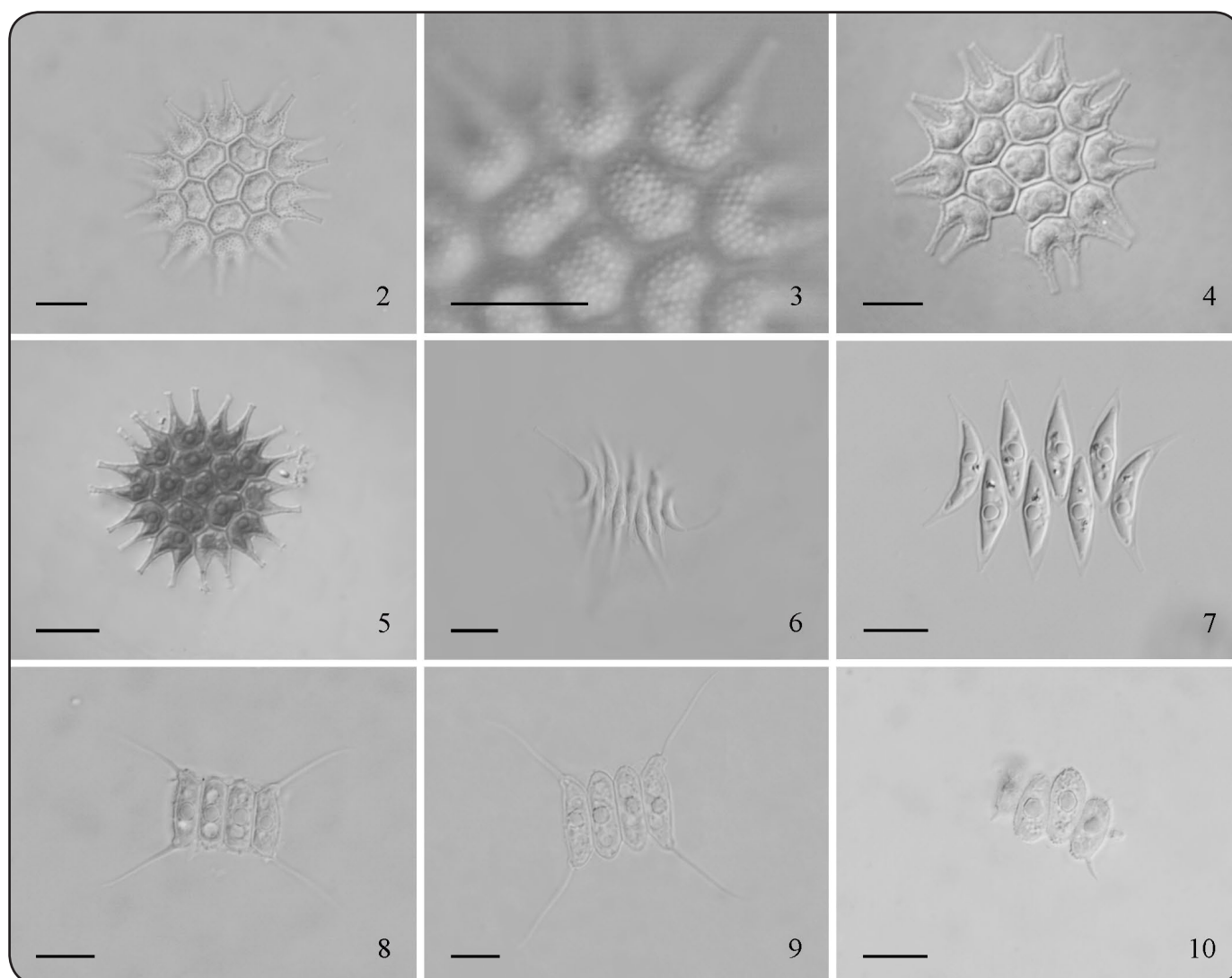
*Pteromonas angulosa* Chodat

Célula de 11.0-17.5 µm de largo y 14.0-17.5 µm de ancho. Protoplasto de 10.0-15.5 µm de largo y 12.5-18.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-96. Descripción completa en Cortés-López<sup>29</sup>, quien la registró en Xochimilco en la Laguna de la Virgen en la época de lluvias. En este estudio fue observada en septiembre y noviembre (época de lluvias).

#### Volvocaceae

*Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory

Cenobio sub-esférico de 16 células de 25.0-35.0 µm de diámetro. Células de 7.0-8.0 µm de largo y 6.0-7.5 µm de ancho; los flagelos 2-2.5 veces más largos que la longitud celular. Herbario: DFXo-133. Descripción completa en Novelo<sup>30</sup>. Se registró en Xochimilco<sup>31</sup> en varios canales sin ubicación precisa y en el canal El Japón<sup>25</sup>. En este estudio fue observada en abril (época seca).



Figuras 2-10. Especies presentes en el canal El Bordo, Xochimilco. 2, 3. *Pediastrum patagonicum*. 4. *Pseudopediastrum boryanum* var. *caribeanum*. 5. *Pseudopediastrum boryanum* var. *longicorne*. 6. *Acutodesmus acuminatus*. 7. *Acutodesmus dimorphus*. 8. *Desmodesmus communis*. 9. *Desmodesmus opoliensis* var. *mononensis*. 10. *Desmodesmus pannonicus*.

### Sphaeropleales, Hydrodictyaceae

*Lacunastrum gracillimum* (W. West & G.S. West) H. McManus  
Cenobio de (50.0) 66.0-76.6  $\mu\text{m}$  de diámetro; células internas de 4.6-6.0  $\mu\text{m}$  de largo y 10.0-13.0  $\mu\text{m}$  de ancho, células marginales 16.6-18.0  $\mu\text{m}$  de largo y 13.0-14.0  $\mu\text{m}$  de ancho. Herbario: DFXo-122, DFXo-133. La descripción completa, registrada como *Pediastrum duplex* var. *gracillimum* West & West, en Comas *et al.*<sup>32</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; fue observada en marzo y abril (época seca). Pertenece al Grupo Funcional "J".

#### *Pediastrum duplex* Meyen

Cenobios de 8-32 células. Cenobio de 35-86  $\mu\text{m}$  de diámetro, células internas de 2.5-3.2  $\mu\text{m}$  largo y 3.0-5.0  $\mu\text{m}$  de ancho;

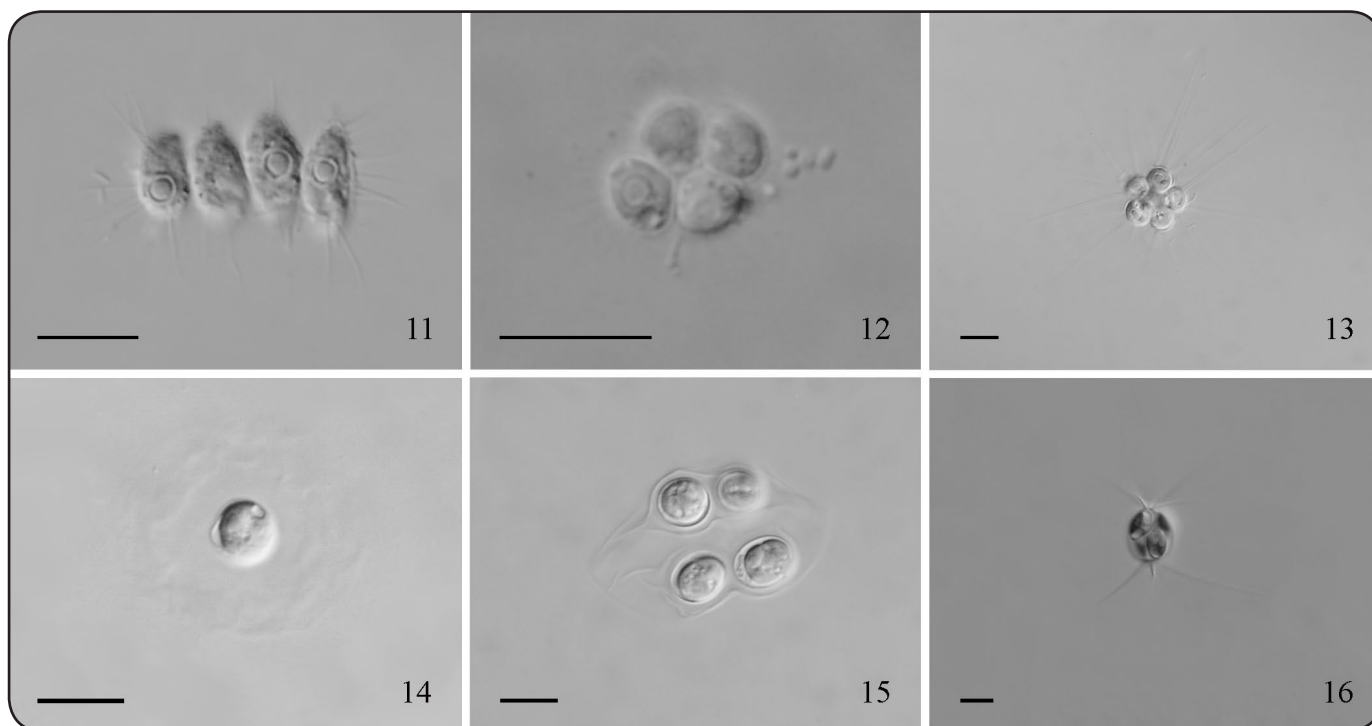
células marginales de 6.2-7.5  $\mu\text{m}$  de largo y 2.0-5.0  $\mu\text{m}$  de ancho. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Figueroa *et al.*<sup>31</sup> quienes la registraron en Xochimilco sin ubicación precisa tanto en época seca como de lluvias. En este estudio se observó en marzo y mayo (época seca).

#### *Pediastrum patagonicum* Tell & Mataloni

Figuras 2-3, 17a, b

Cenobio circular en su contorno, plano, a veces con pequeñas aberturas irregulares o más o menos triangulares entre las células, con 8-32 células que presentan un arreglo concéntrico. Las células poligonales-redondeadas en el centro del cenobio, con los lados ligeramente convexos, unidos principalmente por los lados no por los vértices. Las células marginales en principio





Figuras 11-16. Especies presentes en el canal El Bordo, Xochimilco. 11. *Desmodesmus subspicatus*. 12. *Tetrastrum staurogeniaeforme*. 13. *Micractinium crassisetum*. 14, 15. *Echinocoleum polymammilatum*. 16. *Lagerheimia ciliata*.

cuadradas o rectangulares en el contorno, con la base ligeramente convexa hacia el lado interno, en el margen poseen dos lóbulos cortos y con un proceso más o menos largo, el cual está curvado fuera del plano del cenobio en posición perpendicular al eje del cenobio. La pared celular con una superficie reticulada, regularmente hexagonal, con verrugas situadas en los vértices y centro de los hexágonos. Cenobio de 47.5-67.0  $\mu\text{m}$  de diámetro; células internas de 9.0-14.0  $\mu\text{m}$  de largo y 10.0-13.5  $\mu\text{m}$  de ancho; células marginales de 17.5-22.5  $\mu\text{m}$  de largo y 10.0-14.5  $\mu\text{m}$  de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133. Algunos autores<sup>33,34</sup> hacen notar que esta especie pertenece al complejo *P. kawraiskyi-mustersii-leonensis*, que se caracteriza por presentar las células externas orientadas en diferentes planos; las especies de este complejo se consideran como marcadores paleoambientales del Mioceno. Esta especie había sido considerada endémica de Argentina, pero de acuerdo con Komárek y Jankovská<sup>35</sup> hay registros de los Estados Unidos y Japón; este es el primer registro en México. En este estudio fue observada de septiembre a noviembre (época de lluvias) y en marzo-abril (época seca). Pertenece al Grupo Funcional “J”.

*Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) Hegewald

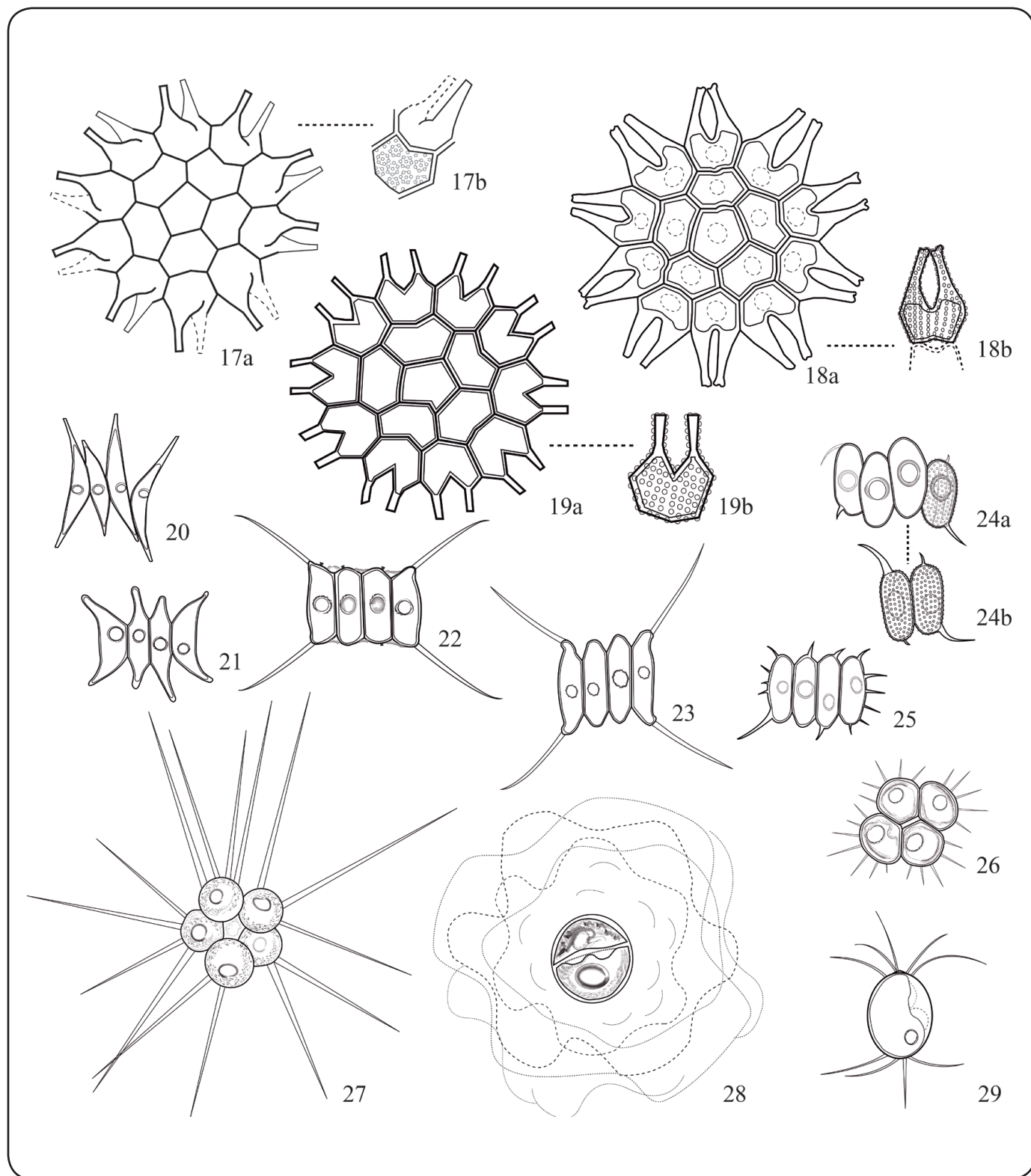
Cenobio con procesos de 47.5-70.0  $\mu\text{m}$  de diámetro; células marginales de 12.5-14.0  $\mu\text{m}$  de largo y 7.5-11.0  $\mu\text{m}$  de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup> quienes

la registraron como *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini, en el PEX durante la época seca y de lluvias; también registrada en el canal El Japón<sup>25</sup>. En este estudio se observó en todos los meses de ambas épocas. Pertenece al Grupo Funcional “J”.

*Pseudopediastrum boryanum* var. *caribeanum* (Comas) Pérez, Comas & Maidana

Figuras 4, 18a, b

Cenobio circular, con uno, muy pocos o sin orificios pequeños e irregulares entre las células, con 16-32 células. Las células marginales con una incisión estrecha en forma de letra “U” cerrada, lóbulos alargados en procesos que pueden ser hasta dos veces más largos que el cuerpo celular. Células internas poligonales, sin incisiones, con 5-7 lados. Paredes finamente granuladas, la granulación es visible particularmente en el borde de los lóbulos y en los procesos. Cenobio de 42.5-65.0  $\mu\text{m}$  de diámetro, células internas de 7.5-8.0  $\mu\text{m}$  de largo y 10.0-11.0  $\mu\text{m}$  de ancho, células marginales de 12.0-13.0  $\mu\text{m}$  de largo y 8.0-10.0  $\mu\text{m}$  de ancho. La variedad se distingue por la forma y orientación de los procesos de las células marginales y la ornamentación de la pared. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122. Este es el primer registro de esta variedad en México; se observó de septiembre a noviembre (época de lluvias) y en marzo (época seca). Pertenece al Grupo Funcional “J”.



Figuras 17-29. Especies presentes en el canal El Bordo, Xochimilco. 17a, b. *Pediastrum patagonicum*. 18a, b. *Pseudopediastrum boryanum* var. *caribeum*. 19a, b. *Pseudopediastrum boryanum* var. *longicorne*. 20. *Acutodesmus acuminatus*. 21. *Acutodesmus dimorphus*. 22. *Desmodesmus communis*. 23. *Desmodesmus opoliensis* var. *mononensis*. 24a, b. *Desmodesmus pannonicus*. 25. *Desmodesmus subspicatus*. 26. *Tetrastrum staurogeniaeforme*. 27. *Micractinium crassisetum*. 28. *Echinocoleum polymammilatum*. 29. *Lagerheimia ciliata*.

*Pseudopediastrum boryanum* var. *longicorne* (Reinsch) Tsarenko

Figuras 5, 19a, b

Cenobio con 8-16 células. Cenobio de 22.5-35.0 µm de diámetro; células internas de 2.5-5.0 µm de largo y 5.0-7.0 µm de ancho; células marginales de 7.5-12.5 µm de largo y 5.0-7.5 µm de ancho. Herbario: DFXo-78, DFXo-122, DFXo-133. Descripción completa en Figueroa *et al.*<sup>31</sup>, quienes la registraron en Xochimilco como *Pediastrum boryanum* var. *longicorne* Reinsch. Se registró con el mismo nombre durante la época de lluvias (septiembre, 2007) en el canal El Bordo, en la Laguna La Virgen y en el canal El Japón en la época de lluvias y en la época seca (mayo, 2007)<sup>25,26</sup>. En este estudio fue observada en octubre (época de lluvias) y en marzo-abril (época seca). Pertenece al Grupo Funcional "J".

*Stauridium tetras* (Ehrenberg) Hegewald

Cenobio de 4-6 (-32) células de 23.7-40.0 µm de diámetro. Células internas de 7.0-8.0 µm de largo y 6.6-7.0 µm de ancho; células marginales de 8.6-9.2 µm de largo y 7.0-9.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-122. Descripción completa en Novelo<sup>30</sup>, como *Pediastrum tetras* (Ehrenberg) Ralfs. En Xochimilco fue registrada también como *Pediastrum tetras*, en la Laguna La Virgen y canal El Bordo en la época de lluvias<sup>26</sup> y en el canal El Japón<sup>25</sup>. En este estudio se observó durante marzo (época seca).

### Radiococcaceae

*Eutetramorus fottii* (Hindák) Komárek

Colonias con envoltura mucilaginosas, de 25.0-27.5 µm de diámetro. Células de 4.0-5.0 µm de diámetro. Herbario: DFXo-60, DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Novelo<sup>30</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; fue observada durante septiembre (época de lluvias) y en marzo y mayo (época seca).

### Scenedesmaceae

*Acutodesmus acuminatus* (Lagerheim) Tsarenko

Figuras 6, 20

Cenobios de 4-8 células alargadas, con una curvatura marcada. Células de 23.0-38.0 µm de largo y 2.5-7.5 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Como *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat fue registrada en el PEX<sup>36</sup>, en la Laguna La Virgen y en el canal El Bordo<sup>26</sup>. En este estudio fue observada durante los seis meses. Pertenece al Grupo Funcional "J".

*Acutodesmus dimorphus* (Turpin) Tsarenko

Figuras 7, 21

Cenobios de 2-4-8 células, alineadas o marcadamente alternadas; arregladas en una o dos hileras y en general con forma de huso. Alargadas ligeramente hacia los ápices, que son extendidos; las células internas rectas, las células marginales ligeramente curvadas hacia afuera pero sólo en la parte sub-apical. Células de 12.7-13.6 µm de largo y 2.5-3.1 µm de ancho. Herbario: DFXo-122. Hindák, 1990,<sup>37</sup> reconoció a *Scenedesmus dimorphus*

(Turpin) Kützing como sinónimo de *S. obliquus* (Turpin) Kützing, caracterizada por la ausencia de ornamentaciones en las paredes y también sumamente variable en su morfología. En estas especies, los caracteres como tamaños de células y cenobios, o la disposición alternada de las células, sobre todo en los cenobios de 8 células, tienen transiciones morfológicas notables. Posteriormente Hegewald<sup>38</sup>, propuso que las especies del grupo *S. obliquus* constituían un clado separado, que fue reconocido como *Acutodesmus*. En la actualidad, Guiry & Guiry<sup>21</sup> reconocen *Acutodesmus dimorphus* (Turpin) Tsarenko como taxón válido, que incluye a *S. dimorphus* como sinónimo. Como *S. dimorphus* var. *obliquus* (Turpin) Kützing, fue registrada previamente en Xochimilco<sup>31</sup> en varios canales sin ubicación precisa y con el mismo nombre en el PEX<sup>36</sup>, y durante la época de lluvias en la Laguna La Virgen<sup>26</sup>. En este estudio fue registrada en marzo (época seca).

*Coelastrum pseudomicroporum* Korshikov

Cenobio de 25.0-28.0 µm de diámetro. Células de 6.0-7.5 µm de largo y 5.0-10.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-122, DFXo-133. Descripción completa en Comas *et al.*<sup>32</sup>. En Xochimilco fue registrada previamente en la época de lluvias en la Laguna de la Virgen<sup>26</sup>. En este estudio fue observada en septiembre (época de lluvias) y de marzo a abril (época seca). Pertenece al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus armatus* (Chodat) Hegewald

Cenobio de (2)-4-(8) células de 12.0-15.0 µm de largo y 3.5-7.0 µm de ancho. Espinas, 10.0-18.0 µm de largo. Herbario: DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Descripción completa, como *Scenedesmus armatus* (Chodat) Chodat, en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX; también se registró en el canal El Japón durante la época seca y en el canal El Bordo durante la época de lluvias<sup>26</sup>. En este estudio fue observada en octubre y noviembre (época de lluvias) y de marzo a mayo (época seca). Pertenece al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus communis* (Hegewald) Hegewald

Figuras 8, 22

Cenobio de 2-4(-8) células alargadas a cilíndricas, con arreglo plano a ligeramente curvo; las células internas con ápices redondeados, las células marginales con una espina recta en cada ápice que es ligeramente curvado y cuya pared externa está casi en línea recta, presenta restos de pared que pueden estar confinados al área entre los ápices; paredes celulares lisas. Se presentan rosetas o "aberturas apicales de la pared" en los polos de cualquiera de las células. Células de 12.5-17.5 µm de largo y 4.0-6.0 µm de ancho. Espinas de 12.5-17.5 µm de largo. Incluye 11 sinónimos de *Scenedesmus*<sup>38</sup>. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Como *Scenedesmus quadricauda* Brébisson se registró en varios canales en Xochimilco<sup>39</sup> y como *Desmodesmus communis* en la Laguna La Virgen y en los canales El Japón y El Bordo,

durante las dos épocas, seca y de lluvias<sup>25,26</sup>. En este estudio se registró también en ambas épocas, durante los seis meses. Perteneció al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus magnus* (Meyen) Tsarenko

Cenobios de 4 células cilíndricas, de 12.0-15.0 µm de largo y 4.0-8.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron previamente como *Scenedesmus magnus* Meyen en el Lago Huetzalín del PEX. En este estudio fue registrada en septiembre (época de lluvias).

*Desmodesmus opoliensis* (Richter) Hegewald

Células de 17.5-27.0 µm de largo y 2.5-7.0 µm de ancho. Espinas de 20.0-27.5 µm de largo. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, como *Scenedesmus opoliensis* Richter, registrada en el PEX<sup>36</sup> y en varios canales<sup>28,31,39</sup>, como *D. opoliensis* en la Laguna La Virgen y en los canales El Japón y El Bordo en la época de lluvias, además en la época seca en el canal El Japón<sup>25,26</sup>. En este estudio fue observada durante los seis meses. Perteneció al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus opoliensis* var. *mononensis* (Chodat) Hegewald

Figuras 9, 23

Las células son rectas ligeramente fusiformes, no tan agudas como en la variedad nominal; presentan ápices agudos y algunas veces truncados y poseen uno o dos dientes. Células de 17.0-37.5 µm de largo y 5.0-12.5 µm de ancho. Espinas de 25.0-37.5 µm de largo. En algunos ejemplares se distingue una extensión de la pared celular entre los ápices de las células internas. Incluye 10 sinónimos de *Scenedesmus*<sup>38</sup>. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. En Xochimilco se registró durante la época de lluvias y seca en la Laguna La Virgen y en el canal El Japón, y durante la época de lluvias para el canal El Bordo<sup>26</sup>. En este estudio fue observada en los seis meses. Perteneció al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus pannonicus* (Hortobágyi) Hegewald

Figuras 10, 24a, b

Cenobio curvo en una fila de (2)-4-8 células que a veces presentan un arreglo ligeramente alternado; son cilíndricas, ovoides o elipsoidales. Con ápices cónicamente redondeados, las células marginales tienen una espina corta, curvada y a veces presentan espinas más pequeñas en cada ápice; las células internas tienen una espina casi recta y gruesa en un ápice. La pared celular es marcadamente granulada; los gránulos alineados en hileras longitudinales. Células de 15.0-20.0 µm de largo y 5.0-10.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Incluye 11 sinónimos de *Scenedesmus*<sup>38</sup>. En Xochimilco se registró durante la época de lluvias en la Laguna La Virgen y durante la época seca en el canal El Bordo<sup>26</sup>. En este estudio se observó durante los 6 meses. Perteneció al Grupo Funcional "J".

*Desmodesmus subspicatus* (Chodat) Hegewald & A. Schmidt

Figuras 11, 25

Cenobios de 2-4-8 células, alineados o levemente alternados; células morfológicamente iguales, elipsoidales hasta anchamente ovales, polos redondeados. Las células internas frecuentemente presentan una o más espinas apicales. En cada polo de las células marginales presentan alguna espina tan larga como las células y junto a estas espinas principales aparecen otras accesorias, más cortas, situadas tanto en los polos como en las caras externas de las células. Células de 8.0-12.5 µm de largo y 2.0-3.0 µm de ancho. Espinas de 5.0-12.5 µm de largo. Herbario: DFXo-60, DFXo-78, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-133, DFXo-151. Incluye 32 sinónimos de *Scenedesmus*<sup>38</sup>. En Xochimilco se registró durante la época de lluvias en el canal El Bordo y en el canal El Japón, en este último también se presentó en la época seca<sup>26</sup>. En este estudio fue observada durante los seis meses. Perteneció al Grupo Funcional "J".

*Tetrastrum staurogeniaeforme* (Shröder) Lemmermann

Figuras 12, 26

Cenobio de 4 células, plano, con un contorno ampliamente elipsoidal-romboidal, dimensiones diferentes en sus dos ejes de simetría. En el punto de unión de las células, en el centro del cenobio, un espacio rectangular. Los lados externos de las células tienen un contorno semicircular, el cual algunas veces es ligeramente aplanado. La pared externa de las células tiene (3)-5-(7) espinas cortas. Cloroplasto parietal. Pirenoide con una cubierta de almidón gruesa. Cenobio de 6.0-10.0 µm de diámetro. Células de 3.0-5.0 µm de diámetro. Espinas de 2.0-3.0 µm de largo. Herbario: DFXo-60, DFXo-96. En Xochimilco se registró en varios canales<sup>25,31</sup>. En este estudio fue observada durante septiembre y noviembre (época de lluvias).

*Tetrastrum triangulare* Komárek

Cenobio rectangular de 10.0-15.0 µm de ancho. Células de 4.5-5.0 µm de diámetro. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Comas *et al.*<sup>32</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco y fue observada durante marzo y mayo (época seca).

*Verrucodesmus verrucosus* (Roll) Hegewald

Células de 4.0-5.2 µm de largo y 2.0-3.4 µm de ancho. Cenobio de 11.0-12.0 µm de ancho y 9.0-12.0 µm de alto. Herbario: DFXo-151. Descripción completa en Comas *et al.*<sup>32</sup>, como *Scenedesmus verrucosus* Roll. Este es el primer registro en Xochimilco y fue observada en mayo (época seca).

**Selenastraceae**

*Kirchneriella irregularis* (G.M Smith) Korshikov

Colonias de (4)-16-32 células. Las células miden 5.0-7.5 µm de largo y 2.5-3.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Comas *et al.*<sup>32</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; se observó en septiembre (época de lluvias) y en marzo y mayo (época seca).



*Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová  
Células de 17.5-24.0 µm de largo y 1.2-2.5 µm de ancho.  
Herbario: DFXo-60, DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX y otros autores en la época de lluvias en la Laguna de la Virgen y en la época seca en el canal El Japón<sup>25,26</sup>. En este estudio fue observada en septiembre (época de lluvias) y en marzo y mayo (época seca).

*Monoraphidium irregulare* (G.M Smith) Komárková-Legnerová  
Células de 15.0-20.0 µm de largo y 2.0-2.5 µm de ancho.  
Herbario: DFXo-60. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX, otros registros en la época de lluvias en el canal El Bordo y durante la época seca en el canal El Japón<sup>26</sup>. En este estudio fue observada en septiembre (época de lluvias).

*Gregiochloris lacustris* (Chodat) Marvan, Komárek & Comas  
Colonias de 35.0-42.5 µm de largo y 12.0-12.5 µm de ancho.  
Células de 11.0-15.0 µm de largo y 2.5-3.0 µm de ancho.  
Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX. En este estudio fue observada en marzo y mayo (época seca).

#### **Chlorellales, Chlorellaceae**

*Hindakia tetrachotoma* (Printz) Bock, Pröschold & Krienitz  
Colonias de 40.0-50.0 µm, de forma esférica a irregular.  
Células de 6.0-7.0 µm de largo y 5.0-6.0 µm de ancho.  
Herbario: DFXo-122. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup> como *Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz, quienes la registraron en el PEX. En este estudio fue observada en marzo (época seca).

*Micractinium crassisetum* Hortobágyi

Figuras 13, 27

Células esféricas, rara vez solitarias, en su mayoría reunida en grupos de 4 células dispuestas tetraédricamente. Cloroplasto parietal con un pirenoide. Pared celular lisa, con (1)-2-3(4), espinas cónicas, rectas, huecas y hialinas, gruesas en la base y agudas hacia la punta. Células con un diámetro de 3.6-4.2 µm. Espinas de 4.0-6.0 µm de largo. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Registrada en Xochimilco por Tavera & Diez<sup>26</sup>, durante la época de lluvias en la Laguna de la Virgen y en el canal El Bordo. En este estudio fue observada durante marzo y mayo (época seca).

*Micractinium pusillum* Fresenius

Células de 5.0-9.0 µm de diámetro. 1-2 espinas de 17.0-20.0 µm de largo. Herbario: DFXo-60, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX, también fue registrada en varios canales por varios autores<sup>25,31,39,40</sup>. Durante este estudio fue observada en septiembre y noviembre (época de lluvias) y en marzo y mayo (época seca).

*Mucidosphaerium pulchellum* (H.C. Wood) Bock, Pröschold & Krienitz

Colonias de numerosas células, de 74.0 µm de diámetro; subcolonias de 4-8 células de 4.0-4.5 µm de diámetro. Herbario: DFXo-60, DFXo-133. Descripción completa en Cruz y Cruz<sup>41</sup> como *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. Fue registrada en Xochimilco, también como *D. pulchellum*<sup>26</sup>, en la Laguna La Virgen, durante la época de lluvias y en el canal El Japón<sup>25</sup>. En este estudio se observó en septiembre (época de lluvias) y en abril (época seca).

#### **Oocystaceae**

*Echinocoleum polymammilatum* (Hortobágyi) Hindák & Horecká

Figuras 14-15, 28

Organismo unicelular o cenobial, con capas amplias de mucílago que presentan distintivos bordes ondulados, muy evidentes durante la formación de 4 a 8 autosporas; las células no presentan engrosamientos polares y poseen uno a dos cloroplastos parietales en los que se distingue un pirenoide. Las células miden 7.5-9.0 µm de largo y 6.0-9.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-151. Este es el primer registro en México; fue observada durante septiembre y noviembre (época de lluvias) y durante marzo y mayo (época seca).

*Lagerheimia ciliata* (Lagerheim) Chodat

Figuras 16, 29

Células ovaladas, elípticas, cilíndricas o romboides, con los extremos redondeados que disminuyen de forma gradual. En cada polo se forma un anillo de (3-)7-8 espinas incoloras o parduscas. Las espinas son rectas o curvadas y a veces doblan hacia el plano ecuatorial. Las células con frecuencia se disponen irregularmente dentro de un mucílago incoloro y presentan un cloroplasto parietal que ocupa 3/4 partes del protoplasma, con un pirenoide. Las células miden 9.4-17.5 µm de largo y 9.0-14.7 µm de ancho. Espinas de 10.6-23.0 µm de largo. Herbario: DFXo-60, DFXo-151. Este es el primer registro en Xochimilco; se observó durante septiembre (época de lluvias) y mayo (época seca).

*Tetrachlorella alternans* (G.M. Smith) Korshikov

Cenobio de 17.5-25 µm de tamaño. Células de 10-12.5 µm de largo y de 5-7.5 µm de ancho. Herbario: DFXo-60, DFXo-96, DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Comas *et al.*<sup>32</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; se observó durante septiembre y noviembre (época de lluvias) y en marzo y mayo (época seca).

*Oocystidium ovale* Korshikov

Colonias de 22.0-27.0 µm de diámetro. Células de 9.0-10.0 µm de largo y 5.0-7.5 µm de ancho. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Tavera *et al.*<sup>36</sup>, quienes la registraron en el PEX. Durante este estudio fue observada durante marzo y mayo (época seca).



**Cryptophyta, Cryptomonadales, Cryptomonadaceae***Cryptomonas ovata* Ehrenberg

Célula de 14.0-25.0 µm de largo y 15.0-2.0 µm de ancho. Herbario: DFXo-60. Descripción completa en Oliva-Martínez<sup>42</sup>. Este es el primer registro en Xochimilco; se observó en septiembre (época de lluvias).

**Cyanoprokaryota, Chroococcales, Merismopediaceae***Merismopedia tenuissima* Lemmerman

Colonia, 22.0-30.0 x 18.0-23.0 µm. Células de 1.0-1.5 µm de diámetro. Herbario: DFXo-60, DFXo-96. Descripción completa en Navarro-Jiménez<sup>43</sup>. Se registró en épocas seca y de lluvias en varias zonas de Xochimilco<sup>39</sup>. En este estudio se observó durante septiembre y noviembre (época de lluvias).

**Dinophyta, Dinotrichales, Dinotrichaceae***Durinskia baltica* (Levander) Carty & Cox

Células de 24-34 µm de largo y 18-22 µm de ancho. Herbario: DFXo-122, DFXo-151. Descripción completa en Lira-Hernández<sup>25</sup>, quien la registró en Xochimilco formando florecimientos en el canal El Japón. En este estudio fue observada durante marzo y mayo (época seca), sin formar un florecimiento.

**DISCUSIÓN**

Los valores de nutrimentos obtenidos muestran que el sistema es variable (coeficiente de variación mayor del 30%) aún dentro de una condición eutrofizada (Tabla I), lo que podría estar relacionado con el manejo principalmente turístico del canal El Bordo. Aún así, el fitoplancton de esta localidad es notable por su diversidad. Se distingue de lo que se observa comúnmente en ambientes eutrofizados, pues no se presenta la dominancia esperada de sólo una o dos especies<sup>6,44</sup>; asimismo, la riqueza de especies es considerable a juzgar por la que presentan otros ambientes eutrofizados de la región central de México<sup>32</sup>.

Otro aspecto notable sobre el componente florístico del canal El Bordo se relaciona con las especies de los géneros que se reúnen en el Grupo Funcional “J” de acuerdo con Reynolds *et al.*<sup>5</sup>, considerado típico de regiones tropicales: *Scenedesmus* s.l. (*Scenedesmus* s.s., *Acutodesmus*, *Desmodesmus* y *Verrucodesmus*), *Coelastrum*, *Pediastrum* s.l. (*Pediastrum* s.s., *Pseudopediastrum*, *Stauridium*, *Lacunastrum*). Este grupo funcional es típico de columnas de aguas someras, eutróficas a hipereutróficas, que se mantienen en equilibrio dinámico como producto de una mezcla continua y cambios mínimos en los factores físicos (Tabla I). En la localidad estudiada, se destacan aquellas especies de estos géneros que mantuvieron una presencia continua (Tabla II) durante al menos dos recolecciones y que a nuestro juicio cumplen con la pauta de temporalidad sugerida en la literatura<sup>6,7</sup>. Algunas especies presentes en el canal El Bordo, que son raras, no se consideraron pertenecientes al grupo “J” porque no cumplen ese modelo; ellas son *Pediastrum duplex* (frecuente, pero no continua),

*Stauridium tetras*, *Acutodesmus dimorphus*, *Desmodesmus magnus* y *Verrucodesmus verrucosus* (Figura 1).

La identificación de este grupo funcional en el canal El Bordo es relevante porque permite asociar las condiciones ecológicas de sitios tan alterados como Xochimilco<sup>26</sup>, con otros cuerpos de agua urbanos en regiones con un grado diferente de eutrofización. Se ha encontrado que pueden ocurrir modificaciones en los grupos funcionales cuando hay transiciones en el estado general de los ecosistemas acuáticos<sup>5,45</sup>. Si podemos identificar cuáles transiciones se asocian con situaciones ambientales particulares, podemos precisar cuándo ocurren cambios que afectan el componente biótico. En sitios como Xochimilco, es un magnífico argumento para justificar el monitoreo de la comunidad fitoplanctónica. En el terreno de la restauración ecológica y medidas de manejo, este monitoreo se puede utilizar como una herramienta para remediar los ecosistemas acuáticos, porque significa tener elementos de control y seguimiento de las medidas aplicadas<sup>46</sup>. Por ejemplo, el grupo funcional “J” puede transitar hacia el grupo “XI” integrado por especies sin mucílago de los géneros *Golenkinia* y *Treubaria*, o bien por picoplancton dominante de cianoprocariontes synecococoides, cuando la luz se convierte en el factor crítico<sup>5</sup>.

Sabemos que la estabilidad del fitoplancton debe tener variaciones y para saber de cuáles factores puede depender la estabilidad, es necesario considerar el tiempo. En el caso del canal El Bordo, un componente picoplanctónico importante ya ha sido registrado en estudios previos<sup>26</sup>, con *Cyanobium* sp. como dominante; sin embargo, durante el estudio actual no detectamos esa transición, por lo que los grupos funcionales y sus periodos de estabilidad en El Bordo deben ser variables, así que es necesaria una escala temporal en ecología del fitoplancton. Varios estudios<sup>6,7</sup> mostraron que la constancia de presencia del conjunto de especies dominantes del fitoplancton se identifica como un estado estable en la columna de agua, es decir que la constancia establece si un grupo funcional está indicando las condiciones ambientales confiablemente. Este tiempo de estabilidad fue determinado por los autores citados en tres semanas continuas de permanencia de las especies y nuestros resultados sugieren que esto ocurre en el canal El Bordo (Tabla II, Figura 1). Aunque la distribución de dominancia a rareza de las especies (Figura 1), coincidió con lo que se observa en otras comunidades de agua dulce<sup>47</sup>, será necesario investigar si la variación en las concentraciones de nutrimentos, que es mayor al 30% en el canal El Bordo (Tabla I), implica un cambio suficiente en la eutrofia, que no enmascare un estado de equilibrio en el sentido que anotan algunos autores<sup>48</sup>, porque un estado de equilibrio puede indicar pautas de resiliencia<sup>9</sup>, sobre todo si se trata de un ecosistema diverso como El Bordo. Aparentemente, el fitoplancton de este canal no refleja las consecuencias de la eutrofización porque no coincide con los patrones esperados en ecosistemas templados, es decir, no es poco diverso ni inestable; aquí tenemos una composición fitoplanctónica cuya diversidad

sugiere la pertinencia de revisar conceptos ecológicos para ecosistemas acuáticos; aun cuando identificamos un Grupo Funcional “J” podría comportarse de forma particular para Xochimilco. Cabe resaltar la presencia importante de especies que no habían sido observadas antes en Xochimilco (27.7% del componente específico), pero principalmente aquellas que no habían sido registradas previamente en México (6% del componente específico). Este rasgo también reafirma la importancia de estudiar la biota, sobre todo en sitios como Xochimilco, que pueden tener múltiples causas para la variabilidad en la calidad del agua y que pueden ser detectadas a través del fitoplancton. El seguimiento de la comunidad productora primaria, aun cuando se analice separadamente, indicaría cómo afrontar los problemas ambientales que se relacionan con el agua.

### AGRADECIMIENTOS

A la M. en C. Guadalupe Vidal por su apoyo técnico en la preparación de las muestras y a los compañeros de Algas Continentales, Biól. Donají Villegas y Biól. Jorge Adrián por su apoyo en el trabajo de campo. Los autores agradecemos a los revisores anónimos por las sugerencias que mejoraron este trabajo.

### REFERENCIAS

1. Jiménez-Osornio, J.J. & Gómez-Pompa, A. Human role in shaping of the flora in a wetland community, the chinampa. *Landscape Urban Plan.* **20**, 47-51. (1991).
2. Terrones, M. E. Xochimilco sin arquetipo. Historia de una integración urbana acelerada en el siglo XX. *Scripta Nova. Rev. elect. geog. cien. soc.* **X**, 37-58. (2006). Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-37.htm> (consultado en febrero 2015).
3. Sender, J. & Maslanko, W. Diversity of aquatic ecosystems in urban areas – public expectations. *Transylv. Rev. Syst. Ecol. Res.* **16**, 125-134 (2014).
4. Lavergne, S., Mouquet, N., Thuiller, W. & Ronce, O. Biodiversity and Climate Change: Integrating Evolutionary and Ecological Responses of Species and Communities. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **41**, 321-350 (2010).
5. Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. & Melo, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plank. Res.* **24**, 417-428 (2002).
6. Komárková, J. & Tavera, R. Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical Lake Catemaco (Mexico). *Hydrobiologia* **502**, 187-196 (2003).
7. Rojo, C. & Álvarez-Cobelas, M. Are there steady-state phytoplankton assemblages in the field? *Hydrobiologia* **502**, 3-12 (2003).
8. Contreras, V., Martínez-Meyer, E., Valiente, E. & Zambrano, L. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biol. Conserv.* **142**, 2881-2885 (2009).
9. Zambrano, L., Contreras, V., Mazari-Hiriart, M. & Zarco-Arista, A.E. Spatial Heterogeneity of Water Quality in a Highly Degraded Tropical Freshwater Ecosystem. *Environ. Man.* **43**, 249-263 (2009).
10. Narchi, E. N. Deterioro ambiental en Xochimilco: Lecciones para el cambio climático global. *Veredas* **27**, 177-197 (2013).
11. García, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p. (1988).
12. Oliva-Martínez, G., Rodríguez, A., Lugo, A. & Sánchez, M.R. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* **18**, 1-13 (2008).
13. González-González, J. & Novelo-Maldonado, E. En: Manual de Herbario: Administración y manejo de colecciones, técnicas y preparación de ejemplares botánicos. (Comps. Lot, A. y Chiang, F.) 47- 54 (Consejo Nacional de la Flora de México AC, México, 1986).
14. Hach. DR/2010 Spectrophotometer Procedures manual. (Hach Co., Loveland CO, 1997).
15. USEPA. Science and Research at the U.S. Environmental Protection Agency. EPA Progress Report 2012, Office of Research and Development. Disponible en <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30000Q10.txt> (consultado en febrero 2015).
16. Komárek, J. & Mareš, J. An update to modern taxonomy (2011) of freshwater planktic heterocytous cyanobacteria. *Hydrobiologia* **698**, 327-351 (2012).
17. Novelo, E. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Bacillariophyta. Fascículo 102. (Instituto de Biología, UNAM, México, 2012a).
18. Starmach, K. Cryptophyceae-Kryptofity. Dinophyceae-Dinofity. Raphidophyceae-Rafidofity. In: Flora slodkowodna Polski. Tom 4. (Starmach, K. & Sieminska, J. Eds.) (Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Varsovia, 1974).
19. Dillard, G. Freshwater Algae of the Southeastern United States. Part.1. Chlorophyceae: Volvocales, Tetrasporales and Chlorococcales. (J. Crammer, Stuttgart, 1989).
20. Komárek, J. & Fott, B. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7. Teil, 1. Hälfte. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1983).
21. Guiry, M.D. & Guiry, G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. 2015 Disponible en: <http://www.algaebase.org> (consultado febrero 2015).
22. Novelo, E. & Tavera, R. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica* **21**, 333-341 (2011).
23. LACET, Laboratorio de Algas Continentales. Ecología y Taxonomía 2015. Disponible en <http://lacet.meridion.mx/bd.html> (consultada febrero 2015).
24. Buendía-Flores, M. Flora de diatomeas bentónicas en el Canal de Japón (Xochimilco) y el Lago de los Reyes Aztecas (Tláhuac). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 145 p. (2014).
25. Lira-Hernández, B. Análisis de los factores que determinan los florecimientos de dinofitas en la zona lacustre de Tláhuac-Xochimilco. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 111 p. (2012).
26. Tavera, R. & Díez, B. Multifaceted approach for the analysis of the phototrophic microbial community in a freshwater recreational area of Xochimilco, México. *Hydrobiologia* **636**, 353-368 (2009).
27. Orozco-Martínez, C. Abundancia, diversidad y taxonomía de la clase Bacillariophyceae en el Parque Ecológico de Xochimilco, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias,

- Universidad Nacional Autónoma de México, México, 95 p. (2011).
28. Flores, C. Variaciones estacionales en la composición florística del Fitoplancton de dos Canales de Xochimilco, D.F. México. Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México, 139 p. (1980).
29. Cortés-López, E. El género *Pteromonas* (Chlorophyta, Volvocales) en cuerpos de agua urbanos de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 84 p. (2011).
30. Novelo, E. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Chlorophyta. Fascículo 92. (Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, México, 86 p. 2012b).
31. Figueroa, M., Santos, D. & Velasco, A. Ficoflora de Xochimilco, parte 1: Diatomeas y Clorofitas. (Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 2008).
32. Comas, A., Novelo, E. & Tavera, R. Coccal green algae (Chlorophyta) in shallow ponds in Veracruz, México. *Algol. Stud.* **124**, 29-69 (2007).
33. Tell, G. & Mataloni, G. Systematics studies on the *Pediastrum kawraiskyi-musteri-patagonicum* complex (Chlorophyta): Two new species and morphological variations in two Patgonian lakes (Argentina). *Nova Hedwigia* **50**, 159-180 (1990).
34. Zamaloa, M.C. & Tell, G. The fossil record of freshwater micro-algae *Pediastrum* Meyen (Chlorophyceae) in southern South America. *J. Paleolimnol.* **34**, 433-444 (2005).
35. Komárek, J. & Jankovská, V. Review of the green algal genus *Pediastrum*: Implication for Pollen-analytical research. (J. Cramer, Stuttgart, 2001).
36. Tavera, R., Novelo, E. & Comas, A. Chlorococcalean algae (s.l.) from the Ecological Park of Xochimilco, Mexico. *Algol. Stud.* **100**, 65-94 (2000).
37. Hindák, F. Studies on the Chlorococcal algae (Chlorophyceae). V. (Veda Vydavatel'stvo Slovenskej Akadémie Vied, Bratislava, 1990).
38. Hegewald, E. 2000. New Combinations in the genus *Desmodesmus* (Chlorophyceae, Scenedesmaceae). *Algol. Stud.* **96**, 1-18.
39. Reynoso, A. Estudio del fitoplancton del lago de Xochimilco D.F. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 120 p. (1986).
40. Adrián-Serrano, J. Estudio ecológico-taxonómico de la biodiversidad fitoplanctónica del canal Japón, Xochimilco, México, D.F. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 109 p. (2014).
41. Cruz y Cruz, I. Biomasa y composición del fitoplancton de un embalse tropical de altura: Valle de Bravo, México, de febrero a noviembre de 2002. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 169 p. (2007).
42. Oliva-Martínez, G. Estudio de la variación vertical y temporal de las comunidades fitoplanctónicas durante el florecimiento de cianofíceas en el lago Cráter Alchichica, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 133 p. (2001).
43. Navarro-Jiménez, L. E. Catálogo ficológico ilustrado de la región de Tezonapa, Veracruz y Cosolapa, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 157 p. (2010).
44. López-Archilla, A.I., Moreira, D., López-García, P. & Guerrero, C. Phytoplankton diversity and cyanobacterial dominance in a hypereutrophic shallow lake with biologically produced alkaline pH. *Extremophiles* **8**, 109-115 (2004).
45. Reynolds, C. S. Phytoplankton designer—or how to predict compositional responses to trophic-state change. *Hydrobiologia* **424**, 67-77 (2000).
46. Reynolds, C. S. The Ecology of Phytoplankton (Cambridge University Press, New York, 2006).
47. Ibarra, C., Tavera, R. & Novelo, E. Diversity and structure of periphyton and metaphyton diatom communities in a tropical wetland in Mexico. *Rev. Mex. Biodiv.* **80**, 763-769 (2009).
48. Naselli-Flores, L., Padisák, J., Dokulil, M. T. & Chorus, I. Equilibrium/steady-state concept in phytoplankton ecology. *Hydrobiologia* **502**, 395-403 (2003).