



Conservación

Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México

Epilithic diatoms in the Upper Laja River Basin, Guanajuato, Mexico

Demetrio Mora^{a,*}, Javier Carmona^b y Enrique A. Cantoral-Uriza^c

^a Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 6-8, 14195 Berlin, Alemania

^b Laboratorio de Ecosistemas de Ribera, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México, D.F., México

^c Laboratorio de Ecología Acuática y Algas, Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, campus Juriquilla, 76230 Querétaro, México

Recibido el 13 de febrero de 2015; aceptado el 10 de julio de 2015

Disponible en Internet el 10 de noviembre de 2015

Resumen

Se presenta el registro de las diatomeas epilíticas de los ríos Dolores y Laja, localizados en la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. Las muestras se recolectaron en las temporadas seca-fría (enero) y lluviosa (octubre) del 2011. Se identificaron 173 taxa infragenéricos, de los cuales 7 son nuevos registros para México: *Fallacia monoculata*, *Hantzschia abundans*, *Navigiolum uruguayense*, *Neidium bisulcatum*, *Nitzschia solita*, *Planothidium incuriatum* y *Sellaphora bacilloides*; cabe mencionar que *Navigiolum* es nuevo registro a nivel genérico. Además, 3 especies son nuevos registros para el estado de Guanajuato: *Gomphonema laticollum*, *G. subclavatum* y *Gomphosphenia lingulatiformis*. Se encontraron formas teratológicas en 6 especies con abundancias relativas que variaron de 0.8 a 8.3%, siendo estas formas más abundantes en los sitios con mayores concentraciones de nutrientes.

Derechos Reservados © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.

Palabras clave: Bentos; Bacillariophyta; Nuevos registros; Ambientes temporales; Ríos

Abstract

This study investigates the epilithic diatoms from the Dolores and Laja Rivers, located within the Upper Laja River Basin, Guanajuato, Mexico. The samples were collected during the cold-dry (January) and rainy (October) seasons of 2011. One-hundred seventy three infrageneric taxa were identified, 7 of which are new records for Mexico: *Fallacia monoculata*, *Hantzschia abundans*, *Navigiolum uruguayense*, *Neidium bisulcatum*, *Nitzschia solita*, *Planothidium incuriatum* and *Sellaphora bacilloides*; it is worth mentioning that *Navigiolum* is a new record at the genus level. Furthermore, 3 species are new records for the state of Guanajuato: *Gomphonema laticollum*, *G. subclavatum* and *Gomphosphenia lingulatiformis*. Teratological forms of 6 species were also found in the sampling sites with higher nutrient concentrations, with relative abundances varying from 0.8 to 8.3%.

All Rights Reserved © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. This is an open access item distributed under the Creative Commons CC License BY-NC-ND 4.0.

Keywords: Benthos; Bacillariophyta; New records; Temporary environments; Streams

Introducción

Las diatomeas (Bacillariophyta) son organismos unicelulares, eucariontes, autótrofos, que se caracterizan por tener una

pared celular de sílice. Su taxonomía está basada principalmente en la estructura y arreglo de los poros de esta cubierta silíceo llamada frústulo, formado por 2 valvas. Es el grupo algal más diverso, y se encuentra tanto en ambientes marinos como continentales (Mann, 1999; Round, Crawford y Mann, 1990).

Las diatomeas de ambientes lóticos presentan formas celulares adaptadas al flujo de agua y pueden crecer en un amplio intervalo de valores de pH, temperatura, salinidad, concentración de nutrientes y contaminantes orgánicos e inorgánicos

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: d.mora@bgbm.org (D. Mora).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.09.004>

1870-3453/Derechos Reservados © 2015 Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0.

(Bellinger y Sigeo, 2010; Stevenson, Pan y van Dam, 2010). Debido a su respuesta a perturbaciones ambientales mediante cambios en la estructura y la dinámica de la comunidad, hay creciente interés en su empleo como bioindicadores, ya que se ha demostrado que son una buena herramienta para determinar el estado trófico y la calidad del agua en ríos (Hering et al., 2006; Kelly et al., 2012; Potapova y Charles, 2007).

Además de cambios a nivel comunitario, cuando se les expone a diversos tipos de estrés ambiental durante la etapa reproductiva puede haber cambios bioquímicos que alteran la forma natural o normal de las células y los patrones de estriado, arreglo del conjunto de poros (Falasco, Bona, Badino, Hoffmann y Ector, 2009a; Morin, Coste y Hamilton, 2008a). A las formas que presentan tales alteraciones se las conoce como teratológicas, las cuales están siendo incorporadas como métrica en valoraciones de calidad del agua (Debenest, Silvestre, Coste, Delmas y Pinelli, 2008; Dziengo-Czaja, Koss y Matuszak, 2008; Falasco et al., 2009a). Las teratologías pueden derivarse de condiciones estresantes crónicas relacionadas con factores físicos y químicos, por ejemplo, debido al contacto entre células por encontrarse en altas densidades, valores por encima de los intervalos de tolerancia en radiación solar y pH, deficiencias en sílice, altas concentraciones de nutrientes como nitrógeno y fósforo, presencia de plaguicidas y metales pesados (Debenest et al., 2008; Falasco et al., 2009a; Morin et al., 2008a).

No obstante la evidencia de la utilidad de las diatomeas como indicadores de cambios ambientales y calidad del agua en ríos (Kelly, 1998; Potapova y Charles, 2002; Smol y Stoermer, 2010), en México aún son pocos los estudios sobre diatomeas de ríos, los cuales se han enfocado en zonas relativamente puntuales de las cuencas de México, Pánuco, Balsas y Papaloapan (Cantoral-Uriza, 1997; Cantoral-Uriza, Carmona-Jiménez y Montejano, 1997; Bojorge-García, 2006; Bojorge-García y Cantoral-Uriza, 2007; Bojorge-García, Carmona y Ramírez, 2014; Ramírez-Vázquez y Cantoral-Uriza, 2003; Ramírez-Vázquez et al., 2001; Tavera, Elster y Marvan, 1994; Valadez-Cruz, Carmona-Jiménez y Cantoral-Uriza, 1996; Vázquez, Aké-Castillo y Favila, 2011). La aseveración anterior es bien ejemplificada por los nuevos registros de diatomeas para el país, documentados recientemente por Abarca-Mejía (2010) y Segura-García (2011) para el río Lerma y algunos de sus tributarios.

Unas de las limitantes en el uso aplicado de las diatomeas en México, y en general para el trópico, es que prácticamente todas las monografías de identificación fueron generadas para Europa, lo que implica aceptar el supuesto de que las diatomeas son cosmopolitas. Identificaciones basadas en la ultraestructura, genética y reproducción han demostrado que existen diatomeas de amplia distribución o cosmopolitas, otras que son compartidas entre regiones con condiciones ambientales parecidas, pero también existe evidencia de especies endémicas a determinadas regiones (Abarca, Jahn, Zimmermann y Enke, 2014; Kociolek y Spaulding, 2000; Rimet, 2012; Trobajo et al., 2009; Van de Vijver y Beyens, 1999; Vanormelingen, Verleyen y Vyverman, 2008).

Considerando que son relativamente pocos los trabajos actuales publicados sobre diatomeas que se han llevado a cabo en México, es probable que se incrementen los nuevos registros

de especies para el país, así como las diatomeas nuevas para la ciencia. Por lo tanto, es necesario dar continuidad a los estudios sobre diatomeas de México para que estudios futuros sean basados en monografías propias del país.

Trabajos en curso sobre la flora diatomológica de cuerpos de agua temporales y permanentes en la cuenca alta del río Laja por los autores del presente estudio indican que existen aún potenciales nuevos registros para el país. Bajo esta premisa, el presente estudio da continuidad al registro de la diversidad de diatomeas del Alto Laja.

Materiales y métodos

La cuenca alta del río Laja o cuenca de la Independencia se encuentra al noreste del estado de Guanajuato, México, formando parte del Sistema Hidrológico Lerma-Chapala, el más importante de México económicamente. Dentro de este sistema, la cuenca alta del río Laja es una de las más importantes del sistema, no solo por su extensión, sino también por el volumen de descarga que aporta al río Lerma (Aparicio, 2001; Ortega-Guerrero et al., 2002). La cuenca alta del río Laja cubre un área de 6,840 km², con altitudes que van de los 1,850-1,900 m snm en la salida de la cuenca y el valle, a 2,850 m snm en las tierras altas (Mahlknecht, Gárfias-Solis, Aravena y Tesch, 2006; Ortega-Guerrero et al., 2002). El clima es semiárido, templado, con lluvias en verano, BS1kw(w) (e) g. La precipitación media anual es de 556 mm, distribuida mayormente de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 17.1 °C (García, 1988; Mahlkecht, Steinich y Navarro de León, 2004; Mahlkecht et al., 2006).

Se hicieron 2 muestreos durante las temporadas contrastantes del año 2011: seca-fría (enero) y lluvias (octubre). Los 6 sitios estudiados se encuentran en la parte baja de la cuenca de estudio (1,850-1,941 m snm), los sitios 1 y 2 en el río Dolores y los sitios 3-6 en el río Laja (tabla 1 y fig. 1). Las muestras de diatomeas de cada sitio se obtuvieron mediante el raspado con navaja de la cara superior de 3 a 5 rocas sumergidas con crecimientos de diatomeas —evidentes por el color pardo y por ser mucilaginosos y en un área total de 100 cm²— para formar muestras compuestas (Kelly et al., 1998). En cada sitio de muestreo se midieron *in situ* las siguientes variables físicas y químicas del agua (tabla 2): conductividad específica, pH y temperatura con un potenciómetro Conductronic PC 18 (Puebla, México); el oxígeno disuelto con un oxímetro YSI (Ohio, EE.UU.). También se tomaron muestras de agua para la determinación de fósforo total y nitrógeno total, de acuerdo con las normas mexicanas NMX-AA-029-SCFI-2001 (Semarnat, 2001a) y NMX-AA-026-SCFI-2001 (Semarnat, 2001b), respectivamente.

El procesamiento de las muestras en el laboratorio se hizo por el método del peróxido caliente descrito por Kelly et al. (2001), aunque la centrifugación se hizo a 1,500 rpm para evitar romper las valvas delgadas y alargadas. La preparación de laminillas se hizo de acuerdo con Kelly et al. (2001) y Sterrenburg (2011), y se montaron con resina Naphrax (Brunel Microscopes, Chippenham, Reino Unido). Las observaciones se hicieron con un microscopio fotónico (MF) Olympus BX51 con contraste interferencial (Tokio, Japón), y el registro de las especies

Tabla 1
Localización de los sitios de muestreo en la cuenca alta del río Laja.

| Río | Sitio de muestreo | Coordenadas | | Altitud (m snm) |
|---------|-------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| Dolores | 1. Dolores Hidalgo 1 | 21°09'25.6" N | 100°56'43.3" O | 1,941 |
| | 2. Dolores Hidalgo 2 | 21°09'01.9" N | 100°55'09.5" O | 1,925 |
| Laja | 3. Rancho San Gabriel | 21°07'30.0" N | 100°50'23.0" O | 1,879 |
| | 4. Arroyo San Miguelito | 21°00'07.2" N | 100°47'53.9" O | 1,857 |
| | 5. Balneario La Gruta | 20°58'55.7" N | 100°48'22.3" O | 1,851 |
| | 6. Puente a Guanajuato | 20°56'54.4" N | 100°47'41.2" O | 1,850 |

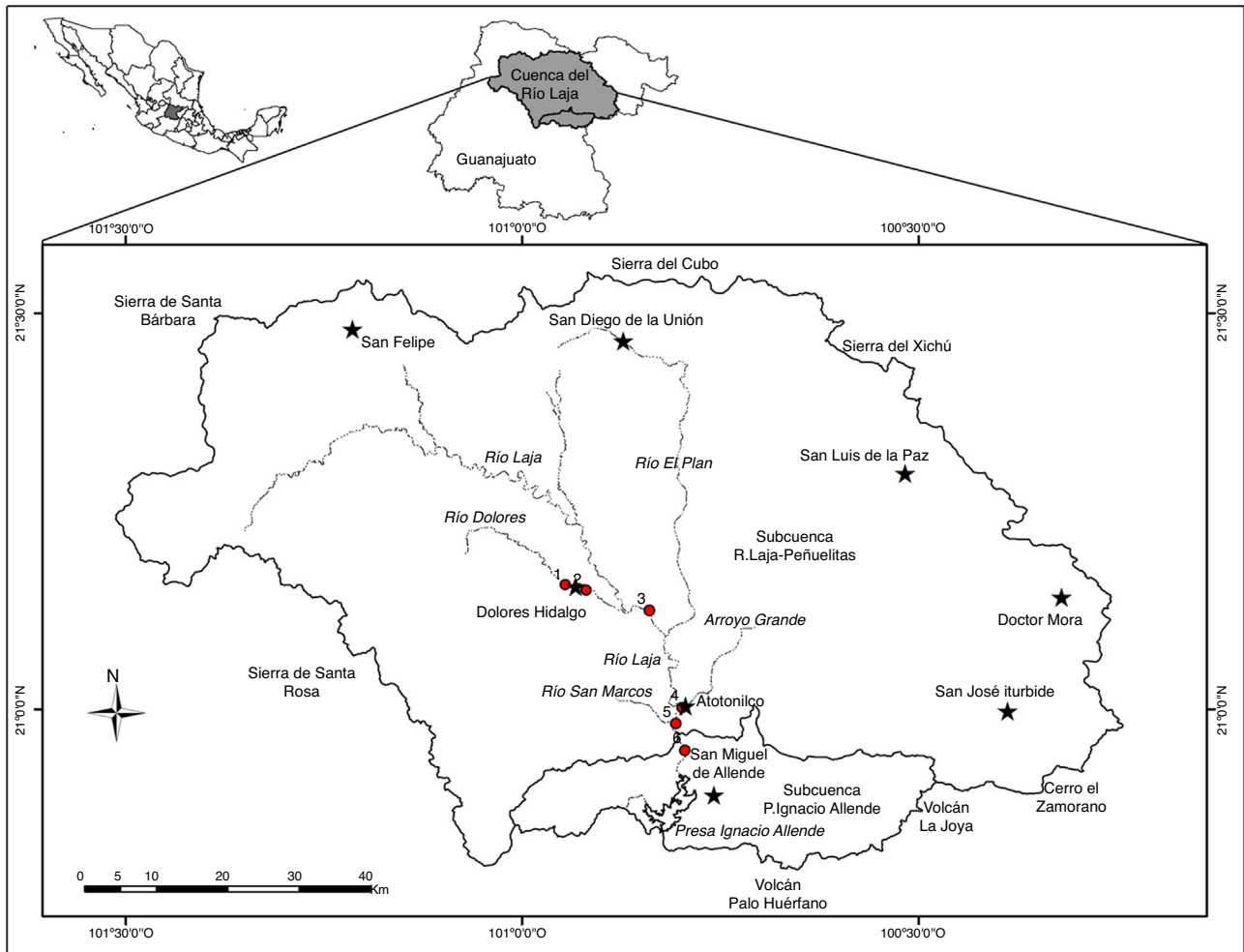


Figura 1. Sitios de muestreo en la cuenca alta del río Laja. Entrada (1) y salida (2) del río Dolores a la ciudad de Dolores Hidalgo, rancho San Gabriel (3), Atotonilco (4), La Gruta (5) y puente a Guanajuato (6).

Tabla 2
Parámetros registrados durante las 2 temporadas de muestreo (seca-fría: enero 2011; lluvias: octubre 2011) en la cuenca alta del río Laja.

| Parámetros | Secas | | | | | | $\bar{x} \pm s$ | Lluvias | | | | | | $\bar{x} \pm s$ |
|--|-------|------|------|------|------|------|-----------------|---------|------|-----|------|------|------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Temperatura (°C) | 13 | 18 | 19 | 15 | 25 | 23 | 19 ± 4.6 | 18 | 18 | 19 | 23 | 24 | 23 | 21 ± 2.8 |
| pH | 8.8 | 10.4 | 10.9 | 9.4 | 10.5 | 10.2 | 10 ± 0.8 | 7.2 | 7.5 | 8.0 | 8.4 | 7.7 | 7.8 | 7.8 ± 0.4 |
| K ₂₅ (μS cm ⁻¹) | 658 | 845 | 895 | 658 | 501 | 527 | 681 ± 161 | 597 | 690 | 935 | 605 | 591 | 621 | 673 ± 133 |
| Saturación de oxígeno (%) | 95 | 19 | 95 | 89 | 101 | 96 | 83 ± 32 | 94 | 98 | 101 | 99 | 104 | 105 | 100 ± 4 |
| Nitrógeno total (mg l ⁻¹) | 3.3 | 36.1 | 12.8 | 0.04 | 2.8 | 2.2 | 9.5 ± 13.7 | 4.6 | 4.6 | 8.2 | 5.5 | 5.5 | 3.7 | 5.3 ± 1.6 |
| Fósforo total (mg l ⁻¹) | 0.3 | 4.4 | 2.9 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 1.5 ± 1.7 | 0.05 | 0.02 | 0.7 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.2 ± 0.3 |

K₂₅: conductividad específica a 25 °C.

El número de los sitios corresponde al nombre citado en la tabla 1.

Tabla 3

Listado de los 173 taxones infragenéricos de diatomeas identificados en la cuenca alta del río Laja, ordenados alfabéticamente por género. Distribución geográfica: cosmopolita (C), pantropical (P) y desconocida (D).

| Nombre del taxón | Distribución |
|--|--------------|
| <i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow | P |
| <i>Achnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki | C |
| <i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki | C |
| <i>Amphipleura</i> aff. <i>pellucida</i> (Kützing) Kützing | C |
| <i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman et Archibald | C |
| <i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing | C |
| <i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow | C |
| <i>Amphora veneta</i> Kützing | C |
| <i>Amphora</i> sp. | D |
| <i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehrenberg) Pfitzer | C |
| <i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen | C |
| <i>Biremis circumtexta</i> (Meister ex Hustedt) | C |
| Lange-Bertalot et Witkowski | |
| <i>Caloneis schumanniana</i> (Grunow) Cleve | C |
| <i>Caloneis</i> sp. 1 | D |
| <i>Caloneis</i> sp. 2 | D |
| <i>Caloneis</i> sp. 3 | D |
| <i>Caloneis</i> sp. 4 | D |
| <i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg | C |
| <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i> | C |
| <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow | C |
| <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) van Heurck | C |
| <i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) D. G. Mann | C |
| <i>Craticula ambigua</i> (Ehrenberg) D. G. Mann | D |
| <i>Craticula citrus</i> (Krasske) Reichardt | C |
| <i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D. G. Mann | C |
| <i>Craticula</i> sp. | D |
| <i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn et Hellermann) | C |
| Theriot, Stoermer et Håkansson | |
| <i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson) W. Smith | C |
| <i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson) W. Smith | C |
| <i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve | P |
| <i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck | P |
| <i>Cymbella</i> sp. | D |
| <i>Denticula kuetzingii</i> Grunow | C |
| <i>Denticula valida</i> (Pedicino) Grunow | C |
| <i>Diadesmis confervacea</i> Kützing | C |
| <i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk et Klee | C |
| <i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D. G. Mann | C |
| <i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D. G. Mann | C |
| <i>Encyonema triangulum</i> (Ehrenberg) Kützing | D |
| <i>Encyonema</i> sp. 1 | D |
| <i>Encyonema</i> sp. 2 | D |
| <i>Encyonema</i> sp. 3 | D |
| <i>Encyonopsis microcephala</i> (Grunow) Krammer | C |
| <i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot | C |
| <i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Moser, Lange-Bertalot et Metzeltin | C |
| <i>Eolimna tantula</i> Hustedt | C |
| <i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson | C |
| <i>Epithemia sorex</i> Kützing | C |
| <i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing | C |
| <i>Eunotia</i> sp. | D |
| * <i>Fallacia monoculata</i> (Hustedt) D. G. Mann | C |
| <i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle et D. G. Mann | C |
| <i>Fistulifera</i> sp. | D |
| <i>Fragilaria capucina</i> Desmazières | C |
| <i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni | C |
| <i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot et Metzeltin | C |
| <i>Gomphoneis</i> sp. | D |
| <i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg | C |

Tabla 3 (continuación)

| Nombre del taxón | Distribución |
|---|--------------|
| <i>Gomphonema affine</i> Kützing | C |
| <i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg | C |
| <i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg | C |
| <i>Gomphonema lagenula</i> Kützing | P |
| + <i>Gomphonema laticollum</i> Reichardt | P |
| <i>Gomphonema mexicanum</i> Grunow | P |
| <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing | C |
| <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>exilissimum</i> Grunow | C |
| <i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> Lange-Bertalot et Reichardt | C |
| <i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt et Lange-Bertalot | C |
| + <i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow | C |
| <i>Gomphonema</i> aff. <i>truncatum</i> Ehrenberg | C |
| <i>Gomphonema</i> sp. 1 | D |
| <i>Gomphonema</i> sp. 2 | D |
| + <i>Gomphosphenia lingulatiformis</i> (Lange-Bertalot et Reichardt) Lange-Bertalot | C |
| <i>Gyrosigma</i> aff. <i>acuminatum</i> | C |
| <i>Gyrosigma</i> aff. <i>scalproides</i> | C |
| * <i>Hantzschia abundans</i> Lange-Bertalot | C |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow | C |
| <i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin et Witkowski | C |
| <i>Lennicola hungarica</i> (Grunow) Round et Basson | C |
| <i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D. G. Mann | C |
| <i>Luticola kotschy</i> (Kützing) D. G. Mann | C |
| <i>Luticola mutica</i> (Kützing) D. G. Mann | C |
| <i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) D. G. Mann | C |
| <i>Luticola</i> sp. | D |
| <i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot | C |
| <i>Melosira varians</i> Agardh | C |
| <i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot | C |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> Germain | C |
| <i>Navicula cryptocephala</i> Kützing | C |
| <i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot | C |
| <i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot | C |
| <i>Navicula gregaria</i> Donkin | C |
| <i>Navicula libonensis</i> Schoeman | C |
| <i>Navicula radiosa</i> Kützing | C |
| <i>Navicula riediana</i> Lange-Bertalot et Rumrich | P |
| <i>Navicula rostellata</i> Kützing | C |
| <i>Navicula symmetrica</i> Patrick | C |
| <i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot | C |
| <i>Navicula veneta</i> Kützing | C |
| <i>Navicula</i> sp. 1 | D |
| <i>Navicula</i> sp. 2 | D |
| <i>Navicula</i> sp. 3 | D |
| <i>Navicula vilaplani</i> (Lange-Bertalot et Sabater) Lange-Bertalot et Sabater | D |
| * <i>Navigiolium uruguayense</i> Metzeltin, Lange-Bertalot et García-Rodríguez | P |
| <i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfitzer | C |
| <i>Neidium ampliatus</i> (Ehrenberg) Krammer | C |
| * <i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerstedt) Cleve | C |
| <i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith | C |
| <i>Nitzschia agnita</i> Hustedt | C |
| <i>Nitzschia amphibia</i> Grunow | C |
| <i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt | C |
| <i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch | C |
| <i>Nitzschia communis</i> Rabenhorst | C |
| <i>Nitzschia desertorum</i> Hustedt | C |
| <i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst | C |
| <i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow | C |

Tabla 3 (continuación)

| Nombre del taxón | Distribución |
|---|--------------|
| <i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow | C |
| <i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch | C |
| <i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow | C |
| <i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch | C |
| <i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith | C |
| <i>Nitzschia microcephala</i> Grunow | C |
| <i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith | C |
| <i>Nitzschia palea</i> var. <i>tenuirostris</i> Grunow | C |
| <i>Nitzschia rautenbachiae</i> Cholnoky | P |
| <i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith | C |
| <i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>delognei</i> (Grunow) Lange-Bertalot | C |
| * <i>Nitzschia solita</i> Hustedt | C |
| <i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot | C |
| <i>Nitzschia</i> aff. <i>hantzschiana</i> Rabenhorst | C |
| <i>Nitzschia</i> aff. <i>paleacea</i> (Grunow) Grunow | C |
| <i>Nitzschia</i> aff. <i>recta</i> Hantzsch | C |
| <i>Nitzschia</i> sp. 1 | D |
| <i>Nitzschia</i> sp. 2 | D |
| <i>Nitzschia</i> sp. 3 | D |
| <i>Nitzschia</i> sp. 4 | D |
| <i>Pinnularia acrosphaeria</i> W. Smith | C |
| <i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg | C |
| <i>Pinnularia brebissonii</i> (Kützing) Rabenhorst | C |
| <i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg | C |
| <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg | C |
| <i>Pinnularia</i> sp. 1 | D |
| <i>Pinnularia</i> sp. 2 | D |
| <i>Placoneis placentula</i> (Ehrenberg) Heinzerling | C |
| <i>Placoneis</i> sp. 1 | D |
| <i>Placoneis</i> sp. 2 | D |
| <i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot | C |
| * <i>Planothidium incuriatum</i> C. E. Wetzel, Van de Vijver et Ector | C |
| <i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compère | C |
| <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot | C |
| <i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller | C |
| <i>Rhopalodia</i> aff. <i>brebissonii</i> Krammer | C |
| <i>Rhopalodia</i> aff. <i>gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller | C |
| * <i>Sellaphora bacilloides</i> (Hustedt) Levkov, Krstic et Nakov | C |
| <i>Sellaphora laevis</i> (Kützing) D. G. Mann | C |
| <i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky | C |
| <i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D. G. Mann | C |
| <i>Sellaphora</i> sp. | D |
| <i>Stauroneis</i> sp. | D |
| <i>Stauroneis venter</i> (Ehrenberg) H. Kobayasi | C |
| <i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Skabitschevsky | C |
| <i>Surirella angusta</i> Kützing | C |
| <i>Surirella minuta</i> var. <i>peduliformis</i> Frenguelli | P |
| <i>Surirella ovalis</i> Brébisson | C |
| <i>Surirella tenera</i> W. Gregory | C |
| <i>Surirella</i> sp. | D |
| <i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) Fryxell et Hasle | C |
| <i>Tryblionella apiculata</i> Gregory | C |
| <i>Tryblionella calida</i> (Grunow) D. G. Mann | C |
| <i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli | C |
| <i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal | C |
| <i>Ulnaria goulardii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot | P |
| <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère | C |

* Nuevo registro para México.

+ Nuevo registro para Guanajuato.

con una cámara digital Olympus-DP12. Para la observación en microscopio electrónico de barrido (MEB), los cubreobjetos con las muestras fueron recubiertos con oro durante 40 segundos y observados con un microscopio Carl Zeiss EVO-50 (Jena, Alemania).

La identificación taxonómica se basó en la consulta de bibliografía especializada de: Europa (Krammer, 1997, 2000, 2002; Krammer y Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a,b; Lange-Bertalot, 2001; Lange-Bertalot y Metzeltin, 1996; Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi y Alfinito, 2003; Werum y Lange-Bertalot, 2004); Sudamérica (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998; Metzeltin, Lange-Bertalot y García-Rodríguez, 2005; Piccinini, 2006); Estados Unidos de América (Patrick y Reimer, 1966, 1975; Spaulding, Lubinski y Potapova, 2010); Canadá (Lavoie, Hamilton, Campeau, Grenier y Dillon, 2008) y México (Abarca-Mejía, 2010; Cantoral-Uriza, 1997; Novelo, Tavera e Ibarra, 2007; Segura-García, 2011; Segura-García, Israde-Alcántara y Maidana, 2010). Asimismo, en artículos específicos para determinados taxones que se citan en las descripciones correspondientes. En caso de no poder asignar con relativa confianza un grupo de ejemplares a un taxón infragenérico descrito, se dejó a nivel de género. Cuando las observaciones apuntaban a un taxón en particular, pero no se observó algún carácter determinante para separarlo de otros muy parecidos, se utilizó la abreviatura aff., del latín *affinis*, para indicar afinidad.

Además del listado taxonómico, se presenta la descripción morfológica de las especies más abundantes (abundancia relativa igual o mayor al 5%) y de los nuevos registros. Para el cálculo de las abundancias relativas se contabilizaron un mínimo de 500 valvas en transectos por preparación permanente (Pan, Hill, Husby, Hall y Kaufmann 2006), aunque los conteos se hicieron por triplicado para evitar el posible sesgo en los valores resultantes al solo contabilizar una laminilla, lo que resultó en un total de 19,450 valvas contabilizadas. Para el cálculo de las abundancias relativas, el número de valvas de un determinado taxón se dividió entre el número total de valvas para el sitio, y el resultado se expresa en porcentaje. Además de las diatomeas identificadas durante los conteos, las laminillas permanentes fueron revisadas en su totalidad para encontrar especies raras o con muy baja abundancia.

Resultados

Como resultado de los conteos se encontraron 140 taxones infragenéricos (especies, variedades y formas) en 47 géneros. Se registraron 33 taxones adicionales como resultado de la revisión de las laminillas después de los conteos, lo que eleva la riqueza a 173 taxones infragenéricos en 54 géneros. Los géneros mejor representados fueron *Nitzschia* (29), *Navicula* (17) y *Gomphonema* (15). En contraste, 27 géneros estuvieron representados por una sola especie (tabla 3). Siete especies son nuevos registros para México: *Fallacia monoculata*, *Hantzschia abundans*, *Navigiolum uruguayense*, *Neidium bisulcatum*, *Nitzschia solita*, *Planothidium biporum* y *Sellaphora bacilloides*. Cabe mencionar que *Navigiolum* es nuevo registro a nivel genérico para el país. Y para el estado de Guanajuato se documentan

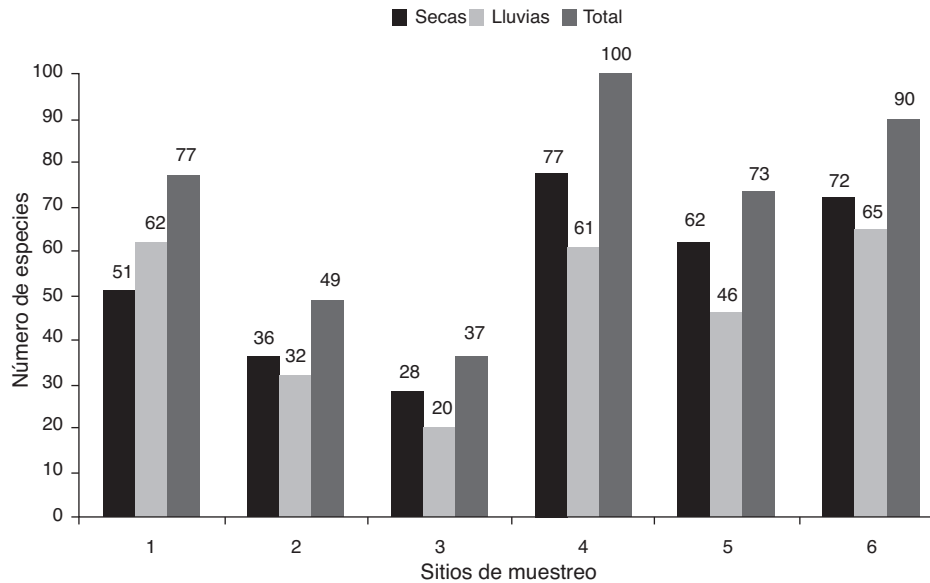


Figura 2. Riqueza de especies en los 6 sitios de muestreo por temporada y total por sitio en la cuenca alta del río Laja.

3 nuevos registros: *Gomphonema laticollum*, *G. subclavatum* y *Gomphosphenia lingulatiformis*.

Durante la temporada seca se encontraron 115 taxones. Los sitios 4 y 6 presentaron la mayor riqueza, con 77 y 72 taxones, respectivamente. Por otro lado, los sitios 2 y 3 tuvieron la menor riqueza, con 36 y 28 taxones, respectivamente (fig. 2). Diez especies se encontraron en los 6 sitios de muestreo: *Ampthora veneta*, *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula veneta*, *Nitzschia amphibia*, *N. inconspicua*, *Planotidium frequentissimum*, *Sellaphora pupula*, *Stephanocyclus meneghiniana* y *Ulnaria ulna*. En lluvias también se encontraron 115 taxones. Los sitios 1, 4 y 6 estuvieron mejor representados, con 62, 61 y 65 taxones, respectivamente. En contraste, el sitio 3 presentó la menor riqueza, con 20 (fig. 2). Nueve especies se encontraron en los 6 sitios de muestreo: *Eolimna subminuscula*, *Mayamaea atomus* var. *permitis*, *Navicula veneta*, *Nitzschia amphibia*, *N. desertorum*, *N. palea*, *Nitzschia* sp. 1, *Sellaphora pupula* y *Stephanocyclus meneghiniana*.

En cuanto a la riqueza total por sitio de ambas temporadas, los sitios 4 y 6 presentaron la mayor riqueza, con 100 y 90 taxones, respectivamente. Por otro lado, la menor riqueza se encontró en los sitios 2 y 3, con 49 y 37 taxones, respectivamente (fig. 2). Cinco especies se encontraron en todos los sitios de muestreo para ambas temporadas: *Eolimna subminuscula*, *Navicula veneta*, *Nitzschia amphibia*, *Sellaphora pupula* y *Stephanocyclus meneghiniana*. Se encontró que los sitios 2 y 3, con las concentraciones más altas de nutrientes para ambas temporadas, presentaron la menor riqueza específica (fig. 2), además de estar dominados por un par de especies. Por ejemplo, el sitio 2 por *Nitzschia amphibia* con 62.6% de la abundancia relativa durante la temporada seca y 64.5% en lluvias. El sitio 3 estuvo dominado por *Nitzschia capitellata* (64.9%) en secas y por *Sellaphora pupula* (45.6%) en lluvias (tabla 4). Por el contrario, los sitios con menor concentración de nutrientes presentaron la mayor riqueza específica, esto es, los sitios 4 y 6 durante secas

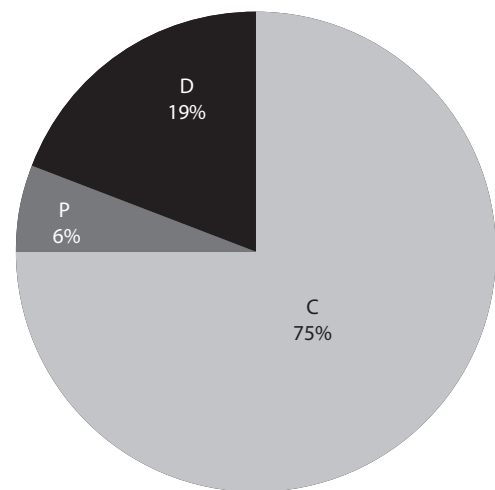


Figura 3. Distribución de los taxones de acuerdo con su afinidad geográfica. C: cosmopolita, P: pantropical; D: desconocida.

(fig. 2). Además, la abundancia relativa no se concentró en un solo taxón, por ejemplo *Nitzschia* sp. 1 con 15.5% para el sitio 4 y *Ampthora copulata* con 18.7% para el sitio 6 (tabla 4).

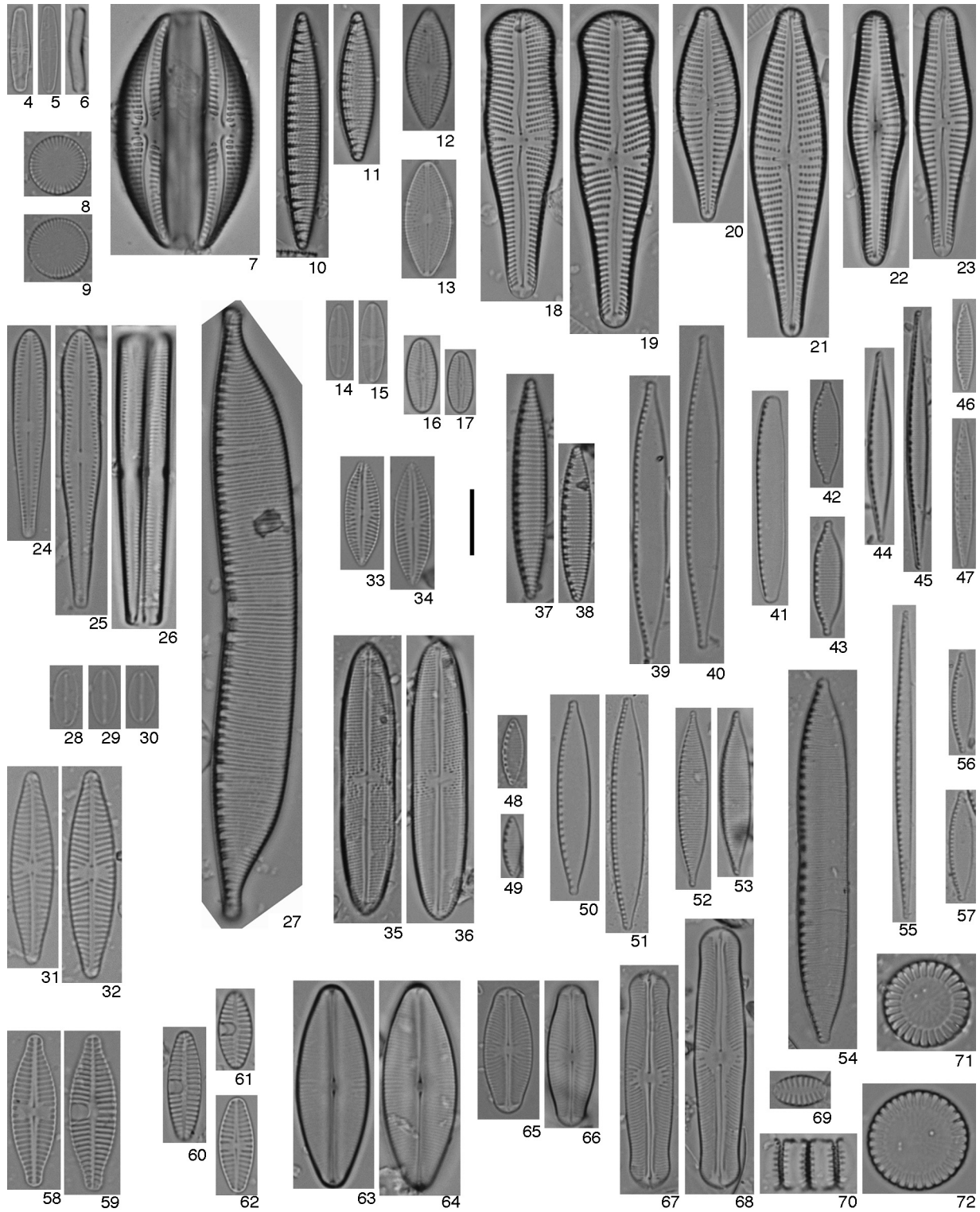
De acuerdo con su distribución geográfica, tres cuartas partes de la flora diatomológica registrada está conformada por taxones cosmopolitas, aunque también se encontró que el 6% de las especies están restringidas a los trópicos (pantropical). De los taxones restantes se desconoce la amplitud de su distribución, ya que no fueron identificados a nivel de especie (tabla 3 y fig. 3)

Descripciones

* Nuevo registro para México.

+ Nuevo registro para Guanajuato.

Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki (figs. 4-6,7). Frústulos monorrafídeos, con una valva cóncava (con rafe)



Figuras 4-72. 4-6, *Achnanthis minutissimum*: 4, valva con rafe; 5, valva sin rafe; 6, frústulo en vista cingular; 7, *Amphora copulata*; 8-9, *Cyclostephanos invisitatus*; 10-11, *Denticula kuetzingii*; 12-13, *Diadesmis confervacea*; 14-15, *Eolimna tantula*; 16-17, *Fallacia monoculata*; 18-19, *Gomphonema laticollum*; 20-21, *G. mexicanum*; 22-23, *G. subclavatum*; 24-26, *Gomphosphenia lingulatiformis*: 26, frústulos en vista cingular; 27, *Hantzschia abundans*; 28-30, *Mayamaea atomus* var. *permitis*; 31-32, *Navicula veneta*; 33-34, *Navigiolum uruguayense*; 35-36, *Neidium bisulcatum*; 37-38, *Nitzschia amphibia*; 39-40, *N. capitellata*; 41, *N. communis*; 42-43, *N. desertorum*; 44-45, *N. fonticola*; 46-47, *N. frustulum*; 48-49, *N. inconspicua*; 50-51, *N. palea*; 52-53, *N. solita*; 54, *N. umbonata*; 55, *Nitzschia* aff. *paleacea*; 56-57, *Nitzschia* sp. 1; 58-59, *Planothidium incuriatum*: 58, valva con rafe; 59 valva sin rafe; 60-62, *P. frequentissimum*: 60-61, valvas sin rafe; 62, valva con rafe; 63-64, *Sellaphora bacilloides*; 65-66, *S. pupula*; 67-68, *Sellaphora* sp.; 69-70, *Staurosira venter*: 70, frústulos en vista cingular; 71-72, *Stephanocyclus meneghiniana*. Barra de escala 10 μ m.

Tabla 4
Listado de los taxones más abundantes por temporada y sitios de muestreo.

| Especie | Secas | | | | | | Lluvias | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. <i>Achnanthydium minutissimum</i> | 16.5 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. <i>Amphora copulata</i> | 0.1 | 0 | 0 | 1.0 | 0.4 | 18.7 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 1.5 |
| 3. <i>Cyclostephanos invisitatus</i> | 0 | 0.1 | 0 | 5.2 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0 |
| 4. <i>Denticula kuetzingii</i> | 3.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 8.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| 5. <i>Diadsmis confervacea</i> | 2.0 | 0.2 | 0 | 0.1 | 0.1 | 0 | 17.7 | 0.1 | 0 | 0.3 | 0 | 0.4 |
| 6. <i>Eolimna tantula</i> | 6.7 | 0.2 | 0 | 0.4 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 1.6 |
| 7. <i>Gomphonema mexicanum</i> | 0 | 3.2 | 0.1 | 7.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 3.3 | 0 | 0 | 3.1 | 0.2 |
| 8. <i>Gomphosphenia lingulatiformis</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 62.4 | 0 |
| 9. <i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0 | 0.3 | 2.5 | 0.4 | 8.9 | 0.6 | 0.6 |
| 10. <i>Navicula veneta</i> | 1.5 | 1.2 | 0.4 | 5.8 | 8.0 | 1.1 | 2.7 | 0.2 | 0.7 | 5.3 | 0.5 | 1.6 |
| 11. <i>Nitzschia amphibia</i> | 2.7 | 62.6 | 1.6 | 2.2 | 10.1 | 11.3 | 2.0 | 64.5 | 0.1 | 4.4 | 6.5 | 27.2 |
| 12. <i>Nitzschia capitellata</i> | 0 | 1.4 | 64.9 | 0 | 0.4 | 1.1 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0 | 0 |
| 13. <i>Nitzschia communis</i> | 0.1 | 0.1 | 0 | 1.7 | 8.7 | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14. <i>Nitzschia desertorum</i> | 1.5 | 0.4 | 0 | 2.1 | 3.4 | 2.6 | 0.8 | 2.6 | 13.1 | 12.6 | 1.6 | 7.4 |
| 15. <i>Nitzschia fonticola</i> | 8.9 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 1.4 | 1.6 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 1.0 |
| 16. <i>Nitzschia frustulum</i> | 1.4 | 0.6 | 0 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 2.9 | 0 | 0 | 7.7 | 0.2 | 1.6 |
| 17. <i>Nitzschia inconspicua</i> | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 1.5 | 14.1 | 1.4 | 0.3 | 0 | 0 | 0.1 | 0.5 | 4.0 |
| 18. <i>Nitzschia palea</i> | 2.2 | 0 | 0 | 9.1 | 5.8 | 9.5 | 17.7 | 8.4 | 6.4 | 12.4 | 2.8 | 7.5 |
| 19. <i>Nitzschia solita</i> | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 6.0 | 0 | 1.2 |
| 20. <i>Nitzschia umbonata</i> | 0 | 0 | 2.1 | 0 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 6.4 | 0 | 0 | 0.2 |
| 21. <i>Nitzschia</i> aff. <i>paleacea</i> | 2.8 | 0.6 | 0 | 10.9 | 2.5 | 2.2 | 1.5 | 0 | 0 | 0.8 | 0 | 1.8 |
| 22. <i>Nitzschia</i> sp. 1 | 3.6 | 3.8 | 0 | 15.5 | 12.6 | 2.1 | 4.1 | 5.0 | 0.2 | 10.5 | 0.3 | 5.9 |
| 23. <i>Planothidium frequentissimum</i> | 1.7 | 8.6 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 1.0 | 0.4 | 0 | 0.3 | 0 | 1.1 |
| 24. <i>Sellaphora pupula</i> | 0.1 | 0.4 | 18.3 | 0.8 | 10.8 | 4.0 | 0.6 | 0.6 | 45.6 | 0.8 | 6.3 | 3.4 |
| 25. <i>Sellaphora</i> sp. | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 1.3 | 15.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0 |
| 26. <i>Staurosira venter</i> | 26.5 | 0 | 0.1 | 0 | 0.8 | 5.4 | 8.2 | 0.1 | 0 | 6.1 | 1.7 | 5.4 |
| 27. <i>Stephanocyclus meneghiniana</i> | 0.7 | 2.3 | 3.0 | 4.0 | 2.6 | 0.5 | 3.8 | 1.0 | 15.8 | 1.3 | 0.8 | 0.8 |
| Otros taxones | 17.2 | 13.4 | 9.1 | 30.8 | 15.5 | 20.0 | 23.7 | 11.2 | 9.8 | 21.8 | 12.4 | 25.6 |

En **negritas** se señalan los taxones con un mínimo de 5% de la abundancia relativa por sitio.

El número de los sitios corresponde al nombre citado en la [tabla 1](#).

y la otra convexa (sin rafe). Las valvas son linear-lanceoladas a lineares, con ápices subrostrados a rostrados. Rafe filiforme, recto. En ambas valvas el área axial es estrecha, ligeramente ensanchada en el centro, formando el área central. Estrías radiales; mayor distanciamiento de los pares de estrías centrales en la valva con rafe. Largo 12.2–22.4 (15.4 ± 2.8) μm ; ancho 3–3.7 (3.3 ± 0.2) μm ; estrías 25–29 (26.7 ± 1.7)/10 μm . $n = 19$. En MEB se observó que las estrías son uniseriadas.

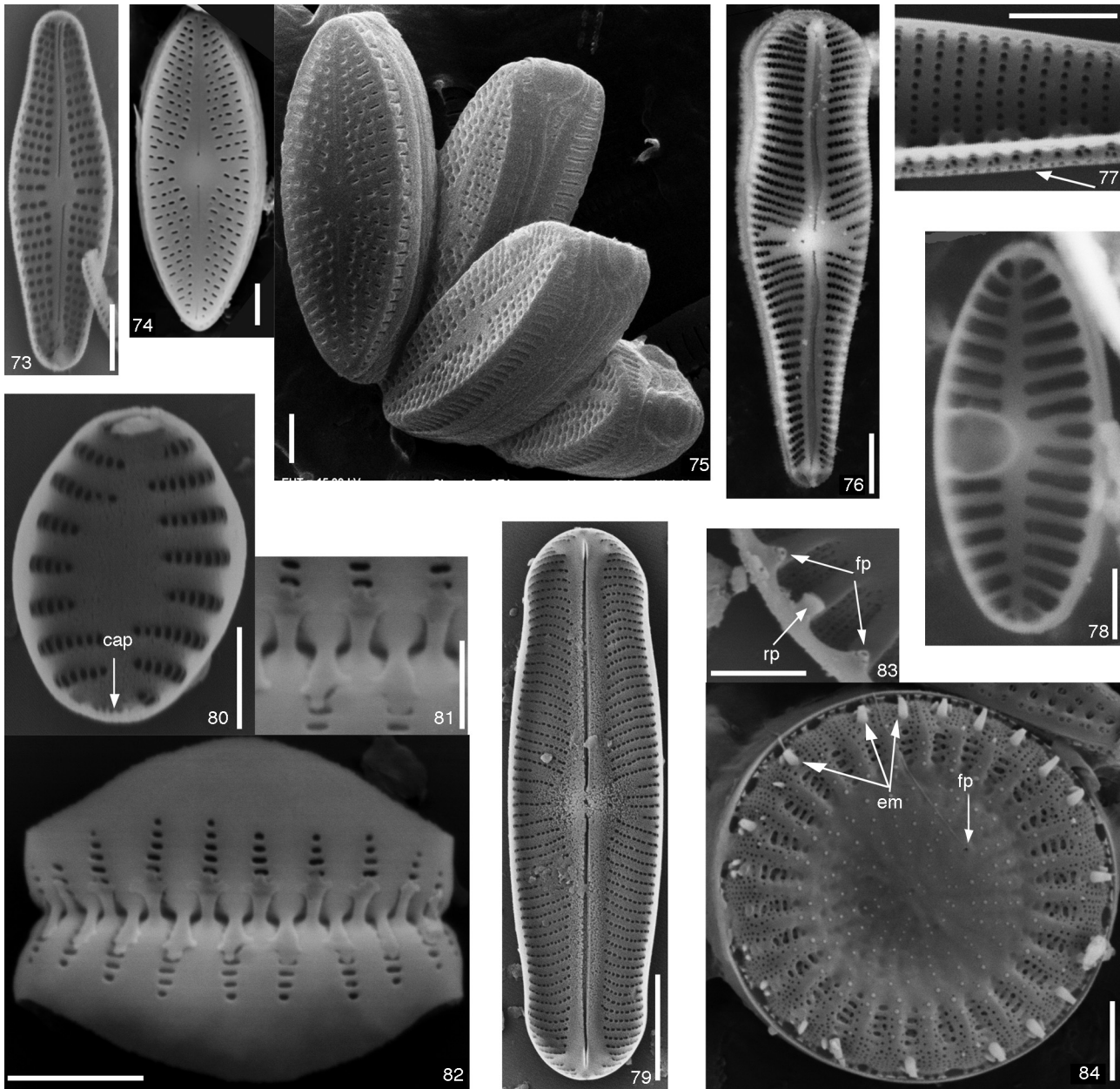
Amphora copulata (Kützing) Schoeman y Archibald ([fig. 7](#)). Valvas semielípticas con el margen dorsal convexo y el ventral ligeramente cóncavo; ápices agudamente redondeados. Rafe curvado, con extremos proximales curvados hacia el dorso. Área axial estrecha; la central es asimétrica, mayormente en la porción ventral. Área hialina en la porción dorsal, rectangular. Las estrías dorsales son radiales a ligeramente convergentes en los ápices, las cuales están divididas en segmentos desiguales; las ventrales son radiales en el centro y convergentes en los ápices. Largo 23.9–59.7 (33.5 ± 7.5) μm ; ancho 5.7–11.3 (7.4 ± 1.1) μm ; estrías ventrales 12–14 (13.1 ± 0.8)/10 μm ; estrías dorsales 12–16 (14.4 ± 0.8)/10 μm . $n = 36$.

Cyclostephanos invisitatus (Hohn y Hellermann) Theriot, Stoermer y Håkansson ([figs. 8–9](#)). Valvas circulares, onduladas concéntricamente. Estrías radiales, extendiéndose del margen al centro aproximadamente 1/2–3/4 del radio, muy marcadas en el margen y poco evidentes hacia el centro. Diámetro 8–9.4 (8.7 ± 0.4) μm ; estrías 14–18 (16.1 ± 1.3)/10 μm . $n = 12$.

Denticula kuetzingii Grunow ([figs. 10–11](#)). Valvas lanceoladas a linear-lanceoladas con ápices agudamente redondeados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas extendiéndose a la mitad de la valva o hasta el margen opuesto. Estrías formadas por poros discernibles en microscopía óptica (MO). Largo 13.8–44.1 (29.2 ± 8.7) μm ; ancho 5–6.7 (5.9 ± 0.4) μm ; fíbulas 5–9 (6.7 ± 0.9)/10 μm ; estrías 14–16 (15.5 ± 0.6)/10 μm ; poros 15–19 (16.8 ± 1)/10 μm . $n = 37$. En MEB se confirmó que las estrías son uniseriadas.

Diadsmis confervacea Kützing ([figs. 12–13, 74–75](#)). Frústulos solitarios o formando cadenas. Valvas lanceoladas con ápices redondeados. Rafe recto, con los extremos proximales expandidos. Área axial lanceolada a rómbica y área central amplia. Presencia de un nódulo central cóncavo evidente en vista valvar y conspicuo en vista cingular. Estrías radiales formadas por poros en algunos casos discernibles. Largo 14.4–22.7 (16.8 ± 2) μm ; ancho 5.5–7.8 (6.5 ± 0.6) μm ; estrías 18–23 (21.2 ± 1.1)/10 μm . $n = 30$. En MEB se encontró que las estrías son uniseriadas, lineoladas (alargadas transapicalmente). Los frústulos de la [figura 75](#) se consideraron como *D.* aff. *confervacea*, ya que no se observaron las espinas marginales de unión que permiten la formación de cadenas; los casos en que no se encuentran espinas son en las valvas de separación ([Aponte, Maidana y Lange-Bertalot, 2005; Torgan y dos Santos, 2008](#)).

Eolimna tantula Hustedt ([figs. 14–15](#)). Valvas linear-elípticas, con ápices redondeados. Rafe filiforme, recto. Área axial linear



Figuras 73-84. 73, *Achnanthisdium minutissimum*; 74-75, *Diadesmis confervacea*; 76, *Gomphonema laticollum*; 77, *Nitzschia fonticola*; 78, *Planothidium frequentissimum*; 79, *Sellaphora* sp.; 80-82, *Staurosira venter*; 83-84, *Stephanocyclus meneghiniana*. cap: campo apical de poros; em: espinas marginales; fp: fultopórtula; rp: rimopórtula. Barras de escala: 72-75, 78, 80, 82, 89 representa 2 μm ; 76, 79 representa 5 μm ; 77, 81, 83 representa 1 μm .

y la central rectangular a asimétrica, por el acortamiento diferencial de las estrías centrales. Estrías radiales. Largo 7.8-13.9 (10.7 ± 1.5) μm ; ancho 3.2-4.2 (3.8 ± 0.3) μm ; estrías 24-30 (28.1 ± 1.9)/10 μm . $n = 20$.

* *Fallacia monoculata* (Hustedt) D. G. Mann (figs. 16-17). Valvas elípticas con ápices ampliamente redondeados. Rafe filiforme, con extremos proximales expandidos y curvados hacia el mismo lado. Área axial estrecha y la central no discernible. Estrías radiales. A ambos lados del área axial hay una línea hialina, paralela hacia los ápices y convexa al centro de la valva, que aparentemente interrumpe el estriado. Largo 7.7-14.6 (10.9 ± 1.8) μm ; ancho 4.1-5.4 (4.6 ± 0.4) μm ; estrías 20-25 (22.2 ± 1.4)/10 μm . $n = 16$.

+ *Gomphonema laticollum* Reichardt (figs. 18-19, 76). Valvas clavadas, con una ligera constricción entre el polo apical y el centro de la valva. Polo apical ampliamente redondeado y el basal subrostrado. Área hialina en el polo basal. Rafe lateral, sinuoso, con extremos proximales levemente expandidos y curvados hacia el lado donde se encuentra el estigma. Área axial linear y la central asimétrica por acortamiento diferencial de los 3 pares de estrías centrales. Un estigma en el área central. Estrías radiales conspicuamente areoladas. Largo 34.4-47.6 (41.6 ± 3.3) μm ; ancho 10-12.4 (11.1 ± 0.6) μm ; estrías 9-12 (10.5 ± 0.7)/10 μm ; areolas 21-25 (23.3 ± 1.4)/10 μm . $n = 35$. En MEB se observó que las estrías son uniseriadas. Diferencias con taxones similares: *G. truncatum* Ehrenberg tiene estrías

biseriadas y es más acentuada la constricción entre el polo apical y el centro de la valva. En *G. capitatum* Ehrenberg es muy acentuada la constricción entre el polo apical y el centro de la valva (Reichardt, 2001; Tremarin, Bertolli, Faria, Costin y Ludwig, 2009). Nuevo registro para Guanajuato. Registrado en México para Jalisco (Abarca-Mejía, 2010).

Gomphonema mexicanum Grunow (figs. 20-21). Valvas clavadas, con el polo apical subrostrado y el basal agudamente redondeado. Área hialina en el polo basal. Rafe filiforme, recto, con extremos proximales ligeramente expandidos. Área axial linear y la central asimétrica —por el acortamiento de la estría central opuesta al estigma—. Un estigma en el área central, con un evidente desfase entre las aperturas externa e interna. Estrías radiales, formadas por areolas discernibles en MO. Largo 28.1-45.8 (36.1 ± 5.3) μm ; ancho 9-10.8 (9.9 ± 0.5) μm ; estrías 9-12 (10.8 ± 0.9)/10 μm ; areolas 20-24 (21.8 ± 1.9)/10 μm . $n = 18$. En MEB, en vista interna de la valva, se observaron estrías uniseriadas, extremos proximales del rafe curvados hacia el lado donde está el estigma y el estigma alargado.

+ *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow (figs. 22-23). Valvas clavadas, con el polo apical ampliamente redondeado y el basal rostrado. Área hialina en el polo basal. Rafe lateral, sinuoso, con extremos proximales ligeramente expandidos. Área axial amplia y la central rectangular a asimétrica —por el acortamiento de la estría central opuesta al estigma—. Un estigma en el área central. Estrías radiales. Largo 28.4-44.2 (35.6 ± 4.2) μm ; ancho 7.1-9.8 (8.1 ± 0.7) μm ; estrías 10-12 (10.8 ± 0.6)/10 μm . $n = 30$. En 4 individuos se contaron areolas 25-28/10 μm . En MEB se observó que las estrías son uniseriadas y que los extremos proximales del rafe están curvados en forma de gancho hacia el lado donde se encuentra el estigma. Nuevo registro para Guanajuato, documentado por Abarca-Mejía (2010) para Jalisco.

Gomphosphenia lingulatiformis (Lange-Bertalot y Reichardt) Lange-Bertalot (figs. 24-26). Valvas clavadas a linear-clavadas, con un ensanchamiento en el área central en los individuos más grandes, con ápices agudamente redondeados. Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales ligeramente expandidos. Nódulo central circular en vista valvar y en vista cingular detectable como una hendidura. Área axial linear-lanceolada y la central indistinguible de la axial. Estrías radiales. Largo 13.2-49 (29.5 ± 9.2) μm ; ancho 4.3-6.8 (5.2 ± 0.5) μm ; estrías 17-20 (18.4 ± 0.7)/10 μm . $n = 40$. Nuevo registro para Guanajuato, documentado por Abarca-Mejía (2010) para el río Lerma entre los estados de Michoacán y Jalisco.

* *Hantzschia abundans* Lange-Bertalot (fig. 27). Valvas lineares semiarqueadas, con el margen fibulado cóncavo y el margen opuesto convexo; ápices agudamente rostrados. Rafe excéntrico, marginal; el par de fíbulas centrales más separadas que el resto. Estrías radiales, excepto cerca de los ápices, donde son paralelas a ligeramente convergentes. Largo 79.5-94.9 (86 ± 3.7) μm ; ancho 9.8-11.7 (10.7 ± 0.5) μm ; fíbulas 5-8 (7.2 ± 0.8)/10 μm ; estrías 14-18 (16.9 ± 1)/10 μm . $n = 22$. Esta especie es más grande, más ancha y tiene una densidad de estrías menor que *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow [largo 23.4-47 (33.7 ± 6.7) μm ; ancho 4.5-7.7 (5.9 ± 1) μm ; fíbulas 6-8 (7.2 ± 0.8)/10 μm ; estrías 19-26 (23.4 ± 2)/10 μm . $n = 16$].

Además, *H. amphioxys* tiene ápices rostrados a subcapitados, proporcionalmente más anchos que los de *H. abundans*.

Mayamaea atomus var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot (figs. 28-30). Valvas elípticas con ápices redondeados. Esternón muy silicificado, recto, con el nódulo central y los polares claramente distinguibles. Estrías no visibles en MO. Largo 7.6-8.6 (8 ± 0.3) μm ; ancho 3.3-3.8 (3.5 ± 0.2) μm . $n = 12$. La variedad nominal es más larga y más ancha, y además las estrías son menos densas, por lo que es posible observarlas en MO (Lange-Bertalot, 2001).

Navicula veneta Kützing (figs. 31-32). Valvas lanceoladas con ápices subrostrados. Rafe filiforme, recto, con extremos proximales ligeramente expandidos y los distales curvados hacia el lado secundario de la valva (donde se encuentra la discontinuidad de Voigt). Área axial linear, estrecha; la central es rectangular a elíptica. Estrías radiales, excepto en los ápices, donde son convergentes. Largo 18.4-30.6 (24.5 ± 3.1) μm ; ancho 4.7-7.2 (5.8 ± 0.6) μm ; estrías 13-16 (14.4 ± 0.7)/10 μm . $n = 21$.

* *Navigiolum uruguayense* Metzeltin, Lange-Bertalot y García-Rodríguez (figs. 33-34). Valvas linear-lanceoladas con los ápices cuneados. Rafe filiforme, escasamente curvado, con los extremos proximales ligeramente expandidos. Área axial amplia, lanceolada; la central no se distingue de la axial. Estrías radiales, excepto las de los ápices, que pueden ser paralelas. Al centro de la valva hay una alternancia de estrías cortas y largas; las largas son ligeramente sinuosas. Largo 16.6-17.8 (17.1 ± 0.6) μm ; ancho 5.4-5.8 (5.6 ± 0.2) μm ; estrías 14-17 (15.7 ± 1.5)/10 μm . $n = 3$.

* *Neidium bisulcatum* (Lagerstedt) Cleve (figs. 35-36). Valvas lineares con ápices redondeados. Al lado de cada margen hay una línea hialina. Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales curvados en dirección opuesta. Área axial linear, estrecha; la central es elíptica. Estrías ligeramente radiales a paralelas, formadas por areolas discernibles en MO. Largo 39.3-43.8 (41.5 ± 3.2) μm ; ancho 7.9-8.7 (8.3 ± 0.6) μm ; estrías 22-23 (22.6 ± 0.6)/10 μm ; areolas 19-20 (19.5 ± 1.3)/10 μm . $n = 2$.

Nitzschia amphibia Grunow (figs. 37-38). Valvas lanceoladas a linear-lanceoladas con ápices agudamente redondeados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas prácticamente equidistantes, excepto en algunos ejemplares, donde el par central se observa ligeramente más separado que el resto. Estrías formadas por poros fácilmente discernibles en MO. Largo 16.5-35.9 (25.7 ± 3.9) μm ; ancho 4-5.2 (4.6 ± 0.3) μm ; fíbulas 7-10 (8 ± 0.7)/10 μm ; estrías 16-18 (16.9 ± 0.5)/10 μm ; poros 20-24 (21.8 ± 1.5)/10 μm . $n = 25$.

Nitzschia capitellata Hustedt (figs. 39-40). Valvas linear-lanceoladas ligeramente constreñidas en el centro con ápices subrostrados a rostrados. Rafe excéntrico, marginal; par de fíbulas centrales más distanciadas que el resto. Estrías muy finas, apenas detectables en MO. Largo 26.4-54.8 (38.5 ± 7.2) μm ; ancho 4.1-5.2 (4.6 ± 0.3) μm ; fíbulas 10-14 (12 ± 1.3)/10 μm . $n = 30$.

Nitzschia communis Rabenhorst (fig. 41). Valvas lineares con márgenes paralelos en el centro de la valva y con ápices ampliamente redondeados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas equidistantes. Estrías muy finas, no detectables en MO. Largo

24.9–35 (30.7 ± 3) μm; ancho 4–4.7 (4.4 ± 0.2) μm; fíbulas 10–12 (10.4 ± 0.8)/10 μm. *n* = 12. En MEB se encontró una valva con 33 estrías en 10 μm.

Nitzschia desertorum Hustedt (figs. 42–43). Valvas lanceoladas con ápices rostrados, agudamente redondeados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas equidistantes, aunque en algunos casos el par central está escasamente más distanciado que el resto. Estrías detectables en MO. Largo 14.4–19.7 (17.4 ± 1.9) μm; ancho 3.9–4.6 (4.2 ± 0.2) μm; fíbulas 11–15 (12.9 ± 1.2)/10 μm; estrías 23–26 (24.6 ± 1)/10 μm. *n* = 15.

Nitzschia fonticola (Grunow) Grunow (figs. 44–45, 77). Valvas linear-lanceoladas con ápices subrostrados a subcapitados. Rafe excéntrico, marginal; par de fíbulas centrales más distantes que el resto, aunque en algunos casos no fue tan evidente esta separación. Estrías finas, pero detectables en MO. Largo 25.2–43.2 (31.4 ± 4.9) μm; ancho 3.1–4.3 (3.6 ± 0.3) μm; fíbulas 8–11 (9.4 ± 0.9)/10 μm; estrías 27–28 (27.5 ± 0.3)/10 μm. *n* = 15. En MEB se observó que las estrías son uniseriadas, formadas por poros redondos. Del lado del canal rafidiano las estrías son biseriadas. Estas observaciones coinciden con lo descrito por Trobajo, Mann, Chepurnov, Clavero y Cox (2006) en la tipificación de esta especie.

Nitzschia frustulum (Kützing) Grunow (figs. 46–47). Valvas linear-lanceoladas con ápices agudamente redondeados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas prácticamente equidistantes, excepto el par central, que presenta una mayor separación. Estrías detectables en MO. Largo 10.7–25.3 (16.2 ± 3.7) μm; ancho 2.5–3.3 (2.8 ± 0.2) μm; fíbulas 10–15 (12 ± 1.3)/10 μm; estrías 22–29 (23.4 ± 1.7)/10 μm. *n* = 24.

Nitzschia inconspicua Grunow (figs. 48–49). Valvas lanceoladas con ápices cuneados. Rafe excéntrico, marginal; par de fíbulas centrales más espaciadas que el par central. Estrías finas, pero detectables en MO. Largo 6.4–16.1 (8.9 ± 2) μm; ancho 2.4–3.8 (3 ± 0.3) μm; fíbulas 9–15 (12.2 ± 1.5)/10 μm; estrías 24–30 (26.2 ± 2)/10 μm. *n* = 28.

Nitzschia palea (Kützing) W. Smith (figs. 50–51). Valvas lanceoladas a linear-lanceoladas con ápices rostrados a subcapitados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas equidistantes, incluyendo el par central. Estrías muy finas, prácticamente invisibles en MO. Largo 22.8–41 (32 ± 4.4) μm; ancho 4–5.3 (4.6 ± 0.4) μm; fíbulas 10–14 (12 ± 1.2)/10 μm. *n* = 23.

* *Nitzschia solita* Hustedt (figs. 52–53). Valvas linear-lanceoladas con ápices subrostrados a rostrados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas alargadas, prácticamente equidistantes unas de otras, incluyendo el par central. Estrías visibles en MO. Largo 19.7–34 (25.5 ± 4) μm; ancho 4.5–5.2 (4.8 ± 0.2) μm; fíbulas 10–15 (12.4 ± 1.3)/10 μm; estrías 24–27 (25.7 ± 0.6)/10 μm. *n* = 23.

Nitzschia umbonata (Ehrenberg) Lange-Bertalot (fig. 54). Valvas lineares con ápices subrostrados a rostrados. El margen donde se encuentran las fíbulas está ligeramente constreñido en el centro y el otro es prácticamente recto. Rafe excéntrico, marginal; par de fíbulas centrales más espaciadas que el resto. Estrías visibles en MO. Largo 37.8–79.1 (57.6 ± 11.7) μm; ancho 6.9–8 (7.6 ± 0.3) μm; fíbulas 6–11 (8.1 ± 1.2)/10 μm; estrías 22–27 (25 ± 1.3)/10 μm. *n* = 30.

Nitzschia aff. *paleacea* (Grunow) Grunow (fig. 55). Valvas lineares, aciculares, con ápices subrostrados. Rafe excéntrico, marginal; fíbulas equidistantes, excepto el par central, que está más distanciado. Estrías indetectables en MO. Largo 33.4–53 (42.7 ± 6.2) μm; ancho 2.1–3.1 (2.6 ± 0.2) μm; fíbulas 11–15 (13.8 ± 1)/10 μm. *n* = 15. Difiere del mínimo de fíbulas en 10 μm documentado por Cox (1996) y Krammer y Lange-Bertalot (1988), ya que estos autores lo registran en 14, con un intervalo de 14 a 19.

Nitzschia sp. 1 (figs. 56–57). Valvas lanceoladas con ápices rostrados a subcapitados. Rafe excéntrico, marginal; todas las fíbulas equidistantes. Estrías no detectables en MO. Largo 11.5–17.6 (14.8 ± 1.7) μm; ancho 2.9–3.8 (3.3 ± 0.3) μm; fíbulas 15–18 (15.8 ± 0.7)/10 μm. *n* = 19.

Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (figs. 60–62, 78). Frústulos monorrafídeos. Valvas elípticas a linear-elípticas con ápices ampliamente redondeados. Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales expandidos. La valva con rafe tiene un área axial muy estrecha y el área central es elíptica a asimétrica. La valva sin rafe tiene un área axial linear, estrecha, y la central es un *cavum*. Estrías radiales. Largo 10.9–16.1 (12.8 ± 1.4) μm; ancho 4.6–5.7 (5.2 ± 0.3) μm; estrías 12–16 (13.7 ± 1)/10 μm. *n* = 30 (valvas sin rafe).

* *Planothidium incuriatum* C.E. Wetzel, van de Vijver y Ector (figs. 58–59). Frústulos monorrafídeos. Valvas lanceoladas con ápices rostrados a subcapitados. Rafe filiforme, recto, con extremos proximales expandidos. La valva con rafe tiene un área axial muy estrecha y la central es rectangular o elíptica. La valva sin rafe tiene un área axial linear, estrecha; la central es una depresión con «techo» en forma de U, expandida hacia un lado de la valva (*cavum*). Estrías radiales. Largo 16.1–22.6 (21.2 ± 1.5) μm; ancho 6–7.5 (6.8 ± 0.3) μm; estrías 12–14 (13.4 ± 0.5)/10 μm. *n* = 20 (valvas sin rafe). Se diferencia de *P. biporum* (Hohn et Hellerman) Lange-Bertalot por el contorno de la valva con ápices más rostrados en vez de capitados (Wetzel, van de Vijver, Hoffmann y Ector, 2013).

* *Sellaphora bacilloides* Hustedt (figs. 63–64). Valvas elípticas con ápices redondeados. Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales expandidos y ligeramente curvados hacia el mismo lado. Área axial estrecha y la central elíptica, formada por el acortamiento de las estrías centrales. Estrías radiales, ligeramente más separadas en el centro. Largo 30–32.4 (31.3 ± 0.9) μm; ancho 11–12 (11.2 ± 0.4) μm; estrías 21–22 (21.6 ± 0.5)/10 μm. *n* = 5.

Sellaphora pupula (Kützing) Mereschkowsky (figs. 65–66). Valvas elípticas a linear-elípticas con ápices subrostrados a subcapitados, ampliamente redondeados. Barras transversales hialinas en ambos ápices (barras polares). Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales expandidos y los distales curvados hacia el mismo lado. Área axial linear, muy estrecha; el área central tiene forma deltoide. Estrías radiales, ligeramente sinuosas hacia los ápices. Largo 12.8–30.6 (22.3 ± 4) μm; ancho 5.9–8 (7.3 ± 0.4) μm; estrías 18–22 (20.3 ± 1.4)/10 μm. *n* = 22. Los ejemplares observados comprenden una amplia variedad de formas, lo cual requiere estudios a detalle, ya que está comprobado que las diferentes variedades y formas que conforman

S. pupula son un complejo de varias especies, las cuales están siendo validadas mediante caracteres morfológicos, citológicos, reproductivos, genéticos y ecológicos (Mann, 2001; Mann et al., 2004; Poulíčková, Špačková, Kelly, Duchoslav y Mann, 2008).

Sellaphora sp. (figs. 67-68, 79). Valvas linear-elípticas con ápices subcapitados, ampliamente redondeados. Área hialina en los ápices, de forma más o menos triangular alrededor del rafe. Rafe filiforme, ligeramente sinuoso, con extremos proximales ligeramente expandidos y curvados en dirección opuesta a donde se curvan los extremos distales. Área axial linear, estrecha; la central es elíptica a rombo-elíptica. Estrías radiales, ligeramente sinuosas cerca de los ápices. Largo 20-40.1 (27 ± 6.1) μm ; ancho 6.9-8.4 (7.5 ± 0.4) μm ; estrías 20-22 (20.8 ± 0.8)/10 μm . $n=28$. En MEB se observó que las estrías son uniseriadas. Se diferencia del complejo *S. pupula* porque los extremos proximales del rafe están ligeramente curvados, no presenta las características barras hialinas transversales en los ápices, el área axial es ligeramente más ancha y porque el área central no tiene forma deltoide.

Staurosira venter (Ehrenberg) H. Kobayasi (figs. 69-70, 80-82). Frústulos solitarios o formando cadenas. Valvas elípticas con ápices ampliamente redondeados. Área axial elíptica a lanceolada. Estrías alternas y radiales. Largo 6-8.4 (7.4 ± 0.7) μm ; ancho 3.2-4.8 (4.3 ± 0.4) μm ; estrías 13-15 (14.1 ± 0.5)/10 μm . $n=15$. De acuerdo con Morales (2001) y Morales, Siver y Trainor (2001), en MO este taxón puede ser confundido con *Staurosira elliptica* (Schumann) Williams et Round, *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams et Round, y con *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) Williams et Round. Las observaciones en MEB confirmaron la identidad de este taxón, ya que tiene poros en los ápices de la valva, las areolas son ovales a ligeramente lineoladas; además, las espinas se encuentran entre las estrías y son espatuladas con digitaciones que se conectan a las areolas de la valva adyacente, lo cual coincide con lo descrito por Morales (2010) como *Staurosira construens* var. *venter* (Ehrenberg) Hamilton.

Stephanocyclus meneghiniana Kützing (figs. 71-72, 83-84). Valvas circulares, onduladas concéntricamente. Estrías marginales, gruesas, radiales, extendiéndose del margen hacia el centro, aproximadamente un cuarto del radio. En el área central hay de 1-3 fultopórtulas. Diámetro 8.1-14.7 (12.7 ± 1.9) μm ; estrías 7-9 (7.8 ± 0.6)/10 μm . $n=30$. En MEB, en vista externa, se observaron espinas marginales interrumpiendo las estrías y gránulos de sílice distribuidos por toda la valva. En vista interna se observaron fultopórtulas entre las estrías en relación 1:1 y una rimopórtula en la interestría.

Formas teratológicas

Se encontraron formas teratológicas en 6 especies. Estas alteraciones se encontraron en los sitios 2 y 3 en ambas temporadas y en el sitio 5 en lluvias. Su abundancia relativa por especie varió de 0.8 a 8.3% (tabla 5):

1. *Eolimna subminuscula*: presenta un contorno valvar deforme (figs. 85-91). Los posibles agentes causales de esta teratología son metales pesados, principalmente cadmio, además de

Tabla 5

Abundancia relativa (%) de las formas teratológicas de 6 especies en la cuenca alta del río Laja. Los sitios que presentaron estas alteraciones morfológicas fueron el 2 (salida Dolores Hidalgo) y 3 (rancho San Gabriel) en ambas temporadas y el 5 (La Gruta) en lluvias.

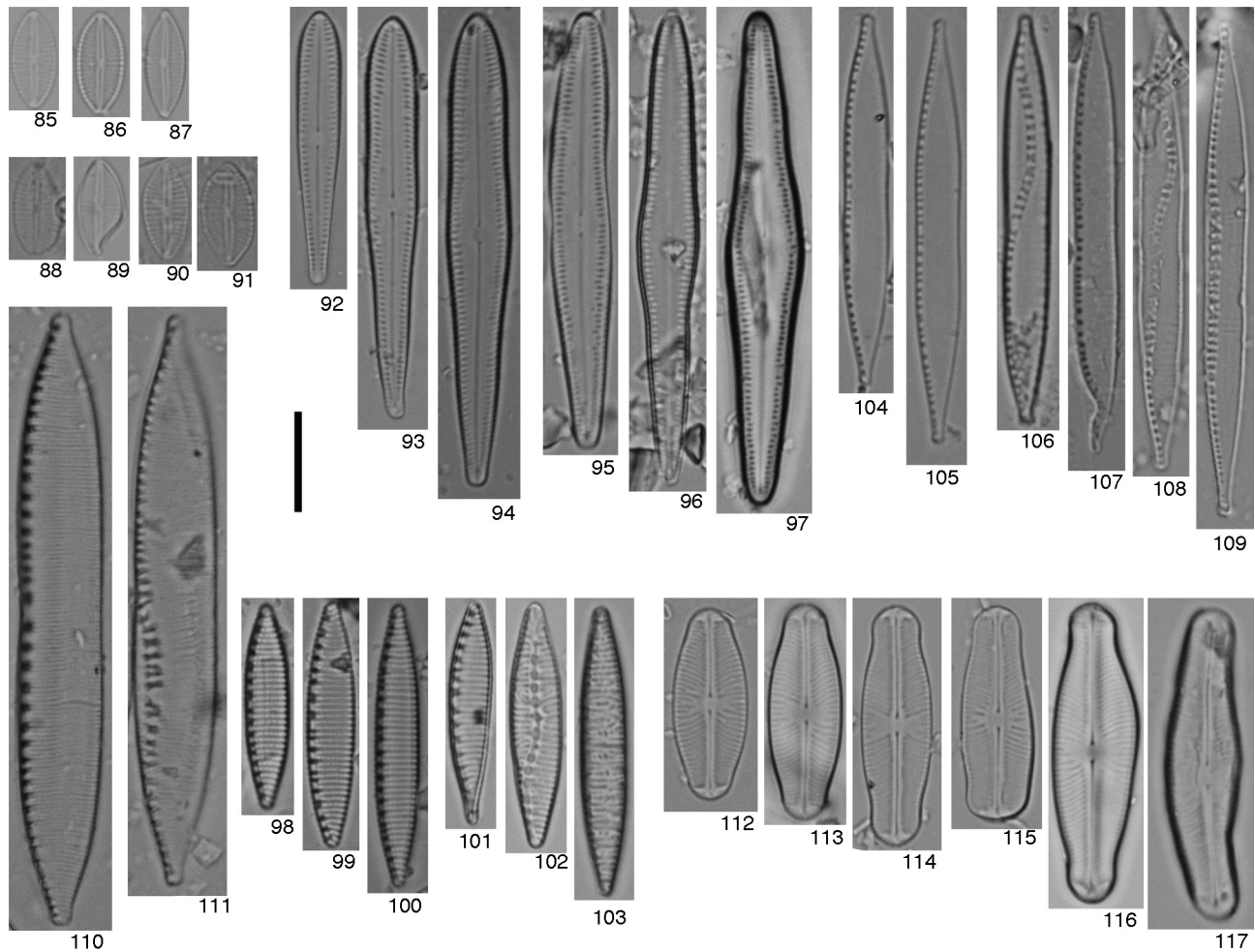
| Especie | Secas | | Lluvias | | |
|--------------------------------------|-------|-----|---------|-----|-----|
| | 2 | 3 | 2 | 3 | 5 |
| <i>Eolimna subminuscula</i> | | | 8.3 | | |
| <i>Gomphosphenia lingulatiformis</i> | | | | | 0.8 |
| <i>Nitzschia amphibia</i> | 0.8 | | | | |
| <i>Nitzschia capitellata</i> | | 4.4 | | | |
| <i>Nitzschia umbonata</i> | | 4.8 | | 3.7 | |
| <i>Sellaphora pupula</i> | | | | 3.7 | |

plomo, cobre y zinc (Falasco et al., 2009b). Formas teratológicas de esta especie fueron registradas para el Alto Lerma por Segura-García (2011), aunque en menor abundancia (cerca al 4%).

- Gomphosphenia lingulatiformis*: presenta deformación del contorno valvar (fig. 92-97). No hay registro previo de los posibles agentes causales de esta teratología.
- Nitzschia amphibia*: presenta contorno valvar deforme, desplazamiento del rafe y cambio en el patrón de estriado (figs. 98-103). Los posibles agentes causales de las deformaciones del contorno valvar son metales pesados en la columna de agua como: cadmio, arsénico, plomo y mercurio; y en sedimentos: cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc (Peres-Weerts, 2000). No hay referencias de las causas de desplazamientos del rafe ni de cambios en el patrón de estriado.
- Nitzschia capitellata*: se observaron valvas con deformidades en el contorno y desplazamientos del rafe (figs. 104-109). No hay registros de los posibles agentes causales de estas teratologías.
- Nitzschia umbonata*: presenta desplazamiento del rafe y cambio en el patrón de estriado (figs. 110-111). Los posibles agentes causales son metales pesados: níquel, cobre y plomo (Gómez, Sierra, Cortelezzi, Rodrigues-Capítulo, 2008).
- Sellaphora pupula*: presenta deformaciones del contorno valvar (figs. 112-117). No hay registros de los posibles agentes causales de esta teratología.

Discusión

La presente investigación aporta 138 nuevos registros para la cuenca alta del río Laja. Siete especies son nuevos registros para México, siendo *Navigiolum* nuevo registro de género para el país, además de 3 nuevos registros para el estado de Guanajuato, lo cual representa una contribución importante al conocimiento de las diatomeas de esta cuenca y de México, base para cualquier estudio aplicado que utilice a las diatomeas, ya sea ecológico, biogeográfico o de monitoreo ambiental. A pesar de que la cuenca Lerma-Chapala es una de las cuencas mejor estudiadas de México en cuanto a diatomeas (Abarca-Mejía, 2010; Cantoral-Uriza y Mora-Hernández, 2012; Segura-García, 2011), estos 7 nuevos registros enfatizan la necesidad de continuar los estudios



Figuras 85-117. 85-91, *Eolimna subminuscula*: 85-87, formas normales; 88-91, formas teratológicas; 92-97, *Gomphosphenia lingulatiformis*: 92-94, formas normales; 95-97, formas teratológicas; 98-103, *Nitzschia amphibia*: 98-100, formas normales; 101-103, formas teratológicas; 104-109, *Nitzschia capitellata*: 104-105, formas normales; 106-109, formas teratológicas; 110-111, *Nitzschia umbonata*: 110, forma normal; 111, forma teratológica; 112-117, *Sellaphora pupula*: 112-114, formas normales; 115-117, formas teratológicas. Barra de escala 10 µm.

de la diversidad de diatomeas en esta cuenca y en otras zonas poco exploradas del país, ya que incluso zonas relativamente bien trabajadas aún aguardan diversidad por conocer.

La identificación de los taxones encontrados en este estudio se hizo mediante caracteres morfológicos, en los que se basa gran parte de la diversidad descrita para este grupo de algas, aunque es necesaria la incorporación de más caracteres para su identificación, ya que la morfología de la valva no siempre es suficiente para la distinción entre especies (Alverson, 2008; Mann, 1999).

En este estudio se encontraron varias dificultades al asignar nombres a los ejemplares observados. En casos como *Achnanidium minutissimum*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea* y *Sellaphora pupula* se trabajaron a nivel de complejo, aunque es creciente la evidencia de las múltiples especies o variedades que los integran, conforme se van redefiniendo los criterios para la delimitación de especies al incorporar más herramientas para su identificación; por ejemplo, caracteres moleculares e información ambiental (Abarca et al., 2014; Jahn, Kusber y Romero, 2009; Kermarrec,

Bouchez, Rimet y Humbert, 2013; Mann, Thomas y Evans, 2008; Potapova y Hamilton, 2007; Romero y Jahn, 2013; Rose y Cox, 2014; Trobajo et al., 2009; Wojtal et al., 2011; Zimmermann et al., 2014). A esto hay que sumar la escasez de monografías de identificación propias del trópico.

Aunque los sitios de muestreo son ambientes lóticos, se encontraron diatomeas centrales, características de ambientes lénticos: *Aulacoseira granulata*, *Cyclostephanos invisitatus*, *Discostella pseudostelligera*, *Stephanocyclus meneghiniana* y *Thalassiosira weissflogii*, alcanzando abundancias relativas tan altas como el 15.8% para el caso de *S. meneghiniana* en el sitio 3 durante la temporada de lluvias. La revisión del material vivo, previo a la preparación de las laminillas permanentes, confirmó la presencia de estas especies, descartando la posibilidad de que fuesen células acarreadas por la corriente de algunas de las represas que se encuentran en el río. Por lo tanto, la explicación más plausible es la presencia de una comunidad metafítica —crecimiento asociado a otras algas—, como lo documentado en México para *Aulacoseira granulata* (Oliva-Martínez, Ramírez-Martínez, Garduño-Solórzano,

Cañetas-Ortega y Ortega, 2005) y *Stephanocyclus meneghiniana* (Valadez-Cruz et al., 1996). Las 5 especies antes mencionadas también han sido registradas en ambientes lóticos por Abarca-Mejía (2010), Cox (1996), Lowe (1974), Ramírez-Vázquez et al. (2001) y Segura-García (2011).

Respecto a los valores de pH registrados, todos alcalinos, la flora diatomológica lo confirma, ya que los taxones son característicos de aguas alcalinas, especies alcalófilas y alcalibiónicas; por ejemplo, *Amphora copulata*, *Diademesis confervacea* y las especies encontradas de *Nitzschia*. También se encontraron especies sin un óptimo aparente (indiferentes), pero ninguna acidófila o acidobióntica (De Wolf, 1982 y Van Dam, Mertens y Sinkeldam, 1994).

Por sus concentraciones de nutrientes —esto es, fósforo y nitrógeno totales—, el estado trófico de los sitios estudiados va de meso a eutrófico (Dodds, Jones y Welch, 1998). Nuevamente la flora diatomológica confirma esto; por ejemplo, *Amphora copulata*, *Eolimna tantula*, *Nitzschia fonticola* y *Staurosira venter* son registradas como indicadoras de aguas mesotróficas. *Diademesis confervacea*, *Nitzschia inconspicua*, *N. frustulum* y *N. aff. paleacea* son registradas como afines a ambientes eutróficos (Cox, 1996; Besse-Lototskaya, Verdonshot, Coste y van de Vijver, 2011; Licursi y Gómez, 2003; Lowe, 1974; Segura-García, Cantoral-Uriza, Israde y Maidana, 2012; Van Dam et al., 1994). Y en el caso de *Navicula veneta*, *Nitzschia capitellata*, *N. palea*, *N. umbonata*, *Sellaphora pupula* y *Stephanocyclus meneghiniana* son ampliamente registradas como afines a ambientes eutróficos e hipertróficos, e incluso muy tolerantes a contaminación por descargas de aguas domésticas e industriales (Abarca-Mejía, 2010; Besse-Lototskaya et al., 2011; Lange-Bertalot, 2001; Licursi y Gómez, 2003; Potapova y Charles, 2007; Segura-García et al., 2012; Van Dam et al., 1994).

De acuerdo con su distribución geográfica, el 75% de la flora es de amplia distribución o cosmopolita, similar a lo encontrado por Abarca-Mejía (2010) y Segura-García (2011) para el río Lerma. Únicamente el 6% de las especies presenta una clara distribución pantropical, algo que parecería contradictorio para un estudio en el trópico, aunque este número seguramente se vería incrementado por 2 motivos: a) con los taxones no identificados a nivel de especie, posiblemente de distribución pantropical, ya que no se encontraron especies parecidas en la bibliografía actual, y b) algunos taxones fueron trabajados a nivel de complejos de especies, por lo que la revisión crítica de estos complejos puede contribuir al incremento de especies restringidas al trópico.

Se encontraron 6 especies que presentaron formas teratológicas, el doble de las encontradas por Segura-García (2011) para el Alto Lerma, quien las encontró en abundancias relativas del 2 al 38% por especie. Majewska, Zgrundo, Lemke y de Stefano (2012) encontraron estas alteraciones en intervalos del 1.4 al 40% en varias diatomeas epilíticas y epipsámicas en el estuario del río Vístula en Polonia. Y en las diferentes redes de monitoreo de calidad del agua que emplean a las diatomeas como bioindicadores en Francia se ha encontrado que las teratologías nunca representan más del 2.3% en sedimentos contaminados por metales pesados (Prygiel, 2002).

En la literatura se registra que los posibles agentes causales de las formas teratológicas de 3 (*Eolimna subminuscula*, *Nitzschia amphibia* y *N. umbonata*) de las 6 especies encontradas en el Alto Laja son metales pesados (Falasco et al., 2009b; Gómez et al., 2008; Peres-Weerts, 2000). Aunque no se hizo un análisis de metales pesados del agua ni del sedimento, existe la posibilidad de que haya plomo, utilizado en el vidriado en la alfarería mexicana en forma de óxido de plomo, también conocido como «greta» (Covarrubias-Pérez y Estrada-Sánchez, 2010; Rojas-Navarrete, 1995). Se considera esta posibilidad ya que la ciudad de Dolores Hidalgo es un reconocido centro alfarero en México (Rojas-Navarrete, 1995) y, como se pudo constatar en este estudio, las aguas residuales de la ciudad eran incorporadas sin un aparente tratamiento, previo al sitio de muestreo 2 durante la temporada seca-fría, sitio a partir del cual se detectaron teratologías en diatomeas.

Se encontró que los sitios-temporadas en los que se hallaron formas teratológicas, posiblemente afectados por metales pesados, tuvieron la menor riqueza específica y estuvieron dominados por taxones conocidos por su tolerancia a la contaminación (*Nitzschia amphibia*, *N. capitellata* y *Sellaphora pupula*) (Besse-Lototskaya et al., 2011; Segura-García et al., 2012). Lo anterior coincide con lo encontrado por Luís, Teixeira, Almeida, Matos y Ferreira da Silva (2011), quienes concluyen que ante la contaminación por metales pesados, las diatomeas responden mediante cambios en la estructura de la comunidad (disminución de la diversidad e incremento en la abundancia de los taxones más tolerantes) y también mediante alteraciones morfológicas (teratologías).

Como lo indican Dziengo-Czaja et al. (2008), Falasco et al. (2009a), McFarland, Hill y Willingham (1997) y Morin et al. (2008b), las formas teratológicas de diatomeas son una buena métrica a incorporar en el monitoreo de la calidad del agua, ya que son un indicador de perturbaciones crónicas en los sistemas acuáticos. Los hallazgos en el Laja demuestran que son necesarios más estudios de campo acoplados a estudios experimentales para tener una idea más certera de los agentes causales de las anomalías observadas y conocer si los efectos observados están determinados por un agente en particular o son el resultado de la interacción de varios.

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Al Conacyt por la beca de maestría otorgada al primer autor (245626). A la UNAM-PAPIIT por el financiamiento para los proyectos IN 211512 e IN 211712. Al Programa de Manejo Integrado de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro, por el apoyo para las salidas de campo. A Nora Maidana su ayuda en la identificación taxonómica. A Rocío Ramírez, Mariana Cartagena y Miriam Bojorge su apoyo en laboratorio. A Lucía Tovar y Mahinda Martínez la asistencia en el microscopio electrónico de barrido. A Verónica Aguilar-Zamora por la elaboración del mapa. A Martín Jagodzinski su ayuda en la edición de las figuras. A los 2 revisores anónimos por sus comentarios, que contribuyeron a mejorar este trabajo.

Referencias

- Abarca-Mejía, N. C. (2010). *Diatom community analysis and quality assessment of the polluted tropical Lerma River (Mexico)*. Tesis doctoral. Berlin: Freie Universität.
- Abarca, N., Jahn, R., Zimmermann, J. y Enke, N. (2014). Does the cosmopolitan diatom *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing have a biogeography? *PLoS ONE*, 9, e86885. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0086885>
- Alverson, A. J. (2008). Molecular systematics and the diatom species. *Protist*, 159, 339–353.
- Aparicio, J. (2001). Hydrology of the Lerma-Chapala watershed. 3-30. En A. M. Hansen y M. van Afferden (Eds.), *The Lerma-Chapala watershed: evaluation and Management* (p. 385). Nueva York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Aponte, G. A., Maidana, N. I. y Lange-Bertalot, H. (2005). On the taxonomic identity of *Diadsmis confervaceoides* Lange-Bert. et U. Rumrich (Bacillariophyceae). *Cryptogamie Algologie*, 26, 337–342.
- Bellinger, E. G. y Sigeo, D. C. (2010). *Freshwater Algae and Their Use as Bioindicators*. Sussex: Wiley-Blackwell.
- Besse-Lototskaya, A., Verdonshot, P. F. M., Coste, M. y van de Vijver, B. (2011). Evaluation of European diatom trophic indices. *Ecological Indicators*, 11, 456–467.
- Bojorge-García, M. G. (2006). *Indicadores biológicos de la calidad del agua en el río Magdalena, México, D.F.* Tesis de maestría. México: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bojorge-García, M. G. y Cantoral-Uriza, E. A. (2007). Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D.F. *Hidrobiológica*, 17, 11–24.
- Bojorge-García, M., Carmona, J. y Ramírez, R. (2014). Species richness and diversity of benthic diatoms communities in tropical mountain streams of Mexico. *Inland Waters*, 4, 279–292.
- Cantoral-Uriza, E. A. (1997). *Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina*. Tesis doctoral. México: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cantoral-Uriza, E. A., Carmona-Jiménez, J. y Montejano, G. (1997). Diatoms of calcareous tropical springs in the central region of Mexico. *Cryptogamie Algologie*, 18, 19–46.
- Cantoral-Uriza E.A., Mora-Hernández L.D. (2012). Diatomeas en bordos de la subcuenca San Miguel Allende, Guanajuato. En: *La biodiversidad en Guanajuato: estudio de Estado*. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio)-Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato.
- Covarrubias-Pérez, M. y Estrada-Sánchez, D. (2010). *Uso de plomo en la alfarería en México*. Nueva York: Blacksmith Institute y Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías (Fonart).
- Cox, E. J. (1996). *Identification of freshwater diatoms from live material*. Londres: Chapman & Hall.
- De Wolf, H. (1982). Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 36, 95–98.
- Debenest, T., Silvestre, J., Coste, M., Delmas, F. y Pinelli, E. (2008). Herbicide effects on freshwater benthic diatoms: Induction of nucleus alterations and silica cell wall abnormalities. *Aquatic Toxicology*, 88, 88–94.
- Dodds, W. K., Jones, J. R. y Welch, E. B. (1998). Suggested classification of stream trophic state: Distributions of temporal stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Reserch*, 32, 1455–1462.
- Dziengo-Czaja, M., Koss, J. y Matuszak, A. (2008). Teratological forms of diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water pollution in the western part of Puck Bay (Southern Baltic Sea). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 37, 119–132.
- Falasco, E., Bona, F., Badino, G., Hoffmann, L. y Ector, L. (2009). Diatom teratological forms and environmental alterations: A review. *Hydrobiologia*, 623, 1–35.
- Falasco, E., Bona, F., Ginepro, M., Hlúbiková, D., Hoffmann, L. y Ector, L. (2009). Morphological abnormalities of diatom silica walls in relation to heavy metal contamination and artificial growth conditions. *Water SA*, 35, 595–606.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México, D.F.: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez, N., Sierra, M. V., Cortelezzi, A. y Rodrigues-Capítulo, A. (2008). Effects of discharges from the textile industry on the biotic integrity of benthic assemblages. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69, 472–479.
- Hering, D., Jonhson, R. K., Kramm, S., Schmutz, S., Szoszkiewicz, K. y Verdonshot, P. F. M. (2006). Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology*, 51, 1757–1785.
- Jahn, R., Kusber, W. H. y Romero, O. (2009). *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C. placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta): typification and taxonomy. *Fottea*, 9, 275–288.
- Kelly, M. G. (1998). Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research*, 32, 236–242.
- Kelly, M. G., Cazaubon, A., Coring, E., dell'Uomo, A., Ector, L., Goldsmith, B., et al. (1998). Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology*, 10, 215–224.
- Kelly, M. G., Adams, C., Graves, A. C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E. B., et al. (2001). Preparation of diatoms for microscopy. En *The trophic diatom index: a user's manual* (Revised edition, pp. 17-24). Bristol: Environment Agency.
- Kelly, M. G., Gómez-Rodríguez, C., Kahlert, M., Almeida, S. F. P., Bennett, C., Bottin, M., et al. (2012). Establishing expectations for pan-European diatom based ecological status assessments. *Ecological Indicators*, 20, 177–186.
- Kermarrec, L., Bouchez, A., Rimet, F. y Humbert, J. F. (2013). First evidence of the existence of semi-cryptic species and of a phylogeographic structure in the *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing complex (Bacillariophyta). *Protist*, 164, 686–705.
- Kociolek, J. P. y Spaulding, S. A. (2000). Freshwater diatom biogeography. *Nova Hedwigia*, 71, 223–241.
- Krammer K. (1997). *Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa*. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. Berlin Stuttgart: Bibliotheca Diatomologica 36. J. Cramer.
- Krammer, K. (2000). *The genus Pinnularia. Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 1*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Krammer, K. (2002). *Cymbella Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 3*. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1986). Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. En H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/1* (p. 876). Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1988). Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/2*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1991a). Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/3* (p. 576). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1991b). Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. En H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig, y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 2/4* (p. 437). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Lange-Bertalot H. (2001). *Navicula sensu stricto, 10 genera separated from Navicula sensu lato, Frustulia. Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 2*. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K.G.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. (1996). *Indicators of oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types: carbonate buffered-oligodystrophic-weakly buffered soft water*. Iconographia Diatomologica. Vol. 2. Ecology-Diversity-Taxonomy. Königstein: Koeltz Scientific Books.
- Lange-Bertalot H., Cavacini P., Tagliaventi N., Alfinito S. (2003). *Diatoms of Sardinia: rare and 76 new species in rock pools and other ephemeral waters*.

- Iconographia Diatomologica. Vol. 12. Biogeography-Ecology-Taxonomy. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Lavoie, I., Hamilton, P. B., Campeau, S., Grenier, M. y Dillon, P. J. (2008). *Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada*. Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Licursi, M. y Gómez, N. (2003). Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la Llanura Pampeana Argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática*, 21, 31–49.
- Lowe, R. L. (1974). *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. Cincinnati: Environmental Monitoring Series. Environmental Protection Agency.
- Luis, A. T., Teixeira, P., Almeida, S. F. P., Matos, J. X. y Ferreira da Silva, E. (2011). Environmental impact of mining activities in the Lousal area (Portugal): chemical and diatom characterization of metal-contaminated stream sediments and surface water of Corona stream. *Science of the Total Environment*, 409, 4312–4325.
- Mahlknecht, J., Steinich, B. y Navarro de León, I. (2004). Groundwater chemistry and mass transfers in the Independence aquifer, central Mexico, by using multivariate statistics and mass-balance models. *Environmental Geology*, 45, 781–795.
- Mahlknecht, J., Gárfias-Solis, J., Aravena, R. y Tesch, R. (2006). Geochemical and isotopic investigations on groundwater residence time and flow in the Independence Basin, Mexico. *Journal of Hydrology*, 324, 283–300.
- Majewska, R., Zgrundo, A., Lemke, P. y de Stefano, M. (2012). Benthic diatoms of the Vistula River estuary (Northern Poland): seasonality, substrata preferences, and the influence of water chemistry. *Phycological Research*, 60, 1–19.
- Mann, D. G. (1999). The species concept in diatoms. *Phycologia*, 38, 437–495.
- Mann, D. G. (2001). The systematics of the *Sellaphora pupula* complex: typification of *S. pupula*. En R. Jahn, J. P. Kociolek, A. Witkowski y P. Compère (Eds.), *Lange-Bertalot-Festschrift. Studies on Diatoms* (pp. 225–241). Dedicated to Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Lange-Bertalot on the occasion of his 65th birthday. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Mann, D. G., McDonald, S. M., Bayer, M. M., Droop, S. J. M., Chepurnov, V. A., Loke, R. E., et al. (2004). The *Sellaphora pupula* species complex (Bacillariophyceae): Morphometric analysis, ultrastructure and mating data provide evidence for five new species. *Phycologia*, 43, 459–482.
- Mann, D. G., Thomas, S. J. y Evans, K. M. (2008). Revision of the diatom genus *Sellaphora*: a first account of the larger species in the British Isles. *Fottea*, 8, 15–78.
- McFarland, B. H., Hill, B. H. y Willingham, W. T. (1997). Abnormal *Fragilaria* spp. (Bacillariophyceae) in streams impacted by mine drainage. *Journal of Freshwater Ecology*, 12, 141–149.
- Metzeltin D., Lange-Bertalot H. (1998). *Tropical diatoms of South America. About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora*. Iconographia Diatomologica. Vol. 5. Diversity-Taxonomy-Geobotany. Königstein: Koeltz Scientific Books.
- Metzeltin, D., Lange-Bertalot, H. y García-Rodríguez, F. (2005). *Diatoms of Uruguay compared with other taxa from South America and elsewhere*. Iconographia Diatomologica. Vol. 15. Taxonomy-Biogeography-Diversity. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Morales, E. A. (2001). Morphological studies in selected fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from Connecticut waters (U.S.A.). *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 151, 105–120.
- Morales E. (2010). *Staurosira construens*. En: Diatoms of the United States [consultado 29 Sep 2012]. Disponible en: <http://westerndiatoms.colorado.edu/taxa/species/staurosira-construens-var.-venter>
- Morales, E. A., Siver, P. A. y Trainor, F. R. (2001). Identification of diatoms (Bacillariophyceae) during ecological assessments: Comparison between light microscopy and scanning electron microscopy techniques. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 151, 95–103.
- Morin, S., Coste, M. y Hamilton, P. B. (2008). Scanning electron microscopy observations of deformities in small pennate diatoms exposed to high cadmium concentrations. *Journal of Phycology*, 44, 1512–1518.
- Morin, S., Duong, T. T., Dabrin, A., Coyne, A., Herlory, O., Baudrimont, M., et al. (2008). Long-term survey of heavy-metal pollution, biofilm contamination and diatom community structure in the Riou Mort watershed, South-West France. *Environmental Pollution*, 151, 532–542.
- Novelo E., Tavera R., Ibarra C. (2007). *Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico*. Berlin Stuttgart: Bibliotheca Diatomologica. Band 54. J. Cramer.
- Oliva-Martínez, M. G., Ramírez-Martínez, J. G., Garduño-Solórzano, G., Cañetas-Ortega, J. y Ortega, M. M. (2005). Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica*, 15, 1–26.
- Ortega-Guerrero, A., Castellanos, J. Z., Aguilar, R., Vázquez-Alarcón, A., Alanís, E., Vargas, C., et al. (2002). A conceptual model for increases of sodium, SAR, alkalinity and pH at the Independence aquifer in Guanajuato. *Terra*, 20, 199–207.
- Pan, Y., Hill, B. H., Husby, P., Hall, R. K. y Kaufmann, P. R. (2006). Relationships between environmental variables and benthic diatom assemblages in California Central Valley streams (USA). *Hydrobiologia*, 561, 119–130.
- Patrick, R. y Reimer, C. W. (1966). The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii. In *Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia No. 13. Vol. 1*. Philadelphia: Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Patrick, R. y Reimer, C. W. (1975). The diatoms of the United States, exclusive of Alaska and Hawaii. In *Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia No. 13. Vol. 2*. Philadelphia: Academy of Natural Sciences of Philadelphia.
- Peres-Weerts, F. (2000). *Mise en évidence des effets toxiques des métaux lourds sur les diatomées par l'étude des formes tétratogènes*. Douai: Agence de l'Eau Artois-Picardie.
- Piccinini, C. (2006). *Diatomáceas perifíticas (Ochrophyta) do rio Gonçalves Dias, Parque Nacional do Iguacu, Paraná, Brasil*. Tesis de maestría. Universidad Federal de Paraná.
- Potapova, M. G. y Charles, D. F. (2002). Benthic diatoms in USA rivers: distribution along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*, 29, 167–187.
- Potapova, M. G. y Charles, D. F. (2007). Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States. *Ecological Indicators*, 7, 48–70.
- Potapova, M. G. y Hamilton, P. B. (2007). Morphological and ecological variation within the *Achnanthydium minutissimum* (Bacillariophyceae) species complex. *Journal of Phycology*, 43, 561–575.
- Pouličková, A., Špačková, J., Kelly, M. G., Duchoslav, M. y Mann, D. G. (2008). Ecological variation within *Sellaphora* species complexes (Bacillariophyceae): Specialists or generalists? *Hydrobiologia*, 614, 373–386.
- Prygiel, J. (2002). Management of the diatom monitoring networks in France. *Journal of Applied Phycology*, 14, 19–26.
- Ramírez-Vázquez, M., Beltrán-Magos, Y., Bojorge-García, M., Carmona-Jiménez, J., Cantoral-Uriza, E. A. y Valadez-Cruz, F. (2001). Flora algal del río La Magdalena, Distrito Federal, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 68, 45–67.
- Ramírez-Vázquez, M. y Cantoral-Uriza, E. A. (2003). Flora algal de ríos templados en la zona occidental de la cuenca del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 74, 143–194.
- Reichardt, E. (2001). Revision der Arten um *Gomphonema truncatum* und *G. capitatum*. En R. Jahn, J. P. Kociolek, A. Witkowski y P. Compère (Eds.), *Lange-Bertalot-Festschrift. Studies on Diatoms* (pp. 187–224). Dedicated to Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Lange-Bertalot on the occasion of his 65th birthday. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Rimet F. (2012). *Diatoms: an ecoregional indicator of nutrients, organic matter and micropollutants pollution*. Tesis doctoral. Universidad de Grenoble.
- Rojas-Navarrete L.T. (1995). *Desarrollo de un vidriado sin plomo de baja temperatura para la alfarería tradicional mexicana*. Tesis de maestría. Departamento de Ingeniería en Procesos e Hidráulica. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Romero, O. y Jahn, R. (2013). Typification of *Cocconeis lineata* and *Cocconeis euglypta* (Bacillariophyta). *Diatom Research*, 28, 175–184.
- Rose, D. T. y Cox, E. J. (2014). What constitutes *Gomphonema parvulum*? Long-term culture studies show that some varieties of *G. parvulum* belong with other *Gomphonema* species. *Plant Ecology and Evolution*, 147, 366–373.
- Round, F. E., Crawford, R. M. y Mann, D. G. (1990). *The diatoms: biology and morphology of the genera*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Segura-García V. (2011). *Taxonomía y ecología de las diatomeas epilíticas de la Cuenca del Alto Lerma, México*. Tesis doctoral. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Segura-García, V., Israde-Alcántara, I. y Maidana, N. I. (2010). The genus *Nitzschia* sensu stricto in the Upper Lerma Basin, Mexico. *Diatom Research*, 25, 367–383.
- Segura-García, V., Cantoral-Uriza, E. A., Israde, I. y Maidana, N. (2012). Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica*, 22, 16–27.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2001a). NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-029-1981). México, D.F.: Secretaría de Economía.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2001b). NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de aguas-Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba (cancela a la NMX-AA-029-1980). México, D.F.: Secretaría de Economía.
- Smol, J. P. y Stoermer, E. F. (2010). *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences* (Second edition). Cambridge: Cambridge University Press.
- Spaulding S.A., Lubinski D.J., Potapova M. (2010). Diatoms of the United States [consultado 29 Sep 2012]. Disponible en: <http://westerndiatoms.colorado.edu>
- Sterrenburg F.A.S. (2011). Cleaning diatom samples [consultado 18 Ene 2011]. Disponible en: <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artaug06/fs-diatoms.html>
- Stevenson, R. J., Pan, Y. y van Dam, H. (2010). Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. En J. P. Smol y E. F. Stoermer (Eds.), *The diatoms: applications for the environmental and earth sciences* (pp. 57–85). Cambridge: Cambridge University Press.
- Tavera, R., Elster, J. y Marvan, P. (1994). Diatoms from Papaloapan basin communities, Mexico. *Algological Studies*, 74, 35–65.
- Torgan, L. C. y dos Santos, C. B. (2008). *Diademesia confervacea* (Diadesmiaceae-Bacillariophyta): Morfología externa, distribuição e aspectos ecológicos. *Iheringia, Série Botânica*, 63, 171–176.
- Tremarin, P. I., Bertolli, L. M., Faria, D. M., Costin, J. C. y Ludwig, T. A. V. (2009). *Gomphonema Ehrenberg* e *Gomphosphenia Lange-Bertalot* (Bacillariophyceae) do rio Maurício, Paraná, Brasil. *Biota Neotropica*, 9, 111–130.
- Trobajo, R., Mann, D. G., Chepurnov, V. A., Clavero, E. y Cox, E. J. (2006). Taxonomy, life cycle, and auxosporulation of *Nitzschia fonticola* (Bacillariophyta). *Journal of Phycology*, 42, 1353–1372.
- Trobajo, R., Clavero, E., Chepurnov, V. A., Sabbe, K., Mann, D. G., Ishihara, S., et al. (2009). Morphological, genetic and mating diversity within the widespread bioindicator *Nitzschia palea* (Bacillariophyceae). *Phycologia*, 48, 443–459.
- Valadez-Cruz, F., Carmona-Jiménez, J. y Cantoral-Uriza, E. A. (1996). Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 67, 227–282.
- Van Dam, H., Mertens, A. y Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117–133.
- Van de Vijver, B. y Beyens, L. (1999). Biogeography and ecology of freshwater diatoms in Subantarctica: A review. *Journal of Biogeography*, 26, 993–1000.
- Vázquez, G., Aké-Castillo, J. A. y Favila, M. E. (2011). Algal assemblages and their relationship with water quality in tropical Mexican streams with different land uses. *Hydrobiologia*, 667, 173–189.
- Vanormelingen, P., Verleyen, E. y Vyverman, W. (2008). The diversity and distribution of diatoms: From cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity and Conservation*, 17, 393–405.
- Werum M., Lange-Bertalot H. (2004). *Diatoms in springs from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. Eine bemerkenswerte Diatomeenassoziation in einem Quellhabitat im Grazer Bergland, Österreich*. Iconographia Diatomologica. Vol. 13. Ecology-Hydrology-Taxonomy. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Wetzel, C. E., van de Vijver, B., Hoffmann, L. y Ector, L. (2013). *Planothidium incuriatum* sp. nov. a widely distributed diatom species (Bacillariophyta) and type analysis of *Planothidium biporum*. *Phytotaxa*, 138, 43–57.
- Wojtal, A. Z., Ector, L., van de Vijver, B., Morales, E. A., Blanco, S., Piatek, J., et al. (2011). The *Achnanthydium minutissimum* complex (Bacillariophyceae) in Southern Poland. *Algological Studies*, 136/137, 211–238.
- Zimmermann, J., Abarca, N., Enke, N., Skibbe, O., Kusber, W. H. y Jahn, R. (2014). Taxonomic reference libraries for environmental barcoding: A best practice example from diatom research. *PLoS ONE*, 9, e108793.