



**Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



# **Taxonomía y Ecología de las Diatomeas Epilíticas de la Cuenca del Alto Lerma, México**

## **T E S I S**

Que para obtener el grado académico de  
**Doctora en Ciencias**  
**(Limnología)**

Presenta:

**María Virginia Segura García**

Directora de Tesis: Dra. Isabel Israde Alcántara  
Codirectora de Tesis: Dra. Nora I. Maidana  
Comité Tutorial: Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia  
Dra. Gloria Vilaclara Fatjó  
Dr. Javier Carmona Jiménez  
Dr. Martín Merino Ibarra  
Dr. Alfonso Lugo Vázquez  
Dr. Enrique Cantoral Uriza

Ciudad de México, Febrero 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## ***Agradecimientos***

Expreso mi más sincero agradecimiento a los sinodales del comité tutorial: Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia, Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, Dr. Javier Carmona Jiménez, Dr. Martín Merino Ibarra, Dr. Alfonso Lugo Vázquez y Dr. Enrique Cantoral Uriza por sus valiosas sugerencias y asesoría en diferentes momentos del desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Isabel Israde Alcántara por la dirección de esta tesis y por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio.

Mi especial reconocimiento y gratitud a la Dra. Nora Irene Maidana por su asesoría en las diferentes facetas que implicó el desarrollo de esta investigación, por su apoyo incondicional en mi formación doctoral y por compartir conmigo sus conocimientos. Gracias también Doctora Nora por hacerme partícipe de su hermosa familia y dejarme una magnífica sensación de bienestar durante y después de las estancias en Buenos Aires.

Al Laboratorio de Ficología de la Facultad de Ciencias de la UNAM por el apoyo académico que me brindaron.

Al Dr. Pedro Corona Chávez por sus sugerencias y revisión del documento.

A mis compañeros del laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología de la UMSNH.

Con especial cariño a las maestras y amigas Tohtli Zubieta, Cecilia Criollo y Martina Medina.

A Malena, a mi hermana, a mis hijos, a mis sobrinos, por hacerme ligero el tránsito de esta empresa.

Quiero agradecer de manera muy especial a la próxima doctora Mónica Ramírez Vázquez, “Moni” y al P. de Biól. J. Salvador Almanza Álvarez por su “apoyo logístico” en congresos a ambos y por el diseño de las láminas para las publicaciones y la tesis a Salvador. Pero sobre todo por brindarme su valiosa amistad, sus comentarios siempre fueron de gran ayuda.

*A MIS PAPÁS*



*A mi papá †, ejemplo de superación. A mi mamá, aunque en la distancia, siempre tuvo confianza y creyó en mí. Les dedico este trabajo para corresponder en parte a TODO su esfuerzo y gran amor que me permitieron este y otros logros.*

**ÍNDICE**

PRESENTACIÓN.....	1
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
<b>CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA LERMA- CHAPALA.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2. DIATOMEAS:"CARACTERES GENERALES, TAXONOMÍA Y ECOLOGÍA".....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO 3. FORMAS TERATOLÓGICAS DE DIATOMEAS COMO INDICADORAS DE ALTERACIONES EN LA CALIDAD DEL AGUA.....</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO 4. HACIA EL DESARROLLO DE UN ÍNDICE DE DIATOMEAS EN EL RÍO LERMA.....</b>	<b>98</b>
CONCLUSIONES GENERALES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
ANEXO CAPÍTULO 1.....	109
ANEXO CAPÍTULO 2.....	124
ANEXO CAPÍTULO 3.....	144
ANEXO CAPÍTULO 4.....	146

## PRESENTACIÓN

En los últimos decenios el intenso y mal planificado crecimiento urbano e industrial ha dado lugar a cambios drásticos en el ambiente y la calidad de los cuerpos de agua comenzando por aquellos que sirven de insumo inmediato por su cercanía a las zonas urbanas.

En países desarrollados, esta degradación y la falta de agua, así como la conciencia ambiental que ha evolucionado, han permitido la puesta en marcha de una serie de investigaciones que han cristalizado en el paulatino mejoramiento tanto de sus cursos de agua como sus reservas en lagos y aguas subterráneas.

Dentro de los programas de evaluación y monitoreo de la calidad de las aguas superficiales, los estudios normalmente se circunscriben a la toma de datos físicoquímicos y no incluyen el análisis de metales pesados, el cual debería considerarse como obligatorio en sistemas en contacto con residuos industriales. Sin embargo, posteriormente han sido implementadas técnicas de evaluación biológica (biomonitoreo), que aunadas a la parametrización estandarizada, proporcionan una visión más acertada de las condiciones imperantes en el momento de la toma de la muestra, sobre todo en aquellos casos en donde los vertidos son emitidos a través de pulsos sin temporalidad conocida.

En este trabajo se destaca el uso de las diatomeas como instrumentos de biomonitoreo en el río Lerma, el cual atraviesa gran parte de la República Mexicana. Esta región ampliamente urbanizada ha sido, desde tiempos prehispánicos, ideal para uso agrícola por sus suelos altamente fértiles producto de la degradación de materiales volcánicos. Desafortunadamente en la actualidad el río Lerma es uno de los más contaminados en México, debido a que las industrias arrojan sus desechos a su cauce, lo que ha provocado la desaparición de la flora y la fauna en algunas regiones (Medina-Nava, 2003).

Como es conocido, las diatomeas y los macroinvertebrados son organismos que no presentan gran movilidad en los sistemas acuáticos, lo que permite capturar el estado trófico del agua en el momento de la toma de la muestra. Entre sus cualidades para ser considerados los mejores instrumentos de biomonitoreo es que presentan una vida media muy corta, colonizan cualquier substrato húmedo y capturan el estado del agua en su corto tiempo de vida a través de cambios en la abundancia, asociaciones y distribución.

Por estas bondades es que en esta tesis se presenta una de las primeras aportaciones que incluye la descripción biológica de las diatomeas y sus relaciones con el ambiente, lo que sin duda permitirá iniciar el monitoreo de sistemas lóticos aún incipiente en México.

El presente trabajo está ordenado en cuatro capítulos, en el primero se aborda el área de estudio, la Cuenca del Alto Lerma, en el que se describe la problemática social de la zona, así como la distribución geográfico-ambiental del grupo biológico en estudio, las diatomeas.

En el segundo se desarrolló el análisis taxonómico de las diatomeas epilíticas del área; con el tercero se pretende explorar la posibilidad del uso de formas teratológicas como herramienta para indicar la calidad del agua. El cuarto sugiere a las diatomeas como indicadores de variaciones ambientales. Por último se proponen una serie de recomendaciones correspondientes a cada capítulo de este trabajo, así como posibles sugerencias en el ámbito de los tomadores de decisión.

El objetivo general de este trabajo de tesis fue el de llevar a cabo el análisis taxonómico y la caracterización ambiental de las comunidades de diatomeas que se distribuyen en el Alto Lerma para evaluar el estado ambiental del área de estudio.

Lo anterior implicó desglosar una serie de objetivos particulares como el establecimiento del patrón de distribución geográfico-ambiental que presentan las diatomeas en el área, así como realizar el estudio de la taxonomía fina que permitiera sentar las bases para elaborar un inventario taxonómico detallado de las diatomeas epilíticas de la subcuenca del Alto Lerma.

A partir de estos criterios es que se estableció una posible relación entre algunas condiciones físico-químicas con la distribución y abundancia de las diatomeas observadas. Finalmente esto permitió resaltar la importancia de las diatomeas como indicadores de variaciones ambientales en el Alto Lerma, lo que conducirá en un futuro próximo al establecimiento de un índice biótico regional.

## RESUMEN

### TAXONOMÍA Y ECOLOGÍA DE LAS DIATOMEAS EPILÍTICAS DE LA CUENCA DEL ALTO LERMA, MÉXICO.

El sistema hidrológico Lerma-Chapala, con un área de captación de 52,545 m<sup>2</sup>, es una vía de drenaje muy importante en la región centro-occidente de México desde el punto de vista económico, puesto que genera el 20% de las actividades comerciales del país. El escaso o nulo tratamiento de los vertidos trae como consecuencia una elevada contaminación en el sistema. Tomando en consideración el reconocido valor de las diatomeas como bioindicadores, en este trabajo se abordó el estudio taxonómico y ecológico de las diatomeas epilíticas durante un periodo de tres años (2003-2005).

Se determinaron 175 especies, de las cuales 110 (63%) son cosmopolitas, tolerantes a la contaminación. Los géneros con mayor número de especies fueron *Nitzschia* (34), *Navicula* (20), *Gomphonema* (14) y *Pinnularia* (10). Se observaron diferentes ensambles de especies dominantes en cada sitio y algunos mostraron cambios estacionales. Aquellos sitios con mayor contaminación exhibieron patrones estacionales cambiantes, mientras que los menos contaminados mostraron menos variación estacional. El análisis de correspondencia canónico sugiere que las tendencias de distribución de las especies de diatomeas en los sitios de muestreo varían de acuerdo a la profundidad, la conductividad, el pH, la temperatura y los sólidos disueltos totales. Las especies dominantes en las localidades de estudio y en las épocas de recolecta fueron *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula veneta*, *Nitzschia capitellata*, *N. sublinearis*, *N. umbonata* y *Sellaphora pupula*, que se caracterizan por ser tolerantes a condiciones de  $\alpha$ -mesosapróbicas a polisapróbicas y de alto contenido de nitrógeno. La disminución de especies podría relacionarse con el aumento de la contaminación del río a partir de 2004, por lo que el análisis de las asociaciones de diatomeas es una herramienta muy útil para la evaluación de calidad del agua.

Mediante el inventario de especies del grupo Bacylariophyceae se dieron a conocer los taxones que habitan en México, se determinaron los complejos taxonómicos en los géneros *Gomphonema*, *Navicula* y *Pinnularia* y se establecieron las diferencias tanto morfológicas como morfométricas entre las especies nacionales con respecto a las que se encuentran en otras regiones del mundo. Se postula además que la detección de malformaciones puede ser empleada a manera de monitoreo de calidad del agua. Por último, se propone en un futuro la elaboración de un índice biótico basado en diatomeas que permita caracterizar y monitorear la calidad del agua en los sistemas lóticos mexicanos.

**Palabras clave:** diatomeas epilíticas, Alto Lerma, calidad ambiental.



## ABSTRACT

### TAXONOMY AND ECOLOGY OF EPILITHIC DIATOMS OF UPPER LERMA BASIN, MEXICO.

From an economic perspective, the Lerma-Chapala watershed (area 52,545 m<sup>2</sup>) is a very important drainage system in central-western Mexico, supporting 20% of the country's commercial activities; its discharges with little or no treatment, result in high pollution levels within the system. Recognizing the value of diatoms as bioindicators, in this work I address the taxonomic and ecological study of epilithic diatoms during a three year period (2003-2005). I identified 175 species, of which 110 (63%) are cosmopolitan and pollution tolerant. The genera with the highest number of species were *Nitzschia* (34), *Navicula* (20), *Gomphonema* (14), and *Pinnularia* (10). In each of the sampling sites I recorded different assemblages of dominant species, some of them showing seasonal changes related to high pollution levels; the steadiest communities were found in less polluted sites. Canonical correspondence analysis suggests that distributional trends of diatom species in the study sites vary according to water depth, electric conductivity, pH, water temperature, and total dissolved solids.

The dominant species in all the sampling stations and periods were *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula veneta*, *Nitzschia capitellata*, *N. sublinearis*, *N. umbonata* and *Sellaphora pupula*, which are tolerant to high nitrogen levels and  $\alpha$ -mesosaprobic - polysaprobic conditions. The number of species declined with time and the decrease could relate to increased water pollution; in this sense, the analysis of diatom associations proves to be a useful tool for the evaluation of water quality.

This is the first inventory of species on Bacillariophyceae for the Alto Lerma; the taxonomic complexes of *Gomphonema*, *Navicula*, and *Pinnularia* genera are determined and described; establishing morphological and meristic differences among the registered species with those in other regions of the world. Also, I suggest that observed malformations can be used in the monitoring of water quality. Finally, I propose the elaboration of a biotic index based on diatoms, to characterize and monitor water quality in the Mexican lotic systems.

**Keywords:** epilithic diatoms, Alto Lerma, environmental quality.

## CAPÍTULO 1

### CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA

#### INTRODUCCIÓN

La Mesa Central de México es una de las regiones lacustres más importantes de México, la cual ha tenido una interesante evolución tanto geológica (actividad volcánica y tectónica) como biológica. Como resultado del evento de distensión durante el Mioceno superior, se crearon cuencas y cuerpos de agua, tanto endorreicos como exorreicos; específicamente, la captura de afluentes culminó en la formación del actual río Lerma como consecuencia de la actividad volcánica del Pleistoceno (Domínguez-Domínguez, 2008a).

#### Cuenca Lerma-Chapala

La cuenca Lerma-Chapala se localiza en el centro de México entre las coordenadas 19°03' a 21°34' N y 99°16' a 103°31' O. Comprende desde el nacimiento del río Lerma, en las inmediaciones de las faldas del Nevado de Toluca a 4600 msnm, hasta su desembocadura en el lago de Chapala a 1600 msnm, ocupando un área de 53591 Km<sup>2</sup> (Cotler *et al.* 2006). En la cuenca están parcialmente incluidos los estados de Guanajuato, 43.8%; Michoacán, 30.3%; Jalisco, 13.4%; Estado de México, 9.8% y Querétaro, 2.8% (Barbour, 1973; Priego *et al.* 2004).

La cuenca está dividida en tres subcuencas denominadas: Alta, Media y Baja, de acuerdo con la evolución de la geología del área (Waitz, 1943; Pasquaré *et al.* 1991; Domínguez-Domínguez, 2008b) así como a la distribución geográfica de la ictiofauna endémica (Moncayo *et al.* 2001; Domínguez-Domínguez *et al.* 2006).

El río Lerma, principal cauce de la cuenca cuenta con una longitud de 750 Km (Priego *et al.* 2004) (Fig. 1). Es en la actualidad uno de los más contaminados en México, debido a que las industrias arrojan sus desechos a su cauce, lo que ha provocado la desaparición de la flora y la fauna en algunas regiones (Medina-Nava, 2003). Asimismo, el río fluye hacia el lago de Chapala siendo su principal vía de aporte de contaminantes. Entre la carga de material que provee el río se ha calculado que el 60% son desechos industriales, 25% son domésticos, 10% corresponden a desechos agrícolas y un 5% son residuos sólidos de origen diverso (Athié, 1987).

Esta región es de gran importancia socio-económica en México ya que genera productos de transformación para el país y es la zona donde se desarrolla el 20% del comercio nacional, además de

concentrar la región más densamente poblada del país (190 hab/Km<sup>2</sup>) (Burton, 1997; Mestre, 1997) (Fig. 1). Se han favorecido asentamientos urbanos como Toluca, Querétaro, Salamanca, Guanajuato y Morelia, por mencionar algunas de las ciudades más grandes. Integra una de las zonas agrícolas más importantes del Bajío y zonas pecuarias como La Piedad, Michoacán (750.000 hectáreas de tierras de riego), además de que se han establecido corredores industriales en Toluca, Atlacomulco, Morelia y Salamanca (INEGI, 1983; Sedeño-Díaz y López-López, 2007). La presión contaminante se ha visto magnificada por el desmedido crecimiento poblacional e industrial que a partir de 1950 ha generado una excesiva demanda de agua para diferentes usos en la región, por lo que la recuperación de los sistemas acuáticos superficiales y subterráneos se ha tornado difícil (CNA, 2005; Zarco-Arista y Mazari-Hiriart, 2006).

A lo anterior se suma que, como consecuencia de la política de desarrollo implementada en la Cuenca Lerma-Chapala, basada en el impulso industrial y en la agricultura intensiva, fueron construidas obras hidráulicas como los acueductos del sistema Lerma (1951), el sistema Cutzamala (1982) y centenares de presas y bordos distribuidos en la cuenca (Cotler, 2006).

En la actualidad existen en la cuenca un total de 552 presas y bordos, equivalente a una presa o bordo por cada 97.1 km<sup>2</sup>. Según la clasificación ICOLD (International Comisión on Large Dams en Cotler, 2006), el 25% de las presas son grandes, 14% son medianas, 43% son chicas y se desconoce el tamaño del restante 18%. Más del 50% del total de las presas se concentran en cinco sub-cuencas: Solís (78), Lerma (62), Duero (54), Tepuxtepec (49) y Alto Lerma (43) (Cotler, 2006).

### **Cuenca Alta del río Lerma**

La Cuenca Alta del río Lerma (19°37'30" a 20°08'32" Norte y 100°35'43" Oeste) que comprende un área de 5354 Km<sup>2</sup> (Orozco y Sánchez, 2004), forma parte de la Provincia del Cinturón Volcánico Transmexicano, originada por procesos de subducción de la placa Pacífica en la Norteamericana (Israde-Alcántara, 1999), la cual se conforma por estrato-volcanes y materiales como brechas volcánicas, tobas y arenas entre otros, que se acumularon desde el Terciario medio al Holoceno (Cuadro 1).

Aquí se distinguen diferentes tipos de suelo: feozem lúvico, luvisol, planosol y, en menor proporción, vertisoles y litosoles (SPP, 1985). El clima es templado con lluvias en verano (Cw), cuyas temperaturas promedio son de 18 °C en valles y bajíos y 12.5 °C en Mil Cumbres y centro de la Meseta Tarasca. La precipitación anual oscila entre 646 y 1642 mm y la vegetación se constituye por bosques de *Abies*, *Pinus*, *Pinus-Quercus*, bosque de galería (*Salix bonplandiana*, *Taxodium mucronatum*) y matorral subtropical alterado (SPP, 1985) (Cuadro 1).

### **Subcuenca del río La Laja**

La subcuenca del río Laja es la segunda con mayor aportación al sistema Lerma-Chapala. Se localiza al este del Estado de Guanajuato y se extiende hasta el sureste; entre los paralelos 20°15'40" y 21°32'42" N y entre los meridianos 100°11'23" y 101°31'33" O; drena una superficie de 7016.6 Km<sup>2</sup>. Los tributarios más importantes son los ríos Dolores, San Marcos, el Plan, el Carrizal y Bocas (Caldera, 2007) (Fig. 2; Cuadro 1).

Los suelos predominantes en la cuenca son feozem lúvicos, feozem háplicos, litosoles y vertisoles (INEGI, 1996). El clima de la zona es semiseco templado con lluvias en verano (BS1kw), extremoso, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5%; precipitación media anual de 547 mm entre junio a octubre y temperatura media anual de 16.3 °C (López, 2007).

Esta subcuenca y sus tributarios en el norte del estado, se han visto afectados de forma negativa por las actividades humanas, ya que la desmedida sustracción de grava y arena, tanto del cauce como de las planicies de inundación, han conducido a la pérdida de humedales en dichas zonas de extracción; lo anterior es una pérdida lamentable porque estos hábitats se han constituido como sitios de refugio para aves acuáticas migratorias de un corredor biológico entre Canadá, Estados Unidos y humedales del Sur de México. Esto hace necesaria la rehabilitación del bosque de galería para el buen funcionamiento de los humedales, por lo que a esta cuenca se le ha declarado Humedal Prioritario para su conservación por diversas instituciones nacionales e internacionales (Caldera, 2007; López, 2007).

### **Subcuenca del río Querétaro**

Se ubica en el centro del país a 20°15' y 21°00' N y 100°05' y 100°40' O; comprende desde el origen del río Querétaro en el cerro del Astillero, Qro., hasta la Estación Hidrométrica Ameche; cuenta con una superficie de aportación de 2,255 Km<sup>2</sup> (D.O.F., 2003).

El tipo de clima de la región es semiseco templado con lluvias en verano (BS1hw), la precipitación invernal es en promedio de 8 mm. Dependiendo del grado de humedad y temperatura, se divide en semicálido, con temperaturas de 18-22 °C con inviernos frescos y templado semiseco con temperatura media anual de 12 – 18 °C en los meses más fríos puede descender a -3 °C, con lluvias en verano.

El tipo de suelo de la cuenca es negro o chernozem y la vegetación representativa de la cuenca es el matorral desértico crassicaule (CEAQ, 2000) (Fig. 3; Cuadro 1).

### **Evaluación de la contaminación en los ríos**

Uno de los procesos iniciales para la evaluación y seguimiento de los cambios ambientales en un sistema acuático es su monitoreo, tanto de parámetros físico-químicos como biológicos (Alba-Tercedor, 1996; Bayley, 1991). Sin embargo, en la mayor parte de los sistemas acuáticos de México y del mundo, tal monitoreo se ha concentrado en análisis fisicoquímicos según los patrones vigentes, sin considerar la gran diversidad biológica existente en los cuerpos de agua y que puede en un momento dado asociarse con las variables ambientales de la zona en estudio.

Los organismos de los ríos manifiestan diversos límites de tolerancia a diferentes condiciones extremas del sistema, los cuales varían según sea ese cambio. Así, se pueden encontrar organismos “sensibles”, los cuales no toleran condiciones diferentes a las de su estrecho intervalo de adaptación, y se comportan como “intolerantes”; por otro lado, existen especies que son “tolerantes” y que no se ven afectadas en forma importante por las fluctuaciones ambientales. Pero de llegar la perturbación a niveles tan drásticos que sean incluso letales para los intolerantes, éstos mueren o migran y el hábitat es colonizado por organismos tolerantes. De tal forma la variación inesperada en la composición y estructura de las comunidades de los organismos de sistemas lóticos, se puede interpretar como evidencias de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, 1996).

Por otro lado, es necesario considerar que México tiene un severo problema con respecto a la distribución heterogénea del agua epicontinental. Esto se debe a la gran variación (fisiográfica, geomorfológica y geológica) en altitud, latitud y régimen pluviométrico que presenta el país (Díaz-Pardo *et al.* 1993). Con relación a la altitud, el 80% del agua disponible se encuentra en regiones con menos de 500 msnm; en zonas que se localizan entre 500 y 2000 msnm, se cuenta con el 15% y en altitudes mayores a los 2000 msnm tan sólo se alcanza un escaso 5%. Por lo que compete a la latitud, en el noroeste del país, se registran precipitaciones promedio de 100 mm al año, mientras que en el sureste la precipitación alcanza hasta 1800 mm anuales (Medina-Nava, 2003).

Otro factor de importancia es el inadecuado manejo de los ríos o los lagos que se realiza en México. La práctica más común es drenar los cuerpos de agua, con la consecuente alteración y hasta desaparición del recurso y, por lo tanto, la extinción de especies de distribución restringida (Domínguez-Domínguez *et al.* 2006). Se ha visto que las actividades socio-económicas y culturales en nuestro país se encuentran muy relacionadas con el recurso agua, además de contar con un rápido crecimiento urbano e industrial en las últimas décadas que ha deteriorado la calidad de nuestros lagos y ríos, de tal forma que los efluentes son aún descargados, en la gran mayoría de los casos, sin tratamiento previo (Mestre, 1997).

En este trabajo, establecimos el patrón de distribución geográfico-ambiental que presentaron las diatomeas en el área y determinamos si existía relación entre algunas condiciones físico-químicas con la distribución y la abundancia de las diatomeas observadas.

## MÉTODO

### Caracterización ambiental

Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas aproximadamente cada 10 Km de acuerdo al criterio establecido por Israde *et al.* 2002, es decir, cercanía de zonas pobladas y variaciones geomorfológicas, considerando las provincias que conforman el río Lerma definidas por Moncayo *et al.* (2001) y tomando en consideración, además, el alto endemismo de la ictiofauna (familia Atherinopsidae y Goodeidae (*Hubsina turneri*)). Se establecieron ocho sitios de muestreo en el cauce principal del río y tres correspondieron a afluentes (Figura 2). Durante el muestreo, se consideraron las diferentes actividades humanas y usos del suelo en la subcuenca, tratando de obtener las muestras aguas arriba y aguas abajo de poblados y/o ciudades (Cuadro 2). Se realizaron muestreos durante de abril-junio (estiaje) y en noviembre-diciembre (poslluvias) de 2003 a 2005, tomando muestras de agua y epilíton en zonas pedregosas, expuesta a la luz y alta energía de la corriente.

### Análisis físicoquímico del agua

Considerando que los factores abióticos influyen en la composición de las comunidades acuáticas, además de que están sujetos a variaciones durante el estiaje y la época de lluvias, se registraron las siguientes variables físicas y químicas:

Temperatura del agua, pH y conductividad con un potenciómetro Conductronic PC-18, la concentración de oxígeno disuelto se determinó con un oxímetro YSI-51-B (Cuadro 3); la intensidad de la radiación solar con un fotómetro LICOR-LI-1000. Además se caracterizó el tipo de sustrato en cada estación según el criterio de Israde *et al.* (2002) y la velocidad de la corriente se estimó mediante un flujómetro Gurley 622 (Cuadro 4).

Para los análisis químicos se filtraron 10 ml de las muestras de agua, con membranas de 0.45 µm (Millipore® tipo HA). La salinidad, turbiedad, alcalinidad y dureza, y las concentraciones de amonio, nitratos, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos, fosfatos, sulfatos, sodio, iones de cloruro, sodio y potasio, se evaluaron en el laboratorio CEMA (Centro de Estudios sobre el Medio Ambiente) que cuenta con acreditación de la Comisión Nacional del Agua y se apega a la normatividad que establece la Ley de Aguas Nacionales (Cuadro 4).

### **Análisis de datos**

Para llevar a cabo los análisis estadísticos fue necesario efectuar recuentos en las preparaciones permanentes (62 en total), contabilizando un mínimo de 400 valvas por muestra.

Las especies de diatomeas se incluyeron en modelos de ordenación y calibración si estuvieron presentes en al menos tres muestras y con abundancia relativa mayor o igual al 5%, con la finalidad de reducir el número de especies con mínima representatividad. Las abundancias relativas de las especies fueron transformadas logarítmicamente.

Para detectar variables redundantes se realizó una correlación múltiple y se revisó la posible presencia de datos aberrantes, mediante la distancia de Mahalanobis (JMP v.6). No hubo datos aberrantes, aunque fueron detectadas 9 variables redundantes, utilizando como criterio el coeficiente de correlación múltiple mayor de 0.80. Debe hacerse notar que la mayoría de las redundancias estuvieron alrededor de 90%. La matriz con la que se hicieron los análisis, quedó representada por 17 variables (Cuadro 4).

Se aplicó un análisis de correspondencia canónico (ACC) con la finalidad de explicar las relaciones entre las asociaciones de diatomeas y algunas variables ambientales. El significado de los ejes canónicos fue valorado mediante las pruebas de permutación Monte Carlo, con la finalidad de evitar colinearidad entre las variables, lo que permitió seleccionar aquellas que proporcionaron una interpretación más clara. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico CANOCO v. 4.5 (ter Braak, 1995).

## **RESULTADOS**

### **Caracterización ambiental**

Con base en las características fisicoquímicas, el río Lerma, se puede considerar como un cuerpo de agua subtropical (14.0-24.1°C), con los valores de temperatura máximo y mínimo análogos tanto en la temporada de estiaje (16.0-24.1°C) como en poslluvias (14.0-24.1°C). Presenta aguas desde ácidas hasta alcalinas (pH 5.0-10.8); con conductividades que caracterizan aguas dulces de baja a moderada mineralización; el valor mínimo y máximo se registraron en poslluvias (117-1207 $\mu$ S cm<sup>-1</sup> respectivamente) en el río Querétaro, Qro., durante el estiaje de 2004. Este valor se atribuye al represamiento de este cauce río arriba, situación que ha originado prácticamente su desaparición, y sólo se pueden encontrar pequeñas charcas remanentes del anterior periodo de lluvias. La concentración mínima de sólidos disueltos totales (SDT, 100 mg L<sup>-1</sup>) se registró durante la temporada de poslluvias y la máxima durante el estiaje (840 mg L<sup>-1</sup>). Las concentraciones de oxígeno disuelto y

el porcentaje de saturación de oxígeno presentaron un amplio intervalo de condiciones, desde hipóxicas (0.01 mg L<sup>-1</sup> y 2 % de saturación) en aquellas localidades correspondientes a corredores industriales, con vertidos agroquímicos provenientes de zonas de cultivo y alto grado de eutroficación, hasta cercanas a la saturación (8.9 mg L<sup>-1</sup> y 96 % de saturación) o relativamente elevadas (10 mg L<sup>-1</sup> y 112 % de saturación). En relación con la profundidad, los valores mínimos se observaron durante el estiaje (10cm) y los máximos en poslluvias (220 cm) (Cuadro 3).

En el Cuadro 4 se pueden observar los datos físico-químicos que se registraron en temporada de poslluvias durante 2004 y con los cuales se llevó a cabo un análisis de correlación canónico (ACC).

### **Descripción ambiental de las localidades de estudio.**

*\*Puente Lerma-Toluca, Edomex. (PL), 2587 msnm. (Cuadro 3; Figura 3).*

Primer sitio de muestreo que se encuentra en la cabecera del río y localizado en el corredor industrial de Toluca, Edomex. La velocidad de corriente registrada fue imperceptible durante los tres años de muestreo debido a la gran cantidad de desechos urbanos y aguas residuales de la ciudad. El uso predominante del suelo es agrícola (cultivos de maíz).

La litología del substrato consiste en materiales limoarcillosos finos muy homogéneos en su granulometría. Como consecuencia del azolve de estos depósitos, se tuvo poca profundidad en las temporadas de muestreo (20-30 cm).

Esta localidad carece totalmente de vegetación marginal por lo que la incidencia de los rayos solares es directa (645  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ). La temperatura máxima se registró durante el estiaje (Abril) de 2003 (23.1 °C) y la mínima en poslluvias (Diciembre) de 2004 (14 °C). En cuanto al oxígeno disuelto se refiere, se manifestó un agudo déficit en los años de muestreo (0.1- 1.0 mg/L) y por consiguiente los valores de saturación también fueron mínimos (17-22 %).

El pH fluctuó entre 5.0 y 10.8. La conductividad y los sólidos disueltos totales se comportaron en forma semejante, ya que las concentraciones fueron altas durante la temporada de estiaje, con un máximo en la conductividad en Abril de 2003 (911  $\mu\text{S/cm}$ ); mientras que en la época de poslluvias disminuyeron los valores y el mínimo fue observado en Diciembre de 2004 para ambos parámetros (316  $\mu\text{S/cm}$  y 219 mg/L).

*\*San Jerónimo Ixtapatongo, Edomex. (Ixt), 2523 msnm. (Cuadro 3; Figura 3).*

En el área se desarrolla la floricultura intensiva y zonas agrícolas cuyas escorrentías se



vierten en el río. Se pudo observar un flujo laminar en la parte central del cauce y turbulento en zonas con sustrato rocoso. La velocidad de corriente registrada en poslluvias (Diciembre) de 2004 fue de 82 cm/s y la profundidad fluctuó entre 40 y 60 cm en el periodo de muestreo.

El cauce del río en esta área es abierto, constituido por un lecho rocoso formado por gravas y micro conglomerados muy redondeados con una mala clasificación. En las riberas está establecido un bosque de galería (*Salix bonplandiana*); a pesar de la sombra proyectada por la vegetación, se registró alta insolación en la zona ( $1164 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La temperatura máxima correspondió al estiaje (Abril) de 2003 ( $21.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y la mínima en poslluvias (Noviembre) de 2003 ( $16.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). La recuperación del oxígeno disuelto que se observó durante el estiaje (Abril) de 2003 ( $7.9 \text{ mg/L}$  y 93 % de saturación), probablemente debido a que la hidrodinámica del sistema contribuyó al proceso de aireación, además de abundantes tapetes de microalgas. Posteriormente hubo un decaimiento en poslluvias (Noviembre) de 2005 ( $0.4 \text{ mg/L}$  y 17 % de saturación).

La zona se caracteriza por el drenaje de áreas agrícolas, granjas avícolas y aguas residuales. El valor mínimo de pH (6.0) se registró en estiaje (Junio) de 2004 y el máximo (9.2) durante el estiaje (Abril) de 2003.

\**San Lorenzo Tlacotepec, Edomex. (TI), 2502 msnm* (Cuadro 3; Figura 3).

El lecho del río está constituido por un sustrato de lavas de composición andesítica frecuentemente fracturadas correspondientes a las rocas del complejo volcánico del sistema Morelia-Acambay (Israde, 1999, Israde-Alcántara, *et al.* 2010). Este sustrato rocoso permite que el flujo sea turbulento, con algunos remolinos, lo que genera alta velocidad de corriente ( $72 \text{ cm/s}$ ) una de las más altas registradas durante poslluvias (Diciembre) 2004. La profundidad fluctuó entre 40-60 cm en los tres años de muestreo.

La ribera del río se cubre por bosque de galería (*Salix bonplandiana*). Sin embargo, el punto de muestreo fue un claro, por lo que el sitio permitió la radiación solar directa permitiendo el calentamiento del agua. La temperatura más alta se observó en estiaje (Junio) de 2005 ( $20.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y la mínima en poslluvias (Noviembre) de 2003 ( $14.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A pesar de la relativamente alta velocidad de corriente, hubo una tendencia al descenso en el oxígeno disuelto. Con un máximo durante el estiaje (Junio) de 2004 ( $5.2 \text{ mg/L}$  y 64 % de saturación), mientras que el registro más bajo fue de  $2 \text{ mg/L}$  (23 % de saturación) tanto en estiaje (Junio) de 2005 como en poslluvias (Diciembre) de 2004.

En los años de estudio, el pH descendió ligeramente de la neutralidad en el estiaje (Junio) de 2005 (6.8). Durante poslluvias (Diciembre) de 2004 el aumento en el valor de pH fue de 7.4.

La conductividad y los sólidos disueltos totales presentaron un patrón semejante a la primera localidad, ya que durante la época de estiaje (Junio) 2005 se registraron los máximos valores (883  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y 622 mg/L). Durante el periodo de poslluvias (Noviembre) 2005 se observó la disminución de electrolitos, resultado de la precipitación pluvial y por consiguiente de la dilución. Los valores mínimos fueron 153  $\mu\text{S/cm}$  en conductividad y 110 mg/L para sólidos disueltos totales.

*\*Puente Temazcalcingo, Edomex. (Tz), 2347 msnm. (Cuadro 3; Figura 3)*

La menor altitud de San Lorenzo Tlacotepec hacia Temazcalcingo es consecuencia del cambio en la dirección del río hacia el noroeste con una componente de salto de fallas normales que ocasiona cambios en la pendiente. El cauce del río baja entre un cañón de rocas volcánicas brechoides y lavas; se presenta alta velocidad de la corriente, lo que crea remolinos (46 cm/s; poslluvias, Diciembre, 2004). La profundidad varió desde 100 a 200 cm en los tres años de muestreo.

Pese a que en la ribera del río está establecido un bosque de galería (*Taxodium mucronatum* y *Salix bonplandiana*) que brinda sombra constante y que la localidad está enclavada en un cañón, la irradianza registrada durante poslluvias (Diciembre) de 2004 fue la más elevada de todo el Alto Lerma (1866  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La máxima temperatura se observó en estiaje de 2003 (Abril) y 2004 (Junio) (19 °C en ambas temporadas) y la mínima para poslluvias (Noviembre) de 2003 (15 °C). El valor mínimo de oxígeno disuelto fue de 5.4 mg/L en el estiaje (Abril) de 2003 (67% de saturación) y el máximo se alcanzó en estiaje (Junio) de 2005 con 8.4 mg/L (91 % de saturación), estas concentraciones pudieran ser explicadas por la hidrodinámica del sistema que permite airear el agua del río y quizá por aporte fotosintético.

El comportamiento del pH en esta localidad fue muy semejante al del sitio anterior, es decir, se observó un ligero descenso durante poslluvias (Diciembre) 2004 (6.8) mientras que el máximo se registró en el estiaje (Junio) de 2005 (7.7).

La conductividad y los sólidos disueltos totales mantuvieron el patrón de concentraciones mayores durante estiaje, en tanto en la época de poslluvias se registraron las diluciones de las concentraciones iónicas. Durante la época de estiaje (Junio) 2005 se registró el máximo valor para ambos parámetros (683  $\mu\text{S cm}^{-1}$  y 507 mg/L) y durante el periodo de poslluvias (Noviembre) 2005 se observaron los valores mínimos (137  $\mu\text{S/cm}$  y 100 mg/L).

*\*El Pedregal, Mich. (P), 2,357 msnm. (Cuadro 3; Figura 3)*

Otro salto de falla origina un desnivel en la presa Tepuxtepec, la cual se aprovecha para la generación de energía eléctrica, este régimen hidrodinámico se continúa bajo la cortina en la estación

del Pedregal. El cañón de basaltos en esta estación está cubierto por ignimbritas y depósitos de pómez soldadas. Este descenso (2 Km al norte de esta localidad), que implica algunos centenares de metros, influye en el tipo de flujo de la corriente que se puede observar, que es laminar en la parte central, con una considerable velocidad de corriente (53 cm s<sup>-1</sup>, poslluvias, diciembre de 2004), en tanto que en la ribera rocosa el flujo es turbulento con algunos remolinos, condición hidrodinámica que airea las aguas del río. De todas las localidades del Alto Lerma, en este sitio fueron registrados los valores más altos de profundidad, la cual fluctuó entre 150 y 220 cm.

La ribera del río se caracteriza por un frondoso e inalterado bosque de galería (*Taxodium mucronatum*) con sombra perenne, la irradianza observada fue de 653  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , en poslluvias, Diciembre de 2004. La temperatura mínima se registró durante el estiaje (Abril) de 2003 y poslluvias (Diciembre) de 2004 (16 °C en ambas temporadas) y la máxima fue para estiaje (Junio) de 2004 (18.9 °C). El mínimo de oxígeno disuelto se registró en poslluvias (Noviembre) de 2003, (6 mg/L, 87 % de saturación) y el máximo en estiaje (Junio) de 2005 (8.9 mg/L, 95 % de saturación).

Los valores del pH fueron muy cercanos a la neutralidad, salvo en estiaje (Junio) de 2005 que alcanzó un máximo de 8.1.

*\*Pedregal manantial, Mich. (Pm), 2357 msnm. (Cuadro 3; Figura 3).*

Este manantial se encuentra contiguo a la ribera del Pedregal. Sin embargo, por ser un cuerpo de agua aislado del río, posee características algo diferentes.

Andesitas basálticas masivas delimitan la descarga de este manantial y su contacto superior está constituido por ignimbritas de composición ácida que coronan a las andesitas. Las aguas del manto freático son recogidas en una poza casi circular, de aproximadamente 1.5 m de diámetro con una profundidad promedio de 30 cm. El agua es transparente, incolora, inodora e insípida. Las paredes que delimitan la poza se cubren con revestimientos de musgos (*Sphagnum* sp.); hepáticas (*Marchantia* sp., *Selaginella* sp.) y helechos. Habitan en el estanque anfibios (*Rana* sp.), cangrejos (Crustacea). Tanto los musgos y hepáticas como las ranas son indicadores de medios oligotróficos, es decir, señalan condiciones de buena salud de un ecosistema.

El manantial también se beneficia de la sombra proyectada por el bosque de galería. La irradianza registrada durante poslluvias (Diciembre) de 2004 fue de 455  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$  y no se detectó velocidad de corriente. La elevada temperatura del manantial posiblemente se deba a que es un acuífero profundo que emerge a la superficie en el límite de bloques fallados, por ello es que este parámetro fluctuó entre 23.9 y 24.5 °C en los años de estudio. El mínimo oxígeno disuelto se registró

en poslluvias (Diciembre) de 2004 (4.8 mg/L y 56 % de saturación) y el máximo en poslluvias (Noviembre) de 2005 (9.4 mg/L y 102 % de saturación). Aunque la temperatura del agua fue elevada, hubo buena oxigenación en el manantial, pues el oxígeno fue proporcionado por la actividad fotosintética de las plantas sumergidas.

El pH fluctuó entre 6.0 y 8.0 durante las épocas de muestreo. La conductividad y los sólidos disueltos totales presentaron concentraciones muy semejantes en ambas épocas. No se detectó el efecto de dilución que se presenta en las localidades anteriormente mencionadas, por lo que la conductividad se mantuvo entre 244 y 268  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que los sólidos disueltos totales fluctuaron entre 120 y 262 mg/L sin presentar una variación temporal. Solamente se registró el máximo para ambas variables en poslluvias.

\**Chamácuaro, Gto. (Ch), 1838 msnm* (Cuadro 3; Figura 3).

Los eventos volcánicos que ocurrieron durante Mioceno-Pleistoceno permitieron la formación de lagos escalonados entre Maravatío, Mich. y Acámbaro, Gto., de tal forma que se formó un lago en Acámbaro y San Cristóbal (Gto.) y otro en la presa Solís, Gto., cuya cortina se apoya en una colada basáltica. En este tramo, el río Lerma es nuevamente reorientado en dirección NO-SE, cruza Chamácuaro para continuar su curso hacia el Valle de la Piedad, Mich. (Israde, 1999).

El cambio de pendiente y el lecho rocoso de composición basáltica del río en Chamácuaro generó un sistema de pequeños saltos morfológicos que favorecen el aumento en la velocidad de corriente. Sin embargo, el valor que se registró en poslluvias, Diciembre 2004 fue bajo (22 cm/s), debido a que en el estado de Guanajuato, como en el resto del Alto Lerma, el río fue sometido a constante manejo (represamiento de sus aguas para irrigación en la zona del Bajío). Estas actividades también repercutieron en la profundidad durante poslluvias (Noviembre) de 2003, pues la profundidad fue de 40 cm. En las otras temporadas fluctuó entre 130 y 150 cm.

En la ribera del río se asienta un cerrado bosque de galería (*Taxodium mucronatum*, *Salix bonplandiana*). La irradianza registrada en poslluvias (Diciembre) de 2004 fue de 774  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ . La temperatura fluctuó entre 17.5 y 18.3 °C en los años de colecta. El oxígeno disuelto mínimo fue de 4.5 mg/L (53 % de saturación) en poslluvias (Noviembre) de 2005 y en estiaje (Junio) de 2005 se detectó la sobresaturación (10 mg/L, 112 % de saturación).

En 2003 se registró el mínimo valor de pH (6.9, estiaje y poslluvias), en los dos años siguientes aumentó hasta alcanzar un máximo de 8.6 en poslluvias (Noviembre) de 2005.

La conductividad y los sólidos disueltos totales conservaron sus concentraciones más elevadas en estiaje con el máximo en (Junio) de 2004 (613  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 650 mg/L). En tanto, durante poslluvias se registraron las diluciones iónicas presentando el mínimo en ambos parámetros durante poslluvias (Noviembre) de 2005 con 117  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 100 mg/L respectivamente.

\**Capulín, Gto. (C), 1729 msnm* (Cuadro 3; Figura 3).

Esta localidad se sitúa en la zona llamada El Bajío Guanajuatense. Es una extensa planicie fluvio-lacustre la cual incluía al antiguo lago de Chapala durante Mioceno-Pleistoceno (Israde, 1999). El lecho del río en esta zona es un canal con sedimentos limo-arenosos, con pocas rocas sumergidas, con un bosque de galería (*Salix bonplandiana*) en una ribera, ya que la opuesta ha desarrollado una zona de inundación con depósitos de aluvión. La actividad económica de la zona es la agricultura.

El flujo en el Capulín fue laminar con una velocidad de corriente registrada en poslluvias (Diciembre) de 2004 de 30 cm/s. La profundidad fluctuó entre 10 y 35 cm en los años de muestreo.

El río presenta un canal muy abierto en este tramo, con poca sombra proyectada del bosque de galería que se establece en una de sus riberas, por lo que el agua recibe la radiación solar directa y el calentamiento del agua es debido a la incidencia de los rayos solares sobre el espejo de agua. El valor para la irradianza durante poslluvias (Diciembre) de 2004 fue de 323  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , el mínimo de todas las localidades.

La temperatura mínima fue de 18.1 °C (poslluvias, diciembre, 2004) y la máxima de 21.3 °C (estiaje, Abril, 2004). Como consecuencia de las altas temperaturas, se obtuvieron bajas concentraciones de oxígeno disuelto, el cual fluctuó entre 3 mg/L (35 % de saturación) y 7.5 mg/L (83 % de saturación).

El valor mínimo de pH (6.7), se registró en 2003, en tanto en los años siguientes se obtuvieron valores mayores, hasta alcanzar un máximo de 8.2 en poslluvias (Noviembre) de 2005.

La conductividad y los sólidos disueltos totales siguieron mostrando las concentraciones más elevadas durante el estiaje con el máximo en Junio de 2004 (625  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 670 mg/L). Durante poslluvias se observaron diluciones iónicas como consecuencia del periodo de lluvias. El mínimo en ambos parámetros se registró durante poslluvias (Noviembre) de 2005 con 157  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 110 mg/L).

\**Uruétaro, Gto. (U), 1744 msnm*. (Cuadro 3; Figura 3).

Localidad situada en misma planicie fluvio-lacustre descrita en el Capulín, por lo que también

se observan aluviones depositados en la ribera del río con escasas rocas sumergidas. El lecho del río se conforma de arcillas limosas semejantes en granulometría a las observadas en la estación 1 (puente Lerma).

El tipo de flujo es laminar, la velocidad de corriente que se registró en poslluvias (Diciembre) de 2004 fue de 28 cm s<sup>-1</sup>. En ambas riberas se asienta un bosque de galería (*Salix bonplandiana*). La profundidad mínima se registró en estiaje (Junio) de 2004 con 40 cm. y la máxima de 65 cm. fue para poslluvias (Noviembre) de 2005.

La radiación solar que se infiltra entre el bosque de galería permitió el calentamiento del río y la irradianza se registró en 982  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ , durante poslluvias (Diciembre) de 2004. La mínima temperatura se obtuvo en poslluvias (Diciembre) de 2005 con 18.3 °C y la máxima durante el estiaje (Junio) de 2005 con 23.3 °C. Las concentraciones de oxígeno disuelto se vuelven a ver afectadas por las elevadas temperaturas. La temperatura mínima se registró en poslluvias (Diciembre) de 2005 (2.4 mg/L, 29 % de saturación) y la máxima en estiaje (Junio) de 2004 (4.8 mg/L, 52.8 % de saturación).

El valor de pH se registró en 6.9. La conductividad y los sólidos disueltos totales mostraron las concentraciones más elevadas durante el estiaje (Abril, 2003) con el máximo valor de conductividad (691  $\mu\text{S/cm}$ ) y el máximo de sólidos disueltos totales (670 mg/L) en estiaje (Junio) de 2004. En la temporada de poslluvias se observaron las dilución en las concentraciones iónicas, derivado del periodo de lluvias, registrándose los valores mínimos para ambos parámetros, (Noviembre) de 2005 con 344  $\mu\text{S/cm}$  y 130 mg/L respectivamente.

\*Río La Laja, Gto. (LAJ), 1797 msnm. (Cuadro 3; Figura 3).

El río La Laja se encuentra enclavado en la región del Bajío Guanajuatense, caracterizada por su intensa actividad industrial y agropecuaria. Como la mayoría de los ríos en el país, éste ha funcionado como recolector de vertidos de las zonas industriales, urbanas y agrícolas, lo que genera olor de aguas residuales y sustancias químicas. Además, es un río represado lo que también favorece la interrupción del flujo en determinadas zonas.

El lecho del río es rocoso-cenagoso, en la ribera se observan tanto depósitos de aluvión de composición arenosa fina aunque también como de vertidos de materiales arenosos con gravas incluidas por la construcción urbana. En las rivera oriente se desarrolla un alterado bosque de galería (*Salix bonplandiana*), mientras que la rivera poniente está desprovista de vegetación.

Los registros de las variables físico-químicas solo se llevaron a cabo durante poslluvias de 2004 y 2005. El agua estaba prácticamente estancada, con profundidades entre 4 y 8 cm. Esto

favoreció temperaturas cálidas (20.7 °C y 21.3 °C) y, por consiguiente, muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0.3 mg/L y 11% de saturación; 2.3 mg/L y 32 % de saturación). A pesar de lo anterior, se observaron florecimientos de cianobacterias.

Los valores de pH fueron de 7.8 y 8.3 y los registros de conductividad fluctuaron entre 290 y 382  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

*\*Río Querétaro, Qro. (QRO), 1,731 msnm. (Cuadro 3; Figura 3).*

Al igual que el río La Laja, este río se encuentra en el Bajío y su problemática ambiental es muy semejante o, tal vez, más crítica, ya que está entubado desde su origen en la ciudad de Querétaro, Qro. de tal forma que es un sistema intermitente inducido. Río abajo emerge a la superficie de nuevo, aunque llega a ser represado en pequeños bordos.

La toma de datos también se efectuó durante las mismas temporadas que el río La Laja. (poslluvias, 2004 y 2005).

El lecho del río es cenagoso (aluvión), con escasas rocas también depositadas por descargas de material de relleno. Su cauce es intermitente, lo que genera encharcamientos, florecimientos de cianobacterias y nula velocidad de corriente. La ribera del río se constituye como un bordo y se observa un relicto de bosque de galería (*Salix bonplandiana*) y vegetación secundaria.

Cabe mencionar que la profundidad de las charcas fue de 5 y 10 cm; temperaturas cálidas de 21.7 °C y 23.3 °C y la concentración de oxígeno disuelto fue de 0.1 mg/L (2 % de saturación) a 3.5 mg/L (41 % de saturación).

Los valores de pH tendieron a la alcalinidad (7.6 y 8.0); la máxima conductividad fue de 1,207  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la mínima de 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### **Patrón de distribución geográfico-ambiental**

Las especies registradas en el área de estudio se compararon con otras regiones del mundo y se encontró que en el área existen 110 (63 %) cosmopolitas o de amplia distribución con un predominio de diatomeas pennadas. De las restantes, 59 están reportadas para Europa; 40 para Asia, 54 para América (de las cuales 45 fueron encontradas en ríos de la Pampa Argentina, Gómez y Licursi, 2001) y 21 para África (Cuadro 5).

Las especies identificadas ya citadas para México fueron reportadas en su mayoría para los estados de Quintana Roo (46); México Central (36); San Luis Potosí (36); Estado de México (35);

Puebla (32); Valle de México (30); Guanajuato (24); Hidalgo (18); Morelos (19); Michoacán (15) y Cuenca del Papaloapan (14) (Cuadro 5).

Las localidades donde se registró el mayor número de especies fueron puente Lerma-Toluca, Edomex. (69); San Jerónimo Ixtapatongo, Edomex. (68); puente Temazcalcingo, Edomex. (60); Pedregal, Mich. (56) y Chamácuaro, Gto. (51). Aquellos sitios con menor cantidad de especies fueron San Lorenzo Tlacotepec, Edomex. (48); Uruétaro, Gto. (45); Pedregal manantial, Mich. (36); el Capulín, Gto. (35); río Laja, Gto. (16) y río Querétaro, Qro. (15) (Cuadro 5).

### **Variación temporal de las especies**

Durante el periodo de estudio se detectaron cambios en la riqueza específica de las diatomeas, pues en 2003 se registraron 98 especies durante el estiaje y 138 en poslluvias; en 2004 se contabilizaron 91 en el estiaje y 94 en poslluvias y en 2005 fueron reconocidas 99 para el estiaje y 75 para poslluvias. Las especies más abundantes en el estiaje y poslluvias de 2003 a 2005 se muestran en las Figuras 4 y 5, Cuadro 6.

### **Componentes ambientales y asociación de especies**

El (ACC) análisis de correspondencia canónico mostró una correlación especie-ambiente del 50.8% y el porcentaje de la varianza explicada de la relación especie - ambiente (77.1%) fue explicada por los dos primeros ejes canónicos. La prueba de permutaciones Monte Carlo en los primeros eigenvalores indicaron que las relaciones entre las especies y las variables elegidas fueron altamente significativas ( $p=0.002$ ). Estos resultados sugieren que las tendencias de distribución de las especies de diatomeas en los sitios de muestreo varían en consonancia con las variables incluidas en el modelo: profundidad, conductividad, pH, temperatura y sólidos disueltos totales (Figura 6).

El eje 1 está correlacionado positivamente con la conductividad y los SDT y negativamente correlacionado con la temperatura (correlación inter set = -0.68). El eje 2 está correlacionado positivamente y muy fuertemente con la profundidad y el pH.

De esta manera vemos que las muestras de Pedregal manantial, tomado como referente de condiciones de menor perturbación, queda marcadamente separada de las restantes, fundamentalmente de los más perturbados por la actividad humana: Puente Lerma, Ixtapatongo, Tlacotepec, Capulín, Uruétaro y los ríos La Laja y Querétaro. Temazcalcingo, el Pedregal y Chamácuaro queda separado de los sitios restantes por ser el de mayor profundidad.

El ACC permitió separar también 3 grupos principales de especies, tal como lo vemos en la figura 6.



Las especies del grupo I (manantial, *Eolimna tantula*, *Nitzschia microcephala* y *Planothidium frequentissimum*) que son las más abundantes en el manantial del Pedregal, parecen ser las mejor adaptadas a mayores temperaturas y son menos tolerantes a la contaminación, mientras que las del grupo II (*Eolimna subminuscula*, *Gomphonema lagenula*, *G. parvulum*, *Navicula germainii*, *Nitzschia capitellata*, *N. palea*, *N. umbonata*, *N. levidensis*, *Sellaphora pupula*, *Stephanocyclus meneghinianus*) serían buenas indicadoras de ambientes con un mayor grado de perturbación.

En el grupo III, con las especies más abundantes en el Pedregal, encontramos algunos representantes del género *Luticola* (*Luticola goeppertiana*, *L. mutica*, *Navicula antonii*, *Nitzschia dissipata* var. *dissipata* y *N. frustulum*) que toleran bien la desecación.

## DISCUSIÓN

De acuerdo con el objetivo planteado en el presente capítulo, se estableció el patrón de distribución geográfico-ambiental que presentaron las diatomeas en el área y se determinó si existía relación entre algunas condiciones físico-químicas con la distribución y la abundancia de las diatomeas observadas.

Este estudio mostró la riqueza específica de las diatomeas de la Cuenca Alta del río Lerma entre 2003 y 2005. De las 117 especies identificadas, 82 (70 %) son de distribución cosmopolita. Algunos autores como Sabbe *et al.* 2003 y Vanormerlingen *et al.* 2008, consideran que estas algas no tienen una distribución tan amplia ni es tan alto el número de formas cosmopolitas como se presumía hasta hace relativamente poco tiempo (ver, por ejemplo, Krammer y Lange-Bertalot, 1997a, b, 2004a, b), sin embargo esta apreciación se refiere fundamentalmente a las regiones aisladas y/o climas extremos y no a regiones templada-subtropical como es la que es objeto de este estudio.

A modo de ejemplo de lo anterior, podemos señalar que en las últimas décadas se han publicado algunas revisiones de géneros de diatomeas (Spaulding y Kociolek 1999; Van de Vijver *et al.* 2004; Van de Vijver y Mataloni, 2008) que mostraron que, en Antártida, algunos taxones que se pensaba eran cosmopolitas o de amplia distribución, en realidad estaban mal identificados.

Sabbe *et al.* (2003) y Vanormeligen *et al.* (2008) sugieren a que la existencia en la literatura de un alto porcentaje de especies cosmopolitas o con amplia distribución fuera de Europa y EUA puede ser el resultado, en algunos casos, de forzar la identificación de algunos taxones vernáculos para asignarles nombres europeos o estadounidenses ya que, debido a la escasez de floras locales, la mayoría de las identificaciones a nivel específico debe realizarse utilizando esa bibliografía. En el

caso particular de México, las primeras descripciones regionales fueron las realizadas para ambientes lóticos del estado de Morelos, Huasteca Potosina, S. L. P., Ciudad de México y Yucatán (Valadez-Cruz *et al.* 1996; Cantoral-Uriza, 1997; Ramírez *et al.* 2001; Ramírez y Cantoral, 2003; Bojorge y Cantoral-Uriza, 2007; Novelo-Maldonado *et al.* 2007).

Debido a su posición geográfica, en nuestro país coexisten organismos provenientes tanto de la zona Neártica como de la Neotropical, aunque el número especies neotropicales es mayor. Así lo muestra la comparación realizada entre las especies de diatomeas halladas en el Alto Lerma con las de dos ríos de Costa Rica (Savegre y Grande de Tárcoles (Silva-Benavides, 1996), en la que encontramos que el área de estudio comparte 42 especies (24 %). Esta representatividad de especies propias de climas tropicales se corresponde con las algunas de las características de la región estudiada.

Otras especies que la zona comparte tienen afinidad con la zona Paleártica (59 especies con Europa; 40 con Asia); con América (54 especies) y con la región Etiope (África, 21 especies), lo que puede explicarse porque es un río que atraviesa una macrocuenca y que recibe aportes provenientes de distintos ambientes (Cuadro 5).

Dado que este es el primer estudio realizado en este escenario, no es sorprendente el elevado número de nuevos registros para el país y, por consiguiente, para la región (44 especies), que se reporta en este trabajo. Por otra parte, como las condiciones ambientales en las que se encuentran estas especies en el río Lerma son semejantes a las de otras regiones del mundo donde también proliferan estas diatomeas (es decir sistemas alterados por el uso del recurso), era de esperar encontrar numerosas especies en común con otros ambientes similares.

Si bien la disminución de la biodiversidad en ambientes terrestres concentró la atención de los científicos durante las últimas décadas, solo muy recientemente ha aumentado la preocupación por la pérdida de especies en ambientes acuáticos. A pesar de la abundancia y diversidad de la biota que habita en los cuerpos de agua, la escasez de inventarios impide que se tenga claridad respecto del real efecto de ciertos cambios ambientales sobre la diversidad (Mann, 1999).

Esto se apoya en la presencia y en algunos casos, la abundancia de especies tales como *Gomphonema parvulum*, *G. lagenula*, *Eolimna subminuscula*, *Craticula accomoda*, *Fistulifera saprophila*, *Mayamea atomus* var. *permitis*, *Sellaphora pupula*, *Navicula veneta*, y varias especies del género *Nitzschia* como *N. capitellata*, *N. palea*, *N. umbonata* o *N. gracilis*, consideradas como indicadoras de aguas fuertemente eutrofizadas (Ehrlich, 1995, Cox, 1996, Lange-Bertalot, 2001,

Krammer y Lange-Bertalot, 2004b). Estas especies no fueron halladas como abundantes en los estudios previos realizados sobre diatomeas de México, ya que éstos se enfocaron en ríos no contaminados (Cantoral-Uriza, 1997; Ramírez y Cantoral 2003; Bojorge y Cantoral, 2007).

Son variados los factores abióticos y bióticos que regulan la distribución y composición de comunidades acuáticas. Entre los primeros podemos mencionar la luz, el tipo de sustrato, el movimiento del agua; el pH y los nutrientes y, entre los segundos, las interrelaciones entre diferentes asociaciones de especies (Baffico, 2005).

Por otra parte, los ríos están afectados por múltiples estresores, como la incorporación puntual o difusa de nutrientes u otros contaminantes. El propio curso de un río puede ser modificado por cambios en el uso del suelo, que pueden llegar a ocasionar una disminución en la diversidad de especies (Bunn y Arthington, 2002).

El flujo es el determinante principal en el hábitat físico de un río, el cual determina la distribución y abundancia de las comunidades acuáticas (Bayley, 1991; Bunn y Arthington, 2002). Además, el manejo del flujo de un río por parte del hombre tiene una profunda influencia sobre la biota acuática, ya que los cambios en el hábitat físico se reflejan en ella, por lo que las especies han modificado sus estrategias de historia de vida en respuesta a estos cambios (Bayley, 1991).

Es evidente el deterioro ambiental que han sufrido los cuerpos de agua en México debido a la actividad antropogénica. En el río Lerma, en particular, la excesiva demanda de agua para los centros poblacionales y las industrias, ha ocasionado un severo déficit del recurso y en las últimas décadas ha agravado la recuperación de los sistemas acuáticos superficiales y subterráneos (CNA, 2005; Zarco-Arista y Mazari-Hiriart, 2006; Cotler, 2006).

Tomando en consideración los supuestos mencionados anteriormente, se tiene que considerar que el río Lerma es un cuerpo de agua sometido a la sobreexplotación de sus mantos acuíferos. El excesivo represamiento de sus aguas en diferentes áreas, ha alterado los patrones naturales de conectividad, ocasionando desecación en algunas zonas y, por lo tanto, se ha visto impactada la composición biótica. Lo anteriormente puede ser una de las posibles causas en la disminución paulatina de especies observada durante el periodo de muestreo (Figura 7).

Se considera que la estructura de las comunidades de diatomeas bentónicas están mayormente reguladas por condiciones ambientales locales, más que por factores geológicos o climáticos (Potapova y Charles, 2002). A la química del agua, en particular, se le ha considerado como el factor más decisivo para la composición de especies (Soininen, *et al.* 2004).

Algunos autores han sugerido, apoyándose en modelos teóricos y experimentales basados en algas, que la variabilidad ambiental inducida por cambios climáticos puede aumentar la diversidad debido a una disminución de la competencia interespecífica; esto permitiría la coexistencia de un mayor número de especies al incrementarse el número de nichos posibles de ser colonizados (McCabe y Cyr, 2006; Tilman, 1981). Sin embargo, un cambio sostenido en el tiempo finalmente podría conducir a una pérdida de diversidad debido a la homogeneización del ambiente (Vanormelingen *et al.* 2008).

En el río Lerma, en cuanto a diversidad específica se refiere, se observó un cambio en la composición de especies tanto en lo espacial (desde la cabecera hacia la parte media del río) y en lo temporal (a lo largo de los tres años de muestreo) lo que podría estar relacionado con cambios en la calidad del agua y un aumento de contaminación en el sistema (Figura 7). Como ha sido señalado por Ndiritu *et al.* (2006), las comunidades pueden adaptarse a estrés ambiental cambiando la composición de especies reemplazando especies de talla promedio por otras más pequeñas. En el Alto Lerma, sitios altamente contaminados mostraron especies de talla media a pequeña como *Eolimna subminuscula* y algunas formas de *Nitzschia palea*; en tanto sitios con una alteración ligeramente menor presentaron comunidades de talla mediana a grandes como *Ulnaria ulna* y *Nitzschia umbonata*.

Las localidades ubicadas en la cabecera del río (Puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec y puente Temazclacingo en el Estado de México), mostraron alta contaminación y perturbación, lo que podría limitar la diversidad y abundancia de diatomeas. Las especies que se encontraron en estos sitios fueron *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia capitellata*, *Sellaphora pupula*, *Eunotia bilunaris*, *E. camelus* var. *denticula*, *E. diodon*, *E. formica*, *E. intermedia* y *E. naegelii*, que por sus afinidades ecológicas, todas ellas corroboran la alta contaminación que prevalece en el río (Biggs, 1999; Krammer y Lange-Bertalot, 1998; Seeligmann *et al.* 2001).

Algunas especies como *Planothidium frequentissimum*, *P. rostratum*, *Achnanthydium minutissimum*, *Cocconeis placentula* y *Staurosirella pinnata*, que son sensibles a la contaminación y altas concentraciones de nutrimentos (Sczepocka y Szulc, 2006; Ndiritu *et al.* 2006) fueron registradas en puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo y Pedregal. *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia palea* que fueron registradas en zonas donde hay escorrentías de zonas de cultivo (San Jerónimo Ixtapatongo; puente Temazcalcingo; el Capulín y Uruétaro) se han reportado en otros países (EUA, Japón, Polonia y Alemania) en ríos que están próximos a terrenos agrícolas cuyas escorrentías contienen alta concentración de fosfatos y nitratos (Lobo *et al.* 1995; Leland y Porter, 2000; Köster y Hübener, 2001; Sczepocka y Szulc, 2006; Zampella *et al.* 2007).

En el Pedregal, con mayor velocidad de corriente que otros sitios, se hallaron numerosas valvas de gran talla pertenecientes a *Cocconeis placentula var euglypta*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Achnanthydium minutissimum* y *Planothidium frequentissimum*, especies que han sido reportadas para aguas oligotróficas a mesotróficas en otras regiones del mundo (Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a, b; 2004a, b; AlgaTerra, 2004; Díaz-Quiróz y Rivera-Rondón, 2004).

El referente de aguas oligotróficas y bien oxigenadas para el Alto Lerma fue la localidad Manantial del Pedregal, donde fueron dominantes algunas formas sésiles como *Eolimna tantula* y *Amphora copulata* (exclusivas de este manantial) o pedunculadas como *Rhoicosphenia abbreviata* (las dos primeras fueron exclusivas de este manantial). Estas tres especies han sido citadas para aguas no contaminadas (Cox, 1996). Otra especie característica en este sitio, aunque con menor representatividad fue *Terpsinoë música*, la cual ha sido reportada para manantiales del estado de Morelos y ambientes lóticos en la Huasteca Potosina, S. L. P. (Valadez-Cruz *et al.* 1996; Cantoral-Uriza, 1997).

En los ríos Laja y Querétaro, dominaron *Nitzschia capitellata* y *N. amphibia* en el primero y *Nitzschia capitellata* y *N. umbonata* en el segundo –todas ellas altamente adaptadas a ambientes muy perturbados por la actividad antrópica, pueden ser considerados como referentes de condiciones hipereutróficas. En particular, en Uruétaro en la época de estiaje 2005, se verificó un florecimiento de *N. umbonata* que alcanzó 84 % de abundancia relativa. Otras especies que también pueden mostrar tolerancia a contaminación y son de amplia distribución son *Nitzschia sublinearis*, *N. palea* y *Luticola goeppertiana*, (Salomoni *et al.* 2006), estuvieron presentes en este estudio aunque en bajas densidades.

*Eolimna subminuscula* y *Nitzschia capitellata*, predominaron en sitios muy contaminados durante todo el periodo de muestreo (con abundancias que alcanzaron hasta el 51% y 82%, respectivamente) son especies conocidas en todo el mundo como ampliamente tolerantes a la contaminación, particularmente a la de origen industrial (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a, b).

El marcado predominio de *Cocconeis placentula var. euglypta* (63 %) registrado en Chamácuaro durante el estiaje 2005 podría ser el resultado de la presencia de abundantes matas de algas filamentosas de las cuales estas diatomeas podrían haberse desprendido.

En el cambio de la abundancia y diversidad de diatomeas en la cuenca alta del río Lerma, se destacaron dos episodios de incrementos notables en la abundancia de unas pocas especies. El primer caso fue el de *Ulnaria gouldarii*. Su abundancia relativa en Chamácuaro pasó de menos del 1

% en postlluvias 2003 a 41 % durante el estiaje 2004. Esta especie es considerada como indicadora de aguas eutróficas en ríos (Krammer y Lange-Bertalot, 2007a, b). Si bien no disponemos de una medida directa del nivel trófico para esa fecha, es posible asumir que, como durante el estiaje 2004 disminuyó visiblemente el nivel del agua en ese sitio, la evapotranspiración produjo allí el aumento de la concentración de todos los solutos, incluyendo los nutrientes, favoreciendo concomitantemente el desarrollo de esta diatomea.

El segundo caso destacable fue el de *Stephanocyclus meneghiniana*, que reemplazó en la dominancia a *U. gouldii* en Chamácuaro y si bien no fue detectada en estiaje 2004, alcanzó una abundancia del 52 % -casi un florecimiento- en postlluvias del mismo año. Esta especie es considerada como euritópica y ampliamente tolerante a una gran variedad de condiciones ambientales (entre ellas, variaciones en el pH, en el contenido de nutrientes, en la disponibilidad de luz, en la conductividad, etc.) tanto en ríos como lagos y humedales permanentes o temporarios (Lowe, 1974; Krammer y Lange-Bertalot, 2007a, b). Los represamientos del río ubicados aguas arriba de este sitio acumularon más agua que lo habitual durante el estiaje 2004, lo que ocasionó que este tramo del río estuviera reducido a algunas pozas de escasa profundidad, sombreadas por el denso bosque en galería que puebla las márgenes. La consecuente falta de velocidad de corriente y la concentración de solutos pueden haber favorecido el auge de esta especie con respecto a otras que habitan normalmente el río.

Las especies que estuvieron presentes de manera permanente durante todo el periodo de estudio fueron *Navicula veneta*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia amphibia*, *N. capitellata*, *N. palea*, *N. umbonata*, *Sellaphora pupula*, *Gomphonema parvulum* y *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, las cuales se han caracterizado en la literatura como tolerantes a medios con alta concentración de electrolitos, en ríos eutróficos a hipereutróficos, fuertemente contaminados; aguas contaminadas por la industria; condiciones de  $\alpha$ -mesosapróbicas a polisaprobios, con alto contenido de nitrógeno (Germain, 1981; Lobo *et al.* 1995; Cox, 1996; Novelo, 1998; Cantoral-Uriza, 1997; Krammer y Lange-Bertalot, 2007a, b; 2004a, b; Lange-Bertalot, 2001; Martínez de Fabricius *et al.* 2003; AlgaTerra, 2004; Dere *et al.* 2006; Ndiritu *et al.* 2006; Novelo *et al.* 2007). Las características de esos ambientes también prevalecen en algunos de los sitios analizados en el Alto Lerma, algunos con alto grado de contaminación, amplio intervalo en la concentración de oxígeno disuelto, aguas ácidas a alcalinas y bajas a moderadas concentraciones iónicas.

El concepto de *continuum* (continuo fluvial) de un río (Vannote *et al.* 1980) establece que en la cabecera de un río las comunidades son más jóvenes, en términos ecológicos, (es decir existe menor diversidad de especies) que aguas abajo. El agua de los tramos altos de los ríos es de buena calidad;

apenas existen vertidos y su capacidad de autodepuración es alta por sus aguas rápidas y oxigenadas. Por el contrario, la calidad del agua en los tramos bajos presenta mayor cantidad de vertidos, tanto urbanos como industriales. La capacidad de autodepuración es menor debido a la lentitud y poca oxigenación de las aguas, así como al exceso de contaminantes (Bayley, 1991; Bunn y Arthington, 2002).

Potapova y Charles (2002) mostraron, en ríos de Estados Unidos, que la variación de las asociaciones de diatomeas bentónicas responden a distintos gradientes ecológicos: las cabeceras presentan alta velocidad de corriente, son oligotróficas, mientras que hay tendencia a la eutrofia hacia las partes bajas, donde el contenido mineral y el pH tienden a aumentar. Concluyen que el factor determinante para la distribución y abundancia de diatomeas es el gradiente altitudinal, que regula en parte la oxigenación de la región. En el caso del Lerma la cabecera no presentan velocidad de corriente alta como en los sistemas no alterados, esta velocidad responde a patrones geológicos que regulan esa variable y está supeditada a los patrones de uso del agua sobre todo en el medio Lerma, que presenta un déficit de riego.

Orográficamente el Alto Lerma tiende a encañonarse en Temazcalcingo y El Pedregal debido a sus altos morfológicos y fracturas en lavas basáltico andesíticas. En otros sectores como Ixtapatongo y San Lorenzo Tlacotepec también el flujo presenta alta energía en todos los periodos del año y se asocia a un régimen turbulento, por el inicio del escalonamiento de los sistemas de fallas de Acambay. Hacia el final del Alto Lerma en los sectores del Capulín y Uruétaro conforman patrones de sistemas meándricos con alto aporte de material terrígeno y un flujo laminar.

Es conveniente resaltar que la capacidad de autodepuración en el Alto Lerma está casi desaparecida, debido a que los vertidos urbanos o industriales sostenidos durante todo el año, inhiben la recuperación del sistema.

Así mismo, debido a la actividad antrópica que se desarrolla en el área no se puede decir que haya un referente prístino en el nacimiento del río Lerma, puesto que desde la cabecera del río, están establecidos tanto corredores industriales como grandes ciudades con sus respectivas actividades agrícolas y ganaderas que, en conjunto como ya se ha señalado, vierten sus aguas residuales al río.

## CONCLUSIONES

De las 117 especies de diatomeas identificadas en el Alto río Lerma, las especies cosmopolitas estuvieron altamente representadas (70 %), mientras que un porcentaje considerable

(24 %) fueron de afinidad tropical. La riqueza específica mostró una sensible disminución a lo largo del periodo de estudio. Esta disminución puede ser atribuida a múltiples factores, entre ellos la presión de las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenca. Es importante considerar el uso del agua al que está sometido este cuerpo de agua, ya que altera el flujo en el sistema, así como la composición, abundancia y distribución de las asociaciones de diatomeas estudiadas.

El río Lerma presentó condiciones ambientales que lo caracterizaron como un sistema altamente alterado, condiciones fuertemente eutróficas, contaminación proveniente tanto de la industria, como de las actividades agrícolas y de zonas urbanas que afectan la composición, abundancia y distribución de las asociaciones de diatomeas estudiadas. Las tres localidades referentes (Pedregal manantial, río La Laja y río Querétaro) mostraron ambientes extremos, condiciones oligotróficas para el primero y hipereutroficación para los dos últimos.

En el Alto río Lerma no se puede aplicar el concepto de *continuum* de un río, ya que no exhibió durante el periodo de estudio un gradiente temporal ni espacial de las condiciones ambientales según lo mencionado como fundamento del río como continuum. En la cabecera, que debería haber sido un medio oligotrófico, con rápidos, casi ausente de materia orgánica, con poca mineralización, ligeramente ácido y con presencia de pocas especies de diatomeas, el comportamiento fue totalmente opuesto: encontramos alto contenido de materia orgánica, aguas hipereutróficas con bajísima oxigenación, condiciones ácidas o alcalinas según los sitios, con mineralización media y numerosas especies de diatomeas probablemente provenientes, por deriva, desde el cercano lago Chignahuapan. Esta heterogeneidad en el comportamiento de las variables ambientales, en discrepancia con la teoría del *continuum*, puede ser consecuencia de la intensa actividad industrial, urbana y agrícola a que está sometido este río ya desde su origen.

En la parte media de la subcuenca persisten los sitios perturbados, se observan sitios más profundos, aumenta la oxigenación -debido a la mayor turbulencia- y la conductividad. Por último en la parte baja, los sitios son someros, disminuye la velocidad de la corriente -y por consiguiente la oxigenación- y el medio es desde ligeramente ácido a alcalino según los sitios.

El análisis de asociaciones de diatomeas demostró ser una herramienta muy útil para la evaluación de calidad del agua, pero deben considerarse su composición, abundancia y distribución.

## REFERENCIAS

ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería*. Vol. II: 203-213.



- ATHIÉ, M. 1987. Calidad y cantidad del agua en México. Fundación Universo Veintiuno. México. 192 p.
- BAFFICO, G. 2005. Factores que controlan el crecimiento de la comunidad perifítica en distintos ambientes acuáticos en Patagonia. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Comahue. 104 pp.
- BARBOUR, C. D. 1973. The systematics and evolution of the genus *Chirostoma* Swanson (Pisces: Atherinidae). *Tulane Studies in Zoology and Botany* 18 (3):97-141.
- BAYLEY, P. B. 1991. The flood pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems. *Regulated Rivers: Research and Management*. 6: 75-86.
- BIGGS, B. 1999. Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of the North American Benthological Society*. 19(1): 17-31.
- BOJORGE, M. y E. CANTORAL-URIZA. 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D. F. *Hidrobiológica* 17 (1): 11-22.
- BUNN, S. y A. ARTHINGTON. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*. 30 (4): 492-507.
- BURTON, T. 1997. ¿Se podrá salvar el mayor lago de México? Un esfuerzo internacional de rehabilitación viene en camino. *Ecodecisión*. Vol. 23.
- CALDERA-SOSA, A. 2007. Propuesta de rehabilitación del bosque ripario, en áreas de extracción de grava y arena en el río San Marcos, San Miguel de Allende, Guanajuato. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 102 pp.
- CANTORAL-URIZA, E. A. 1997. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- COMISIÓN ESTATAL DE AGUAS DE QUERÉTARO (CEAQ). 2000. Informe Preventivo de Impacto Ambiental. "Proyecto Planta de Tratamiento San Pedro Mártir". 37 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA). 2005. Delimitación de Acuíferos. Gerencia de Aguas Subterráneas. México.
- COTLER, H. 2006. Presas y bordos. Pp: 148. In: Cotler, A, H., M. Mazari y J. de Anda (Eds.) Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología*. 196 p.
- COX, E. 1996. Identification of freshwater diatoms from live material. Chapman y Hall. Oxford. 158 p.
- DÍAZ-PARDO, E; M. A. GODÍNEZ-RODRÍGUEZ; E. LÓPEZ-LÓPEZ y E. SOTO-GALERA. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. México. 39:103-127.
- DERE, S., N. DALKIRON, D. KARACAOĞLU, A. ELMACI, B. DÜLGER y E. SENTÜRK. 2006. Relationship among epipellic diatom taxa, bacterial abundances and water quality in a highly polluted stream catchment, Bursa-Turkey. *Environmental Monitoring and assessment*. 112: 1-22.
- DIARIO OFICIAL de la FEDERACIÓN (D.O.F). 2003. Acuerdo por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las 19 cuencas en la zona hidrológica denominada río Lerma-Chapala, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas que comprenden dicha zona hidrológica. Poder Ejecutivo-Secretaría de Recursos Naturales. 15 de octubre de 2003. 13 pp.
- DÍAZ-QUIRÓZ, C. y RIVERA-RONDÓN, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26 (2): 381 - 394.

- DÍAZ-PARDO, E; M. A. GODÍNEZ-RODRÍGUEZ; E. LÓPEZ-LÓPEZ y E. SOTO-GALERA. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. México. 39:103-127.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O. 2008a. Filogeografía de *Zoogoneticus quitzeoensis*, *Xenotoca variata* y *Allophorus robustus* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) en el Centro de México: implicaciones taxonómicas y de conservación. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 241 p.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O., C. PEDRAZA-LARA, C. GURROLA-SÁNCHEZ, N. PÉREZ-RODRÍGUEZ, R. ALCARAZ, L. PEREA, S. ORNELAS, C. P., ISRADE-ALCÁNTARA, I. GARDUÑO-MONROY, V. H. DOADRIO, I. PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. AND BROOKS, D. R. 2008b. Historical biogeography of the Goodeidae (Cyprinodontiforms). In: Uribe-Mendizabal, M. C. & Grier, H. (Eds.). *Viviparous fishes II*. New Life Publications, Florida. En prensa.
- DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, O., L. BOTO, F. ALDA, G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN e I. DOADRIO. 2006. Human Impacts on Drainages of the Mesa Central, México and Its Genetic Effects on an Endangered Fish, *Zoogoneticus quitzeoensis*. *Conservation Biology*. 21: 168-180.
- EHRlich, A. 1995. Atlas of the inland-water diatom flora of Israel; Flora Palaestina. The Geological Survey of Israel. The Israel Academy of Sciences and Humanities. Israel. 166 pp.
- GERMAIN, H. 1981. Flore des Diatomées, Diatomophycées, eux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Soc. Nouv. des Édít. Boubée. 444 pp.
- GÓMEZ, N. y M. LICURSI. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*. 35: 173-181.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA, e INFORMÁTICA (INEGI). 1996. *Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000*. Aguascalientes, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA, e INFORMÁTICA (INEGI). 1983. *X Censo General de Población y Vivienda 1980*. Resumen. México.
- ISRADE-ALCÁNTARA, I., W.E. MILLER, V.H. GARDUÑO- MONROY, J. BARRON y M. A. RODRIGUEZ-PASCUA. 2010. Palaeoenvironmental significance of Diatom and Vertebrate fossils from Late Cenozoic tectonic basins in west-central México: A review. *Quaternary International*. 219: 79-94.
- ISRADE-ALCÁNTARA. I., GARDUÑO-MONROY, V. H. y ORTEGA-MURILLO, M. R. 2002. Paleoambiente lacustre del cuaternario tardío en el centro del lago de Cuitzeo. *Hidrobiológicas*. Vol. 12: 61-78.
- ISRADE-ALCÁNTARA, I. 1999. Lagos tectónicos y volcánicos de Michoacán. Pp: 46-74. In: Corona Chávez P. e I. Israde-Alcántara (Eds.). *Carta geológica del estado de Michoacán*. Escala 1:250,000. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas; Departamento de Geología y Mineralogía. Secretaría de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1997a. Bacillariophyceae 2/1. Teil : Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 876 p.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1997b. Bacillariophyceae 2/2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 437 p.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 2004a. Bacillariophyceae. 2/3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 598 p.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 2004b. Bacillariophyceae. 2/4. Teil : Achnanthes s. l., Navicula s. str., Gomphonema. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D

- Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 468 p.
- KÖSTER, D y T. HÜBENER. 2001. Application of Diatom Indices in a Planted Ditch Constructed for Tertiary Sewage Treatment in Schwaan, Germany. *International Review of Hydrobiology*. 86(2): 241-252.
- LANGE-BERTALOT, H. 2001. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. *Navicula sensu stricto; 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Vol. 2. Gantner Verlag. K. G. 526 pp.
- LELAND, H. V. y PORTER, S. D. 2000. Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology*. 44: 279-301.
- LOBO, E. A., KATOH, K. y ARUGA, Y. 1995. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology*. 34: 191-204.
- LÓPEZ-MORA, G. 2007. Modelo de humedales en zona perturbada del río San Marcos, Microcuenca Cruz del Palmar. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. 94 pp.
- LOWE, R. 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. National Environmental Research Center Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio. 333 pp.
- MADEREY, R. L. y G. CORREA. 1974. Hidrografía e Hidrología. Pp: 207-244. In: Correa, G (director). Geografía del Estado de Michoacán. Tomo I. Geografía Física. Gobierno del Estado. Morelia, Michoacán.
- MANN, D. G. 1999. The species concept in diatoms. *Phycologia* 38(2):437-495.
- MARTÍNEZ de FABRICIUS, A., N. MAIDANA, N. GÓMEZ y S. SABATER. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*. 12: 2443-2454.
- McCABE, S. K. y CYR, H. 2006. Environmental variability influences the structure of Benthic algal communities in an oligotrophic lake. *Oikos*. 115(2):197-206.
- MEDINA-NAVA, M. 2003. Utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB) para determinar áreas de conservación de peces en la cuenca Lerma-Chapala en Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 86 pp.
- MESTRE-RODRÍGUEZ, J. E. 1997. Integrated approach to river basin management: Lerma- Chapala, Case study - Attribution and Experiences in Water Management in México. *Water International*. 22: 140-152.
- MONCAYO-ESTRADA, R, ISRADE-ALCÁNTARA, I y GARDUÑO-M. V. H. 2001. La cherehuita *Hubbsina turneri* De Buen (1941) (Pisces: Goodeidae). Origen, distribución y su uso en la regionalización de la Cuenca del Río Lerma. *Hidrobiológica*. 11(1): 1-18.
- NDIRITU, G. G., N. N. GICHUKI y L. TRIEST. 2006. Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation*. 15: 3267-3293.
- NOVELO, E., R. TAVERA y C. IBARRA. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin. Stuttgart. 136 p.
- NOVELO-MALDONADO, E. 1998. Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 599 p.
- OROZCO, H. E. y M. T. SÁNCHEZ. 2004. Organización socioeconómica y territorial en la región del Alto Lerma, Estado de México. *Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 53: 163-184.
- PASQUARÉ, G., L. FERRARI, GARDUÑO-MONROY, V. H., A. TIBALDI y VEZZOLI. 1991. Geology of the Central Sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato a Michoacán. *Geology Society of America. Map and Chart series*. MCH 072. 22 pp.

- POTAPOVA, M. y D. F. CHARLES. 2002. Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of Biogeography*. 29: 167-187.
- PRIEGO, A., H. MORALES, A. FREGOSO, R. MÁRQUEZ y H. COTLER. 2004. Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología.
- RAMÍREZ, V. M., Y. BELTRÁN, M. BOJORGE, J. CARMONA, E. A. CANTORAL-URIZA y F. VALADEZ. 2001. Flora Algal del río La Magdalena, Distrito Federal. México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 68: 45-67.
- RAMÍREZ, V. M y E. CANTORAL. 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(2): 143-194.
- SABBE, K., E. VERLEYEN, D.A. HODGSON, K. VANHOUTTE y W. VYVERMAN. 2003. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica. *Antarct Sci* 15:227-248.
- SALOMONI, S. E., O. ROCHA, V. L. CALLEGARO y E. A. LOBO. 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*. 559: 233-246.
- SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN y PRESUPUESTO (SPP). 1985. Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán.
- SEDEÑO-DÍAZ y E. LÓPEZ-LÓPEZ. 2007. Water quality in the Río Lerma, Mexico: An overview of the last quarter of the twentieth Century. *Water Resource Management*. 21: 1797-1812.
- SEELIGMANN, C., B. TRACANNA, S. MARTÍNEZ y S. ISASMENDI. 2001. Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. *Limnética* 20 (1): 123 - 133.
- SILVA-BENAVIDES, A. M. 1996. The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America. *Diatom Research*. 11 (1): 105-142.
- SOININEN, J., R. PAAVOLA y T. MUOKTA. 2004. Benthic diatom communities in boreal streams: community structure in relation to environmental and spatial gradients. *Ecography*. 27:330-342.
- SPAULDING, S. A., J. P. KOCIOLEK, D. Wong D. 1999. A taxonomic and systematic revision of the genus *Muelleria* (Bacillariophyta). *Phycologia* 38:314-341.
- SZCZEPOCKA, E. y B. SZULC. 2006. Benthic diatoms in the central section of the Pilica river and Sulejów reservoir. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*. XXXV (2): 171-178.
- Ter BRAAK, C. J. F. 1995. CANOCO-a Fortran program for canonical community ordination by partial, detrended, canonical correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 4.5) Agricultural Mathematics Group, Wageningen. The Netherlands.
- TILMAN, D. 1981. Test of resource competition theory using four species of Lake Michigan algae. *Ecology*, 6(3): 802-815.
- VALADEZ-CRUZ, F., CARMONA-JIMÉNEZ, J. y CANTORAL-URIZA. E., 1996. Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Ser. Bot.*, 67 (2): 227-282.
- VAN de VIJVER B. y G. MATALONI G. 2008. Revision of the genus *Luticola* D. G. Mann (Bacillariophyta) from Antarctic Deception Island (South Shetland Islands). *Phycologia*. 47:451-567.
- VAN de VIJVER B., L. BEYENS y H. LANGE-BERTALOT. 2004. The genus *Stauroneis* in the Arctic and (Sub) Antarctic Regions. *Biblioteca Diatomologica*. 51:1-311.

VANNOTE, R. L., G. W. MINSHALL, K. W. CUMMINS, J.R. SEDELL y E. GUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Sci. 37: 130-137.

VANORMELINGEN, P., E. VERLEYEN y W. VYVERMAN. 2008. The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity Conservation*. 17:393-405.

WAITZ, P. 1943. Reseña geológica de la cuenca del Lerma. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística*. Tomo 58. Pp: 123-138.

ZAMPELLA, R. A., K. J. LAIDIG y R. L. LOWE. 2007. Distribution of diatoms in relation to land use and pH in blackwater coastal plain streams. *Environmental Management*. 39: 369-384.

ZARCO-ARISTA, A y M. MAZARI-HIRIART, 2006. Usos consuntivos de agua superficial y subterránea. Pp: 81-82. In: Cotler, A, H., M. Mazari y J. de Anda (Eds.) Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología*. 196 p.

## CAPÍTULO 2

### DIATOMEAS: “CARACTERES GENERALES, TAXONOMÍA Y ECOLOGÍA”

#### INTRODUCCIÓN

##### Concepto de especie en diatomeas

El concepto de especie biológica continúa en pleno debate, tanto que en la actualidad no existe un criterio universal mediante el cual las especies puedan determinarse o identificarse, por lo tanto se aborda bajo diferentes enfoques según el contexto de la investigación que se esté realizando (Reydon, 2003).

Dobzhansky (1937) y Mayr (1942) definieron una especie como un conjunto de organismos cuyas poblaciones naturales se cruzan entre sí, dejando descendencia viable y fértil, encontrándose aisladas reproductivamente de poblaciones pertenecientes a otros conjuntos de organismos. Esta definición “biológica” inicial implica algunas limitantes, ya que no incluye poblaciones sin reproducción sexual; asimismo, carece de una dimensión temporal, ya que sólo se refiere a un tiempo geológico concreto, por lo que excluye otras etapas del desarrollo de la descendencia y se dificulta para aplicarlo a poblaciones alopátricas (Balakrishnan, 2005).

Existen varias propuestas para establecer un concepto de especie unificado que cambie el enfoque del criterio tradicional, lo que implica utilizar otros elementos inherentes al grupo de organismos en cuestión, tales como morfología, comportamiento, ecología, alozimas o cromosomas (Wiens, 2007; de Queiroz, 2007).

La taxonomía de las diatomeas carece de una base conceptual práctica que dificulta tomar en consideración los aspectos de su biología. La morfología de estas algas se emplea usualmente como única herramienta para definir o distinguir especies distintas. Sin embargo, la diversidad morfológica puede ser consecuencia de una diferenciación fisiológica, como resultado del tipo particular de la división celular y de sus ciclos de vida (Mann, 1999). Es erróneo aseverar que toda variación morfológica tenga un origen genético, así como afirmar que la similitud morfológica de los taxones les permita compartir requerimientos ecológicos semejantes (Cox, 1994). El inconveniente del sistema de clasificación más comúnmente utilizado (Simonsen, 1979 y Round *et al.* 1990), es que no es filogenético y no proporciona ninguna información acerca de la evolución de los organismos, por lo que no se puede asegurar que los grupos registrados como nuevos desciendan de un ancestro común.

Dado que las especies en diatomeas están definidas fenéticamente, y no hay diferencias entre su definición ni en las definiciones de género, familia o cualquier otro nivel taxonómico; también se tiene el problema de la delimitación entre los morfotipos que se incluyen en una especie y los límites con especies cercanas (Round *et al.* 1990). Para circunscribir algún rango taxonómico, se deben buscar las discontinuidades entre el patrón de variación morfológico y morfométrico, sin embargo, se requiere especificar los criterios de separación para un nivel taxonómico en particular (Round *et al.* 1990).

Es poco probable que el debate filosófico sobre la validación teórica de los diferentes conceptos de especie se resuelva en poco tiempo. La concordancia entre la frontera de especies implica filogenia molecular *versus* métodos de taxonomía clásica basados en caracteres morfológicos y de comportamiento (Balakrishnan, 2005). Por otro lado, la tendencia actual, aplicable también a las diatomeas, es aplicar criterios multiproxy, que impliquen estudios no sólo morfológicos, sino moleculares, ecológicos, etc., que permitan dilucidar problemáticas incluso de cripticidad en las denominaciones específicas de algunas diatomeas (Kooistra *et al.* 2008).

### **Las diatomeas en México**

En forma similar a lo que menciona Balakrishnan (2005), la identificación de especies en México es aún difícil, sobre todo en zonas tropicales por varias razones: no se tiene el conocimiento completo de cuáles especies habitan en el país, mucho menos de su autoecología; hay una inadecuada disponibilidad de claves taxonómicas basadas en descripciones previas para el área y la carencia de colecciones de referencia de la biota local. Abundando en lo anterior, el estudio de las algas continentales en México se encuentra aún en desarrollo y todavía es escaso el conocimiento de la flora de diatomeas en el país. Ejemplos de estudios recientes son los realizados por Vázquez *et al.* (2001) en ríos y lagunas del volcán San Martín de la reserva de la biósfera Los Tuxtlas, Ver., mediante el cual se obtuvieron listados taxonómicos de las comunidades, y por Novelo *et al.* (2007) en humedales kársticos de agua dulce en la Reserva Ecológica El Edén, Yuc., donde se describieron algunas especies de distribución tropical y otras nuevas para la Península de Yucatán.

En cuanto a sistemas lóticos se refiere, las zonas más estudiadas son la cuenca baja del río Pánuco (Cantoral, 1993, 1997; Carmona, 1990); el río Balsas en la subcuenca del río Amacuzac (Valadez *et al.* 1996); la cuenca alta del Papaloapan (Tavera *et al.* 1994) y el surponiente del Valle de México (Ramírez *et al.* 2001; Ramírez y Cantoral-Uriza, 2003; Bojorge y Cantoral, 2007).

### **Diatomeas del Alto Lerma**

El inicio del estudio de diatomeas actuales del río Lerma es muy reciente. De las

investigaciones realizadas en el área, los antecedentes disponibles son los trabajos de Oliva-Martínez *et al.* (2005) y Valadez-Cruz *et al.* (2005). En el primero, referido a los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México, se llevó a cabo la caracterización taxonómica y ambiental de las diatomeas y se reportaron 45 especies. El segundo es una reconstrucción paleolimnológica del lago de Chignahuapan, Estado de México en la cabecera del río Lerma, en el que se determinaron 44 especies de diatomeas. La escasez de trabajos en la zona de estudio hace evidente la necesidad de incentivar el desarrollo de una línea de investigación en diatomeas para contar con un mayor conocimiento de los aspectos biológicos y las dinámicas poblacionales de estas algas potencialmente indicadoras.

En este trabajo nos hemos enfocado al análisis taxonómico de las diatomeas epilíticas de la subcuenca del Alto Lerma, por lo que se elaboró un inventario de las especies con sus respectivas descripciones morfológicas, datos ambientales y distribución geográfica.

## MÉTODO

### Muestreo de diatomeas

Se recolectaron muestras de diatomeas epilíticas con el fin de analizar las comunidades permanentes del río. Para ello se empleó el método de Iserentant *et al.* (1999) modificado por Israde *et al.* (2002), mediante el cual se cepillaron (con cepillos de dientes desechables) 10 cm<sup>2</sup> en aquellas rocas sumergidas sometidas a incidencia de luz y flujo de agua constantes. Las muestras se obtuvieron por triplicado en cada localidad, se almacenaron individualmente en frascos de plástico y se preservaron *in situ* en formol al 4%.

### Tratamiento de las muestras

Una vez en el laboratorio, cada muestra se colocó en un vaso de precipitados de 250 ml. Los carbonatos se eliminaron con ácido clorhídrico al 30% y las muestras se calentaron en una parrilla a 100° C hasta lograr la digestión completa. Para oxidar la materia orgánica en su totalidad, se añadieron 150 ml de peróxido de hidrógeno al 30% hasta completar la digestión. Se calentó hasta evaporar el líquido resultante y se lavó con agua destilada hasta la neutralización. En los casos en que la materia orgánica permaneció aún adherida a los frústulos se agregaron 20 mg de permanganato de potasio y se enjuagó con agua destilada hasta su neutralización (Israde *et al.* 2002).

Después de este tratamiento, se colocaron 0.2 ml de la suspensión de diatomeas en un porta-objetos que se dejó deshidratar en un desecador. En aquellas muestras que quedaron muy concentradas, se procedió a realizar diluciones entre 25 y 50 % con el propósito de que el material



estuviera distribuido en una densidad máxima de 8 valvas de las especies representativas por campo del microscopio. Las muestras ya procesadas, aquellas sin tratamiento y las laminillas permanentes montadas en Naphrax® (R. I. = 1.74) han sido depositadas en la Colección de Diatomeas de Ciencias de la Tierra de la UMSNH (CDCT-UMSNH) que se encuentra en formación.

### Identificación e inventario

Para la identificación taxonómica se midió un mínimo de 20 ejemplares de cada taxón por localidad y época. Se consideró la longitud de los ejes apical y transapical y la densidad de estrías en 10 µm, además de considerar las características de las áreas axial y central, el tipo de valva y de rafe. Se estimaron los valores mínimo y máximo, la media y la desviación estándar para cada carácter morfométrico.

El número mínimo de individuos a medir se determinó mediante el modelo (Southwood, 1978):

$$n = \left( \frac{S}{EX} \right)^2, \text{ donde:}$$

S = desviación estándar, X= media y E = error estándar predeterminado (0.05).

Las diatomeas se observaron con un microscopio óptico Polivar Reichert-Jung-Polivar o con un Olympus Bimax 50 y se obtuvieron microfotografías con cámaras fotográficas digitales (Sony Cibershot y Olympus DP12, respectivamente). Se elaboró una ficha taxonómica para cada especie, la que incluye figuras, datos morfológicos, morfométricos, ecológicos, distribución y referencias bibliográficas. Las características ecológicas de los taxones están referidas a los valores resumidos en el cuadro 6. En el caso de aquellos taxones de difícil identificación, se observaron ejemplares al microscopio electrónico de barrido en el Museo Argentino de Ciencias Naturales (Phillips XL 30) y en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Michoacán, México (JEOL JSM 6400). Para ello se desecó una alícuota de las muestras analizadas en un soporte específico para cada aparato y se recubrió con una fina capa de oro u oro/paladio.

Se siguió, en general, el esquema de clasificación de Round *et al.* (1990) y, para la determinación taxonómica y las afinidades ambientales, se siguieron las obras de Germain, 1981; Ortega, 1984; Gasse, 1986, 1980; Ehrlich, 1995; Cox, 1996; Patrick y Reimer, 1966; Cantoral, 1997; Krammer, 1997; Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998; Novelo-Maldonado, 1998; 2002; Rumrich *et al.* 2000; Lange-Bertalot, 2001; Metzeltin y García-Rodríguez, 2003; Werum y Lange-Bertalot, 2004; Díaz y Maidana, 2005; Metzeltin *et al.* 2005; Oliva-Martínez *et al.* 2005; Krammer y Lange-Bertalot, 2007a, b, 2004a, b; Novelo *et al.* 2007; Van Dam *et al.* 1994.

Algunos de los ejemplares encontrados en el área se apartan de la descripción morfológica y morfométrica reportada en la literatura para el taxón infragenérico más afín o no coinciden con taxones conocidos, por lo que se encuentran en proceso de revisión taxonómica para determinar si se trata de nuevas especies o variaciones morfológicas de especies conocidas. Estos problemas taxonómicos se detectaron principalmente en tres géneros: *Gomphonema*, *Navicula* y *Pinnularia*.

## RESULTADOS

### Taxonomía de las diatomeas en el Alto Lerma

Se determinaron 117 especies diatomeas epilíticas en el Alto Lerma, incluyendo 12 variedades y formas (10 %), de las cuales, 44 especies (38 %) son nuevos registros para México y 38 (32 %) son nuevos para el Alto Lerma. Además, 110 taxones (63 %) son cosmopolitas o de amplia distribución (Cuadro 4). Estos taxones comprenden 3 familias, 5 géneros y 6 especies de la Clase Coscinodiscophyceae; una familia, 5 géneros y 7 especies de la Clase Fragilariophyceae y 19 familias, 36 géneros y 104 especies corresponden a la Clase Bacillariophyceae.

Los géneros representados con mayor número de especies fueron: *Nitzschia* con 18; *Navicula* con 16; *Gomphonema* con 11 y *Pinnularia* con 5. Los géneros con menor número de especies fueron: *Ulnaria*, *Stephanocyclus*, *Thalassiosira*, *Cyclostephanos*, *Frankophila*, *Staurosira*, *Staurosirella*, *Lemnicola*, *Gomphoneis*, *Amphipleura*, *Berkella*, *Cymbella*, *Diadesmis*, *Fallacia*, *Fistulifera*, *Mayamaea*, *Rhoicosphenia*, *Stauroneis* y *Hantzschia*.

Se verificó la presencia de 58 taxones infragenéricos (Cuadro 5) considerados como raros ya que se encontraron menos de 10 ejemplares de cada uno y por tanto no se obtuvo un registro completo de su morfometría.

### Descripción de las especies

Se muestran para cada especie, las autoridades, los principales sinónimos, los datos morfométricos, la distribución en la zona de estudio, en México y en el resto del mundo, las afinidades ambientales de la literatura y las observadas en el presente estudio, así como los principales comentarios taxonómicos.

En el cuadro 3 se describen las afinidades ambientales de cada especie de acuerdo a De Wolf, 1984; Van Dam *et al.* 1994 y Cantoral, 1997.

**CLASE COSCINODISCOPHYCEAE****SUBCLASE THALASSIOSIROPHYCIDAE****ORDEN THALASSIOSIRALES** Glezer & Makarova 1986**FAMILIA THALASSIOSIRACEAE** Lebour 1930***Stephanocyclus meneghiniana*** (Kützing) Skabitschevsky (*Lámina I; Fig. 2, 3*)

Sin. *Cyclotella meneghiniana* Kützing 1844; *Surirella melosiroides* Meneghini 1844; *Cyclotella operculata*  $\beta$  *rectangula* Kützing 1849; *Cyclotella rectangula* Brébisson ex Rabenhorst 1853; *Cyclotella meneghiniana* var. *rectangulata* Grunow in Van Heurck 1882; *Cyclotella kuetzingiana* Thwaites 1848; *Cyclotella meneghiniana* var. *vogesiaca* Grunow in Van Heurck 1882; *C. meneghiniana* var. *binotata* Grunow in Van Heurck 1882; *Cyclotella meneghiniana* var. *plana* Fricke 1900 (in Schmidt et al., 1874-1956); *Cyclotella meneghiniana* fo. *plana* (Fricke) Hustedt 1928; *Cyclotella laevis* van Goor 1920; *Cyclotella meneghiniana* var. *laevis* (van Goor) Hustedt 1928.

Valvas circulares, hileras de areolas se extienden desde el centro de la valva, sin rafe, cadenas o racimos. Área central lisa que se delimita del área marginal, con estrías radiales gruesas. Diámetro: 5-19.5 (11 $\pm$ 4)  $\mu$ m; estrías: 8-14 (10 $\pm$ 1.1) en 10  $\mu$ m.

**Comentarios taxonómicos:** La especie se caracteriza por el número y disposición de las estrías y procesos reforzados marginales, así como por la región central lisa o con aspecto estriado, ondulada tangencialmente.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temascalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín y Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Michoacán (Hutchinson, Patrick y Deevey, 1956 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1990, 1993, Cantoral-Uriza y Montejano-Zurita, 1993 en Cantoral, 1997); Los Tuxtlas, Veracruz (Vázquez *et al.* 2001); Valle de México (Ramírez y Cantoral; 2003); Yucatán (Sánchez, 1985 en Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Argentina (Martínez de Fabricius y Corigliano, 1989; Maidana, 1985; Vinocur, O'Farrell e Izaguirre, 1994 en Cantoral, 1997); África oriental (Gasse, 1986); Brasil (Lobo y Torgan, 1988 en Cantoral, 1997); Cuba (Toledo, s.c.f. en Cantoral, 1997); España (Aboal y Llimona, 1984a, 1984b; Aboal, 1986, 1988, 1989b, 1989c); EUA (Whitford, 1956, 1958; Whitford y Schumacher, 1963; Whitford, 1964; Lowe, 1974; Gale, Gurzynski y Lowe, 1979; Cook y Whipple, 1982 en Cantoral, 1997); Europa central (Hustedt, 1930 en Cantoral, 1997); Krammer y Lange-Bertalot, 1991b); Europa occidental (Germain, 1981); Holanda (Dam, Mertens y Sinkeldam, 1994); Inglaterra (Colmes y Whitton, 1981); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Plánctónica, bentónica, epífita, metafítica, habita en la zona litoral de los ríos y en cenotes y savanas inundadas, halófila, alcalífila, alfa-mesosapróbica; aguas oligo a mesohalinas, tolera altas temperaturas; es indiferente al calcio (AlgaTerra, 2004; Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2004).

**En el presente estudio:** Encontrada en sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y con alta contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas ligeramente ácidas hasta alcalinas; en medios de bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Thalassiosira weissflogii*** (Grunow) Fryxell & Hasle (*Lámina I; Fig. 1*)

Sin. *Micropodiscus weissflogii* Grunow in van Heurck 1883; *Thalassiosira fluviatilis* Hustedt 1926.

Valvas de simetría radial, sin rafe. En la parte central se observa cóncavo o convexo, además de observar de 4-7 poros distribuidos de forma irregular. Areolas muy finas, radiadas. Diámetro: 7-21.5 (16.2 $\pm$ 8)  $\mu$ m; anillo marginal: 11-12.8 (12 $\pm$ 0.9)  $\mu$ m.

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie tiene como carácter distintivo un anillo incompleto de 5-12 procesos reforzados en la región central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo

Tlacotepec y puente Temazcalcingo; Guanajuato: El Capulín; Uruétaro.

**Distribución en México:** Puebla (Novelo, 1998).

**Distribución mundial:** Europa central (Krammer y Lange Bertalot, 1991a; Hasle y Syvertsen, 1997 en Cantoral, 1997); Europa Occidental (Germain, 1981); Francia (Fusey, 1951 en Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Epipélica en arroyos; habita ríos con influencia salobre, mesohalobia; en medios con pH de 7.9 (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo, 1998; Krammer y Lange Bertalot, 1991).

**En el presente estudio:** Se observó en medios con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altamente eutrofizados; aguas neutras a alcalinas; se establece con amplia tolerancia a diversas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### FAMILIA STEPHANODISCACEAE Gleser & Makarova 1986

***Cyclostephanos invisitatus*** (Hohn & Hellerman) Theriot *et al.* (Lámina I; Fig. 5)

Sin. *Stephanodiscus invisitatus* Hohn & Hellerman 1963; *Stephanodiscus hantzschii* var. *striator* Kalbe 1971; *Stephanodiscus incognitus* Kuzmin & Genkal 1978.

Valvas circulares, sin rafe; anillo marginal con estriaciones radiales. Diámetro: 6.4-7 (6.5±0.2) µm; anillo marginal: 10.2-13.1 (12±1.5) µm.

**Comentarios taxonómicos:** Se puede diferenciar de otras Centrales por su anillo marginal angosto y estrías cortas y prominentes; el área central es muy amplia.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004).

**Afinidades ambientales:** Planctónica (Krammer y Lange Bertalot, 2004).

**En el presente estudio:** En zonas de alta velocidad de corriente y con elevada concentración de oxígeno disuelto, tolerante a fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas neutras a alcalinas; en medios con elevado contenido iónico.

***Discostella pseudostelligera*** (Hustedt) Houk & Klee (Lámina I; Fig. 4)

Sin. *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt 1939.

Valvas circulares casi planas, estrías radiales delimitadas por una pequeña zona central, la cual se observa como una depresión con ornamentaciones. Diámetro: 5.6-7 (6.3±0.6) µm; estrías: 18-22(23) (20.8±2.2) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Se distingue por presentar las estrías más cortas intercaladas entre aquéllas que tienen longitud normal y por sus sobresalientes procesos reforzados marginales.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, Puente Temazcalcingo; estado de Guanajuato: Chamácuaro; Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalf, 1988 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997);

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1998).

**Afinidades ambientales:** Muy común, plantónica en aguas dulces, oligotrófica, indiferente al pH (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1998).

**En el presente estudio:** Localizada en áreas con muy baja concentración de oxígeno disuelto y en medios fuertemente eutrofizados; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y con de moderada a alta concentración iónica; zonas con velocidad de corriente.

#### SUBCLASE COSCINODISCOPHYCIDAE

#### ORDEN AULACOSEIRALES Crawford

#### FAMILIA AULACOSEIRACEAE Crawford

***Aulacoseira granulata* var. *angustissima*** (Ehrenberg) Simonsen (*Lámina I; Figs. 6, 7*)

Sin. *Gallionella granulata* Ehrenberg 1843; *Gallionella decussata* Ehrenberg 1843; *Orthosira punctata* W. Smith 1856; *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard (1861); *Melosira lineolata* Grunow in van Heurck 1881.

Valvas cilíndricas que forman filamentos rectos, curvos o espiralados. En el manto presentan 4-8 espinas marginales que permiten la unión entre las valvas. Se observa una areolación gruesa. Estrías ligeramente helicoidales. Altura del manto: 11.3-18 (14.6±1.9) µm; areolas: 11-14.4 (13.3±1.9) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** La especie es fácilmente reconocible por la presencia de 1-2 largas espinas en el margen valvar, que se insertan en una depresión equivalente en la valva contigua. La variedad *angustissima* se diferencia de la variedad nominal por su menor ancho valvar.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: Pedregal; Guanajuato: río la Laja.

**Distribución en México:** Ciudad de México, Michoacán, Oaxaca (Ortega, 1984); Estado de México (Caballero y Ortega, 1998 en Cantoral, 1997; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Guanajuato y Michoacán (Metcalf y O'hara, 1992 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1998 en Cantoral, 1997); Puebla (Novelo, 1988); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Argentina (Maidana, 1985); Israel (Ehrlich, 1995); Europa central (Krammer y Lange Bertalot, 1991).

**Afinidades ambientales:** Planctónica en lagos y ríos eutróficos, en cenotes y savanas inundadas; oligohalobia indiferente, alcalífila, oligo a mesosapróbica (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Novelo, 1998; Novelo *et al.* 2007; Ortega, 1984).

**En el presente estudio:** Se le localiza frecuentemente en muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, así como en medios con fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas desde ligeramente ácidas a alcalinas y en zonas que presentan moderada a alta concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Aulacoseira ambigua*** (Grunow) Simonsen (*Lámina I; Fig. 8*)

Sin. *Melosira crenulata* var. *ambigua* Grunow in Van Heurck 1882; *Melosira ambigua* (Grunow) O. Müller 1903.

Valvas cilíndricas, en vista cingular son rectangulares. En el manto se observan areolas ordenadas en espiral, las valvas en células adyacentes se unen por espinas cortas. Altura del manto: 14 (14.2±0.28) µm.

**Comentarios taxonómicos:** La característica más sobresaliente de la especie son las areolas grandes las cuales se distinguen claramente aún con microscopio óptico.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal manantial; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Michoacán, Oaxaca (Ortega, 1984).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1991).

**Afinidades ambientales:** Planctónica en lagos y ríos; oligosapróbica, alcalífila, aguas eutróficas, medios salobres (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Ortega, 1984).

**En el presente estudio:** Se le encontró en condiciones anóxicas y severa contaminación de origen industrial, agrícola y urbano; aguas neutras a alcalinas y con bajas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

**CLASE FLAGILARIOPHYCEAE****SUBCLASE FRAGILARIOPHYCIDAE****ORDEN FRAGILARIALES** Silva 1962**FAMILIA FRAGILARIACEAE** Greville 1833***Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*** (Kützing) Lange-Bertalot (*Lámina I; Figs. 17, 18*)

Sin. *Exilaria vaucheriae* Kützing 1833; *Staurosira intermedia* Grunow 1862; *Fragilaria intermedia* Grunow in Van Heurck 1881; *Synedra rumpens* var. *meneghiniana* Grunow in Van Heurck 1881; *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) Petersen 1938.

Valvas lanceoladas amplias, ápices capitados a subcapitados, sin rafe. El área central descansa hacia un costado y la axial es lanceolada. Las estrías de la parte central y del ápice son ligeramente paralelas. Las células se disponen en filamentos cortos o racimos. Longitud del eje apical: 12-30 (23.6±6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.7-5 (4.1±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.4-10 (6±2.1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.1-14 (13±1.5) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de la variedad nominal por poseer una dilatación unilateral en el área central y un área central hialina prominente hacia uno de los lados. Las poblaciones observadas en el Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo y puente Temazcalcingo, mostraron marcadas deformaciones en el margen de sus valvas (38.25% de un total de 400 individuos registrados). La especie se ha observado en ríos contaminados por Díaz-Quiróz y Rivera-Rondón (2004) y UHU (2006), aunque no refieren que manifieste deformaciones morfológicas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: El Pedregal; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003);

**Distribución mundial:** EUA (Patrick y Reimer, 1975); Europa occidental (Germain, 1981); Krammer y Lange-Bertalot, 1991a); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Se le ha encontrado en largas bandas formando parte del plancton en aguas de baja corriente, en macrófitas emergentes al borde de estanques; perifítica; metafítica en cenotes y savanas inundadas; oligohalobia indiferente, alcalífila, medios oligo a moderadamente mesotróficos; medios moderadamente ácidos a circum-neutrales de bajo contenido de electrolitos (AlgaTerra, 2004; Cox, 1996; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Novelo *et al.* 2004).

**En el presente estudio:** Se localizó en áreas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, y altamente contaminadas, aguas ligeramente ácidas a alcalinas; en medios de moderada a alta concentración iónica; en zonas con alta velocidad de corriente.

#### ***Staurosira* sp. (Lámina I; Fig. 16)**

Valvas de forma rectangular con extremos redondeados. Área axial linear, estrías paralelas. Longitud del eje apical: 11-26.2 (19±8)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5.1-6.5 (5.6±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.1-6.5 (4±2.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.3-18 (10±6.4) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las valvas se caracterizan por su variabilidad de morfotipos y en ocasiones dos o más ondulaciones.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca.

**Distribución en México:** Guanajuato, Hidalgo (Ortega, 1984)

**Distribución mundial:** Circumboreal (Krammer y Lange-Bertalot, 1998).

**Afinidades ambientales:** En sedimentos de ríos; en ambientes oligotróficos o distróficos (Krammer y Lange-Bertalot, 1998).

**En el presente estudio:** Hallada en sitios anóxicos y medios altamente contaminados; aguas ligeramente ácidas a neutras con concentraciones iónicas moderadas; en aguas estancadas.

#### ***Frankophila similoides* Lange-Bertalot & Rumrich (Lámina I, II; Figs. 9, 13, 58)**

Valvas elípticas. Estrías transapicales tan cortas que dejan un área muy amplia en el pseudorafe. Longitud del eje apical: 5-8.3 (7.1±1.1)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 2.5-4.7 (3.8±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 7-2.2 (2±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11-15 (13±2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Lo más conspicuo en esta especie es su área central amplia y las estrías muy cortas. El rafe reducido que presenta en cada extremo es muy difícil de observar con microscopio óptico. Suele confundirse con células pequeñas de *Pseudostarosira brevistriata*.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Endémica de Sudamérica (Chile) (Rumrich *et al.* 2000); Uruguay (Metzeltin y García Rodríguez, 2003).

**En el presente estudio:** Se localizó en áreas con buena oxigenación y contaminación proveniente de zonas agrícolas; aguas alcalinas y con moderadas conductividades.

***Staurosira construens* var. *venter*** (Ehrenberg) P. B. Hamilton (*Lámina I; Figs. 10, 15*)

Sin. *Fragilaria construens* f. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957; *Fragilaria venter* Ehrenberg 1854 (ob incl. aller Syntypen?) *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehrenberg) Grunow 1881 (?); *Fragilaria construens* var. *pumila* Grunow 1881.

Valvas ovales, elípticas, cruciformes o triangulares cuyos extremos están forma de pera, abultadas en su porción media. Carece de rafe y de área central; el área axial es amplia, lanceolada. Las estrías son paralelas. Células solitarias o formando filamentos rectos adheridos a un sustrato. Longitud del eje apical: 7.4-16.31 (11.1±4)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4-9 (6.1±2)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje transapical/longitud del eje apical: 1.6-2 (1.8±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.3-20 (16.3±3) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de la variedad nominal por la forma de las valvas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca y San Jerónimo Ixtapatongo; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Sugiura *et al.*, 1994 en Cantoral, 1997; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García 1997 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); Mesa Central (Metcalfe, 1988; Metclafe, *et tal.* 1991 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1988 en Cantoral, 1997); Puebla (Novelo, 1988); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1977); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Este de África (Schoeman, 1973; Gasse, 1986); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Europa central (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a); Europa occidental (Germain, 1981); Holanda (Dam, Mertens y Sinkeldam, 1994 en Cantoral, 1997); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Abundante en aguas estancadas, oxigenadas; planctónica en cenotes y en savanas inundadas; menos frecuente en aguas lóxicas, indiferente al calcio; perifítica, en ríos con baja velocidad de corriente; oligohalobia indiferente, alcalífila, oligosapróbica a alfa-mesosapróbica, en aguas eutróficas (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007; Valadez *et al.* 2005).

**En el presente estudio:** Se encontró en medios con amplio intervalo de oxígeno disuelto, así como fuerte contaminación; aguas alcalinas y altas, medios con moderada concentración iónica y gran cantidad de materia orgánica; en zonas con alta velocidad de corriente.

***Staurosirella pinnata*** (Ehrenberg) D. M. Williams & Round (*Lámina I; Fig. 14*)

Sin. *Fragilaria mutabilis* (W. Sm.) Grunow; *Fragilaria pinnata* Ehrenberg; *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* Ehrenberg; *Odontidium mutabile* W. Sm.; *Opephora pinnata* Ehrenb.; *Staurosira mutabilis* (W. Sm.) Grunow.

Valvas ampliamente elípticas a lanceoladas con extremos rostrados. Sin rafe, el área central no se distingue de la axial y la axial es muy angosta. Estrías radiales y gruesas. Células que forman filamentos cortos o racimos. Longitud del eje apical: 6-24 (13.3±4.8)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3-6 (4.7±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 1.3-4.8 (2.8±1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10-14 (11.4±1.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Son características distintivas el esternón angosto y las estrías muy gruesas con areolas alargadas en sentido apical, escasamente distinguibles con microscopio óptico.

**Distribución local (Alto Lerma):** En Estado de México: puente Lerma-Toluca y puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Hidalgo (Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a); Chile (Díaz y Maidana, 2005); Europa Occidental (Germain, 1981).

**Afinidades ambientales:** Entre musgos, planctónica en cenotes y savanas inundadas; en aguas con moderado a elevado contenido de electrolitos; se desarrolla en estanques sobre macrófitas emergentes y zonas de corriente (Cox, 1996; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007; Ortega, 1984; Valadez *et al.* 2005).

**En el presente estudio:** Se registró en sitios con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, así como en medios altamente eutrofizados; aguas alcalinas y elevada en concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Ulnaria goulardii*** (Brébison) Lange-Bertalot (*Lámina I; Figs. 21, 22*)

Sin. *Fragilaria goulardii* Brébison in Cleve & Grunow.

Valvas lineares con extremos rostrado-capitados. El área central es más grande, el área axial se observa muy angosta, sus estrías son muy finas. Longitud del eje apical: 32-146  $\mu\text{m}$  ( $87\pm 30.7$ ); longitud del eje transapical: 8.9-12.4 ( $10\pm 1.2$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.1-13.5 ( $8.6\pm 3$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9-15 ( $10.6\pm 1.5$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por poseer valvas fuertemente constrictas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo; Michoacán: Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro y Capulín.

**Distribución en México:** México Central (Metcalf, 1988 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Los Tuxtlas, Veracruz (Vázquez *et al.* 2001).

**Distribución mundial:** Argentina (Maidana, 1985); Costa Rica (Krammer y Lange-Bertalot, 1991); Etiopía (Gasse, 1980).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en cenotes y pozas (Cantoral, 1997; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Se le encontró en zonas con alto contenido de oxígeno disuelto; en aguas contaminadas por origen agrícola-industrial y aguas residuales; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y de media a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Ulnaria ulna*** (Nitzsch) Compère (*Lámina I; Fig. 23*)

Sin. *Fragilaria ulna* Nitzsch 1817: *Synedra ulna* Ehrenberg 1832.

Valvas lanceoladas fusiformes, ápices capitados, sin rafe. El área central presenta una fascia amplia rectangular y la axial es lineal con un esternón estrecho. Las estrías de la parte media y los extremos son paralelas. Longitud del eje apical: 40-181 ( $114.7\pm 54.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4-9 ( $6.8\pm 2.2$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 11-20.5 ( $16.1\pm 3.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8-17 ( $10.9\pm 3.3$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se distingue por la notoria longitud de sus frústulos que son rectos y por el área central generalmente más larga que ancha.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Centro de México (Kusel-Fetzmann, 1973; Metcalf, 1985, 1988); Coahuila, Puebla, Michoacán, Jalisco, Guanajuato, Oaxaca, Hidalgo (Ortega, 1984); Cuenca del Papaloapan, Veracruz; (Tavera, Elster y Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México (Bradbury, 1971 en Cantoral, 1997; Oliva-Martínez *et al.* 2005; Valadez *et al.* 2005); Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); Oaxaca (Figueroa, 1984; Tavera y González-González, 1990; Tavera *et al.* 1994 en Cantoral, 1997); Puebla (Avila, 1985, 1989); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1990, 1993, 1997); Los Tuxtlas, Veracruz (Vázquez *et al.* 2001); Valle de México (Flores-Granados, 1980; Ramírez *et al.* 2001; Ramírez y Cantoral, 2003); Yucatán (Sánchez, 1985 en Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Alemania (Skuja, 1949; Britton, 1994; Bock, 1961 en Cantoral, 1997); Argentina (Maidana, 1985; Martínez de Fabricius *et al.* 1988; Martínez de Fabricius y Corigliano, 1989; Vinocur, O'Farrell e Izaguirre, 1994 en Cantoral, 1997); Austria (Rott y Pfister, 1988 en Cantoral, 1997); Brasil (Lobo y Torgan, 1988; Contin y de Oliveira, 1993 en Cantoral, 1997); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a); España (Aboal y Llimona, 1984b; Aboal, 1988, 1989b; Casco y Toja, 1991 en Cantoral, 1997); Este de África (Gasse, 1986); EUA (Whitford, 1956, 1958; Wilson y Forest, 1957; Phillips, 1958; Whitford y Schumacher, 1963 en Cantoral, 1997; Patrick y Reimer, 1966; Whitford y Kim, 1971; Czamecki, 1979 en Cantoral, 1997); Europa occidental (Hustedt, 1930; Germain, 1981); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997 en Cantoral, 1997); Inglaterra (Holmes y Whitton, 1981 en Cantoral, 1997); Israel (Ehrlich, 1995); Norteamérica (Sheath y Cole, 1992



en Cantoral, 1997); Perú (Acleto, 1966 en Cantoral, 1997); Polonia (Sieminska, 1964 en Cantoral, 1997); Rusia (Gollerbach y Krasavina, 1977 en Cantoral, 1997).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución en agua dulce, planctónica y perifítica en cenotes, también entre macrófitas emergentes; oligohalobia indiferente, alcalífila, oligosapróbica a  $\beta$  sapróbica, en aguas eutróficas; indiferente al calcio, en zona de corriente. No es buen indicador ecológico (AlgaTerra, 2004; Cantoral, 1997; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Novelo *et al.* 2007; Ortega, 1984).

**En el presente estudio:** Observada en medios con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, y severa contaminación; aguas neutras a alcalinas y elevado contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

**CLASE BACILLARIOPHYCEAE**  
**SUBCLASE EUNOTIOPHYCIDAE**  
**ORDEN EUNOTIALES** Silva 1962  
**FAMILIA EUNOTIACEAE** Kützing 1844

***Eunotia bilunaris*** (Ehrenberg) Mills (*Lámina I; Figs. 24, 25*)

Valvas arqueadas muy alargadas, con sus extremos levemente rostrados, sub-capitados; numerosas estrías paralelas y con rafe en ambas valvas. Longitud eje apical: 26-52  $\mu\text{m}$  ( $45.7 \pm 9.5$ ); longitud del eje transapical: 1-4 ( $3.2 \pm 1.3$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 12-26 ( $15.9 \pm 5.9$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12-29 ( $17 \pm 7$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Lo particular de *E. bilunaris* son los extremos casi agudos y la posición casi apical de los nódulos polares.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; en estado de Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a); Uruguay (Metzeltin y García Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Epifíticas sobre algas filamentosas en aguas estancadas ácidas y corrientes de bajo contenido de electrolitos (Cox, 1996).

**En el presente estudio:** Registrada en sitios con bajas concentraciones de oxígeno, así como fuerte contaminación; aguas desde ácidas hasta alcalinas y con moderado a elevado contenido iónico; en aguas con velocidad de corriente.

***Eunotia diodon*** Ehrenberg (*Lámina I; Fig. 19*)

Sin. *Eunotia robusta* var. *diodon* Ralfs in Pritchard 1861; (?) *Eunotia minutula* Grunow 1862; *Eunotia islandica* oestrus 1918; *Eunotia bidentula* W. Smith sensu Hustedt pro parte.

Valvas arqueadas; de extremos anchamente redondeados. El margen ventral es liso y ligeramente cóncavo; el margen dorsal presenta dos protuberancias muy notorias; el margen ventral es liso; presenta estrías paralelas. Longitud del eje apical: 14-22 ( $17.9 \pm 6$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5-6 ( $5.6 \pm 1.1$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.8-3.5 ( $3.1 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12-13 ( $12.6 \pm 1.2$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las características distintivas de la especie, son las ondulaciones dorsales y los extremos con los nódulos polares.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a); Europa occidental (Germain, 1981).

**Afinidades ambientales:** En medios con aguas ácidas, alto contenido de electrolitos (Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 2004).

**En el presente estudio:** En zonas con muy bajas concentraciones de oxígeno y severa contaminación; aguas ligeramente ácidas hasta alcalinas; medios con elevado contenido iónico y gran cantidad de materia orgánica; se encontró sólo en remansos.

***Eunotia intermedia*** (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot (*Lámina I; Fig. 20*)

Sin. *Eunotia pectinalis* var. *minor* f. *intermedia* Krasske ex Hustedt 1932; *Eunotia faba* var. *intermedia* Cleve-Euler 1953; *Eunotia vanheurckii* var. *intermedia* Patrick 1958.

Valvas arqueadas, extremos anchamente redondeados, márgenes dorsal y ventral lisos. Estrías paralelas muy separadas. Longitud del eje apical: 11-20 ( $15.3 \pm 6.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3-3.5 ( $3.2 \pm 0.3$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3-6.6 ( $4.8 \pm 2.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16-20 ( $18 \pm 2.7$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de *E. bilunaris*, porque sus valvas son más cortas y más anchas y por presentar dos engrosamientos en el lado interno del margen ventral.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Solo en el hemisferio Norte: Los Pirineos, Los Alpes (Krammer y Lange-Bertalot, 2004a).

**Afinidades ambientales:** En medios oligotróficos; bajo contenido de electrolitos (Krammer y Lange-Bertalot, 2004).

**En el presente estudio:** Registrada en medios con muy bajas concentraciones de oxígeno y fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas ligeramente ácidas hasta alcalinas y medios con elevado contenido iónico y gran cantidad de materia orgánica; en aguas lénticas.

**SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE****ORDEN CYMBELLALES** D. G. Mann**FAMILIA RHOICOSPHENIACEAE** Chen & Zhu 1983***Rhoicosphenia abbreviata*** (C. Agardh) Lange-Bertalot (*Lámina I; Figs. 26, 27*)

Sin. *Gomphonema abbreviatum* C. Agardh 1831 non sensu Kützing 1844 nec. al.; *Gomphonema curvatum* Kützing 1833; *Rhoicosphenia curvata* (Kützing) Grunow ex Rabenhorst 1864.

Valvas linear-lanceoladas a clavadas con extremos redondeados. Rafe reducido, el brazo superior del rafe más largo que el inferior. Área axial ligeramente angosta, sin área central evidente. Estrías ligeramente radiales en el centro y paralelas en los extremos. Longitud del eje apical: (8.5) 11.8-57.2 ( $27.7 \pm 11.8$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (2.1) 3.4-8.9 ( $4.5 \pm 1.5$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.6-8.1 ( $6.2 \pm 1.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: (10) 9.9-21.8 ( $12.1 \pm 3$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La especie se distingue por sus rasgos morfométricos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Chile (Rumrich *et al.* 2000); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1986); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, metafítica y planctónica en cenotes, pozas y savanas inundadas; oligohalobia indiferente, alcalífila, condiciones óptimas de oxígeno, aguas eutróficas y ricas en electrolitos a salobres; tolerante a condiciones  $\beta$ - $\alpha$ - mesosapróbica; indiferente a la reofilia (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Se encontró en medios con muy baja oxigenación y severa concentración de materia orgánica, contaminación urbana, agrícola e industrial; aguas ácidas a alcalinas desde baja a moderada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

**FAMILIA CYMBELLACEAE** Greville 1833***Cymbella mexicana*** (Ehrenberg) Cleve (*Lámina II; Fig. 42*)

Sin. *Cocconema mexicanum* Ehrenberg; *Cymbella kamtschatica* Grunow.

Valvas dorsiventrales, con el margen dorsal fuertemente arqueado, el ventral, recto o ligeramente cóncavo, extremos ampliamente redondeados. Área axial angosta o moderadamente amplia, y la central es pequeña, orbicular, romboidal o irregular. Rafe reverso-lateral. Estrías radiales en toda la

valva, fuertemente punteadas. Longitud del eje apical: 37-90.7 ( $58.6 \pm 28$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8-19.5 ( $13 \pm 6$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.4-4.6 ( $4.5 \pm 0.1$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 7-8 ( $7.5 \pm 0.5$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Los caracteres sobresalientes son el estigma, cuyo canal penetra en el nódulo central y el tamaño y forma de las areolas que constituyen las estrías.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, puente Temazcalcingo; en estado de Michoacán: el Pedregal Manantial.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradburry, 1971 en Cantoral 1997); Guanajuato, Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalfe, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992 en Ramírez, 2002); Puebla (Cuesta, 1993 Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1990, 1993; Carmona, 1993); Tlaxcala (Quintana, 1961 en Ramírez, 2002); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** EUA (Whitford, 1956; Patrick y Reimer, 1975); Norteamérica (Sheat y Cole, 1992); zona tropical (Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Epipélica en ríos, epifítica, perifítica y metafítica en cenotes, pozas y savanas inundadas; epilítica, alcalífila, oligohalobia (Cantoral, 1997; Novelo *et al.* 2007; Ortega, 1984; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, severa contaminación orgánica, industrial y agrícola; aguas neutras a alcalinas y conductividades moderadas a altas; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### ***Encyonema neogracile* Krammer (Lámina I; Fig. 37)**

Sin. (?) *Cocconema gracile?* Ehrenberg 1843; (?) *Cymbella gracilis* Kützing 1844; (?) *Encyonema gracile* Rabenhorst 1853; *Encyonema gracile* var. Grunow in Van Heurck 1880; *Encyonema gracile* f. *minor* Grunow in Van Heurck 1880.

Valvas cimbeloides; margen dorsal convexo y el ventral ligeramente se ensancha en la parte central, los extremos son obtusos. El área axial es amplia y recta, no se distingue la central. Rafe en la parte ventral, con un estigmoide. Estrías centrales paralelas y ligeramente radiales en los extremos. Longitud del eje apical: 19.5-30.8 ( $26.8 \pm 6.3$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.4-6.1 ( $5.6 \pm 1$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.4-5 ( $4.8 \pm 0.3$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 12-17.4 ( $14 \pm 3$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de otras especies similares por el contorno valvar y sus mayores dimensiones.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer, 1997).

**Afinidades ambientales:** Metafítica y perifítica en cenotes, pozas y en savanas inundadas; en aguas con elevado contenido de electrolitos (Krammer, 1997; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** se encontró en medios con bajo contenido de oxígeno disuelto, elevada contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas circumneutras con moderada a alta concentración iónica; en zona de corriente.

#### ***Encyonema neomesianum* Krammer (Lámina I; Fig. 34)**

Sin. *Cymbella turgida* sensu Cleve 1894, sensu Hustedt 1930; *Cymbella turgida* var. *pseudogracilis* Cholnoky 1958; *Cymbella mesiana* Cholnoky 1955 pro parte; *Cymbella minuta* var. *pseudogracilis* Reimer in Patrick & Reimer 1975.

Valvas con su margen dorsal suavemente curvo y el ventral es casi recto, salvo que en la parte media presenta una ligera curvatura; los extremos son redondeados. El área axial es muy angosta y la central es poco evidente. El rafe es ventral de posición lateral. Estrías centrales radiales y las de los extremos son paralelas. Longitud del eje apical: 30-42.3 ( $36.4 \pm 6$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 9-10.3 ( $9.4 \pm 0.8$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.6-4.6 ( $4 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías dorsales: 11-13 ( $12 \pm 0.9$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías ventrales: 12.5 en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La morfología de la valva es muy semejante a *E. jemtlandicum*, sin embargo, la especie en estudio es más grande y más ancha. Existe una fuerte discusión acerca del estatus taxonómico de esta especie, ya que Bradbury (1971) la reporta como *Cymbella turgida* (en Cantoral, 1977) y Krammer (1997) especifica que *sensu* Cholnoky es *mesiana*.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994); Estado de México (Kusel-Fetzmann, 1973 en Cantoral, 1997; Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); sedimentos lacustres del terciario en Texcoco (Bradbury, 1971).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

**Afinidades ambientales:** Metafítica y perifítica en cenotes, pozas y savanas inundadas; rara como plancton en cenotes y savanas inundadas; indiferente al pH, alcalífila, aguas de baja a mediana conductividad; poza y manantiales calientes alcalinos (Cantoral, 1997; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En sitios con bajas concentraciones de oxígeno disuelto; contaminación por materia orgánica y agrícola; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, moderada a alta concentración iónica; en zonas de corriente.

***Encyonema silesiacum*** (Bleisch) D. G. Mann (*Lámina I; Figs. 31, 36*)

Sin. *Cymbella silesiaca* Bleisch in Rabenhorst 1864; *Cymbella ventricosa* Kützing 1844 pro parte; *Cymbella minuta* var. *silesiaca* (Bleisch) Reimer 1975.

Valvas cimbelloides, margen dorsal fuertemente curvo y el ventral es recto, con extremos agudos. Área axial recta y angosta, el área central no está definida. Con un rafe ventral, lateral y un estigmoide cerca de la estría central. Estrías dorsales radiales. Longitud del eje apical: 17.3-38.4 (26.1±6) µm; longitud del eje transapical: 6-9.1 (8±1) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.6-4.1 (3.3±0.4) µm; estrías dorsales: 8-13 (10±1.5) en 10 µm; estrías ventrales: 11-18 (13.8±2.1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia de *E. hybridiforme* en que su lado ventral es más cóncavo; de *E. neomuelleri* por sus alveolos menos robustos y el intermissio es tipo 1; de *E. persilesiacum* por ser más pequeña y más angosta; de *E. jemtlandicum* porque la relación L/A es menor (4.3) y de *E. vulgare* por ser de menor tamaño.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo; puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro y Uruétaro; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1990, 1993; Cantoral, 1993, 1997; Cantoral-Uriza y Montejano-Zurita, 1993); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Amplia tolerancia a cambios ambientales, epilítica, perifítica, en savanas inundadas, cenotes y pozas; oligohalobia indiferente, indiferente al pH, aguas de baja a media conductividad; en aguas estancadas oligo a eutróficas, tolerante a condiciones ligeramente α-mesosapróbicas. (Cox, 1996; Cantoral, 1997; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Encontrada en sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, contaminación de origen industrial, orgánico, agrícola y alfarería; aguas ligeramente ácidas a neutras; medios de bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Placoneis porifera*** (Hustedt) T. Ohtsuka & Y. Fujita (*Lámina I; Figs. 28, 29*)

Sin. *Navicula porifera* Hustedt 1944.

Valvas muy amplias rómbico-elípticas con extremos rostrado-redondeados. Rafe filiforme. Área axial muy angosta; área central redonda. Estrías radiales, las centrales se alternan largas y cortas. Longitud del eje apical: 14-22.3 (18±3) µm; longitud del eje transapical: 7.3-9.6 (8.1±0.7) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 1.9-2.5 (2.1±0.2) µm; estrías: 14-16.4 (15.3±1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** El aspecto morfológico más sobresaliente de esta especie es el área central pequeña, de forma irregular con o sin estigma unilateral.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Europa central (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** En sitios medianamente oxigenados y oligotróficos; aguas neutras; moderada concentración iónica; aguas lénticas.

***Placoneis subplacentula*** (Husted) E.J. Cox (*Lámina I; Figs. 38, 39*)

Sin. *Navicula subplacentula* Hustedt in A. Schmidt et al. 1930 und Hustedt 1943.

Valvas elíptico-lanceoladas con extremos subcapitados. Rafe filiforme. Área axial angosta, linear; área central circular o ligeramente elíptica. Estrías radiales. Longitud del eje apical: 20-28.5 (23±2.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8.1-10.4 (9.4±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.3-2.7 (2.4±0.1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14-17 (15.2±1.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

Esta especie presenta la misma morfología que *Placoneis placentula*, sin embargo en su morfometría es menor (Krammer y Lange-Bertalot, 1981).

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia de *Placoneis placentula* por su menor tamaño y porque las fisuras terminales del rafe se curvan en sentidos opuestos y las estrías centrales no son tan paralelas, lo que da una forma más redondeada al área central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** de amplia distribución, en aguas oligosapróbicas de bajo a moderado contenido de electrolitos (Cox, 1996).

**En el presente estudio:** Fue localizada en zonas con medias a elevadas concentraciones de oxígeno disuelto, altamente eutrofizadas, aunque también oligotróficas; moderada a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

## FAMILIA GOMPHONEMATACEAE Kützing 1844

***Gomphoneis eriense*** (Grunow) Skvortsov & K. I. Meyer (*Lámina II; Fig. 43*)

Valvas grandes, lanceolado clavadas, angular en sus extremos, con un extremo apical proyectado y el inferior ampliamente redondeado. Las estrías son radiales en la parte media y fuertemente radiales en los polos. Longitud del eje apical: 55  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 11  $\mu\text{m}$ ; estrías centrales: 15/10  $\mu\text{m}$ ; estrías polares: 14/10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Patrick y Reimer (1975) consideran a *Gomphoneis eriense* y *G. herculeana* como taxa cercanamente relacionados, por lo que se ha establecido que la morfología, la taxonomía y la distribución de cada especie son puntos de referencia para establecer las diferencias. Así las características específicas de *G. eriense* son: rafe ondulado, con fisura externa apical del rafe curvada entre las estrías, mientras que la fisura externa en la parte basal se curva entre los lóbulos del campo del poro apical; área axial angosta, expandida ligeramente para formar el área central, elíptica y con un estigma próximo a las fisuras proximales del rafe.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Distribución restringida en los Grandes Lagos Laurentianos, Iowa, oeste de Norte América, California y Montana; mar Caspio (Kociolek y Stoermer, 1988).

**En el presente estudio:** En medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, altamente eutrofizado; aguas alcalinas, con elevadas conductividades; mínima velocidad de corriente.

***Gomphonema affine*** Kützing (*Lámina II; Figs. 44, 45*)

Sin. *Gomphonema affine* f. *major* Grunow in Van Heurck.

Valvas lanceoladas con extremos agudos a obtusamente redondeados. Rafe lateral. Área axial

moderadamente angosta; la central es rectangular. Estrías radiales. Longitud del eje apical: 37-62.4 (48.3±10.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 7.2-11.2 (9.3±1.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.2-5.6 (5.2±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8-12.4 (10.6±1.7)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La forma romboide de la valva y las dimensiones son características de esta especie.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temascalcingo; Michoacán: el Pedregal manantial; Guanajuato: Uruétaro, río la Laja.

**Distribución en México:** Guanajuato (García, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalfe, 1988 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Argentina (Maidana, 1985); EUA (Patrick y Reimer, 1975); Europa central, Trinidad (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b); Israel (Ehrlich, 1995);

**Afinidades ambientales:** Perifítica en savanas inundadas, cenotes y pozas; alcalífila, mesotrófica, oligohalobia, tolerante a contaminación  $\beta$ -mesosapróbica (Cantoral, 1997; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Observada en medios con muy baja concentración de oxígeno disuelto, con severa contaminación aguas ligeramente ácidas a alcalinas; moderadas a altas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### ***Gomphonema gracile* Ehrenberg (Lámina II; Figs. 46, 47)**

Sin. *Gomphonema gracile* var. *lanceolata* (Kützinger) Cleve; *Gomphonema grunowii* Patrick 1975.

Valva lanceolada-clavada con extremos agudos. Rafe lateral, área axial estrecha y área central estrecha con un estigma central. Estrías centrales ligeramente radiales y las terminales paralelas. Longitud del eje apical: 26.3-48.6 (36.2±9.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.8-9.2 (7±1.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 5-5.5 (5.23±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10-16.3 (12.7±2.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La especie se caracteriza por su forma romboidal y por que la relación Longitud/Ancho está entre 5-5.41.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temascalcingo.

**Distribución en México:** Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán (Ortega, 1984); cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México, Hidalgo (Ehrenberg, 1869; Bradburry, 1971 en Cantoral, 1997); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Michoacán (Hutchinson, Patrick y Deevey, 1956 en Cantoral, 1997); México central (Kusel-Fetzmann, 1973; Metcalfe, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1993; Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Argentina (Maidana, 1985); EUA (Patrick y Reimer, 1975); Europa occidental (Germain, 1981); este de África (Gasse, 1980); trópicos y norte de Europa (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución, en sedimentos de diferentes medios dulceacuícolas, bentónica; perifítica y metafitica en savanas inundadas, cenotes y pozas; valores elevados de conductividad pero aguas oligosapróbicas, tolerantes a condiciones  $\beta$ -mesosapróbicas; aguas ácidas; indiferente al calcio (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Novelo, 1998; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Establecida en condiciones con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y gran cantidad de materia orgánica, además de fuerte contaminación de origen industrial y agrícola; aguas ácidas a circumneutrales; moderada a alta concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### ***Gomphonema innocens* Reichardt (Lámina II; Figs. 49, 50)**

Valva clavada, con extremos obtusamente redondeados. Rafe filiforme. Área axial estrecha y la central es amplia. Estrías radiales y hacia los polos son paralelas. Longitud del eje apical: 12.9-22 (16.5±3.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (4) 5.8-8.4 (5.6±1.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.6-3.8 (3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: (13)18-21 (18±3) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia de las del complejo *parvulum* por sus

areolas punctiformes.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Aunque es incierta su distribución, está reportada en Alemania (Reichardt, 1999).

**Afinidades ambientales:** En medios con elevada conductividad, meso a eutróficas (Reichardt, 1999).

**En el presente estudio:** En aguas con bajas a muy elevadas concentraciones de oxígeno disuelto; tolerante a medios con fuerte contaminación de origen orgánico, industrial, agrícola y de alfarería; elevadas concentraciones iónicas; en zonas de corriente.

***Gomphonema lagenula* Kützing (Lámina II; Fig. 48)**

Sin. *Gomphonema parvulum* var. *lagenula* (Kützing) Frenguelli.

Valvas clavado-lanceoladas con extremos capitados. Rafe lateral, área axial estrecha. Las estrías centrales están muy separadas y en los extremos son radiales. Longitud del eje apical: 14.6-24.8 (26.7) (21±4.7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (5-6)7-7.4 (6.3±1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.6-4.1 (3.3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9.7-15.1 (11.7±2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de las especies del complejo *parvulum* por tener ambos polos capitados.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; en estado de Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Reportado anteriormente como *Gomphonema parvulum*.

**Distribución mundial:** Madagascar (Metzeltin y Lange-Bertalot, 2002); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Epilítica, perifítica, metafítica en savanas inundadas, cenotes y pozas; tolerante a amplios intervalos de oxígeno, conductividad y pH, altas temperaturas; asociada a aguas ricas en materia orgánica y altas intensidades luminosas abundante en condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas y polisapróbicas (Cantoral, 1997; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Se registró en medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, alta cantidad de materia orgánica y contaminación de origen industrial y agrícola; aguas neutras a alcalinas; de bajas a altas concentraciones de electrolitos; en zonas de corriente.

***Gomphonema lipperti* Reichardt & Lange Bertalot (Lámina II; Figs. 51, 52)**

Valvas rómbico-lanceoladas con extremos rostrados. Rafe lateral, área axial linear y angosta y la central es lateral con una estría corta. Estrías transapicales en el centro y en los extremos radiales. Longitud del eje apical: 24.1-39.1 (33±5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (6.3) 8-10 (9±1.2)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.8-4 (3.3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.8-14.4 (13.3±1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Especie reconocible por sus valvas romboides; las areolas son tipo "rotae".

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Europa central (Reichardt, 1999).

**Afinidades ambientales:** Aguas salobres (Reichardt, 1999).

**En el presente estudio:** Fue encontrada en medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y elevadas condiciones de eutrofización; aguas ácidas a alcalinas con moderado a elevado contenido iónico; en zona de corriente.

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing f. *parvulum* (Lámina II; Figs. 69, 71)**

Sin. *Sphenella parvula* Kützing; *Gomphonema lagenula* Kützing; *Gomphonema micropus* Kützing.

Valvas ovaladas, extremos rostrados ó capitados, con un rafe central, en el área central se observa un estigma; estrías paralelas en el centro y radiales en los ápices. Longitud del eje apical: 14.3-28.5

(19.8±4.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5-8 (6.5±1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.7-4.3 (3±0.7)  $\mu\text{m}$ ; 10-14 (12±1.4) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Complejo taxonómico que alberga múltiples variedades, las cuales no son fácilmente reconocibles pues se presentan formas transicionales entre los taxa. Esta especie manifestó el mayor caso de deformación valvar y coincide con aquellas localidades del estado de México que tienen casos de elevada contaminación como son: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec y puente Temazcalcingo. Se detectaron 15 individuos (2% de total observado) con anomalías en el contorno valvar y/o con el rafe bífido y 24 ejemplares (6%) con menor densidad de estrías que la reportada en la literatura (Seeligmann *et al.* 2001, UHU, 2006).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: Sn. Jerónimo Ixtapatongo, Sn. Lorenzo Tlacotepec, Puente Temazcalcingo; Michoacán: El Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, El Capulín, Uruétaro, río la Laja.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera *et al.* 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México (Bradbury, 1971 en Cantoral, 1997; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985, 1988); Morelos (Valadez, 1992); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** Epilítica, perifítica, metafitica en savanas inundadas, cenotes y pozas; tolerante a amplios intervalos de oxígeno, conductividad y pH, altas temperaturas; asociada a aguas ricas en materia orgánica y altas intensidades luminosas abundante en condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas y polisapróbicas. (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ramírez y Cantoral, 2003; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Se le registró en amplios intervalos de concentraciones de oxígeno disuelto, conductividad y pH; en aguas con gran cantidad de materia orgánica y severa contaminación industrial; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Gomphonema parvulum* var. *parvulum* f. *saprophilum* Lange Bertalot & Reichardt (Lámina III; Figs. 85, 86).**

Valvas elípticas con extremos subrostrados a ampliamente capitados. Rafe lateral, área axial angosta, la central es inconspicua y se observa un estigma; estrías paralelas en el centro y ligeramente radiales en los ápices. Longitud del eje apical: 10.2-24.6 (15.7±4)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.4-8.6 (6.8±1.2)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 1.9-2.9 (2.3±0.24) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.3-20 (16.2±2)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de la forma nominal por tener sus valvas muy redondeadas y cortas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Guanajuato: río la Laja.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera *et al.* 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México (Bradbury, 1971 en Cantoral, 1997); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985, 1988); Morelos (Valadez, 1992); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** Epilítica, perifítica, metafitica en savanas inundadas, cenotes y pozas; tolerante a amplios intervalos de oxígeno, conductividad y pH, altas temperaturas; asociada a aguas de desecho ricas en materia orgánica y altas intensidades luminosas abundante en condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas y polisapróbicas. (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 2004b; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Se pudo encontrar en sitios desde muy bajos a elevados niveles de oxígeno disuelto; contaminación de origen agrícola, orgánico, industrial y proveniente de alfarería; aguas neutras a alcalinas con moderada a elevada concentración iónica; en zonas de corriente.



***Gomphonema pseudoaugur*** Lange-Bertalot (*Lámina II; Fig. 70*)

Valvas clavadas a romboides, con extremos subrostrados. Rafe lateral, área axial estrecha. Estrías ligeramente paralelas. Longitud del eje apical: (23.8)28.9-35; (31±4)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (5.4-5.7)8.6-9.3 (7.8±1.7)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.3-5 (4±0.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10-12 (13.3) (12±1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La especie se caracteriza por la forma de sus valvas, particularmente sus extremos amplios.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Guanajuato: río la Laja.

**Distribución en México:** San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Europa central (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, indiferente al pH, en aguas meso a eutróficas (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** Recolectada en localidades con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto; con gran cantidad de materia orgánica y elevada eutrofización; aguas ligeramente ácidas a circumneutrales con bajas a medianas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Gomphonema pumilum*** (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot var. ***rigidum*** Reichardt & Lange-Bertalot (*Lámina II; Figs. 53, 66*)

Valvas linear-lanceoladas, de extremos redondeados. Rafe lineal, amplia área axial y la central, rectangular transversa. Las estrías centrales se caracterizan por estar muy separadas. Estrías transapicales muy cortas. Longitud del eje apical: 10-26.8 (16.6±5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.1-4.2 (3.7±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.6 -6.4 (4.5±1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.6-14 (13.4±1)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Lo sobresaliente en esta especie son sus cortas valvas con un área axial más ancha que lo comúnmente observado en otras especies del género.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Ecuador, Chile central (Rumrich *et al.* 2000).

**En el presente estudio:** En sitios con mediana a elevada concentración de oxígeno disuelto con alto grado de eutrofización; aguas ligeramente ácidas a circumneutrales; moderada a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Gomphonema* aff. *brasiliensioide*** Metzeltin, Lange Bertalot & García Rodríguez (*Lámina III; Figs. 72, 73*)

Valvas clavadas, extremo superior redondeado y el inferior apiculado. Rafe lateral, una zona hialina en el área axial, la cual es muy amplia al igual que la central. Estrías cortas, paralelas, sin etigma. Longitud del eje apical: 30.4-53.6 (43.7±6.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6.1-8 (7±0.5)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.8-7.6 (6.2±0.7)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9-1-13.9 (10.5±1)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La especie se distingue por presentar largas valvas romboides, con amplia zona hialina y estriación muy corta.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**En el presente estudio:** Encontrada en un manantial con concentraciones medias de oxígeno, libre de materia orgánica o algún otro tipo de contaminación; aguas neutras a alcalinas y baja concentración iónica.

***Gomphonema* aff. *clavatum*** Ehrenberg (*Lámina III; Figs. 90, 91*)

Sin. *Gomphonema longiceps* var. *subclavatum* Ehrenberg; *G. mustela* Ehrenberg; *G. subclavatum*

(Grunow) Grunow in Van Heurck; *G. commutatum* Grunow in Van Heurck; *G. (commutatum var.?) mexicanum* Grunow in Van Heurck; *Gomphocymbella obliqua* (Grunow 1884) O. Müller.

Valvas lanceoladas, ensanchadas en la parte media, la parte basal es más angosta que la superior, con extremos redondeados. El área axial es amplia, la central es pequeña con un estigma unilateral. Estrías transapicales. Longitud del eje apical: 27-48.3 (34.5±7) µm; longitud del eje transapical: 6-10.5 (8.4±1.2) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.1-5.1 (4.1±0.7) µm; estrías: 9-12.2 (11.1±1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Las valvas de los ejemplares del presente estudio no presentan la ondulación que en ocasiones muestra la especie reportada por Krammer y Lange Bertalot (1997a), aunque se asemeja por presentar estrías muy gruesas en el área central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro y el Capulín.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva *et al.* 2005).

**Distribución mundial:** Europa Central (Krammer y Lange Bertalot, 2004b); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, planctónica, bentónica, epilítica, epipsámica, oligohalobia indiferente, oligosapróbica; indiferente a la conductividad y sensible a la contaminación orgánica (Ehrlich, 1995; Novelo, 1988).

**En el presente estudio:** Se localizó en sitios desde muy baja a alta oxigenación y altamente eutrofizados; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; de moderadas a elevadas conductividades; en aguas lénticas y en zonas con alta velocidad de corriente.

#### ORDEN ACHNANTHALES Silva

#### FAMILIA ACHNANTHACEAE Kützing 1844

***Achnanthes inflata*** (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow (*Lámina III; Figs. 74, 75*)

Valvas engrosadas en el centro y en los extremos. Estrías espaciadas y fuertemente punteadas. Longitud del eje apical: 43-45 (44±1) µm; longitud del eje transapical: 13-13.1 (13±0.5) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.3-3.4 (3.3±0.5) µm; estrías: 11-12 (11.5±0.7) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** El carácter propio de la especie es la marcada dilatación central, con los extremos son ampliamente redondeados.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de Michoacán: Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita, zonas tropicales y subtropicales (Krammer y Lange Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** Se registró como epilítica en pozas con mediana a alta concentración de oxígeno, contaminadas por materia orgánica y agrícola; aguas alcalinas con bajas conductividades, en alta velocidad de corriente.

#### FAMILIA ACHNANTHIDIACEAE D. G. Mann

***Achnanthidium exiguum*** (Grunow) Czarnecki (*Lámina I; Figs. 11, 12*)

Sin. *Achnanthes exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880; (?) *Achnanthes exigua var. constricta* (Torka) Hustedt 1921; (?) *Achnanthes exigua var. heterovalva* Krasske 1923.

Valvas rombo-elípticas, con el cuerpo central cuadrangular, de ápices capitados y estrías radiales. Se observa un stauro en la parte central. Longitud del eje apical: 9-18 (13.2±5) µm; longitud del eje transapical: 3-8 (5.2±3) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.3-3.2 (2.7±0.5) µm; estrías: 22-30 (26.7±4.1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por su contorno valvar es casi rectangular, con área axial estrecha y la central formando un estauro, en la valva con rafe y prácticamente indiferenciable en la valva sin rafe.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Guanajuato: río la

Laja.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradburry, 1971 en Ramírez, 2002); México central (Metcalfe, 1988, 1985 en Ramírez, 2002); Michoacán (Hutchinson *et al.* 1965 en Ramírez, 2002); Morelos (Valadez, 1992 en Ramírez, 2002); Oaxaca (Tavera y González, 1990; Tavera *et al.* 1994 en Ramírez, 2002); Puebla (Cuesta, 1993 en Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2004); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Amplia distribución (Cox, 1996); cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004 b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, metafítica y planctónica en cenotes, pozas y savannas inundadas, oligohalobia indiferente, alcalífila, aguas ligeramente alcalinas de moderado a elevado contenido de electrolitos; se ha reportado en aguas termales por Gasse (1986 en Ehrlich, 1995); abundante en estanques (Cox, 1996; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Encontrada en aguas con baja concentración de oxígeno disuelto y fuerte contaminación de diferente origen; alcalinas, con alto contenido iónico y gran cantidad de materia orgánica y casi nula velocidad de corriente.

***Achnantheidium minutissimum*** (Kützing) Czarnecki (*Lámina II; Fig. 54*)

Sin. *Achnanthes minutissima* Kützing 1833.

Valvas linear-elípticas, alargadas con ápices redondeados a subcapitados. Estrías transapicales moderadamente radiales. En la valva con rafe, el área axial es angosta; en la valva con esternón se amplía en la parte central. Longitud del eje apical: 11-16 ( $12.3 \pm 1.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.8-4.3 ( $3.9 \pm 0.31$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.2-4.2 ( $3.1 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 24-32 ( $28.9 \pm 2.3$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por la forma oblonga de las valvas, con el área central no diferenciada en un estauro y simétrica.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1977); México central (Metcalfe, 1988); Puebla (Ibarra, 1992; Cuesta, 1993); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Africa (Schoeman, 1973; Archibald y Schoeman, 1987 en Cantoral, 1997; Gasse, 1986); Argentina (Maidana, 1985 en Cantoral, 1997); Chile (Díaz y Maidana, 2005); cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004b; Lowe, 1974); Europa central (Krammer y Lange Bertalot, 2004b); EUA (Patrick y Reimer, 1966 en Cantoral, 1997); Europa occidental (Germain, 1981); Holanda (Dam, Mertens y Sinkeldam, 1994 en Cantoral, 1997); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997; Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Muy común, perifítica, metafítica; oligohalobia indiferente, alcalífila, oligosapróbica, indicadora de altas concentraciones de oxígeno; indiferente al pH, eutrófica, mesotrófica, sensible a aguas residuales (Cox, 1996; Cantoral, 1997; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 2004b; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** En zonas con bajas a elevadas concentraciones de oxígeno disuelto así como fuerte contaminación de origen agrícola y aguas residuales; en aguas neutras a ligeramente alcalinas y con bajo a elevado contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

**FAMILIA COCCONEIDACEAE** Kützing 1844

***Cocconeis pediculus*** Ehrenberg (*Lámina III; Figs. 76, 77*)

Sin. *Cocconeis depressa* Kützing 1844.

Valvas elípticas, curvadas. Rafe filiforme que se ensancha en el área central; área axial estrecha; área central casi circular. Estrías curvas, punteadas. Longitud del eje apical: 22-24 ( $22.9 \pm 1.3$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6-21 ( $18.3 \pm 2.8$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.1-1.4 ( $1.3 \pm 0.2$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 19-22.5 ( $20.5 \pm 1.8$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Lo más conspicuo en esta especie son sus valvas marcadamente convexas y la ausencia de un anillo hialino submarginal en la valva con rafe (VR).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución en México:** Centro de México (Metcalfe, 1985 en Cantoral, 1997); Estado de México (Ortega, 1984); Puebla (Ávila, 1989; Ibarra, 1992 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Ramírez, 2002); San Luis Potosí (Cantoral y Montejano, 1993 en Cantoral, 1997; Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** Epífita, perifítica, epilítica, en medios con alto contenido de electrolitos, muy común en flujos y ríos; alcalífila, eutrófica, reófila (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** En aguas con muy buena oxigenación pero eutrofizadas; medios de moderados a altos contenidos iónicos; aguas neutras a alcalinas; en sitios con velocidad de corriente.

***Cocconeis placentula* var. *euglypta*** (Ehrenberg) Grunow (*Lámina III; Figs. 77, 80*)

Sin. *Cocconeis euglypta* Ehrenberg 1854.

Valvas elípticas. En la valva del pseudorafe, presenta estrías transapicales claramente punteadas, pseudorafe angosto. En la valva con rafe, las estrías son transapicales y finamente punteadas. Longitud del eje apical: 14.9-36 (25.7±6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 9-21 (15.3±3.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.5-2 (1.7±0.13);  $\mu\text{m}$  estrías: 1(18)19-22 (19.8±1) en 10  $\mu\text{m}$ . En esta especie se advirtieron dos ejemplares con deformaciones en su morfología: uno carecía de rafe en la valva con rafe (San Jerónimo Ixtapatongo, estado de México) y en otro se detectó el rafe bifido (puente Temazcalcingo, estado de México), se pudiera asumir como una consecuencia de la grave contaminación industrial en la zona.

**Comentarios taxonómicos:** La estructura de la VR es semejante a la de la variedad nominal, presenta un anillo hialino submarginal ligeramente más delgado y poco conspicuo. Se diferencia particularmente en que las areolas de la valva sin rafe (VSR) son elongadas en sentido transapical y de longitud regular en cada estría.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución en México:** México central (Metcalfe, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Michoacán (Ortega, 1984); Oaxaca (Tavera y González-González, 1990; Tavera *et al.* 1994); Puebla (Ibarra, 1992; Novelo, 1998 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1993; Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003); Veracruz (Vázquez *et al.* 2001).

**Distribución mundial:** África oriental (Schoeman, 1973; Gasse, 1986); Argentina (Martínez de Fabricius y Corigliano, 1989; Vinocur, O'Farrel e Izaguirre, 1994); Chile (Díaz y Maidana, 2005); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Lowe, 1974 (en Cantoral, 1997); Europa central (Hustedt, 1930; Krammer y Lange-Bertalot, 1991a); Europa occidental (Germain, 1981); Holanda (Dam, Mertens y Sinkeldam, 1994 en Cantoral, 1997); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997); Israel (Ehrlich, 1995); Polonia (Sieminska, 1964).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución, en flujos meso a eutróficos, perifítica, epífítica, alcalífila, eutrófica, mesotrófica, elevado contenido de electrolitos; tolerante a medios contaminados; calcifílica (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo, 1998; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** Epífítica y epilítica en localidades con bajas concentraciones de oxígeno disuelto así como con fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas desde ácidas hasta alcalinas, con alto contenido iónico; indiferente a la velocidad de corriente.

***Cocconeis placentula* var. *lineata*** (Ehrenberg 1843) Van Heurck (*Lámina III; Figs. 81, 82*)

Sin. *Cocconeis lineata* Ehrenberg 1843; *Cocconeis lineata* var. *pygmea* Pantocsek; *Cocconeis bonnieri* Héribaud & Perigallo.

Esta variedad difiere de la anterior en que las valvas son muy amplias y elípticas, los polos son ampliamente redondeados. En la valva con rafe el área axial es estrecha; en la valva sin rafe el área axial es angosta, estrías punteadas, de areolas alargadas abundantes ordenadas en zig-zag. Longitud del eje apical: 14-38 (23.5±12.8)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8-24 (14±9);  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.6-1.8 (1.7±0.1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 20-24 (22.4±2.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La estructura de la VR es semejante a la de la variedad nominal. Se diferencia en que la VSR tiene menor densidad de estrías con areolas elongadas transapicalmente. La principal diferencia con la variedad nominal y la var. *euglypta* es que el anillo hialino submarginal en la VR es muy conspicuo, debido a su mayor ancho y grado de silicificación.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Temascalcingo; Michoacán: Pedregal.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva-Martínez *et al.* 2005; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo (Ortega, 1984; Metcalfe, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); Puebla (Ibarra, 1992; Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1993); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b; Lowe, 1974).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución: perifítica, epifítica, epilítica en savanas inundadas, cenotes y pozas; en flujos meso a eutróficos; oligohalobia indiferente, alcalífila; oligosapróbica pero tolerante a medios contaminados; alcalífila, tolera alta concentración de materia orgánica (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** En medios anóxicos con severas condiciones eutróficas; aguas neutras a alcalinas y medios desde conductividades medias; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Cocconeis placentula* var. *pseudolineata*** Geitler (*Lámina III; Figs. 83, 84*)

Valvas elípticas con extremos muy redondeados. En la valva sin rafe se observa un área axial linear angosta. Las estrías tienen lineolas muy grandes uniseriadas. Longitud del eje apical: 13-14 ( $13.4 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8-9 ( $8.1 \pm 0.6$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.6-1.7 ( $1.7 \pm 0.05$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13-14 en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La separación de *C. placentula* var. *pseudolineata* de la variedad *placentula* deberá ser realizada considerando el número de pirenoides y el tipo de auxospora (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; en estado de Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Chile (Rumrich *et al.* 2000); cosmopolita, Europa central (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución y muy común, epifítica, en aguas meso a eutróficas, reófila (Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

**En el presente estudio:** En sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno y altamente eutrofizados; aguas neutras a alcalinas, con moderadas a elevadas conductividades, establecida en zonas con alta velocidad de corriente.

***Lemnicola hungarica*** (Grunow) Round & Basson (*Lámina II; Figs. 67, 68*)

Sin. *Achnanthes hungarica* (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow 1880; *Achnanthes andicola* (Cleve) Hustedt 1911; *Achnanthes pseudohungarica* Cholnoky-Pfannkuche 1966.

Valvas isopolares, elípticas, ligeramente rostradas en los extremos, área central con una subfascia angulada y la axial muy estrecha, el rafe está en una sola valva. Estrías muy finas. Longitud del eje apical: 10-14 ( $11 \pm 1.3$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4-5 ( $4 \pm 0.21$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2-3.8 ( $3 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16-28 ( $20.4 \pm 2.9$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se caracteriza porque la VR tiene un estauro asimétrico, que se extiende hasta los márgenes de la valva.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; puente Temascalcingo.

**Distribución en México:** Distrito Federal (Ramírez, *et al.* 2001); Estado de México (Bradburry, 1971 en Ramírez, 2002; Valadez *et al.* 2005); México central (Metcalfe, 1985, 1988, 1991 en Ramírez, 2002).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** Epifítica, perifítica, oligohalobia, alcalífila, reófila, requiere altas

concentraciones de oxígeno, tolerante a contaminación  $\beta$ - $\alpha$  mesosapróbica (Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** Se le registró en zonas con bajo contenido de oxígeno disuelto y fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; aguas ligeramente ácidas a alcalinas con elevada concentración iónica; en zonas de corriente.

***Planothidium delicatulum*** Round & Bukhtiyarova (*Lámina IV; Figs. 124, 134*)

Sin. *Achnanthes delicatula* (Kützing) Grunow 1880 ssp. *delicatula*; *Achnantheidium delicatulum* Kützing 1844.

Valvas ampliamente lanceoladas, extremos rostrados. Estrías transapicales. Longitud del eje apical: 13.5-14.6 ( $14 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6-7 ( $6.5 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2-2.3 ( $2.1 \pm 0.2$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13.5-15.1 ( $14.2 \pm 0.8$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por la ausencia de un área hialina unilateral (*sinus* o *cavum*) en la VSR y por que en esta valva, las estrías son más paralelas que en la VR.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita, Sudamérica (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1996).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución, en aguas con altas conductividades a condiciones salobres, oligotrófica (Cox, 1996; Germain, 1981; Krammer y Lange Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** En localidades con medianas concentraciones de oxígeno disuelto, contaminadas por fertilizantes y aguas residuales; aguas neutras a alcalinas y bajas conductividades; zonas con velocidad de corriente.

***Planothidium frequentissimum*** (Lange-Bertalot) Round et Bukhtiyarova (*Lámina III; Figs. 79, 87*)

Sin. *Achnanthes lanceolata* spp. *frequentissima* Lange-Bertalot 1991; *Achnanthes lanceolata* var. *dubia* f. *minuta* Grunow in Van Heurck 1880-1887; *Achnanthes lanceolata* var. *dubia* Grunow sensu Van Heurck 1885 et auct. nonnull.

Valvas elípticas, extremos ampliamente redondeados a subcapitados. Estrías transapicales. Longitud del eje apical: 7.4-19.7 ( $1.8 \pm 3.6$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.2-5.4 ( $4.3 \pm 0.7$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical 1.8-2.8 ( $2.7 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: (11.9) 12.8-20 ( $15.3 \pm 3.15$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por la forma de las valvas y por la presencia de un *cavum* sobre un lado del área central de la VSR.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temascalcingo; Michoacán; Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004b).

**Afinidades ambientales:** En medios oligotróficos, aguas circumneutrales (Krammer y Lange-Bertalot, 2004b).

**En el presente estudio:** Se le encontró desde muy bajas a altas concentraciones de oxígeno disuelto; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y de bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Planothidium lanceolatum*** (Brébisson) Round & Bukhtiyarova (*Lámina IV; Fig. 98*)

Sin. *Achnanthes lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880.

Especie con amplio polimorfismo. Valvas elípticas, lineares de polos redondeados. En la valva con rafe se observan estrías lineadas, en el centro son radiales y en los extremos, paralelas. Rafe recto, filiforme, con fisuras rectas muy notorias. Estauroide rectangular en el área central; sobresalen 2 ó 3 estrías marginales; área central estrecha. En la valva sin rafe, las estrías son radiales; tanto el área central como la radial son angostas. Longitud del eje apical: 6.2-21.1 ( $13.7 \pm 3.8$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5.7-10.5 ( $5.1 \pm 1.1$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.7-3

( $2.6 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12-15 ( $14.4 \pm 0.9$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** El área hialina que se observa en la zona central de la VSR es del tipo *sinus*.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: Pedregal.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradburry, 1971 en Ramírez, 2002; Oliva-Martínez *et al.* 2005); Guanajuato (García en Ramírez, 2002); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Ramírez, 2002); Morelos (Valadez, 1992, 1998 en Ramírez, 2002); Oaxaca (Tavera y González, 1990 en Ramírez, 2002); Puebla (Cuesta, 1993; Ibarra y Novelo, 1997, Novelo, 1998 en Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 2004b); Europa occidental (Germain. 1981).

**Afinidades ambientales:** Aerófila, epilítica, epifítica, perifítica, aguas circumneutrales a alcalinas de bajo contenido de electrolitos, en aguas estancadas o corrientes, en medios con contaminación  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbicas; oligohalobia, alcalífila (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Ramírez y Cantoral, 2003; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Tolera muy bajo contenido de oxígeno disuelto; medios con fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas residuales; pH ligeramente ácidos a alcalinos; medios desde bajo hasta elevado contenido iónico; reófila en zona de alta velocidad de corriente; ombrófila.

#### ORDEN NAVICULALES Bessey 1907

##### SUBORDEN Neidiineae D. G. Mann

##### FAMILIA DIADESMIDACEAE D. G. Mann

#### *Diademsis confervacea* Kützing (Lámina IV; Figs. 99, 100)

Sin. *Navicula confervacea* (Kützing) Grunow in Van Heurck 1880; *Diademsis confervacea* Kützing 1844; *Diademsis peregrina* W. Smith 1857; *Navicula confervacea* var. *hungarica* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula confervacea* var. *peregrina* Grunow in Van Heurck 1880.

Valvas lanceoladas con extremos redondeados. Rafe recto, carece de área central, amplia área axial lanceolada. Estrías radiales punteadas, en el área central son cortas y espaciadas. Longitud del eje apical: 14.2-16.7 ( $15.5 \pm 0.9$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5.4-6.3 ( $5.8 \pm 0.3$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-2.9 ( $2.6 \pm 0.2$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 19.3-24.1 ( $21.6 \pm 2$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Tres rasgos distintivos se observan en esta especie: las fisuras centrales del rafe distanciadas entre sí; el área axial unida a la central formando un amplio espacio hialino y las estrías notablemente areoladas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente-Lerma, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en savanas inundadas y cenotes; en diferentes tipos de aguas, principalmente de invernaderos y jardines botánicos (Cox, 1996; Krammer y Lange Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, baja velocidad de corriente y altamente eutroficados; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, con medio a elevado contenido de electrolitos; en zona de rápidos.

#### *Luticola aequatorialis* (Heiden) Lange-Bertalot (Lámina IV; Figs. 101, 102)

Valvas lanceoladas con extremos ampliamente redondeados. Margenes cóncavos en la parte media. Rafe filiforme, área axial angosta, la central está dilatada, transversa, se extiende hasta el margen. Estigma alargado en un extremo del área central. Estrías radiales punteadas. Longitud del eje apical: 19.6-25.9 ( $22.3 \pm 2.5$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 9.6-12 ( $10.5 \pm 0.9$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.9-2.3 ( $2.1 \pm 0.1$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 19.3-21.8 ( $20.7 \pm 0.8$ ) en 10  $\mu\text{m}$ ; poros: 15-19 ( $17.2 \pm 1.5$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las características inconfundibles en esta especie son la dilatación de la parte central y la forma del área central con un estigma alargado muy próximo al margen valvar.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal y Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Ecuador (Rumrich *et al.* 2000); Japón (Ohtsuka, 2002).

**En el presente estudio:** Zonas medianamente a altamente oxigenadas; contaminación por aguas residuales y agroquímicos; aguas ácidas a alcalinas con bajas a moderadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Luticola goeppertiana*** (Bleisch) D.G. Mann (*Lámina IV; Figs. 103, 104*)

Sin. *Navicula goeppertiana* (Bleisch) H. L. Smith 1874-1879; *Navicula mutica* var. *goeppertiana* (Bleisch) Grunow in Hustedt, 1931-1959; *Navicula mutica* Kützing in Patrick & Reimer, 1966.

Valvas lanceoladas, con ápices redondeados. Rafe filiforme, área axial angosta; la central es amplia, transversa, estigma alargado presente en el área central. Estrías radiales, punteadas; las del área central son cortas en ambos lados. Longitud del eje apical: 18-32.6 (24.5±5.1)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6.8-8.7 (7.5±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-4 (3.2±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18-22.3 (20.4±2.5) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se determina por que las fisuras del rafe en los polos tienen forma de gancho.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: el Capulín; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1990; Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Chile central (Rumrich *et al.* 2000); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, en manantiales permanentes, aerófila, alcalífila, tolerante a elevados niveles de contaminación; en aguas con alto contenido mineral (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y fuertemente eutrofizados; aguas ácidas a alcalinas con moderada a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Luticola nivalis*** (Ehrenberg) D. G. Mann (*Lámina IV; Fig. 105*)

Sin. *Navicula nivalis* Ehrenberg 1854; *Navicula quinquenodis* Grunow 1860; *Navicula mutica* var. *quinquenodis* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula mutica* var. *nivalis* (Ehrenberg) Hustedt 1911.

Valvas con márgenes triondulados, extremos rostrados ligeramente capitados. Rafe filiforme, área axial angosta y área central elíptica, con un estigma casi central. Estrías radiales notoriamente punteadas. Longitud del eje apical: 17.1-23.3 (19.5±2.7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5.8-7.1 (6.8±0.7)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-3.3 (2.80.4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17.1-20.2 (19.3±1.5) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie de *Luticola* se caracteriza por su contorno valvar triondulado.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); Israel (Ehrlich, 1995); Venezuela (Rumrich *et al.*, 2000).

**Afinidades ambientales:** Perifítica o aerófila en ambientes húmedos, sólo pocos individuos (Ehrlich, 1995).

**En el presente estudio:** En áreas de baja a mediana oxigenación, fuertemente eutrofizadas; aguas ligeramente ácidas a neutras, de conductividades moderadas; en zonas con velocidad de



corriente.

#### FAMILIA AMPHIPLEURACEAE Grunow 1862

##### *Amphipleura lindheimeri* Grunow (Lámina IV; Fig. 117)

Sin. *Amphipleura pellucida* var. *lindheimeri* (Grunow) Cleve 1894.

Valvas fusiformes con extremos redondeados, el rafe se engrosa y bifurca en la parte distal; estrías transversales y longitudinales muy finas, difíciles de observar. Longitud del eje apical: 142-176.4 (157±17.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 23.3-25.2 (24±1) 25  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 6-7 (6.5±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 27.6-28 (27.8±0.3) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie presenta un rafe muy semejante al del género *Frustulia*, la diferencia en este caso es que es un rafe corto cuyos extremos se bifurcan en dos prolongaciones planas. Se diferencia de otras especies del género sus dimensiones y por la forma casi romboidal de las valvas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal, el Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, epilítica, oligohalobia, mesosapróbica, aguas con conductividades moderadas; reófila; aguas con velocidad de corriente suave (Cantoral, 1997); Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** Observada en zonas con alta velocidad de corriente y alta concentración de oxígeno disuelto; en medios contaminados por aguas residuales; aguas neutras a alcalinas, mineralizadas, con bajo contenido iónico.

#### ORDEN THALASSIOPHYSALES D. G. Mann

#### FAMILIA CATENULACEAE Mereschkowsky

##### *Amphora normanii* Rabenhorst (Lámina VI; Fig. 176, 177)

Valvas semi-elípticas, con los polos rostrado-capitados. Margen ventral ligeramente curvo, el dorsal es convexo. Rafe recto, área axial amplia, la central está redondeada con las estrías más separadas. Estrías dorsales radiales. Longitud del eje apical: 18.4-28.5 (23.5±4.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (2.3)4.2-4.5 (3.4±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical 6.1-8.5 (6.9±0.8)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.2-18 (17±0.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por la presencia de un engrosamiento silíceo sobre el lado dorsal de las valvas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita y de amplia distribución (Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Aerófila (Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** En medios con alta concentración de oxígeno disuelto y contaminación de origen agrícola y urbano; aguas neutras a alcalinas, conductividades moderadas; en zonas de fuerte velocidad de corriente.

##### *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow (Lámina IV; Figs. 128, 129)

Sin. *Cymbella? pediculus* Kützing 1844; *Amphora pediculus* var. *exilis* Grunow in Van Heurck 1880; *Amphora ovalis* var. *pediculus* (Kützing) Van Heurck 1885; *Amphora perpusilla* Grunow (1884-87) sensu Van Heurck Type de Sin. 4.

Valvas semicirculares, de extremos redondeados. Margen ventral recto. Rafe recto, área axial muy estrecha. Estrías paralelas punteadas, interrumpidas en la parte central formando un área cuadrangular. Longitud del eje apical: 5.3-17 (10.3±5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (1.7) 3-4.3 (3±1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-4 (3.4±0.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18.3-25 (21±2.6) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La característica distintiva de esta especie es su reducido tamaño y la ausencia de estrías en la región central de las valvas, tanto del lado dorsal como el ventral.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal, el Pedregal manantial.

**Distribución mundial:** Cosmopolita y de amplia distribución (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Distribución en México:** Puebla (Ibarra, 1992; Cuesta, 1993 en Cantoral 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral 1997).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en savanas inundadas, cenotes y pozas; epifítica en otras diatomeas (*Nitzschia sigmoidea*), en aguas de moderado a alto contenido de electrolitos, tolerante a contaminación  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbica. (Cantoral 1997; Cox, 1996; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En zonas con media a alta oxigenación, contaminada por actividades agrícolas y aguas residuales; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, con conductividades moderadas; en zonas de elevada velocidad de corriente

***Amphora veneta* Kützing (Lámina I; Figs. 32, 33)**

Valvas semi-elípticas con polos sub-rostrados. Margen dorsal muy arqueado y el ventral casi recto. Rafe recto, área axial amplia, carece de área central. Estrías dorsales radiales. Longitud del eje apical: 10.5-26.1 (16.1 $\pm$ 5)  $\mu$ m; longitud del eje transapical: 3.3-5.4 (4 $\pm$ 0.7)  $\mu$ m; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.6-5 (4 $\pm$ 0.8)  $\mu$ m; estrías:(23)26-32 (25.2 $\pm$ 3.3) en 10  $\mu$ m. El ancho registrado para la especie en el área es menor que la reportada para Europa central y occidental (Krammer y Lange-Bertalot, 1991; Germain, 1981), sin embargo coincide con los registros para Israel y Quintana Roo (Ehrlich, 1995; Novelo *et al.* 2007).

**Comentarios taxonómicos:** En esta especie los poros centrales del rafe están separados por una distancia muy variable, en individuos grandes llegan a pasar desapercibidos y en ejemplares pequeños están muy cercanos. Se diferencia de otras especies del género por la forma elongada de las areolas y la mayor silicificación de la región central dorsal, que hace que las estrías centrales parezcan más distanciadas que las restantes.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, río la Laja.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** En aguas con alto contenido de electrolitos, tolerantes de condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas a polisapróbicas (Cox, 1996; Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** En sitios con muy baja concentración de oxígeno disuelto, condiciones de fuerte contaminación de origen industrial, agrícola y aguas de desecho; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y moderado a elevado contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Berkella linearis* Ross & Sims (Lámina VI; Fig. 164)**

Sin. *Berkella spicula* (Amossé); Carter 1981.

Valvas ampliamente lineares con extremos ligeramente capitados. Rafe curvo con fisuras en los extremos, el área central está ocupada por un nódulo central alargado y la axial es angosta. Estrías paralelas en el centro y convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 37-45.6 (43 $\pm$ 3.6)  $\mu$ m; longitud del eje transapical: 8-8.7 (8.4 $\pm$ 0.4)  $\mu$ m; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4.6-5.4 (5.12 $\pm$ 0.3)  $\mu$ m; estrías: 29.7-30.7 (30.3 $\pm$ 0.6) en 10  $\mu$ m.

**Comentarios taxonómicos:** Krammer y Lange-Bertalot (1997a) consideran a esta especie como sinónimo de *Frustulia spicula* Amossé 1932, reportándola para Los Alpes y las Islas Británicas. Ellos consideran que características morfológicas como las del nódulo y área central, arreglo irregular de los poroides y la forma de los extremos valvares no son relevantes como para crear un nuevo género. Sin embargo, Egüés-Weber y Maidana, (1994) apoyan el criterio de Ross y Sims (1978), al considerar estos caracteres de importancia taxonómica suficiente para considerar la validez del género *Berkella*.

En el presente trabajo, la especie reportada concuerda con la taxonomía descrita por Egüés-Weber y Maidana (*op. cit.*), además de coincidir con la afinidad biogeográfica y con las características físico-químicas de sus ambientes, las cuales son semejantes a la zona del Alto Lerma: aguas ricas en nutrimentos, circumneutral a alcalino. Salvo las altas conductividades reportadas para los ríos argentinos, en el río Lerma se observan bajas concentraciones de electrolitos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Alpes Franceses, cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); Argentina (Egüés y Maidana, 1994).

**Afinidades ambientales:** Epilítica, perifítica, medios circumneutrales a alcalinos, en medios salobres (Cantoral, 1997; Egüés y Maidana, 1994; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** En localidades con concentraciones medias a altas de oxígeno disuelto, en condiciones eutróficas; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, con bajas conductividades; en zonas con alta velocidad de corriente.

#### **SUBORDEN SELLAPHORINEAE** D. G. Mann

#### **FAMILIA SELLAPHORACEAE** D. G. Mann

#### **Fallacia pygmaea** (Kützing) Stickle & D. G. Mann (*Lámina IV; Fig. 114, 116*)

Sin. *Navicula pygmaea* Kützing 1849; *Navicula minutula* W. Smith 1853; *Navicula rotundata* Hantzsch fide Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula hudsonis* Grunow in Cleve 1891; *Diploneis hudsonis* Cleve 1894.

Valvas elípticas con extremos ampliamente redondeados. Rafe filiforme con fisuras terminales rectas. Área central amplia sub-poligonal. Estrías radiadas y en el centro son cortas por presentar un área hialina o conopeum en forma de "H". Longitud del eje apical: 18-32 (21.7±3.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8.6-11 (9.3±0.7)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2-3 (2.4±0.3)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 22.3-28 (24.8±2.3)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La estructura fácilmente distinguible de la especie es el *conopeum* en forma de "H" que se localiza en el área axial.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** epipélica, amplia distribución en perifiton de agua dulce y salobre (cenotes); común en depósitos litorales de ríos; alcalífila a alcalibióntica; en aguas  $\alpha$ - $\beta$ -mesosapróbicas (Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Se registró en zonas con muy baja concentración de oxígeno disuelto, con severa contaminación; aguas ácidas a neutras, con moderadas a elevadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### **Sellaphora pupula** (Kützing) Mereschkowksy (*Lámina IV; Figs. 119 - 121*)

Sin. *Navicula pupula* (Kützing).

Valvas elípticas, extremos ligeramente rostrados, redondeados, rafe filiforme. Área central amplia, se observa como una fascia, la axial es estrecha, linear. Estrías radiales. Longitud del eje apical: 12.4-20.5 (16±2.4)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.3-7.4 (6.3±0.7)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2-3.1 (2.5±0.3)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18-26.2 (20.3±1.1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Es reconocido que esta especie tiene variada morfología (Hustedt, 1927). En el Alto Lerma se observaron dos de los morfotipos descritos por Mann (1989): *Lámina IV*, Fig. 119: "capitate" y Figs. 120, 121: "obese", muy abundantes en localidades con severa contaminación.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva *et al.* 2005; Valadez *et al.* 2005); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); Brasil (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998); Europa occidental (Germain, 1981); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Madagascar (Metzeltin y Lange-Bertalot, 2002).

**Afinidades ambientales:** Ampliamente distribuida, metafítica; perifítica y planctónica en cenotes, savanas inundadas y pozas; aguas circumneutrales a alcalinas; con un amplio espectro de aguas ricas en electrolitos; algunas poblaciones se encuentran en condiciones moderadamente contaminadas ( $\alpha$ -mesosapróbicas). Esta especie comprende morfotipos diferentes, los cuales pueden tener requerimientos ecológicos diferentes (Cox, 1996; Novelo *et al.* 2004; Oliva *et al.* 2005).

**En el presente estudio:** Con un amplio espectro ecológico: desde condiciones anóxicas hasta medios muy oxigenados; elevada eutroficación; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; en un intervalo de bajas a moderadas concentraciones de electrolitos; indiferente a la velocidad de la corriente

***Sellaphora seminulum*** (Grunow) D. G. Mann (*Lámina II; Fig. 57*)

Sin. *Navicula seminulum* Grunow 1860; *Navicula saugerii* Desmazières 1836-1854 (?); *Navicula seminulum* var. *fragilarioides* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula atomoides* Grunow in Van Heurck 1880 pro parte (Type de Synopsis 82).

Valvas linear-elíptica o elípticas a redondas. Rafe recto. Área axial, angosta, linear; área central transversal. Estrías radiales. Longitud del eje apical: 5-15.4 ( $10 \pm 4$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 1.7-4.5 ( $3.3 \pm 1.2$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical 2.4-3.5 ( $3 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 20-22 ( $21 \pm 0.9$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie, originalmente incluida en el género *Navicula*, fue transferida a *Sellaphora* fundamentalmente por la presencia de un *conopeum* y por la ultraestructura de las estrías, que no son lineoladas sino que son alveolos con una doble hilera de areolas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución, aerófila estricta; en ambientes con alta concentración de electrolitos y polisapróbicos; tolerante en aguas residuales y plantas de tratamiento, pero menos que *Craticula accomoda* y *Nitzschia palea* (Cox, 1996; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** Recolectada en localidades con muy bajas concentraciones de oxígeno y severa contaminación; aguas circumneutrales a alcalinas; de bajas a elevadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

## FAMILIA PINNULARIACEAE D. G. Mann

***Pinnularia interrupta*** W. Smith (*Lámina V; Figs. 153, 161*)

Sin. *Pinnularia mesolepta* (Ehrenberg 1843) W. Smith 1853; *Pinnularia biceps* Gregory 1856; *Pinnularia bicapitata* (Lagerstedt 1873) Cleve 1891.

Valvas lineales con extremos subcapitados. Rafe filiforme. Área axial angosta; la central es amplia, en forma de rombo. Estrías centrales radiales y convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 26-54.84 ( $42.5 \pm 9.3$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (5.4-6)7.5-9.6 ( $8.2 \pm 1.3$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3-6 ( $5.2 \pm 0.8$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9-15 ( $10.4 \pm 1.6$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Un carácter particular en esta especie es el área central grande, en forma de rombo y los extremos subcapitados.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** México central (Mendoza-González, 1985 en Cantoral, 1997); Morelos (Valdez, 1992 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Europa occidental (Germain, 1981).

**Afinidades ambientales:** Amplia distribución en aguas estancadas, manantiales o corrientes de condiciones oligosapróbicas y bajo contenido de minerales, acidófila (Cox, 1996; Cantoral, 1997).

**En el presente estudio:** En sitios con muy baja oxigenación y severa contaminación; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; medios con moderado a elevado contenido de electrolitos; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Pinnularia microstauron*** (Ehrenberg) Cleve (*Lámina IV; Fig. 109*)

Sin. *Stauroptera microstauron* Ehrenberg 1841 (1843); *Pinnularia viridis* var. *caudata* Boyer 1916.

Valvas elíptico-lanceoladas con extremos subcapitados. Rafe lateral. Área axial lanceolada; área central rómbica generalmente con una fascia, a veces asimétrica. Estrías centrales radiales, convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 38.4-56.2 (47±7) µm; longitud del eje transapical: 7.6-10.6 (9±1.2) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4.6-6 (5.4±0.5) µm; estrías: 9.6-13.8 (11.5±2) en 10 µm. Primer registro para el área de estudio.

**Comentarios taxonómicos:** El área central es muy variable, pequeña o grande de forma romboide o constituida como una fascia que en estos ejemplares alcanzan el borde valvar.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temascalcingo; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradbury, 1971 en Ramírez, 2002; Oliva *et al.* 2005); México central (Metcalf, 1985 en Ramírez, 2002); Coahuila, Michoacán, Hidalgo (Ortega, 1984); Puebla (Novelo, 1998 en Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003); Yucatán (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998).

**Distribución mundial:** Europa occidental (Germain, 1981); Brasil (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998); Chile, Ecuador (Rumrich *et al.* 2000); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica y metafítica en cenotes, pozas y savanas inundadas; epilítica; en aguas ácidas y bajo contenido de electrolitos; oligosapróbicas (Cox, 1996; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007; Oliva *et al.*, 2005).

**En el presente estudio:** Localizada en localidades con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y elevada eutrofización; aguas ligeramente ácidas a alcalinas con moderado contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Pinnularia* aff. *saprophila*** Krammer & Lange-Bertalot (*Lámina IV; Figs. 110, 111*)

Valvas lineares con extremos ampliamente redondeados. Rafe filiforme. Área axial amplia; área central rómbica. Estrías radiales en toda la valva. Longitud del eje apical: 20.1-47.7 (36.4±9) µm; longitud del eje transapical: 5-10.7 (8.4±2) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 3.9-5 (4.3±0.4) µm; estrías: 8.8-14.4 (11±2) µm.

**Comentarios taxonómicos:** Las afinidades que comparte el morfotipo descrito con *P. saprophila* es el contorno valvar lanceolado, así como su área axial que se va ampliando hacia el área central y termina con una fascia muy amplia. La diferencia es que los ejemplares en el Alto Lerma son de mayor talla.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temascalcingo; Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Chile (Rumrich *et al.* 2000).

**En el presente estudio:** Registrada en medios con muy baja oxigenación y elevada eutrofización; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; medios con moderados a elevado contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Pinnularia* aff. *silviasalae*** Metzeltin *et al.* (*Lámina IV; Figs. 112, 113*)

Valvas lineares con extremos sub-capitados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central muy

amplia, con un área hialina de forma romboidal. Estrías centrales ausentes, en los ápices son ligeramente radiales. Longitud del eje apical: 41.24-50 (47±5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8.61-10.35 (9.4±1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.8-5.4 (5±0.4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.4-11.7 (11±0.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La morfología de *P. silviasalae* con el morfotipo del Alto Lerma es muy semejante salvo que los morfotipos en el área de estudio son más anchos y ligeramente más grandes.

El morfotipo observado para el Alto Lerma coincide por completo con el descrito por Metzeltin y colaboradores (2005), sin embargo la morfometría es diferente.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Pregistro para México.

**En el presente estudio:** También registrada en zonas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto; en medios con severa contaminación por materia orgánica y agrícola; aguas ligeramente ácidas a neutras, de baja a moderada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

*Pinnularia* aff. *valdetolerans* S. Mayama & H. Kobayasi in M. Idei & Mayama (*Lámina IV; Figs. 122, 123*)

Valvas linear-lanceoladas con extremos capitados. Rafe filiforme. Área axial angosta; área central amplia con una fascia romboide. Estrías centrales ausentes, divergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 14.7-29 (23.7±4.2)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3-5.3 (4.6±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4.5-6.6 (5.1±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12.3-16.7 (13.5±1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Los individuos observados en el Alto Lerma presentan estrecha semejanza morfológica con la especie comparada, sin embargo son de mayor talla y más anchos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temascalcingo; Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**En el presente estudio:** Se le registró en localidades con muy baja cantidad de oxígeno disuelto y eutrofizadas; aguas ligeramente ácidas a circumneutrales de moderada a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### **SUBORDEN DIPLONEIDINEAE** D. G. Mann

#### **FAMILIA DIPLONEIDACEAE** D. G. Mann

##### *Diploneis subovalis* Cleve (*Lámina IV; Fig. 118*)

Valvas elípticas a linear elípticas con extremos son redondeados. Conopeum angosto, linear, semi-recto en el centro de la valva. Área central amplia. Estrías gruesas radiales y punteadas. Longitud del eje apical: (17) 20-35.3 (30±8.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (9)10.2-16.3 (12.5±3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.7-2.3 (2±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: (9) 10-16.1 (18) (13.6±3.5) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La principal característica en esta especie es su área central amplia en forma circular y la disposición alterna de las areolas en cada estría.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro y Uruétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster & Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Chile (Rodríguez, 2004); Este de Africa (Gasse, 1986); Israel (Ehrlich, 1995); regiones tropicales (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Aguas termales y ríos con alto contenido de minerales, perifítica, planctónica en cenotes; oligohalobia (Gasse, 1986; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Se le encontró en localidades con muy bajas concentraciones de oxígeno; en severa eutrofización; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; moderada a elevada concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

**SUBORDEN NAVICULINEAE** Hendeley 1937**FAMILIA NAVICULACEAE** Kützing 1844***Navicula antonii*** Lange-Bertalot in Rumrich *et al.* (Lámina I; Figs. 35, 40, 41)

Sin. *Navicula menisculus* var. *grunowii* Lange-Bertalot 1993; *Navicula menisculus* var.? Grunow in Van Heurck, Atlas de Sinopsis 1880; *Navicula menisculus* auct. non Schumann.

Valvas muy lanceoladas a ampliamente lanceoladas, con extremos cuneados, ligeramente a no proyectados. Rafe filiforme. Área axial angosta, área central muy pequeña y de forma irregular. Estrías radiadas en toda la valva, excepto en los extremos donde son paralelas a ligeramente convergentes. Las dimensiones representan un *continuum* que incluye formas más pequeñas que las descritas en Lange-Bertalot, 2001. Longitud del eje apical: (12.8) 13.7-28.1 (20.7±3.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (4.6) 5.6-7.6 (6.1±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.4-4.3 (3.4±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11-15.1 (6) (13.4±1.37) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie fue descrita originariamente como *N. menisculus* var. *grunowii* Lange-Bertalot 1993 y se diferencia de *N. menisculus* por sus valvas más redondeadas. Los valores del ancho de la valva (6±1.1) y otras variables morfológicas y morfométricas concuerdan con la diagnosis de la especie, aunque se propone ampliar el intervalo de 4.6-7.6.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Aguas eutróficas a hipereutróficas, ricas en contenido de electrolitos; tolerante a niveles medios a altos de contaminación  $\alpha$ -mesosapróbica. Puede ser considerada como buen indicador de aguas impactadas por actividad humana (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Se encontró en sitios desde bajas concentraciones de oxígeno disuelto a elevada oxigenación; aguas alcalinas con alta concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula capitatoradiata*** Germain (Lámina VI; Figs. 180, 181)

Sin. *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula salinarum* var. *intermedia* (Grunow) Cleve 1895.

Valvas lanceoladas a elíptico-lanceoladas, extremos rostrado-capitados a capitados. Rafe filiforme, área axial angosta; área central pequeña formada por el acortamiento irregular de las estrías centrales. Estrías radiales en el centro y convergentes en los polos. Longitud del eje apical: 30.7-39.8 (36.1±2.2)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 7.1-8 (7.37±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.6-5.2 (5±5.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 13-14.4 (13.6±0.5) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se encontraron algunos individuos más angostos que lo mencionado para Europa, que concuerdan con otras localidades de América, pero que coinciden con la morfología general de la especie.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001); Europa occidental (Germain, 1981); África oriental (Gasse, 1986); Holanda (Dam, Mertens & Sinkeldam, 1994).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, alcalífila, oligohalobia, eutrófica, tolerante a condiciones  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbicas, reófila en agua corriente (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Germain, 1981; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Medios con alta concentración de oxígeno disuelto; expuesta a severa contaminación; aguas alcalinas y alto contenido iónico; zonas con velocidad de corriente.

***Navicula cryptocephala*** Kützing (Lámina VI; Figs. 184, 185)

Sin. *Navicula cryptocephala* Lange-Bertalot 1993; *Navicula exilis* Kützing.

Valvas lanceoladas, extremos rostrados a rostrado-capitados. Rafe filiforme, área axial angosta a muy

angosta, área central variable en tamaño y forma. Estrías fuertemente radiadas en el centro y convergentes hacia los extremos. Longitud del eje apical: 26-30 ( $29 \pm 2$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6-6.6 ( $6.3 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical 4.5-4.6 ( $4.5 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 14.4-17 ( $16 \pm 1.3$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La especie se distingue por la forma del área central y por los extremos globosos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalfe, 1988 en Cantoral, 1997); Morelos (Hernandez-Becerril y Tapia-Peña, 1987; Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); Puebla (Novelo, 1985; Ávila, 1989 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral-Uriza, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot 2001); Europa occidental (Germain, 1981).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, con un amplio espectro de condiciones ambientales desde oligotrófica a ligeramente  $\alpha$ - $\beta$ -mesosapróbicas y condiciones húmicas; bajas concentraciones de electrolitos, aguas ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Germain, 1981, Ehrlich, 1995; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Registrada en sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y severas condiciones de eutroficación; aguas neutras con baja concentración iónica; en zona de rápidos.

***Navicula cryptotenella*** Lange-Bertalot (*Lámina IV; Figs. 96, 97*)

Sin. *Navicula tenella* Brébisson ex Kützing 1849 *sensu* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula radiosa* var. *tenella* (Brébisson ex Kützing) Van Heurck 1885.

Valvas lanceoladas, con extremos agudamente redondeadas. Rafe filiforme. Área axial linear y angosta, la central muy angosta delimitada por estrías centrales pequeñas las cuales son radiales en el centro y convergentes en los extremos. Estrías radiales en el centro, de las cuales, 2 ó 3 estrías son más cortas y desiguales; se hacen convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 17.5-35.3 ( $25.3 \pm 4.2$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.9 -7 ( $5.5 \pm 0.6$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.5-5.2 ( $4.6 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 12-15.7 ( $13.9 \pm 0.9$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Como consecuencia de la eutroficación generada por el desarrollo industrial o urbano, esta especie ha generalizado su distribución en Europa. En aguas eutróficas se le confunde continuamente con *N. antonii*, con la distinción de que la primera especie presenta las areolas más gruesas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); Puebla (Ibarra en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita de amplia distribución en aguas dulces (Lange-Bertalot, 2001); EUA (Patrick y Reimer, 1975); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, aguas con moderado a alto contenido de electrolitos; sensible a la contaminación bajo condiciones  $\beta$ -mesosapróbicas (Cantoral, 1997; Cox, 1996). En México, perifítica y metafítica en savanas inundadas, pozas y cenotes Aguas con altas conductividades (Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** encontrada en aguas con bajo a medio contenido de oxígeno disuelto; tolera contaminación de origen agrícola y orgánica; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; conductividad eléctrica moderada; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula erifuga*** Lange-Bertalot (*Lámina IV; Figs. 132, 133*)

Sin. *Navicula leptcephala* Brébisson ex Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula cincta* var. *leptocephala* (Brébisson) Van Heurck; *Navicula heufleri* var. *leptocephala*; *Navicula cinctaeformis* Hustedt *sensu* Cholnoky.



Valvas elíptico-lanceoladas, con extremos agudo-redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta; el área central es asimétrica. En el centro se observan pequeñas estrías radiadas, y convergentes en los polos. Longitud del eje apical: 25-35 (29.1±3) µm; longitud del eje transapical: 5.5-7 (6.2±0.5) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4-5.37 (6±0.4) µm; estrías: 12-15 (13.4±0.9) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Existe mucha similitud morfológica con *N. symmetrica* de la que se puede diferenciar por tener las estrías convergentes en los polos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temascalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Perifítica y metafítica en savanas inundadas, cenotes y pozas en aguas salobres o con alto contenido de electrolitos, eutróficos, medios α-β-mesosapróbicos). (Novelo *et al.* 2007; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Fue recolectada en un amplio espectro de concentración de oxígeno y elevada contaminación; aguas neutras a alcalinas con bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula germainii* Wallace (Lámina IV; Figs. 135, 136)**

Sin. *Navicula rostellata* Kützing sensu Germain 1936; *Navicula rhyncocephala* var. *germainii* (Wallace) Patrick in Patrick & Reimer 1966; *Navicula viridula* var. *germainii* (Wallace) Lange-Bertalot 1993.

Valvas lanceoladas con extremos agudamente redondeados. Rafe filiforme. Área axial muy angosta y la central grande y redonda. Estrías radiales. Longitud del eje apical: (24.4) 26-37.9 (34.1±3) µm; longitud del eje transapical: (5.4)6.2-8 (7.2±0.6) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.8-5.4 (4.7±0.3); µm; estrías: (12.8) 13.7-15(16) (14.2±0.9) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Un carácter distintivo en esta especie es el distanciamiento de las estrías en el área central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Se encuentra en aguas eutróficas con niveles críticos de contaminación (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** En bajas concentraciones de oxígeno disuelto y elevada contaminación; aguas neutras a alcalinas con bajas a moderadas conductividades; en zonas con alta velocidad de corriente.

***Navicula libonensis* Schoeman (Lámina VI; Figs. 186, 187)**

Sin. *Navicula viridula* var. *pamirensis* Hustedt 1936; *Navicula schubartii* var. *africana* Archibald 1966.

Valvas lanceoladas con extremos redondeados. Rafe filiforme a ligeramente lateral. Área axial angosta; área central asimétrica. Estrías débilmente radiadas. Longitud del eje apical: 29.2-34.7 (31.8±2.3) µm; longitud del eje transapical: 6-6.7 (6.4±0.3) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.5-5.2 (4.9±0.3) µm; estrías: 11.8-12.9 (12.4±0.6) en 10 µm; lineolas: 27.9-31 (30.1±1.5) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** La particularidad en esta especie es el espaciado de las areolas las cuales son claramente visibles al microscopio óptico.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Aguas muy contaminadas y alto contenido de electrolitos (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Se le encontró en medios de bajos a medianamente oxigenados y elevada contaminación; aguas ligeramente ácidas a neutrales; bajas a moderadas conductividades; en zonas con velocidad de corriente.

***Navicula microcari*** Lange-Bertalot (*Lámina VI; Figs. 188, 189*)

Valvas elípticas a lanceoladas, extremos redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta y área central rectangular, transversal. Estrías radiales, convergentes en los polos. Longitud del eje apical: 17.9-23.15 ( $20 \pm 2.8$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.7-4.4 5 ( $4 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.4-5.2 ( $4.9 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 15-15.7 ( $15.3 \pm 0.4$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Sus valvas tan delgadas es un carácter decisivo para separar esta especie de *N. cari* o *N. veneta*.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Israel, Inglaterra, lago Tenerife, lago Geneva (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** En manantial desértico con elevado contenido de electrolitos (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Registrada en zonas de bajas a mediana concentración de oxígeno disuelto y expuesta a severa contaminación; aguas circumneutrales; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula recens*** (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (*Lámina VI; Figs. 182, 183*)

Sin. *Navicula cari* var. *recens* Lange-Bertalot 1980.

Valvas elíptico-lanceoladas a linear-lanceoladas, con extremos agudos a redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta, la central es redonda. Estrías radiadas, ligeramente convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 21.1-36.5 ( $30.1 \pm 4.7$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6.4-9 ( $7.4 \pm 0.6$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.9-4.9 ( $4 \pm 0.6$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11-13.3 ( $12 \pm 0.8$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Con valvas características entre elípticas a lanceoladas y el área central puede ser redonda, cuadrada o transversalmente rectangular.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Europa central, Jamaica (Lange-Bertalot, 2001); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Aguas salobres, ríos con alto contenido de electrolitos,  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbicas (Ehrlich, 1995; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** En localidades con muy baja oxigenación y altamente contaminadas; aguas ligeramente ácidas a neutras con moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula riediana*** Lange-Bertalot & Rumrich in Rumrich *et al.* (*Lámina VI; Figs. 165, 166*)

Valvas linear-elíptico-lanceoladas, angostas, extremos redondeado-rostrados. Rafe filiforme. Área axial muy angosta, área central amplia y asimétrica. Estrías radiadas en el centro, convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 36.6-56.1 ( $45.6 \pm 4.4$ )  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6.5-8.7 ( $8 \pm 0.5$ )  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 5-6.9 ( $6 \pm 0.4$ )  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10-11.9 ( $11.2 \pm 0.5$ ) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** En la zona de estudio, el intervalo de variación del ancho de la valva es más amplio que el mencionado en la literatura consultada. Metzeltin *et al.* (2005) reportó para Uruguay, algunas valvas más anchas (8-8.7  $\mu\text{m}$ ) que el material de Europa (generalmente  $< 8$   $\mu\text{m}$ , Lange-Bertalot, 2001). Estos autores relacionan esta diferencia con altas conductividades (500-1000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) pero este no fue el caso en las muestras donde *N. riediana* estuvo presente y donde las conductividades son de moderadas a elevadas (232-581  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo

Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Sur América, Europa continental y varias islas: Canarias, Madeira, Nueva Caledonia (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Aguas con elevado contenido de electrolitos, alcalinas, moderadamente eutróficas (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Muy frecuente en todos los sitios de muestreo; expuesta a un amplio espectro de oxigenación y elevada contaminación; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; entre bajas y moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula rostellata* Kützing (Lámina V; Figs. 158, 159)**

Sin. *Navicula rhychocephala* var. *rostellata* (Kützing) Cleve & Grunow 1880; *Navicula viridula* var. *rostellata* (Kützing) Cleve 1895.

Valvas linear-lanceoladas, extremos obtuso-redondeados. Rafe filiforme. Área axial angosta, área central redonda. Estrías transapicales lineoladas, más distantes alrededor del área central. La morfología de esta especie coincide con *N. viridula* pero de menor talla y con extremos más angostos, además las estrías están más cercanas. Longitud del eje apical: 34-42.5 (37.8±2.3) µm; longitud del eje transapical: 7.5-9.8 (8.9±0.7) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.8-4.4 (4.2±0.25) µm; estrías: 12-14.6 (13.3±0.7) en 10 µm; lineolas: 29.8-30.1 (30±0.1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** La morfología de esta especie coincide con *N. viridula* pero es de menor talla y con extremos más angostos, además las estrías están más cercanas.

Aunque Lange-Bertalot (2001) hace mención de que *N. rostellata* se asocia a *N. viridula* en el mismo ambiente, en el Alto Lerma no se observó tal asociación. Nueva en el área de estudio.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1993 en Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Perifítica y metafítica en pozas, cenotes y savanas inundadas; tolerante a contaminación β-α-mesosaprobica (Lange-Bertalot, 2001; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En localidades con bajas concentraciones de oxígeno disuelto; contaminación agrícola; aguas neutras a alcalinas, mediana concentración iónica; en zonas de corriente.

***Navicula simulata* Manguin (Lámina V; Fig. 157)**

Sin. *Navicula symmetrica* Patrick.

Valvas linear-elípticas a linear-lanceoladas, con extremos obtusamente redondeados. Rafe filiforme. Área axial lineal; la central es redonda. Las estrías son radiales a lo largo de la valva Longitud del eje apical: (28.8) 30.4-45.6 (35.8±4.1) µm; longitud del eje transapical: 6-8.1 (6.6±0.5) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.5-6.3 (5.4±0.4) µm; estrías: 11-13.5 (13±0.5) en 10 µm; lineolas: 28.5-32 (30±1.4) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** A esta especie se le distingue claramente la areolación y sus estrías muy radiadas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Van de Vijver y Lange-Bertalot, 2009).

**Afinidades ambientales:** En aguas eutróficas de moderadas a elevadas conductividades; tolerante a contaminación α-mesosaprobica (Van de Vijver y Lange-Bertalot, 2009).

**En el presente estudio:** En medios de bajo a alto contenido de oxígeno disuelto; severa contaminación de diferentes tipos; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, bajas a moderadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de corriente.

***Navicula trivialis*** Lange-Bertalot (*Lámina VI; Figs. 167, 168*)

Sin. *Navicula lanceolata* sensu Kützing, sensu Grunow, non sensu Hustedt.

Valvas ampliamente lanceoladas con extremos agudamente redondeados. Rafe filiforme, débilmente lateral. Área axial angosta, la central amplia y redondeada. Estrías radiadas, paralelas o convergentes cerca de los polos. Longitud del eje apical: 32.6-45.5 (39±4.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8.6-9.7 (9±0.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.5-4.66 (4.3±0.4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 11.6-13.3 (12.4±0.6) en 10  $\mu\text{m}$ ; lineolas: 28- 31.9 (30±1.8) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Especie que se distingue por los extremos del rafe en forma de gancho y las centrales son más o menos rectas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Epipélica, común en aguas con elevado contenido de electrolitos a ligeramente salobres, tolerante a condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas (Cox, 1996; Ehrlich, 1995).

**En el presente estudio:** En medios con muy baja oxigenación y elevada contaminación industrial, urbana y agrícola; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; de bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula upsaliensis*** (Grunow) Peragallo (*Lámina VI; Figs. 169*)

Sin. *Navicula menisculus* var. *upsaliensis* Grunow in Van Heurck 1880; *Navicula menisculus* var. *upsaliensis* Grunow in Cleve & Grunow 1880; *Navicula menisculus* var. *upsaliensis* Grunow in Cleve & Möller 1881.

Valvas ampliamente lanceoladas, con extremos agudamente redondeados. Rafe lateral. Área axial angosta y recta, área central pequeña. Estrías radiales en el centro y ligeramente convergentes en los polos. Longitud del eje apical: 29.9-44.8 (36.6±5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (7.8-8.8) 10.5-11.8 (9.5±1.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.6-4.1 (3.9±0.1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 9 (12-13.9) (11±2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** El carácter distintivo que diferencia esta especie de *Navicula menisculus*, son sus valvas, las cuales son notablemente más delgadas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Europa central (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Alcalina en medios con alto contenido de electrolitos y aguas ligeramente salobres de ríos estuarinos y en el mar Báltico (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** En sitios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y contaminación severa; aguas débilmente ácidas a neutras con bajo contenido de electrolitos; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula veneta*** Kützing (*Lámina IV; Figs. 106, 107*)

Sin. *Navicula cryptocephala* var. *veneta* (Kützing) Rabenhorst 1864; *Navicula cryptocephala* var. *subsalina* Hustedt 1925; (?) *Navicula lancettula* Schumann 1867.

Valvas lanceoladas angostas con ápices rostrados. Rafe filiforme. Área axial linear, estrecha; área central transversa. Estrías centrales radiales y en los polos, convergentes. Longitud del eje apical: 14.4-30.1 (21.3±3.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.8-6.4 (5.6±0.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-5.6 (4±0.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: (13)13.5-15.4 (14.3±0.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** La estructura distintiva en la especie son sus poros centrales alargados y sus pequeñas lenguas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Oaxaca (Tavera *et al.* 1994 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1933 en Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** África oriental (Gasse, 1986); Chile (Díaz y Maidana, 2005); Europa central; cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Bentónica, perifítica, epipsámica, subaérea; habita en condiciones fuertemente eutróficas, dominante en aguas contaminadas por la industria; medios ligeramente ácidos a salobres con alto contenido de solutos, de amplia distribución en aguas fuertemente eutróficas, tolerante a condiciones polisapróbicas; registrada en flujos con alta conductividad eléctrica (Cox, 1996; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Se registró en un amplio espectro de oxigenación y elevada contaminación; aguas ácidas a alcalinas; bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Navicula vilaplani*** (Lange-Bertalot & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater in Rumrich *et al.* (Lámina IV; Fig. 115)

Sin. *Navicula longicephala* var. *vilaplani* Lange-Bertalot & Sabater in Sabater *et al.* 1990.

Valvas linear-lanceoladas con extremos agudamente redondeados. Rafe filiforme. Área axial linear; área central pequeña. Estrías radiales y más distantes en el centro y convergentes en los polos. Longitud del eje apical: 17-17.9 (17.4±0.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.6-6.1 (4±0.9)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical 3-4.9 (4±0.8)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17.1-18.4 (17.7±0.6) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las valvas de esta especie se caracterizan por ser delgadas y pequeñas, estriación marcadamente radial y en el área central se observan separadas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 2001).

**Afinidades ambientales:** Eutrófica, en ríos con alto contenido de electrolitos (Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** Se encontró en medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y fuerte contaminación de origen agrícola y urbano; bajo contenido iónico; indiferente a la velocidad de la corriente.

## FAMILIA PLEUROSIGMATACEAE Mereschowsky 1903

***Gyrosigma scalproides*** (Rabenhorst) Cleve (Lámina III; Fig. 94)

Sin. *Pleurosigma scalproides* Rabenhorst 1861.

Valvas sigmoideas, hacia la parte media sus bordes son paralelos, extremos redondeados. Raphe y área axial con zona estrecha sigmoide, el área central es pequeña, alargada y elíptica. Estrías radiales en el centro y transversales en los extremos. Longitud del eje apical: 49.2-55 (53.8±3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 8.5-9.5 (9±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 5.3-6.5 (6.1±0.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 21.3-22.2 (21.9±0.4)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Carácter muy notorio en esta especie son los márgenes paralelos y las fisuras centrales del rafe en forma de "T", además de su área central de forma elíptica.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temascalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Chiapas (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998); cuenca del Papaloapan (Tavera *et al.* 1994 en Cantoral, 1997); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Carmona, 1990; Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita; las poblaciones de esta especie se han visto disminuidas por el aumento de contaminación de los cuerpos de agua en Europa occidental (Germain, 1981; Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en cenotes y pozas, en ocasiones aerófila; en manantiales; alcalífila, mesotrófica; oligohalobia indiferente; en aguas de medios a elevado contenido de electrolitos; reófila (Cantoral, 1997; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 1986; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Localidades con aguas medianamente oxigenadas y elevado contenido de materia orgánica y agroquímicos; aguas ácidas; bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Caloneis hyalina*** Hustedt (*Lámina V; Figs. 160, 162*)

Sin. *Caloneis chasei* Cholnoky 1954; non *Caloneis hyalina* Cleve-Euler 1955.

Valvas rómbico-lanceoladas con extremos cuneado-rostrados; rafe recto; estrías transapicales, casi paralelas; se caracteriza por una fascia central; área axial amplia. Longitud del eje apical: 15.2-25 (20±3.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.9-5.8 (5.3±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3-4.4 (3.7±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 20.6-23.2 (22±1.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia de la muy similar *C. silicula*, fundamentalmente por el contorno valvar.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita, más común en los Trópicos (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Aerófila (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** Se encontró en zonas con muy bajo contenido de oxígeno disuelto y fuertemente contaminadas; aguas neutras a alcalinas; medios en con alto contenido iónico; en zona de alta velocidad de corriente.

***Caloneis* sp.** (*Lámina VI; Fig. 175*)

Valvas linear-elípticas, gibosas en su parte central, extremos obtusamente redondeados. Son notorias dos fascias alargadas en el área central, a cada lado de los brazos del rafe. Estrías transapicales, ligeramente radiadas. Longitud del eje apical: 22.6-30.3 (27.8±3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.5-6.2 (6±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.2-6 (5±0.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 18-22.6 (20.7±1.7) en 10  $\mu\text{m}$ . El material observado guarda una cierta semejanza con el denominado *Caloneis spec.* en Rumrich *et al.* 2000, figura 136: 4.

**Comentarios taxonómicos:** Este taxón se asemeja a *Caloneis hyalina* Hustedt por la presencia de una amplia fascia. Sin embargo se diferencia en la forma de sus valvas, en *C. species* son linear-elípticas mientras que en *C. hyalina* son lanceoladas. Krammer y Lange-Bertalot (2004), señalan que se requieren todavía estudios taxonómicos que deslinden perfectamente las especies dentro del género *Caloneis*.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temazcalcingo; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución mundial:** Chile central (Rumrich *et al.* 2000).

**Afinidades ambientales:** Aguas termales (Rumrich *et al.* 2000).

**En el presente estudio:** Se recolectó en localidades de medio a alto contenido de oxígeno disuelto altamente eutrofizados; aguas ligeramente ácidas a neutrales con moderada a rica concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

**FAMILIA STAURONEIDACEAE** D. G. Mann

***Craticula accomoda*** (Hustedt) D. G. Mann in Round *et al.* (*Lámina VI; Fig. 170, 171*)

Sin. *Navicula accomoda* Hustedt 1950.

Valvas lanceoladas, ápices subrostrados. Rafe filiforme; el área axial es linear y angosto y la central es reducida. Estrías centrales paralelas o débilmente convergentes en los extremos; las apicales ligeramente radiales y menos densas. Longitud del eje apical: 21-23 (21.6±0.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 6-7 (6.4±0.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.1-3.7 (3.4±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17-24 (21±2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** el carácter típico de esta especie es el mayor distanciamiento de las estrías centrales.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo

Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Guanajuato: el Capulín.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Ampliamente distribuida en aguas con contaminación orgánica, incluso en condiciones polisapróbicas. Muy común en biotopos altamente contaminados por lo que es indicadora de altos niveles de contaminación (Cox, 1996; Lange Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** En zonas con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, gran cantidad de materia orgánica y contaminación de origen industrial y agrícola; aguas ácidas a alcalinas y moderada concentración iónica; en zonas de corriente.

***Stauroneis phoenicenteron*** (Nitsch) Ehrenberg (*Lámina VI; Fig. 163*)

Sin. *Bacillaria phoenicenteron* Nitsch 1817 pro parte; *Stauroneis lanceolata* Kützting 1844.

Valvas lanceoladas a elíptico-lanceoladas con extremos ligeramente rostrados. Rafe estrecho hacia los extremos y el centro. Área axial lineal; un estauro en el área central. Estrías ligeramente radiales en toda la valva. Longitud del eje apical: 65-100.1 (76.2±14) µm; longitud del eje transapical: 13.3-17.8 (15±1.8) µm; relación de la longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.8-5.6 (5±0.3) µm; estrías: 17.4-20 (18.6±1.3) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Un carácter distintivo en esta especie es el área axial moderadamente ancha y la central con una fascia que se extiende hasta el borde valvar, así como la ausencia de pseudoseptos en los extremos y la densidad de estrías.

**Distribución local (Alto Lerma):** En estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo.

**Distribución en México:** Estado de México (Ehrenberg, 1869; Oliva *et al.* 2005); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalfe, 1988); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Argentina, (Maidana, 1985); África del este (Gasse, 1986); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a); India (Sarode y Kamat, 1984 en Cantoral, 1997); EUA (Patrick y Reimer, 1966); Europa occidental (Germain, 1981).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución en aguas eutróficas, algunas veces contaminadas; perifítica y metafítica en pozas, cenotes y savanas inundadas; epilítica en rápidos, amplio espectro de tolerancia ecológica; común en arroyos; indiferente al calcio (Cantoral, 1977; Cox, 1996; Novelo *et al.* 2007; Oliva *et al.* 2005).

**En el presente estudio:** Se registró en medios con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altamente contaminados; aguas ligeramente ácidas con moderadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Eolimna subminuscula*** (Manguin) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin (*Lámina I, II; Figs. 30, 55*)

Sin. *Navicula luzonensis* Hustedt 1942; *Navicula demissa* Hustedt 1945; *Navicula frugalis* Hustedt 1957; *Navicula vaucheriae* Petersen sensu Hustedt 1961; *Navicula perparva* Hustedt sensu Cholnoky 1968.

Valvas lanceoladas amplias con ápices cuneados. Rafe filiforme con un engrosamiento silíceo. Estrías centrales ligeramente radiales, estrías apicales radiales. Longitud del eje apical: 6.2-11.1 (10±1.1) µm; longitud del eje transapical: 3.7-5.6 (4.7±0.5) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.1-2.6 (2±0.3) µm; estrías: 16-24 (20.5±2.4) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Caracterizada porque el área axial es muy marcada y sus estrías son perfectamente distinguibles. Esta especie es otro caso en el que observamos deformaciones del contorno valvar 14 casos entre 400 ejemplares revisados (3.5%) en las poblaciones del Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo y en Guanajuato: Uruétaro. Esta especie ha sido reportada en zonas de degradación y vertidos en la cuenca Euskadi, España, aunque no se mencionan formas teratológicas (Marín-Murcia y Aboal, 2005).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, El Capulín, Uruétaro, río la Laja; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** De amplia distribución; Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica y metafítica en pozas, cenotes y savanas inundadas durante el estiaje; epipélica, epilítica; en aguas con alta concentración de electrolitos, ríos fuertemente contaminados; tolerante a condiciones polisapróbicas (AlgaTerra, 2004; Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1997a; Novelo, 1998; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En condiciones anóxicas; en medios fuertemente eutrofizados; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; moderada a alta concentración iónica; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Eolimna tantula* Hustedt (Lámina II; Figs. 56)**

Valvas elípticas, extremos obtusamente redondeados. Rafe en forma de costilla, área axial sumamente angosta y la central es amplia y transversal. Estrías centrales radiales y las de los extremos casi paralelos. Longitud del eje apical: 6.1-15.4 (11.2±3.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 2.3-4.5 (3±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.4-3.5 (3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 20-22 (20.7±0.8) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las principales diferencias entre *Eolimna tantula* y *E. minima* se pueden establecer en la forma de las valvas, mientras que para la primera especie son lanceoladas para la segunda son redondeadas; así como el intervalo del tamaño es mayor en *E. tantula* (3-21  $\mu\text{m}$ ) en tanto que en *E. minima* es menor (5-18  $\mu\text{m}$ ).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Tolerante a contaminación  $\alpha$ -mesosaprobia y polisaprobia (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** Localidades anóxicas y condiciones eutróficas; aguas ácidas a básicas, moderadas a elevadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Fistulifera saprophila* (Lange-Bertalot & Bonik 1976) (Lámina III; Fig. 88)**

Sin. *Navicula muralis* f. *minuta* Grunow in Van Heurck 1880.

Valvas elípticas con una costilla a lo largo del rafe, nódulos terminales visibles. Rafe no diferenciable, un área hialina sobresaliente en el área axial. Estrías radiales muy poco visibles al microscopio óptico. Longitud del eje apical: 8-9.1 (8.5±0.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.3-4.1 (3.6±0.5)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.2-2.5 (2.4±0.1)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Los frústulos son poco visibles al microscopio óptico, sin embargo son reconocibles por la costilla media y los puntos en los extremos terminales del rafe.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro y Capulín.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Se encuentra en aguas con alta carga orgánica y elevado contenido de electrolitos, puede ser heterótrofa facultativa si están disponibles compuestos de carbón orgánico, tolerante a condiciones polisapróbicas (Cox, 1996; Krammer y Lange Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** Ubicada en zonas con muy baja oxigenación del medio; aguas altamente eutrofizadas; agua ácidas alcalinas con medias a elevadas conductividades; en zonas de corriente.

***Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski (Lámina V; Figs. 150, 151)**

Sin. *Navicula capitata* Ehrenberg 1838; (?) *Navicula humilis* 1873; *Pinnularia capitata* Ehrenberg 1848.

Valvas rómbico-lanceoladas, extremos redondeados. Rafe filiforme, área axial angosta, el área central es pequeña. Estrías muy amplias, radiadas en el centro y convergentes en los extremos. Longitud del eje apical: 12.5-24.1 (18.4±4.7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5-5.5 (5.4±0.2)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud



del eje apical/longitud del eje transapical: 2.2-4.4 (3.4±0.9)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8.3-10.2 (9.30.8)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de otras especies del género por sus valvas elípticas y la forma de los extremos capitados.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, puente Temazcalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín.

**Distribución en México:** Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán (Ortega, 1984); Estado de México (Ortega *et al.* 2005); México central (Metcalf, 1988 en Cantoral, 1977); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución, oligohalobia, tolerante a un amplio gradiente de conductividad y pH; común en aguas con alto contenido de electrolitos, salobre; tolerante a niveles críticos de contaminación ( $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbico) (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Lange-Bertalot, 2001).

**En el presente estudio:** En medios con buena concentración de oxígeno disuelto, altamente eutróficos; aguas ligeramente ácidas y mediana concentración iónica; en zonas de corriente.

***Hippodonta hungarica*** (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski (*Lámina VI; Figs. 172, 178*)

Sin. *Navicula hungarica* Grunow 1860; *Navicula capitata* var. *hungarica* (Grunow) Ross 1947.

Valvas elípticas, extremos obtusamente redondeados. Rafe filiforme, recto cuyos poros centrales están cercanos. El área axial es linear angosta y el área central ligeramente amplia. La disposición de las estrías es igual que para *H. capitata*. Longitud del eje apical: 12.1-31.6 (23±7.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.3-7.6 (5.8±1.5)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.9-4.5 (4±0.5)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 8.2-10 (10.23±2.3)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se caracteriza por la forma rómbica de las valvas y los extremos no diferenciables del cuerpo.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo.

**Distribución en México:** México central (Metcalf, 1988 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1977).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en cenotes, alcalífila, biotopos con moderado contenido de electrolitos a aguas salobres, oligosapróbica; eutraféntica; reófila; aguas lénticas o de flujo lento (Cantoral, 1997; Cox, 1006; Ehrlich, 1995; Novelo *et al.* 2007; Lange-Bertalot, 1997a).

**En el presente estudio:** En localidades con mínimas concentraciones de oxígeno disuelto y elevados niveles de contaminación; aguas ligeramente ácidas a neutras; baja concentración iónica; en zonas con mínima velocidad de corriente.

***Mayamaea atomus*** var. ***permitis*** (Hustedt) Lange-Bertalot (*Lámina II; Fig. 64, 65*)

Sin. *Navicula permitis* Hustedt, 1945; *Navicula peratomus* Hustedt, 1957; *Navicula atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot, 1985.

Valvas elípticas con ápices cuneados, rafe filiforme y fuertemente silificado. El área central es muy redonda y la axial, amplia. Tanto las estrías centrales como las de los extremos son radiales, las cuales son muy difíciles de observar al microscopio óptico. Longitud del eje apical: 7-8 (10) (8±0.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3-4 (3±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.8-3.3 (2.5±0.3)  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta variedad es difícil de identificar solo con microscopio óptico pero puede reconocerse por el esternón rafidiano engrosado, con los nódulos tanto central como polares muy evidentes; las estrías son visibles pero imposibles de contar.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, El Capulín, Uruétaro; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Lange-Bertalot, 1997a).

**Afinidades ambientales:** Epilítica, alcalina, hábitats polisapróbicos como aguas de plantas de tratamiento y aguas residuales con elevada carga orgánica (AlgaTerra, 2004; Cox, 1996; Germain,

1981).

**En el presente estudio:** En un amplio espectro de oxígeno disuelto; gran cantidad de materia orgánica y fuerte contaminación de origen industrial y agrícola; aguas ligeramente ácidas a alcalinas con bajas a medianas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### **ORDEN BACILLARIALES** Hendeby 1937

#### **FAMILIA BACILLARIACEAE** Ehrenberg 1831

##### ***Denticula kuetzingii*** Grunow (*Lámina V; Fig. 149*)

Sin. *Denticula obtusa* W. Smith 1856; non *Denticula obtusa* Kützing 1844; *Denticula inflata* W. Smith 1856; *Denticula decipiens* Arnott 1868; *Nitzschia denticula* Grunow in Cleve & Grunow 1880.

Valvas linear-lanceoladas con extremos redondeados. Rafe en el borde de la valva. Longitud del eje apical: 14-31.2 (22±6) μm; longitud del eje transapical: 3.2-8 (5±1.6) μm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.1-5.6 (4.2±0.8) μm; fíbulas: 58.8-79.8 (67.6±8.8) en 10 μm; estrías: 15-19.5 (16.7±1.6) en 10 μm.

**Comentarios taxonómicos:** Especie caracterizada por presentar fíbulas delgadas, extendidas como costillas hasta la parte media de la valva.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Michoacán: Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro; Uruétaro; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** cosmopolita y de amplia distribución (Chile, Díaz y Maidana, 2005; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución; perifítica y metafítica en pozas, cenotes y savanas inundadas; en aguas con moderado a alto contenido de electrolitos (Cox, 1996; Novelo *et al.* 2007; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** Registrada en sitios con muy baja oxigenación y severa contaminación; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y con moderadas o altas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

##### ***Hantzschia amphioxys*** (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow (*Lámina V; Fig. 152*)

Sin. *Eunotia amphioxys* Ehrenberg 1843.

Valvas linear-curvadas, el margen dorsal ligeramente curvado y el ventral cóncavo, con una constricción en su parte central, ápices rostrados a capitados. Rafe excéntrico. Estrías transversales; las fíbulas se limitan por un nódulo central. Longitud del eje apical: 23.6-59.8 (33±12.1) μm; longitud del eje transapical: 4-8.2 (5.3±1.3) μm; radio longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4.8-7.3 (6±0.8) μm; estrías: 11.3-29 (22.3±7.6) en 10 μm; fíbulas: 8.4-11.5 (9.8±1.3) en 10 μm.

**Comentarios taxonómicos:** Valvas reconocibles por su marcada asimetría respecto del eje apical, con el margen donde se ubica el canal rafidiano, cóncavo y el opuesto, convexo.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Distrito Federal (Ramírez *et al.* 2001 en Ramírez, 2002); Estado de México (Bradbury, 1971; Caballero *et al.* 1997 en Ramírez, 2002; Oliva *et al.* 2005; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1977 en Ramírez, 2002); Hidalgo, Michoacán, Coahuila, (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985, 1985; Metcalf *et al.* 1991 en Ramírez, 2002); Michoacán (Hutchinson *et al.* 1956 en Ramírez, 2002); Oaxaca (Tavera *et al.* en Ramírez, 2002); Puebla (Novelo, 1985, 1998; Navarro, 1988; Ávila, 1989 en Ramírez, 2002); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995); Madagascar (Metzeltin y Lange-Bertalot, 2002); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Perifítica, epilítica, planctónica en cenotes y savanas; oligohalobia indiferente, alcalífila, mesosapróbica, aerófila; rara en medios salobres (Cox, 1996; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Novelo *et al.* 2004; Ramírez, 2002).

**En el presente estudio:** Ambientes con baja a mediana oxigenación y muy contaminados; aguas ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas y con moderadas a altas concentraciones iónicas;

indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia amphibia*** Grunow (*Lámina III; Fig. 95*)

Valvas linear-lanceoladas, de extremos redondeados a rostrados. Estrías visiblemente punteadas. Longitud del eje apical: 9.5-34.4 (18.3±6.3)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (3.5-3.8) (4-4.5) (4±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.5-8.6 (4.7±1.6)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 10.1-17.8 (16.6±1.9) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 7-18 (9.4±2.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Son notables sus estrías conspicuamente areoladas y las fíbulas equidistantes.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temascalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro, río la Laja; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan, Puebla y Oaxaca (Ávila, 1985, 1989; Novelo, 1985; Tavera, Elster y Marvan, 1994 en Cantoral, 1997); Estado de México (Bradburry 1970, 1971 en Cantoral, 1997; Ortega, 1984; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalfe, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Michoacán (Hutchinson, 1956 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** África oriental (Gasse, 1986); Argentina (Maidana, 1985); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Chile (Díaz y Maidana, 2005); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución y cosmopolita de aguas dulces; en macrofitas o cursos de agua permanentes, poco o medianamente contaminados; aerófila; epilítica; perifítica y metafítica en savanas inundadas, pozas y cenotes; oligohalobia indiferente; alcalífila a alcalibióntica; preferencia de aguas eutróficas con contenido pobres a elevadas conductividades o medios salobres; aguas lénticas o en zonas de rápidos (Cantoral-Uriza, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Novelo *et al.* 2007; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** En amplios intervalos de oxigenación, elevada contaminación industrial, orgánica y agrícola; aguas ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas con moderadas a altas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia brevissima*** Grunow in Van Heurck (*Lámina VI; Figs. 190, 191*)

Sin. *Nitzschia parvula* Lewis 1862 non W. Smith 1853; *Nitzschia obtusa* var. *brevissima* (Grunow) Van Heurck 1885.

Valvas lineares, sigmoideas, cóncavas en la parte media, con extremos subcapitados. Rafe excéntrico. Estrías muy finas. Longitud del eje apical: 18.2-44.6 (35.5-5.8)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4-5.8 (5.3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3-9.1 (6.7±1.4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 33.3-35 (34.1±1.2) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 6-8 (7±0.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Sus valvas sigmoideas poseen la peculiaridad de ser cóncavas en la parte media, las estrías no se distinguen en el microscopio óptico. Puede ser confundida con formas pequeñas de *N. terrestris*, Lange-Bertalot y Krammer (1987) consideran este carácter como una convergencia evolutiva.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Chile (Rumrich *et al.* 2000).

**Afinidades ambientales:** Aguas salobres estuarinas, menos frecuente al aumentar la presión osmótica (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En sitios altamente oxigenados y oligotróficos; aguas alcalinas con conductividades medias; en zonas de corriente.

***Nitzschia capitellata*** Hustedt in A. Schmidt *et al.* (*Lámina VI; Fig. 179*)

Valvas elípticas de extremos rostrados; rafe excéntrico. Estrías muy finas poco visibles; las fíbulas se restringen a la periferia y en el caso de las centrales se observan ligeramente más separadas.

Longitud del eje apical: 20.8-62.4 (38±10)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: (3.2)3.7-5.8 (4.5±0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.8-13.1 (8.5±2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 22-40 (28±5) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 10-18 (12.5±1.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Los caracteres notables en esta especie son sus extremos capitados, las estrías muy finas poco visibles al microscopio óptico y sus fíbulas centrales, ligeramente más separadas entre sí que las restantes.

**Distribución local (Alto Lerma):** Presente en todas las localidades del área de estudio, dominante en las zonas más contaminadas.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Amplia distribución; aerófila sobre objetos flotantes y rocas; tolerante a contaminación polisapróbica; alto contenido de nitrógeno y muy común en aguas de moderado contenido de electrolitos a salobre; reófila (Barber y Haworth, 1981; Cox, 1996; Germain, 1981).

**En el presente estudio:** En localidades con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto y alta eutrofización; aguas ligeramente ácidas a neutras con bajas a medias concentraciones iónicas; en zona de alta velocidad de corriente. Se le observó asociada a *Nitzschia umbonata*, *Nitzschia palea* y *Eolimna subminuscula*, por lo que también en el Alto Lerma se le puede considerar como indicadora de alta eutrofización.

***Nitzschia clausii*** Hantzsch (*Lámina V; Fig. 146*)

Sin. (?) *Nitzschia sigma* var. *curvula* (Ehrenberg 1838) Brun 1880; *Nitzschia sigma* var. *clausii* (Hantzsch) Grunow 1878.

Valvas lineares, ligeramente sigmoides, márgenes más o menos paralelos con extremos asimétricos rostrado-capitados. Rafe marginal. Estrías muy finas. Longitud del eje apical: 23.8-42.8 (36.4±7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.5-4.3 (4±0.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 6.8-10 (9±1.2)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 9.5-13.1 (11±1.4) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** A esta especie se le reconoce por sus valvas sigmoides con los extremos asimétricos capitados y la estriación muy delicada

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Lorenzo Tlacotepec; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Guanajuato (García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalfe, 1988 en Cantoral, 1997); Morelos (Valadez, 1992 en Cantoral, 1997); Puebla (Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Chile (Rumrich *et al.* 2000); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución y común en aguas costeras salobres, estuarios y medios con elevada conductividad; tolerante a condiciones  $\alpha$ -meso o polisapróbicas. En conjunto con *Luticola goeppertiana* indican cierto grado de contaminación (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** Expuesta a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto, contaminación agrícola y de aguas residuales; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y moderadas a altas conductividades; aguas lénticas o con velocidad de corriente.

***Nitzschia constricta*** (Kützing) Ralfs in Pritchard 1861 non (Gregory) Grunow in Cleve & Grunow (*Lámina IV; Figs. 130, 131*)

Sin. *Synedra constricta* Kützing 1844; *Tryblionella apiculata* Gregory 1857; *Nitzschia apiculata* (Gregory) Grunow 1878.

Valvas lineares, márgenes cóncavos en el centro con extremos rostrados. Rafe marginal. En la parte central de la valva se observa una depresión muy marcada conjuntamente con un área hialina linear. Estrías transversales; fíbulas poco visibles. Longitud del eje apical: 20.6-58.2 (43±11.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 5.1-7 (6.2±0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4-8.9

(6.7±1.7)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 15-19 (16.9±1.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia de la muy similar *N. hungarica*, que también presenta una depresión con un área hialina, por tener el mismo número de fíbulas que de estrías, sin embargo, las primeras son poco visibles.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal; Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1988); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Autoecología comparable a la de *Nitzschia hungarica*: mesohalobia, alcalífila, tolerante a contaminación  $\alpha$ -mesosapróbica (Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 1997b)

**En el presente estudio:** En un amplio espectro de oxigenación y alta carga de materia orgánica, contaminación industrial y agroquímica; aguas ácidas a alcalinas y moderadas a elevadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia debilis*** (Arnott) Grunow in Cleve & Grunow (*Lámina IV; Fig. 125, 126*)

Sin. *Tryblionella debilia* Arnott in O'Meara 1873; *Nitzschia tryblionella* var. *debilis* (Arnott) Hustedt 1913.

Valvas linear-elípticas con ápices redondeados. Rafe marginal. Estrías muy finas, poco visibles al microscopio óptico. Longitud del eje apical: 17.4-22 (20.7±1.4)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 7.3-8.5 (8±0.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.2-2.9 (2.6±0.2) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 10-16.2 (13.5±2.3) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de otras especies afines, como *N. constricta*, por ejemplo, por sus valvas más pequeñas y delicadas, con las costillas poco marcadas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Brasil (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Chile central (Rumrich *et al.* 2000); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Reportada para litorales marinos, estuarios y cuerpos de agua donde pueda resistir fuertes variaciones osmóticas; mesohalobia, aerófila. (Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En ambientes medianamente oxigenados, oligotróficos; aguas circumneutrales y conductividades moderadas; en zona de corriente.

***Nitzschia filiformis*** (W. Smith) Van Heurck (*Lámina V; Fig. 143*)

Valvas linear-lanceoladas, ligeramente sigmoideas con extremos redondeados. Rafe excéntrico. Estrías poco visibles. Longitud del eje apical: 25.2-56.6 (36±14.6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.2-5 (4.7±0.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 5.1-9 (7.7±2.8)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 9-11.5 (10±1.1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** En esta especie las valvas son ligeramente sigmoideas con el centro de la carina ligeramente desplazado hacia el medio de la valva.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temazcalcingo; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro, río La Laja.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Brasil (Metzeltin y Lange-Bertalot, 1998); Chile (Rumrich *et al.* 2000); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Muy común en aguas dulces a salobres con contenido moderado de electrolitos; mesohalobia, alcalífila; en efluentes industriales concentrados, tolerante a contaminación  $\alpha$ -mesosaprobica pero no polisapróbica. (Cox, 1996; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En sitios con muy baja oxigenación y alto grado de contaminación;

aguas ligeramente ácidas a alcalinas, de moderadas a elevadas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia fonticola*** Grunow in Cleve & Möller (*Lámina II; Figs. 62, 63*)

Sin. *Nitzschia* (*palea* var.?) *fonticola* Grunow in Cleve & Möller 1879 (Nr. 174); *Nitzschia fonticola* (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881; *Nitzschia kuetzingiana* var. *romana* (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881; (?) *Nitzschia minima* Meister 1935; *Nitzschia macedonica* Hustedt 1945; *Nitzschia subromana* Hustedt 1954; *Nitzschia manca* Hustedt 1957 pro parte (Iconotypus); weitere (mutmaßliche) Synonyme s. u.

Valvas linear-lanceoladas con extremos redondeados. Rafe marginal. Estrías transapicales. Fíbulas claramente visibles y gruesas, hacia el centro están espaciadas. Longitud del eje apical: 9.5-19.13 (9±3.6) µm; longitud del eje transapical: 2.5-4.1 (3.3±0.6) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3-4.8 (3.8±0.7) µm; estrías: 23-30 (25±2.7) en 10 µm; fíbulas: 9.5-15 (12.7±1.8) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie es difícil de diferenciar de otras similares, aunque puede ser reconocida por la presencia de nódulo central y por la forma de las fíbulas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, río La Laja; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** T a contaminación oligo a β-mesosapróbica y alto contenido de nitrógeno; de amplia distribución en aguas de moderadamente bajas a alto contenido de electrolitos (Barber y Haworth, 1981; Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En localidades con muy bajas oxigenación y elevada eutrofización; aguas ácidas a alcalinas con conductividades moderadas a elevadas; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia frustulum*** (Kützinger) Grunow in Cleve & Grunow (*Lámina V; Fig. 148*)

Valvas lanceoladas a linear-lanceoladas; extremos subcapitados a ligeramente redondeados. Rafe marginal; fíbulas con distancias irregulares y las centrales están separadas. Cabe hacer notar que es una especie con numerosos morfotipos. Longitud del eje apical: 7.44-18.1 (11.2±3.6) µm; longitud del eje transapical: 2.3-4.3 (3±0.6) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 2.5-4.1 (3.5±0.5) µm; estrías: 18.3-29 (23±5.3) en 10 µm; fíbulas: 10-13.6 (12±1.2) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Lo característico de esta especie son las estrías evidentes; la forma de las fíbulas y su mayor distanciamiento en la región central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Chamácuaro, río La Laja.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva *et al.* 2005); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1997b); Ecuador y Chile (Rumrich *et al.* 2000); Etiopía (Gasse, 1980); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Amplia distribución y común en aguas dulces a salobres, perifítica o planctónica, oligohalobia indiferente a mesohalobia, alcalífila, aguas salobres, aguas eutróficas; perifítica y metafitica en pozas, cenotes y savanas inundadas (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Germain, 1981; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En un amplio espectro de concentración de oxigenación y en medios con fuerte contaminación orgánica, industrial y agrícola; aguas ácidas a circumneutrales y moderados a elevados niveles de conductividad; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia gracilis*** Hantzsch (*Lámina V; Fig. 144, 145*)

Sin. *Nitzschia graciloides* Hustedt 1953 non 1959.

Valvas linear-lanceoladas con extremos atenuados y rostrados. Estrías muy tenues, no es posible distinguirlas al microscopio óptico. Longitud del eje apical: (23.4) 34.2-80.2 (53±13.5)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 2.4-3.9 (3±0.5)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 7.8-31.6 (18.8±6)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 12.1-16.3 (13.4±1.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** En esta especie son característicos los extremos largamente rostrados y el canal rafidiano sin nódulo central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Valadez *et al.* 2005); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Metafítica y planctónica en cenotes y savanas inundadas; en medios salobres; en medios oligo a  $\beta$ -mesosapróbicos, en ríos fuertemente eutroficados (Cox, 1996; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** Se registró en ambientes con muy baja oxigenación y fuertemente contaminados; aguas ligeramente ácidas a circumneutrales; moderada a elevada concentración iónica; aguas lénticas.

***Nitzschia hungarica*** Grunow (*Lámina V; Fig. 140, 141*)

Sin. (?) *Nitzschia plicatula* Hustedt 1953; (?) *Nitzschia rugosa* Hustedt 1936 non Østrup in Héribaud *et al.* 1920; (?) *Nitzschia pseudohungarica* Hustedt 1939.

Valvas lineares, con una ligera constricción en el centro, ápices subrostrados. Estrías transapicales, separadas en la parte central con un área hialina. Longitud del eje apical: 34.5-74.9 (52.4±12)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4.3-8 (7±1.3)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 6.5-10.4 (7.5±1.4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 16.2-22 (18.7±2.2) en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 8-12 (10.5±1.7) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de otras especies que también poseen una ondulación longitudinal, por tener las estrías más densas que las fíbulas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro, río la Laja.

**Distribución en México:** Primer reporte para México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange Bertalot, 1997b); Chile (Rumrich *et al.* 2000; Díaz y Maidana, 2005); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Condiciones autoecológicas semejantes a *Nitzschia constricta*; de amplia distribución y común en aguas con alto contenido de electrolitos a salobres; tolerante a condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas; perifítica, mesohalobia a halófila (Cox, 1996; Germain, 1981; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En zonas con baja oxigenación y severa contaminación; aguas ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas con moderadas a elevadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia inconspicua*** Grunow (*Lámina IV; Fig. 127*)

Sin. *Nitzschia (perpusilla* Rabenhorst var.) *inconspicua* Grunow in Cleve & Möller 1878; *Nitzschia frustulum* var. *inconspicua* Grunow in Van Heurck 1881; (?) *Nitzschia invisitata* Hustedt 1942; *Nitzschia perpusilla* sensu auct. nonnull. (excl. Typus)

Aus der Synonymie auszuschließen sind: *Synedra perpusilla* Kützing 1844 (sie entspricht kleinschaligen Sippen von) *Nitzschia frustulum* var. *frustulum*; *Nitzschia perpusilla* Rabenhorst 1861; *Nitzschia perpusilla* Grunow 1862.

Valvas lanceoladas a linear-lanceoladas; extremos subcapitados a ligeramente redondeados.

Valvas elípticas a linear-lanceoladas con extremos obtusamente redondeados. Estrías transapicales; las fíbulas centrales están más espaciadas que las restantes. Longitud del eje apical: 12.4-14.1 (13.5±1)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 2.7-3 (3±0.1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4.5-4.7 (4.6±0.1)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 23.3 en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 9-10 (9.3±0.6) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Las características que diferencian esta especie con *N.*

*frustulum* es el contorno valvar y el tamaño. *N. frustulum* es lanceolada y de mayor tamaño (5-60  $\mu\text{m}$ ) mientras que *N. inconspicua* es elíptica y más pequeña (3-22  $\mu\text{m}$ ).

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Temazcalcingo; Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita de amplia distribución (Krammer y Lange Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Erllich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Planctónica, metafítica y perifítica en cenotes; aguas de moderado a alto contenido de electrolitos, en litorales sujetos a fluctuación osmótica, tolerantes a condiciones  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbicas (Cox, 1996; Krammer y Lange Bertalot, 1997b; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En ambientes medianamente oxigenados y muy contaminados; aguas ligeramente ácidas a neutras con moderado contenido de electrolitos; en zonas con velocidad de corriente.

***Nitzschia linearis*** (Agardh) W. Smith (*Lámina V; Figs. 138, 139*)

Sin. *Frustulia linearis* C. Agardh fide W. Smith 1853; *Surirella multifasciata* Kützing 1844 pro parte Valvas lineares con márgenes cóncavos en el centro, los extremos están atenuados y subcapitados. Rafe marginal constreñido en la parte central. Estrías transapicales con finas puntuaciones; fíbulas gruesas, las centrales se observan separadas. Longitud del eje apical: 66.3-148.6 (96 $\pm$ 26)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3-6.2 (5 $\pm$ 0.8)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 12.5-32.9 (21.2 $\pm$ 7)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 10-17.3 (12 $\pm$ 2.1) en 10  $\mu\text{m}$ ; estrías: 27.8-31 (29.1 $\pm$ 1.4) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se distingue por tener el canal rafidiano submarginal, curvado siguiendo la constricción de las valvas en la parte central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo, puente Temazcalcingo; Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial; Guanajuato: Capulín, Uruétaro; Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Cuenca del Papaloapan (Tavera, Elster y Marvan, 1994); Hidalgo, Puebla (Ortega, 1984; Cuesta, 1993); lago de Texcoco, ciudad de México (Bradburry, 1971 en Cantoral, 1997); Los Tuxtlas, Veracruz (Vázquez *et al.* 2001); México central (Metcalf, 1985 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Tlaxcala, Michoacán (Quintana, 1961 en Cantoral, 1997, Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** África oriental (Gasse, 1986); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Presenta gran amplitud ecológica; perifítica y metafítica en savanas inundadas y pozas; en manantiales y arroyos; oligohalobia indiferente; aguas ricas en oxígeno con alto contenido de electrolitos y circumneutrales, reófila y tolerante a contaminación  $\beta$ - $\alpha$ -mesosapróbica; buena indicadora de contaminación (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En medios con bajas a muy altas concentraciones de oxígeno y elevada eutrofización; aguas ácidas a alcalinas con moderadas a elevadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia microcephala*** Grunow in Cleve & Möller (*Lámina II; Figs. 60, 61*)

Valvas lineares a linear-lanceoladas, ápices subcapitados. Rafe marginal. Estrías transapicales y punteadas. Fíbulas cortas pero robustas. Longitud del eje apical: 7-9.4 (10 $\pm$ 1.7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 2.3-3 (3 $\pm$ 0.2)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 2.7-5.7 (4 $\pm$ 0.8)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 9.6-13 (12 $\pm$ 1.2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Esta es una especie con una morfología característica y prácticamente inconfundible. La especie más semejante, *N. elegantula*, presenta una ligera constricción en la región central y es levemente asimétrica respecto del eje apical.

**Distribución local (Alto Lerma):** Michoacán: el Pedregal, Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Primer registro en México.

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin, García-Rodríguez, 2003).



**Afinidades ambientales:** Perifítica, oligohalobia indiferente a halófila, alcalífila, aguas ricas en electrolitos y sitios sujetos a fluctuación osmótica; tolerante a condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En sitios mediana o altamente oxigenados con alta contaminación de origen orgánico y agrícola; aguas circumneutrales o alcalinas; moderado contenido de electrolitos; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia palea*** (Kützing) W. Smith (*Lámina V; Fig. 142*)

Valvas lineares a linear-lanceoladas, con extremos atenuados y ápices agudamente redondeados o subcapitados. Estrías transapicales poco visibles, fíbulas equidistantes. Longitud del eje apical: 17.2-52.2 (24.6 $\pm$ 7)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 3.8-5.6 (4.3 $\pm$ 0.6)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 4.5-10 (6 $\pm$ 1.2)  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 10-16 (13 $\pm$ 1.4) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Los caracteres conspicuos en esta especie son el ancho valvar siempre menor a 5  $\mu\text{m}$  y sus fíbulas pequeñas y cuadradas.

**Distribución local (Alto Lerma):** De amplia distribución y presente en todas las localidades del área de estudio.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva *et al.* 2005; Valadez *et al.* 2005); Guanajuato, García, 1997 en Cantoral, 1997); México central (Metcalfe, 1988 en Cantoral, 1997); Morelos (Hernández Becerril y Tapia-Peña, 1987 en Cantoral, 1997); Puebla (Ibarra, 1992; Cuesta, 1993 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Cantoral, 1997); Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** África oriental (Gasse, 1986); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995);

**Afinidades ambientales:** Perifítica, metafítica y planctónica en cenotes, pozas y savanas inundadas; oligohalobia indiferente, pH indiferente a alcalífila, buena indicadora de contaminación, tolerante a condiciones  $\alpha$ -mesosapróbicas a polisapróbicas; incluso en aguas oligotróficas y pobre en electrolitos; (Cantoral, 1997; Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** Con amplio espectro ecológico para oxígeno disuelto, pH y conductividad, en ambientes con contaminación severa; indiferente a la velocidad de la corriente. Asociada a *Nitzschia umbonata* y *Eolimna subminuscula* bajo las mismas condiciones de alta eutrofización.

***Nitzschia sigma*** (Kützing) W. Smith (*Lámina V; Fig. 137*)

Sin. *Synedra sigma* Kützing 1844.

Valvas lineares o linear-lanceoladas, ligeramente sigmoides, márgenes paralelos en la parte central, con extremos asimétricos y redondeados. Estrías transapicales, con finas puntuaciones. Longitud del eje apical: 61.7-74.64 (67 $\pm$ 6)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 4-6.7 (5.3 $\pm$ 1.1)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 9.2-18.7 (13.2 $\pm$ 4)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 31.2 en 10  $\mu\text{m}$ ; fíbulas: 7.7-11.6 (9.3 $\pm$ 2) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** En esta especie el rafe está interrumpido por un nudo central, dos o tres fíbulas están conectadas en su base a las estrías.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo; Guanajuato: Chamácuaro, Uruétaro.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en cenotes, epipélica en lagos eutróficos, mesohalobia, alcalífila, aguas marinas costeras y estuarios, eutróficas, pozas dulceacuícolas altamente mineralizadas (Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** Amplio espectro de oxigenación y altamente eutróficos; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y moderado a alto contenido de electrolitos; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia sinuata* var. *delognei* (Grunow) Lange-Bertalot (Lámina II; Fig. 59)**

Sin. *Nitzschia denticula* var. *delognei* Grunow in Van Heurck 1881; *Nitzschia moissacensis* var. *heidenii* Meister 1914; *Nitzschia interrupta* (Reichelt in Kuntze) Hustedt 1927; *Nitzschia heidenii* var. *pamirensis* Petersen 1930; *Nitzschia solgensis* Cleve-Euler 1952; (?) *Grunowia moissacensis* Hëribaud 1903.

Valvas lanceoladas con extremos redondeados. Estrías transapicales; fíbulas delgadas y largas, espaciadas de forma irregular. Longitud del eje apical: 10-11.9 (11.2±1) µm; longitud del eje transapical: 3.1-3.4 (3.2±0.1) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 2.9-3.8 (3.4±0.5) µm; fíbulas: 7.8-9 (8.4±0.6) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Difiere de la variedad nominal en sus valvas lanceolada cuyos extremos son redondeados, con fíbulas delgadas y largas, espaciadas de forma irregular.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca, puente Temazcalcingo.

**Distribución en México:** Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Ecuador (Rumrich *et al.* 2000); Israel (Ehrlich, 1995); Uruguay (Metzeltin y García-Rodríguez, 2003).

**Afinidades ambientales:** Perifítica y planctónica en cenotes; oligohalobia indiferente, pH indiferente, medios con alto contenido de electrolitos, tolerante a condiciones α-β-mesosapróbicas (Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** En localidades con amplio intervalo de oxigenación y severa contaminación; aguas ligeramente ácidas a circumneutrales, con moderadas a ricas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Nitzschia umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot (Lámina III; Fig. 92, 93)**

Sin. *Navicula umbonata* Ehrenberg 1838; *Surirella thermalis* Kützing 1844 (= *Synedra thermalis* Kützing in litt.); *Nitzschia thermalis* sensu Grunow 1862; *Nitzschia stagnorum* Rabenhorst 1860; *Nitzschia thermalis* var. *serians* (Rabenhorst) Grunow 1862 (= "*Synedra serians* Brébisson" Rabenhorst, Alg. Sachsens 482); *Surirella multifasciata* (Kützing 1833) Kützing pro parte; *Nitzschia diducta* Hustedt 1938; *Nitzschia fossalis* Hustedt 1942.

Valvas lanceoladas a lineares, márgenes paralelos, extremos rostrados a ligeramente capitados; rafe marginal. Estrías transapicales, en la parte central se observan más espaciadas. Longitud del eje apical: 30-78.1 (50±15.5) µm; longitud del eje transapical: 5.2-8.6 (7±1) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 5.4-9.9 (7±1.3) µm; estrías: 23.6-30 (27±2.4) en 10 µm; fíbulas: 7.1-10.4 (9.3±1.1) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** La particularidad en esta especie son sus valvas lineares, con el canal rafidiano submarginal con las fíbulas más espaciadas en la región central. En algunas poblaciones de la especie es frecuente encontrar frústulos con valvas "hantzschioides", producto de una inversión en el sentido de desplazamiento del núcleo durante la formación de las nuevas valvas.

**Distribución local (Alto Lerma):** De amplia distribución en el área de estudio. Estado de México: puente Lerma-Toluca, San Jerónimo Ixtapatongo, San Lorenzo Tlacotepec, puente Temazcalcingo; en estado de Guanajuato: Chamácuaro, el Capulín, Uruétaro, río la Laja; en estado de Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Yucatán (Novelo *et al.* 2004).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Etiopía (Gasse, 1980); Europa occidental (Germain, 1981); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** Perifítica en cenotes, aguas salobres muy contaminadas y ricas en electrolitos, en ocasiones en condiciones polisapróbicas (Cox, 1996; Germain, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Novelo *et al.* 2004).

**En el presente estudio:** Medios desde muy baja a muy alta concentración de oxígeno disuelto; tolerante a condiciones eutróficas; aguas ácidas a alcalinas, con bajas a moderadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

**ORDEN RHOPALODIALES** D. G. Mann

**FAMILIA RHOPALODIACEAE** (Karsten) Topachevs'kyj & Oksiyuk 1960

***Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson (Lámina V; Fig. 147)**

Sin. *Epithemia zebra* (Ehrenberg) Kützing 1844; *Frustulia adnata* Kützing 1833; *Eunotia zebra* (Ehrenberg 1838) Ehrenberg 1838; *Epithemia kurzeana* Rabenhorst Alg. Sachsens 27, 1848-1860. Valvas arqueadas con margen dorsal convexo y el ventral cóncavo, extremos redondeados a capitados. Rafe arqueado y costillas gruesas. Longitud del eje apical: 26.7-69.4 (42.5±15) µm; longitud del eje transapical: 7-16.7 (10±3.6) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 3.9-5 (4.5±0.5) µm; estrías: 11-13.6 (12.2±1.2) en 10 µm; costillas: 30-68.7 (47.1±12.8) en 100 µm; areolas: 11-12.3 (11.6±0.52) en 10 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Esta especie se diferencia otras similares en cuanto al contorno valvar por presentar más de tres hilera de estrías entre las costillas, porque estas últimas no poseen extremos capitados y por la posición ventral del nódulo central.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Michoacán: Pedregal manantial.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradburry, 1971 en Cantoral, 1997); Hidalgo (Ortega, 1984); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Michoacán (Hutchinson, 1956 en Cantoral, 1997); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007); San Luis Potosí (Carmona, 1993; Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); EUA (Patrick y Reimer, 1975); Europa occidental (Germain, 1981); Chile (Rumrich *et al.* 2000).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución; perifítica, epifítica, oligohalobia indiferente, alcalífila; en aguas estancadas y con flujo, de moderado a alto contenido de electrolitos, o en aguas salobres (Ehrlich, 1995; Cox, 1996; Cantoral, 1997).

**En el presente estudio:** En ambientes con muy bajas a medias concentraciones de oxígeno disuelto y severos niveles de contaminación de origen orgánico, agrícola e industrial; aguas alcalinas, con moderada a alta conductividad; aguas lénticas.

***Epithemia sorex* Kützing (Lámina VI; Figs. 173, 174)**

Valvas ligeramente elípticas, con extremos terminales dorsalmente curvos, rafe arqueado. Margen ventral ligeramente cóncavo a recto, margen dorsal convexo; extremos ligeramente rostrados. El vértice central del rafe está cerca del margen dorsal. Costillas radiales, dos hileras de areolas entre las costillas. Longitud del eje apical: 14.8-27 (19±5) µm; longitud del eje transapical: 4.5-5.6 (5.2±0.6) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 3.1-4.5 (4±0.5) µm; estrías: 15-16 (15.2±0.4) en 10 µm; costillas: 50-76 (64.7±11.1) en 100 µm. Primer registro para el área.

**Comentarios taxonómicos:** En esta especie el nódulo central se ubica en posición dorsal y presenta 2 hileras de estrías entre cada par de costillas.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca.

**Distribución en México:** Puebla (Ortega, 1984); Quintana Roo (Novelo *et al.* 2007).

**Distribución mundial:** Europa occidental (Germain, 1981); Europa central, EUA, cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Israel (Ehrlich, 1995); Argentina, Chile (Rumrich *et al.* 2000).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución; perifítica y metafítica en pozas y savanas inundadas; aguas con moderado a alto contenido de electrolitos, o ligeramente salobres; oligohalobia indiferente, alcalífila; tolerante a contaminación β-mesosapróbica (Ehrlich, 1995; Cox, 1996; Novelo *et al.* 2007).

**En el presente estudio:** En ambientes con muy baja oxigenación y alta carga de materia orgánica, contaminación industrial y agroquímicos; aguas ligeramente ácidas a alcalinas; aguas con mediana conductividad; en medios lénticos.

***Rhopalodia brebissonii* Krammer (Lámina V; Fig. 156)**

Sin. *Rhopalodia musculus* var. *succincta* sensu H. & M. Peragallo 1897-1908; *Rhopalodia gibberula* var. *succincta* sensu Fricke 1905 in A. Schmidt *et al.* 253: 23-28.

Valvas con margen dorsal curvo, el ventral es recto, extremos capitados. Estrías transapicales. Longitud del eje apical: 13.4-14.5 (15-28.2) (18±6) µm; longitud del eje transapical: (3-3.7) 5.4-7 (4.3±1.6) µm; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 4-4.8 (4.3±0.3) µm; estrías:

17-21(23) (20.2±2) en 10 µm; costillas: 38.1-57(63) (50.5±9) en 100 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Las valvas se caracterizan por tener el lado dorsal fuertemente convexo y el ventral casi recto.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente Lerma-Toluca; Guanajuato: Chamácuaro; en estado de Querétaro: río Querétaro.

**Distribución en México:** Primer registro para México.

**Distribución mundial:** Europa (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**Afinidades ambientales:** Aguas con moderado a alto contenido de electrolitos, en aguas costeras salobres (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**En el presente estudio:** Se le encontró en zonas con muy baja oxigenación con alto grado de contaminación; aguas ligeramente ácidas a alcalinas, moderadas a elevadas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

#### ORDEN SURIRELLALES D. G. Mann

#### FAMILIA SURIRELLACEAE Kützing, 1844

##### *Surirella angusta* Kützing (*Lámina V; Fig. 154, 155*)

Valvas linear-lanceoladas con extremos cuneado-redondeados agudos. Superficie valvar con estriaciones finas, costillas en forma de ondulaciones transapicales, paralelas en la parte media de la valva, radiada en las extremidades e interrumpida por un área hialina. Longitud del eje apical: 19.2-41.8 (25.4±6) µm; longitud del eje transapical: 6.2-9.2 (7.6±0.94) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 2.7-4.6 (3.4±0.6) µm; estrías: 20-27 (23.3±2.7) en 10 µm. Primer registro para el área.

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de *S. minuta* por la forma más aguda de los extremos.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; en estado de Guanajuato: Chamácuaro, Capulín, Uruétaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Oliva *et al.* 2005).

**Distribución mundial:** Cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b); Chile y Ecuador (Rumrich *et al.* 2000); Israel (Ehrlich, 1995).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución; perifítica o ticoplanctónica en manantiales o ríos; oligohalobia indiferente, alcalífila; tolera aguas altamente mesotróficas a eutróficas con moderado contenido de electrolitos; se considera como indicadora de ambientes altamente oxigenados y especies autotróficas de nitrógeno; reófila (Cox, 1996; Ehrlich, 1995; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Rumrich *et al.* 2000).

**En el presente estudio:** En localidades con muy baja oxigenación y fuertemente contaminadas; aguas ácidas a alcalinas con moderadas a altas concentraciones iónicas; indiferente a la velocidad de la corriente.

##### *Surirella minuta* Brébisson in Kützing (*Lámina IV; Fig. 108*)

Valvas linear-ovaladas con extremos redondeados. Líneas de costillas que se extienden casi al centro de la valva. Estrías radiales. Longitud del eje apical: 14-20 (17±2.2) µm; longitud del eje transapical: (8) 8.7-9.1 (8.7±0.4) µm; relación longitud del eje apical/ longitud del eje transapical: 1.5-2.5 (1.9±0.3) µm; costillas.: 67-81.4 (77.4±6) en 100 µm.

**Comentarios taxonómicos:** Valvas más anchas que las de *S. angusta* y con extremos redondeados.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: San Jerónimo Ixtapatongo; San Lorenzo Tlacotepec; puente Temazcalcingo; en estado de Guanajuato: Chamácuaro y Uruétaro. Primer registro para el área.

**Distribución en México:** Valle de México (Ramírez y Cantoral, 2003).

**Distribución mundial:** Argentina y Chile (Rumrich. *et al.* 2000); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**Afinidades ambientales:** De amplia distribución; perifítica; en aguas de moderado contenido de electrolitos, como corrientes de alta montaña, pero también tolerante a condiciones fuertemente

eutróficas (Cox, 1996; Krammer y Lange-Bertalot, 1997b; Ramírez y Cantoral, 2003).

**En el presente estudio:** En sitios con baja a mediana oxigenación y severamente eutrofizados; aguas ligeramente ácidas a alcalinas y moderadas a ricas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

***Surirella ovalis*** Brébisson (*Lámina III; Fig. 89*)

Sin. *Surirella ovalis* sensu Kützing 1844.

Valvas ampliamente lanceoladas a ovoides. Heteropolar en su eje transapical, un extremo ampliamente redondeado y el otro más agudo. Fíbulas marginales, estrías radiales. Longitud del eje apical: 23.8-46 (33.5±8.8)  $\mu\text{m}$ ; longitud del eje transapical: 12.2-25.4 (19.4±5.4)  $\mu\text{m}$ ; relación longitud del eje apical/longitud del eje transapical: 1.5-2 (1.8±0.2)  $\mu\text{m}$ ; estrías: 17.7-24 (20±2.1) en 10  $\mu\text{m}$ .

**Comentarios taxonómicos:** Se diferencia de *S. brebissonii* fundamentalmente por tener el extremo apical anchamente cuneado, en lugar de anchamente redondeado.

**Distribución local (Alto Lerma):** Estado de México: puente-Lerma, San Jerónimo Ixtapatongo; en estado de Guanajuato: Chamácuaro.

**Distribución en México:** Estado de México (Bradbury, 1971 en Cantoral, 1997); Los Tuxtlas, Veracruz (Vázquez *et al.* 2001); México central (Metcalf, 1985, 1988 en Cantoral, 1997); Oaxaca (Tavera y González-González, 1990 en Cantoral, 1997); Puebla (Ávila, 1989, Ibarra, 1992 en Cantoral, 1997); San Luis Potosí (Cantoral, 1997).

**Distribución mundial:** Israel (Ehrlich, 1995); cosmopolita (Krammer y Lange-Bertalot, 1997b).

**Afinidades ambientales:** Aerófila; epipélica o planctónica en lagos someros y ríos; oligohalobia indiferente a mesohalobia; alcalífila, oligosapróbica; alto contenido iónico (Cantoral, 1997; Ehrlich, 1995).

**En el presente estudio:** En medios con muy baja a mediana oxigenación y elevada contaminación; aguas neutras a ligeramente alcalinas y moderadas a altas conductividades; indiferente a la velocidad de la corriente.

## DISCUSIÓN

Como se ha visto en la introducción de este capítulo, pocos estudios taxonómicos o florísticos de comunidades de diatomeas se han publicado para ríos mexicanos, y los que se han llevado a cabo no reportan la gran variabilidad morfológica que llegan a mostrar las especies. Tanto las variaciones morfológicas como las morfométricas de este grupo que se observaron para el río Lerma pudieran ser interpretadas como adaptaciones a la contaminación que prevalece en el sistema y puntualiza la importancia de contar con la información de la variabilidad de estos taxones como parte de programas de biomonitorio.

Es común que los ríos muestren gradientes de eutroficación desde la cabecera hacia las partes bajas (Bayley, 1991; Bunn y Arthington, 2002); así, el río Lerma presenta elevadas concentraciones de contaminantes desde su origen y a lo largo de su trayectoria, no sólo en relación con los nutrientes, sino también otros contaminantes que alteran en forma importante el equilibrio ecosistémico. Lo anterior se debe a las actividades de los corredores industriales y de los asentamientos humanos (Hansen y Van Afferden, 2001) que no realizan tratamiento de sus aguas residuales, las cuales afectan las asociaciones de diatomeas presentes en cada localidad.

Dentro del estudio taxonómico desarrollado en este río contaminado, se realizó una revisión del género *Navicula* (Bory) s. str., en el Alto Lerma, el cual, si bien no estuvo representado por numerosos individuos, fue el segundo en riqueza de especies (16).

Las especies de *Navicula* presentaron bajas densidades en el Alto Lerma, lo que también ha sido reportado por diferentes autores para otros ambientes lóticos influenciados por actividades industriales y urbanas en otras regiones del mundo (Ehrlich, 1995, Ndiritu *et al.* 2006; Krammer y Lange-Bertalot, 1997 a y b; 2004 a y b; Lange-Bertalot, 2001; Patrick y Reimer, 1966).

La presencia de *Navicula antonii*, *N. capitatoradiata*, *N. cryptocephala*, *N. erifuga*, *N. germainii*, *N. rostellata*, *N. simulata* y *N. veneta* asociadas a *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia capitellata*, *N. amphibia*, *N. umbonata*, *N. palea*, *Gomphonema parvulum*, *G. lagenula* y *G. saprophilum* confirman su tolerancia a condiciones  $\alpha$ -mesosaprobias a polisaprobias y alto contenido de nitrógeno (Germain, 1981; Lobo *et al.* 1995; Cox, 1996; Novelo-Maldonado, 1998; Cantoral, 1997; Krammer and Lange-Bertalot, 2007a, b; 2004a, b; Lange-Bertalot, 2001; Martínez de Fabricius *et al.* 2003; Szczepocka y Szulc, 2006; Dere *et al.* 2006; Ndiritu *et al.* 2006; Novelo-Maldonado *et al.* 2007), es decir, condiciones con contenidos elevados de materia orgánica en degradación. La mayoría de estos autores han mencionado que éstas y otras especies identificadas en el río Lerma también toleran alto contenido de electrolitos.

Es importante mencionar que los cambios en la pendiente del río promueven una alta oxigenación en el agua, lo que facilita la autodepuración mejorando la calidad del agua del río; en otros estudios para ríos mexicanos no se reporta este parámetro, sin embargo, en el Alto Lerma se observó como determinante en la variación de las asociaciones de especies durante el periodo de estudio.

## CONCLUSIONES

De la revisión taxonómica llevada a cabo, se obtuvo un elevado número de taxones tanto para el país (38%), como nuevos registros para el Alto Lerma (33%).

Este estudio permitió profundizar en el conocimiento taxonómico de las especies de uno de los géneros más diversos en el Alto Lerma (*Navicula*), por lo que se describieron 16 especies, de las cuales 10 son nuevas para México y 6 para la región. *Navicula erifuga* se mostró como muy sensible a la contaminación orgánica, mientras que *N. antonii* se observó tolerante a las alteradas condiciones del medio.

Durante la temporada de estudio se registró una amplia diversidad morfométrica en algunas especies del género, como *Navicula capitatoradiata*, *N. riediana* y *N. veneta*.

Las variaciones observadas en la morfología y en la morfometría (densidad de estrías, frústulos, longitud y contorno valvar) de especies como *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Ulnaria gouldarii*, *Luticola* sp., por mencionar algunas, pueden estar relacionadas con la intensa contaminación que prevalece en el área, pero es evidente que se requiere realizar análisis más profundos de la variabilidad de las poblaciones.

## REFERENCIAS

- BALAKRISHNAN, R. 2005. Species concepts, species boundaries and species identification: A view from the tropics. *Systematic Biology*: 54(4): 689-693.
- BARBER, H. y E. HAWORTH. 1981. A guide to the morphology of the Diatom Frustule, with a key to the british freshwater genera. Freshwater Biological Association. *Scientific Publication* No. 44: 113.
- BOJORGE, M. y E. CANTORAL-URIZA. 2007. Estructura comunitaria de diatomeas asociadas a talos de *Prasiola mexicana* (Chlorophyta) en el río Magdalena, D. F. *Hidrobiologica* 17 (1): 11-22.
- CANTORAL-URIZA, E. A. 1997. Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- \_\_\_\_\_ 1993. Ecología de comunidades algales del sistema hidrológico El Salto, en la Huasteca Potosina. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 97 p.
- CARMONA, J. J. 1990. Ficoflora de manantiales de la Huasteca Potosina. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 105 p.
- COX, E. 1994. Morphological variation in widely distributed diatom taxa: taxonomic and ecological implications. *13th International Diatom Symposium*. 335-345 p.
- COX, E. 1996. Identification of freshwater diatoms from live material. Chapman y Hall. Oxford. 158 p
- De QUIEROZ, K. 2007. Species concepts and species delimitation. *Sytematic Biology*. 56(6):879-886.
- DERE, S., N. DALKIRON, D. KARACAOĞLU, A. ELMACI, B. DÚLGER y E. SENTÚRK. 2006. Relationship among epipellic diatom taxa, bacterial abundances and water quality in a highly polluted stream catchment, Bursa-Turkey. *Envrionmental Monitoring and assessment*. 112: 1-22.
- DÍAZ, P. C. y N. I. MAIDANA. 2005. Diatomeas de los salares. Atacama y Punta Negra. II Región Chile. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida Ltda. Santiago de Chile. 146 pp.
- DOBZHANSKY, T. 1937. Genetics and the origin of species. Columbia University Press, New York, New York. 364 pp.
- EHRlich, A. 1995. Atlas of the inland-water diatom flora of Israel; Flora Palaestina. The Geological Survey of Israel. The Israel Academy of Sciencies and Humanities. Israel. 166 pp.
- GASSE, F. 1986. East african diatoms, Taxonomy, ecological, distribution. *Bibliotheca Diatomologica*. Vol. 011. 292 pp.
- \_\_\_\_\_ 1980. Les diatomées lacustres plio-pléistocènes du Gadeb (Éthiopie). Systématique, paléoécologie, biostratigraphie. *Rev. Algologique. Mem. Hors-Sér.* Vol 3:249.

GERMAIN, H. 1981. Flore des Diatomées, Diatomophycées, eux douces et saumâtres du Massif Armoricaïn et des contrées voisines d'Europe occidentale. Soc. Nouv. des Édít. Boubée. 444 pp.

HANSEN, A y Van AFFERDEN, M. 2001. Toxic substances; sources, accumulation and dynamics. Pp: 95-121. In: Hansen, A y M. van Afferden (Eds.). The Lerma-Chapala Watershed; Evaluation and Managment. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.

KRAMMER, K. 1997. Die cymbelloiden Diatomeen; Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 37. J. Cramer. Berlin. 469 p.

KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1997a. Bacillariophyceae 2/1. Teil : Naviculaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 876 p.

KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1997b. Bacillariophyceae 2/2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 437 p.

KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 2004a. Bacillariophyceae. 2/3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 598 p.

KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 2004b. Bacillariophyceae. 2/4. Teil : Achnanthes s. l., Navicula s. str., Gomphonema. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer (Eds.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart, Germany. 468 p.

LANGE-BERTALOT, H. 2001. Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. *Navicula sensu stricto*; 10 genera separated from *Navicula sensu lato* Frustulia. Vol. 2. Gantner Verlag. K. G. 526 pp.

LOBO, E. A., KATOH, K. y ARUGA, Y. 1995. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology*. 34: 191-204.

MANN, D. G. 1999. The species concept in diatoms. *Phycologia* 38(2):437-495.

MARÍN-MURCIA, J. P. y M. ABOAL-SANJURJO. 2005. Aportaciones a la flora de diatomeas de Euskadi. *Algas*. 33: 25-32.

MARTÍNEZ de FABRICIUS, A., N. MAIDANA, N. GÓMEZ y S. SABATER. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*. 12: 2443-2454.

MAYR, E. 1942. Systematics and the origin of species from the viewpoint of a zoologist. Columbia University Press, New York.

METZELTIN, D. y LANGE-BERTALOT, H. 2002. Diatoms from the "Island Continent" Madagascar. Gantner Verlag K. G. Germany. 286 pp.

METZELTIN, D y H. LANGE-BERTALOT. 1998. Tropical Diatoms of South America I; about 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 5. Koeltz Scientific Books. 695 p.

METZELTIN, D. y GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. 2003. Diatomeas uruguayas. Facultad de Ciencias; Universidad de la República. 207 pp.

METZELTIN, D., LANGE-BERTALOT y F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. Diatoms of Uruguay; taxonomy-biogeography-diversity. *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Gantner Verlag, K. G. Germany. 736 pp.

NDIRITU, G. G., N. N. GICHUKI y L. TRIEST. 2006. Distribution of epilithic diatoms in response to environmental



- conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation*. 15: 3267-3293.
- NOVELO-MALDONADO, E. 1998. Floras ficológicas del Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias; División de Estudios de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. 599 p.
- NOVELO, E., R. TAVERA y C. IBARRA. 2007. Bacillariophyceae from karstic wetlands in Mexico. *Bibliotheca Diatomologica*. Band 54. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin. Stuttgart. 136 p.
- OLIVA-MARTÍNEZ, M. G., J. G. RAMÍREZ-MARTÍNEZ, G. GARDUÑO-SOLÓRZANO, J. CAÑETAS-ORTEGA y M. ORTEGA. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica*. 15(1): 1-26.
- ORTEGA, M. M. 1984. Catálogo de algas continentales recientes de México. Coordinación de la Investigación Científica. UNAM. México. 566 pp.
- PATRICK, R. y Ch. W. REIMER. 1966. The diatoms of The United States, exclusive of Alaska and Hawaii. 2nd. Pt. *Monographic Series of Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. No. 13. Vol. 1.
- RAMÍREZ, V. M y E. CANTORAL. 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(2): 143-194.
- RAMÍREZ, V. M., Y. BELTRÁN, M. BOJORGE, J. CARMONA, E. A. CANTORAL-URIZA y F. VALADEZ. 2001. Flora Algal del río La Magdalena, Distrito Federal. México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 68: 45-67.
- REYDON, T. 2003. Discussion: Species are individuals or are they? *Philosophy of Science*. 70: 49-56.
- ROUND, F. E. CRAWFORD, R. M. y D. G. MANN. 1990. The diatoms; biology of morphology of the genera. Cambridge. Great Britain. 747 pp.
- RUMRICH, U., H. LANGE-BERTALOT y M. RUMRICH. 2000. Diatoms of the Andes, from Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego; and two additional contributions. A. R. G. Gantner Verlag K. G. 672 p.
- SOUTHWOOD, T. R. E. 1978. Ecological Methods. Chapman and Hall. London.
- SZCZEPOCKA, E. y B. SZULC. 2006. Benthic diatoms in the central section of the Pilica river and Sulejów reservoir. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*. XXXV (2): 171-178.
- TAVERA, S. R. L., E. NOVELO y P. MARVAN. 1994. Diatoms from Papaloapan basin communities, México. Archiv für Hydrobiologie/Supplement 104. *Algological Studies*. 74: 35-65.
- VALADEZ-CRUZ, F., CARMONA-JIMÉNEZ, J. y CANTORAL-URIZA. E., 1996. Algas de ambientes lóticos en el estado de Morelos, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Bot.*, 67 (2): 227-282.
- VÁZQUEZ, G., E. DÍAZ-PARDO, I. DOADRIO, A. DE SOSTOA, R. MADRIGAL, L. LEGARIA, R. LANDGRAVE, G. RANGEL Y A. HERNÁNDEZ. 2001. Tercer informe del proyecto "Diversidad y distribución de las comunidades de fitoplancton y peces de ríos y lagunas del volcán San Martín de la Reserva de la Biósfera Los Tuxtlas". (CONABIO, SO22). Informe Final.
- WERUM, M. y LANGE-BERTALOT, H. 2004. Diatoms in springs, from Central Europe and elsewhere under the influence of hydrogeology and anthropogenic impacts. *Iconographia Diatomologica*. Gantner Verlag K. G. Vol. 13. 479 pp.
- WIENS, J. 2007. Species delimitation: new approaches for discovering diversity. *Sytematic Biology*. 56(6): 875-878.

Páginas electrónicas

[www.algaterra.net](http://www.algaterra.net).

### CAPÍTULO 3

## FORMAS TERATOLÓGICAS DE DIATOMEAS COMO INDICADORAS DE ALTERACIONES EN LA CALIDAD DEL AGUA

### INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales desfavorables pueden producir deformaciones (malformaciones) que reflejan la situación de estrés, lo que probablemente se manifieste en cualquier estadio del ciclo de vida, desde el desarrollo de la célula inicial hasta la división celular de la mitosis (Dziengo-Czaja *et al.* 2008; Morin y Hamilton, 2008).

Particularmente la presencia de alteraciones morfológicas en las poblaciones de diatomeas, puede deberse al efecto de estresores ambientales tales como algunos compuestos químicos (que incluyen la presencia de metales pesados), causas mecánicas (aglomeramiento celular); por infecciones virales o bacterianas y alteraciones genéticas o mutaciones (Morin y Hamilton, 2008).

Así pues, si las diatomeas se ven expuestas a diferentes tipos de estrés durante su proceso reproductivo y de desarrollo, el contorno valvar y el patrón de estriación puede cambiar produciendo formas teratológicas de relativamente fácil detección. Estas deformaciones son consideradas por algunos autores como indicadoras de la salud del ecosistema; su frecuencia y grado de alteración se han relacionado con la magnitud del estrés al que estén expuestas (Falasco, *et al.* 2009). Otros estudios han relacionado las deformaciones valvares de las diatomeas con el aumento en la contaminación y la presencia de desechos tóxicos que empobrecen la calidad del agua (Gómez y Licursi, 2003; Sgro *et al.* 2007; Dziengo-Czaja *et al.* 2008; Gómez *et al.* 2008; Falasco *et al.* 2009, entre otros). Se ha sospechado que los metales pesados sean un factor que altera significativamente algunos procesos celulares y están relacionados con las deformaciones (Morin y Hamilton, 2008).

Algunos taxones se deforman más fácilmente bajo diferentes niveles de estrés y las malformaciones son más frecuentemente reportadas en algunos géneros que en otros. Ejemplo de ello los encontramos en las céntricas, que incluyen arrugas en el área central u orientación irregular de las areolas, o en las pennadas que pueden exhibir estriaciones irregulares locales (como en células alargadas que pertenecen a la familia Fragilariaceae, Morin y Hamilton, 2008).

La relación que existe entre el contenido de metales pesados y las deformaciones en el frústulo de diatomeas no es clara, aunque se encontró una correlación positiva entre las valvas de

*Fragilaria* anormales con el incremento de Zn, Cu, Fe y Cd. Esto concluye que la frecuencia de *Fragilaria* anormal podrían ser útil como un indicador de contaminación por metales (Sgro *et al.* 2007).

El propósito de este análisis fue explorar la posibilidad de utilizar la presencia y abundancia de formas teratológicas de diatomeas como indicador de alteraciones en la calidad del agua en el Alto Lerma.

## MÉTODO

El muestreo de diatomeas y el tratamiento de las muestras se llevó a cabo como se mencionó en el capítulo de “Diatomeas: Caracteres generales, Taxonomía y Ecología”. El conteo de las especies se realizó como lo descrito en el apartado “Análisis de datos” del capítulo “Características Ambientales de la Cuenca Lerma-Chapala”.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron tres especies, con formas teratológicas y que constituyeron el 2.6% de la riqueza específica: *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (38 % de un total de 400 individuos); *Gomphonema parvulum* (2% del total observado) y *Eolimna subminuscula* (ca. 4 %). Las malformaciones observadas, tanto en el contorno valvar como en la estructura del rafe y la disposición y densidad de estrías, coinciden con lo reportado por otros autores para las dos primeras especies (Seeligmann *et al.* 2001; Díaz-Quiróz y Rivera-Rondón, 2004; Gomá *et al.* 2005; Marín-Murcia y Aboal, 2005; UHU, 2006; Falasco *et al.* 2009). Cabe señalar que la presencia de malformaciones en *Eolimna subminuscula* no había sido reportada previamente (Figura 1).

Falasco *et al.* (2009), en su revisión de más de 200 publicaciones referidas a las formas teratológicas en diatomeas, establecieron posibles relaciones causa-efecto de la aparición de alteraciones morfológicas.

En el caso particular de las especies antes mencionadas para el Lerma, podemos resumirlas en el cuadro 1.

Algo que se ha percibido en algunos ríos que desembocan en el Golfo de Gdańsk, al Sur del Mar Báltico, es una relación marcada entre el incremento del número de formas teratológicas con el aumento del contenido de materia orgánica (compuestos biogénicos: fosfatos y nitritos principalmente) (Witkowski 1991; Dziengo-Czaja *et al.* 2008). Generalmente la tasa de deformación es baja

(ligeramente superior al 2% en sedimentos muy contaminados) (Prygiel, 2002). En nuestro caso, las formas teratológicas detectadas superan estos datos, considerando que una parte importante de la contaminación detectada en algunos de los sitios de colecta de estas formas en el Lerma, tenían bajas a muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, indicador indirecto de una demanda bioquímica de oxígeno generado por altas concentraciones de materia orgánica en descomposición.

Lamentablemente no se dispone de datos publicados sobre la concentración histórica de metales pesados en el río Lerma, pero disponemos de información reciente no publicada acerca del registro de valores elevados de Níquel, Cadmio y Plomo en los sedimentos (Cortés, com. pers., 2009), por lo que no sería arriesgado atribuir algunas de las malformaciones observadas a este tipo de agente.

Sin embargo, el hecho de que estas formas aparezcan y que sean abundantes es llamativo y sugiere la necesidad de encarar un estudio más intensivo sobre el tema.

Como ya se ha comentado, las formas teratológicas constituyen un adecuado indicador de calidad ambiental, puesto que existe una correlación entre el número de teratologías y algunos parámetros físico-químicos (Dziengo-Czaja *et al.* 2008). Morin *et al.* (2008) proponen que el registro de la presencia de deformaciones en monitoreos rutinarios puede ser una herramienta útil que ayude a determinar la contaminación por metales. Sin embargo, este tipo de información debe ser complementado con otros análisis químicos y biológicos.

## CONCLUSIONES

La presencia de abundantes formas teratológicas de 3 especies de diatomeas en la cuenca del Lerma llama la atención sobre su posible relación con el hallazgo de valores elevados de concentración de metales pesados en los sedimentos del río. Dichas formas se han encontrado en algunos sitios con bajas concentraciones de oxígeno, indicadoras indirectas de elevadas concentraciones de materia orgánica en descomposición.

Sería necesario verificar la correlación de formas teratológicas y concentraciones de metales pesados en el río Lerma; de ser el caso, se podría confirmar la utilidad del hallazgo de formas teratológicas de especies de diatomeas como otro bioindicador de calidad del agua.

Sin embargo, a la luz de nuestros resultados podemos sugerir que estas malformaciones podrían llegar a utilizarse como un sistema de alarma de la presencia de niveles tóxicos de metales

pesados.

La importancia de esta herramienta es que puede ser fácilmente utilizada por personal técnico que no necesita tener un acabado conocimiento taxonómico, ya que pueden ser adiestrados para el reconocimiento de las formas normales y alteradas de tan solo 3 especies.

Obviamente, ésta representaría una herramienta más, que preceda y complemente las otras herramientas normales de monitoreo biológico y químico de la calidad del agua.

## REFERENCIAS

- DÍAZ-QUIRÓZ, C. y RIVERA-RONDÓN, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26 (2): 381 - 394.
- DZIENGO-CZAJA, M., J. KOSS y A. MATUSZAK. 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. International Journal of Oceanography and Hydrobiology*. XXXVII (2):119-132.
- FALASCO, E., F. BONE, G. BADINO, L. HOFFMAN y L. ECTOR. 2009. Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia*. 623:1-35.
- GOMÀ, J., F. RIMET, J. CAMBRA, L. HOFFMANN y L. ECTOR. 2005. Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). *Hydrobiologia* 551: 209-225.
- GÓMEZ, N y B. M. LICURSI. 2003. Abnormal forms in *Pinnularia gibba* (Bacillariophyceae) in a polluted lowland stream from Argentina. *Nova Hedwigia*. 77 (3-4): 389-398.
- GÓMEZ, N. M. V., SIERRA, A. CORTELEZZI y A. RODRÍGUEZ CAPÍTULO. 2008. Effects of discharges from the textile industry on the biotic integrity of benthic assemblages. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 69: 472-479.
- MARÍN-MURCIA, J. P. y M. ABOAL-SANJURJO. 2005. Aportaciones a la flora de diatomeas de Euskadi. *Algas*. 33: 25-32
- MORIN, S., M. COSTE y P. HAMILTON. 2008. Scanning Electron Microscopy observations of deformities in small pennate diatoms exposed to high cadmium concentrations. *Journal of Phycology*. 44. 1512- 1518.
- PERES-WEERTS, F. 2000. Mise en évidence des effets toxiques des mé taux lourds sur les diatomées par l'étude des formes tératogènes. Agence de l'Eau Artois Picardie, Douai. 24 pp.
- PRYGIEL, J. 2002. Management of the diatom monitoring networks in France. *Journal of Applied Phycology*. 14: 19-26.
- SEELIGMANN, C., B. TRACANNA, S. MARTÍNEZ y S. ISASMENDI. 2001. Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. *Limnética* 20 (1): 123 – 133.
- SGRO, V. G., J. POOLE y J. R. JOHANSEN. 2007. Diatom species compositions and ecology of the Animas River watershed, Colorado, USA. *Western North American Naturalist*. 67(4):510-519.
- UNIDAD HIDROLÓGICA del URUMEA (UHU). 2006. Red de seguimiento del estado ecológico de los ríos de la comunidad autónoma del país Vasco. Informe de resultados, campaña 2005. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección de Aguas. Tomo 13: 511 – 527.

WITKOWSKI, A. (1991), Diatoms of the Puck Bay coastal shallows (Poland, Southern Baltic). *Nordic Journal of Botany*. 11: 689–701.

## CAPÍTULO 4

### HACIA EL DESARROLLO DE UN ÍNDICE DE DIATOMEAS EN EL RÍO LERMA

#### INTRODUCCIÓN

##### **Empleo de diatomeas como indicadores ambientales**

Son numerosos los autores que consideran a las diatomeas como los organismos “ideales” para valorar las condiciones ecológicas cambiantes de los sistemas lóticos (Winter y Duthie, 2000; Rimet *et al.* 2005; Gomà *et al.* 2005; Tang *et al.* 2006; Salomoni *et al.* 2006; Zampella, 2007) puesto que las poblaciones de diatomeas responden a las etapas de sucesión de la vegetación original y a diferentes usos de suelo, así como las actividades industriales y los desarrollos agrícolas o urbanos que incrementan el ingreso de nutrientes y sedimentos a las cuencas, generando la alteración de las condiciones ambientales en los ríos con efectos negativos en sus componentes bióticos (Ndiritu *et al.* 2006).

En particular las diatomeas poseen diversas formas de responder sensiblemente a la inestabilidad ambiental ya que muestran variaciones en la diversidad y abundancia de especies o alteraciones en su morfología ante las modificaciones físico-químicas del medio; los muestreos son fáciles de realizar y sus requerimientos ecológicos son mejor comprendidos que los de otros componentes de la biota acuática (Martínez de Fabricius *et al.* 2003; Díaz y Maidana, 2005; Walker y Pan, 2006; Weilhoefer y Pan, 2006).

En la última década, las diatomeas se han usado como descriptores del estado ecológico aplicando métodos multivariados (Rimet *et al.* 2005; Gomà *et al.* 2005; Sczepocka y Szulc, 2006; Ndiritu *et al.* 2006).

##### **Desarrollo de índices con diatomeas**

La complementación del monitoreo para la condición trófica de los ríos sustentado en la composición de diatomeas como indicadores de contaminación, fue desarrollada en Francia a principios de la década de los 90 (Coste *et al.* 1991).

Debido a la canalización de numerosos ríos en Francia, la Agencia del Agua Artois-Picardie diseñó un método usando diatomeas bentónicas. Este método considera la contaminación orgánica, la eutrofización y la salinidad, y se apoya en un inventario de especies y en tres índices de diatomeas (Prygiel, 1991; Prygiel y Coste, 2000). Varios son los países que están usando estas técnicas basadas

en diatomeas con esta finalidad, como Argentina (Gómez y Licursi, 2001); Italia (Torrise y Dell'Uomo, 2001), Malasia (Wan y Mansor, 2002) o Taiwan (Wu y Kow, 2002; Wu, 2003).

Por otro lado, en Inglaterra y Gales se implementó el Índice Trófico de Diatomeas (ITD), el cual se basa en un conjunto de 86 taxones de fácil identificación y que son indicadoras. Kelly y Whitton (1995) lo aplicaron en localidades contaminadas con fósforo; sin embargo en aquellos sitios que presentaron una contaminación orgánica muy alta, fue difícil separar los efectos de la eutrofización de otros efectos. Para lo cual se han propuesto métodos alternativos y complementarios como el de saprobies, desarrollado por la escuela Checa (Slàdecek, 1969).

El uso de diatomeas como organismos indicadores de cambios en la calidad del agua desde México a Sudamérica, no se ha formalizado plenamente. Lobo *et al.* (1996, 1998) aplicó el sistema saprobico para valorar la calidad de agua de ríos del sur de Brasil, mediante el análisis de asociaciones de diatomeas epilíticas.

En Argentina, Gómez (1998, 1999) evaluó la calidad del agua de la cuenca del río Matanza-Riachuelo usando asociaciones de diatomeas epipélicas. Con la finalidad de valorar la calidad del agua de los ríos de la llanura Pampeana expuestos a impactos agrícolas, actividades pecuarias e industriales. Gómez y Licursi, (2001) desarrollaron el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP). El índice se basa en la sensibilidad de las asociaciones de diatomeas epipélicas de estos ambientes al efecto de enriquecimiento orgánico y la eutrofización.

Este estudio resalta la importancia de las diatomeas como indicadoras de variaciones ambientales en el Alto Lerma.

## **MÉTODO**

### **Calidad del Agua**

A modo de ensayo de la aplicación de un índice de calidad del agua en la subcuenca en estudio, se aplicó el Índice de Diatomeas Pampeanas (Gómez y Licursi, 2001).

Este ejercicio se llevó a cabo ya que se comparten condiciones ambientales semejantes tanto en el río Lerma como en la Pampa. Ambas zonas comparten un régimen de clima templado y presentan afinidad con rocas volcánicas de composición básica a intermedia. En cuanto al número de especies afines, se tienen en común 45 especies.



Se realizó la separación en clases propuesta en ese estudio a los sitios estudiados durante 2004 (valores obtenidos durante la estación de poslluvias) aunque solo se pudieron tomar en cuenta los valores de DBO5 para determinarlas ya que no se disponía de los valores de concentración de amonio y los de fosfato claramente excedieron en el Lerma a los valores sugeridos en el cuadro de referencia (Cuadro 1).

El IDP fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IDP = \frac{\sum_{j=1}^N I_{idp}j \cdot A_j}{\sum_{j=1}^N A_j},$$

Donde:  $I_{idp}j$  es el valor indicador de la especie  $j$  y  $A_j$  es la abundancia relativa de la especie  $j$ .

Los valores del índice fluctúan entre 1 y 4.

## RESULTADOS

### IDP vs calidad del agua

La figura 1 muestra los resultados de la aplicación del Índice de Diatomeas Pampeanas (IDP, Licursi y Gómez, 2003), tomando en consideración los valores de DBO5 medidos en poslluvias 2004 (Cuadro 1). De acuerdo con estos resultados es posible inferir cambios en la calidad del agua.

## DISCUSIÓN

Es evidente, *a priori*, que las aguas del río Lerma son de baja calidad. Resultaría muy arriesgado sacar conclusiones sobre el grado de deterioro de la calidad del agua en el río Lerma utilizando índices de calidad de agua desarrollados en otras regiones del mundo. Habría que tener en cuenta, por una parte, las diferencias florísticas entre los distintos ambientes y, por otra parte, la posible disparidad en el grado de tolerancia al deterioro del agua que pueden exhibir las especies en zonas con distintas características climáticas, geológicas y geográficas.

Gómez y Licursi (2001) desarrollaron el Índice de Diatomeas Pampeanas (IDP), que es de muy fácil aplicación y en su diseño se tomaron como base numerosas especies que están representadas en el Lerma. Por esta razón, creímos oportuno aplicarlo a nuestros datos, sólo a modo de ejercicio y para determinar si los resultados obtenidos apoyaban de alguna manera nuestras suposiciones.

Los resultados obtenidos de la aplicación del IDP a la zona de estudio (Figura 1), con las limitaciones antes mencionadas, sugieren que la calidad del agua sería “muy mala” en la cabecera, conforme desciende el curso del río, cambiaría a “mala” y, aguas abajo, volvería a exhibir condiciones de “mala” en Pedregal y Chamácuaro. La mejor calidad de agua (desde “aceptable” a esporádicamente “mala”) se presentaría en el Pedregal manantial, considerado en nuestro estudio como referente de condiciones oligotróficas. Algunos pocos sitios muestran, ocasionalmente, un mejoramiento en la calidad del agua (Chamácuaro, Tlacotepec y Uruétaro. Los ríos Laja y Querétaro, referentes de condiciones hipereutróficas, tendrían características de “muy mala” calidad del agua.

Todo esto coincide en cierta forma con nuestras observaciones de los diferentes usos del río, con las mediciones realizadas de determinados parámetros ambientales y con los resultados del análisis de los ensamblajes diatomológicos y sus requerimientos ecológicos.

## CONCLUSIONES

El empleo de asociaciones de diatomeas en la evaluación de la calidad del agua en la cuenca alta del Río Lerma, se mostró como una herramienta potencialmente muy útil puesto que reflejan la situación ambiental de este sistema, es decir, enriquecimiento por nutrimentos y presencia de sustancias. Por lo tanto, en este trabajo, se plantea como meta a mediano o largo plazo, el desarrollo de un índice biótico local que refleje fielmente los niveles tróficos, el enriquecimiento por nutrimentos, así como también la presencia de sustancias tóxicas aun cuando éstas se encuentren en concentraciones muy bajas.

Los resultados obtenidos de la aplicación del IDP, siempre considerando las limitaciones del uso de un índice desarrollado para ambientes diferentes al aquí estudiado, sirvieron para poner en evidencia el notable deterioro de sus aguas y resaltaron la heterogeneidad espacial y temporal de las condiciones ambientales en la subcuenca bajo estudio.

## REFERENCIAS

- COSTE, M., C. BOSCA, y A. DAUTA. 1991. Use of diatoms for monitoring rivers in France. Pp: 75-88. *In*: J. Prygiel, B. A. Whitton y J. Bukowska (eds.). Use of algae for monitoring rivers III. Institut für Botanik, Universität Innsbruck.
- DÍAZ, P. C. y N. I. MAIDANA. 2005. Diatomeas de los salares. Atacama y Punta Negra. II Región Chile. Centro de Ecología Aplicada. Minera Escondida Ltda. Santiago de Chile. 146 pp.
- GOMÀ, J., F. RIMET, J. CAMBRA, L. HOFFMANN y L. ECTOR. 2005. Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). *Hydrobiologia* 551: 209-225.

- GÓMEZ, N. 1998. Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza-Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. *Water Research*. 32: 2029–2034.
- GÓMEZ, N. 1999. Epipellic diatom from Matanza-Riachuelo river (Argentina), a highly polluted basin from the pampean plain: biotic indices and multivariate analysis. *Aquatic Ecosystem Health Management*. 2: 301–309.
- GÓMEZ, N. y M. LICURSI. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*. 35: 173-181.
- LICURSI, M., y N. GÓMEZ. 2003. Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática*. 21: 31-49.
- KELLY, M. G. y B. A. WHITTON. 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*. 7: 433 – 444.
- LOBO, E.A., V.L., CALLEGARO, M. A., OLIVEIRA, S. E. SALOMONI, S. SCHULER y K. ASAI. 1996. Pollution tolerant diatoms from lotic systems in the Jacuí basin, Río Grande do Sul, Brazil. *Iheringia. Ser. Bot.* 47: 45–72.
- LOBO, E. A. y E. P., BENDER. 1998. Aplicabilidad de sistemas de sapróbios para avaliação da qualidade de águas correntes fortemente poluídas, no sul do Brasil, utilizando diatomáceas. Anais do IV Congresso Latino Americano de Ficología, 1996. Minas Gerais Brasil 1: 401–422.
- MARTÍNEZ de FABRICIUS, A., N. MAIDANA, N. GÓMEZ y S. SABATER. 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*. 12: 2443-2454.
- NDIRITU, G. G., N. N. GICHUKI y L. TRIEST. 2006. Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and conservation*. 15: 3267-3293.
- PRYGIEL, J. 1991. Use of benthic diatoms in surveillance of the Artois-Picardie basin hydrobiological quality. P.p.: 89-96. In: Whitton, B. A., E. Rott, G. Friedrich. (eds.). Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik. Universität Innsbruck.
- PRYGIEL J. Y M. COSTE. 2000. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées. Agences de l'Eau, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Cemagref. 132 pp.
- RIMET, F., H. M. CAUCHIE, L. HOFFMANN y L. ECTOR. 2005. Response of diatoms indices to simulated water quality improvements in a river. *Journal Applied of Phycology*. 17: 119-128.
- SALOMONI, S. E., O. ROCHA, V. L. CALLEGARO y E. A. LOBO. 2006. Epilithic diatoms as indicators of water quality in the Gravataí river, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*. 559: 233-246.
- SZCZEPOCKA, E. y B. SZULC. 2006. Benthic diatoms in the central section of the Pilica river and Sulejów reservoir. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*. XXXV (2): 171-178.
- TANG, T., Q. CAI., y J. LIU. 2006. Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi river system. *Environmental Monitoring and Assessment*. 112: 347-361.
- TORRISI, M y A. DELL'UOMO. 2001. Les diatomées benthiques des parties rhithrales et potamales des cours d'eau de l'Apennin central (Italie) et leurs significations écologique. *Algological Studies*. 102: 35-47.
- WALKER, C. y Y. PAN. 2006. Using diatom assemblages to asses urban stream conditions. *Hidrobiologia*. 561: 179-189.
- WAN M. y M. MANSOR. 2002. Aquatic pollution assessment based on attached diatom communities in the Pinang River Basin, Malaysia. *Hydrobiologia*. 487: 229-241.
- WEILHOEFER, C. y Y. PAN. 2006. Diatom assemblages and their associations with environmental variables in Oregon Coast Range streams, USA. *Hidrobiologia*. 561: 207-219.

WINTER, J. G. y H. DUTHIE. 2000. Stream epilithic, epipelic and epiphitic diatoms: habitat fidelity and use in biomonitoring. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 345 p.

WU, J.T. y L.T. KOW. 2002. Applicability of a generic index for diatom assemblages to monitor pollution in the tropical River Tsanwun, Taiwan. *Journal of Applied Phycology*. 14: 63-69.

WU, J.T. 2003. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia*. 397: 79-87.

ZAMPELLA, R. A., K. J. LAIDIG y R. L. LOWE. 2007. Distribution of diatoms in relation to land use and pH in blackwater coastal plain streams. *Environmental Management*. 39: 369-384.

## CONCLUSIONES GENERALES

### ***Características Ambientales de la Cuenca Lerma-Chapala***

-A pesar de que ya era un hecho conocido que el sistema Lerma Chapala está seriamente contaminado, hasta el momento no se habían señalado los sectores más contaminados del río Lerma. En esta tesis se presentaron las características ambientales de la Cuenca del Alto Lerma, se describieron diversos sectores del río, en función de los ensambles de diatomeas epifíticas.

-En el periodo estudiado resaltó un cambio notable tanto en la distribución como en la abundancia de las diatomeas epilíticas. Se postula que la disminución de especies podría relacionarse con el recrudescimiento de la contaminación del sistema a partir de 2004, por lo que el análisis de estas asociaciones demostró ser una herramienta muy útil para la evaluación de calidad del agua.

### ***Diatomeas: “Caracteres Generales, Taxonomía y Ecología”***

-Es importante señalar que este trabajo representa el primer inventario detallado de especies de diatomeas que se desarrolla para un río contaminado de México. Esto tuvo como principal consecuencia, el aumentar el número de taxones que se registran por primera vez, tanto para el país como para el Alto Lerma.

-Se han discutido también por primera vez los complejos taxonómicos en los géneros *Gomphonema*, *Navicula* y *Pinnularia*.

-Se ha destacado que tanto la morfología como la morfometría de algunas especies mexicanas no coincidieron del todo con lo reportado en la bibliografía especializada para otras regiones geográficas. Queda, entonces, abierta la discusión y la investigación hacia nuevas propuestas taxonómicas, lo que redundará en un mejor conocimiento de la flora diatomológica del país, de sus afinidades ambientales, y se darán los primeros pasos para la generación de un Índice Biótico de Diatomeas sustentado en una taxonomía fina tan faltante en México. Esto, seguramente podrá despertar el interés institucional en la formación de nuevos taxónomos, especializados no solo en diatomeas, sino también en otros grupos algales.

### ***Formas Teratológicas de Diatomeas Como Indicadoras de Alteraciones en la Calidad del Agua***

-La presencia de formas teratológicas en los sedimentos de este sistema acuático que se encuentra con severo grado de contaminación, puede considerarse como un efecto colateral a la presencia de niveles tóxicos de metales pesados en el río Lerma.

-Se postula en este trabajo que la detección y cuantificación de estas malformaciones pueden ser empleadas a manera de monitoreo de calidad del agua.

***Hacia el Desarrollo de un Índice de Diatomeas en el Río Lerma***

-Finalmente este trabajo, será una base científica para reconocer cuáles especies se encuentran en el río Lerma y cuáles son indicadoras de presencia de determinados nutrientes. Esto redundará en la elaboración de un índice biótico basado en diatomeas que permita caracterizar y monitorear la calidad del agua en los sistemas lóticos mexicanos, en función de sus niveles tróficos, del enriquecimiento por nutrientes y aun del vertido de sustancias tóxicas.

## RECOMENDACIONES

De las más de las 30 cuencas hidrográficas que se distribuyen en la República Mexicana, el sistema Lerma-Chapala es el más importante por representar un polo de desarrollo económico y socio-político de gran envergadura para el país. Sin embargo, las actividades agrícolas e industriales que ahí se desarrollan han provocado un grave deterioro ambiental sobre el que es necesario intervenir. En esta investigación se ha demostrado la potencialidad de las diatomeas, como indicadores para diagnosticar las causas que originan los daños en el ambiente por su respuesta directa y sensible a los cambios físicos, químicos y biológicos del hábitat. Como ha sido mencionado por numerosos autores, resultan fáciles de muestrear y los muestreos son de bajo costo.

### *En cuanto al análisis de calidad del agua*

En función de los resultados obtenidos en este estudio, se recomienda que a futuro los muestreos se realicen estacionalmente y que además de los análisis de los parámetros físicos y químicos que normalmente se miden en los estudios de calidad del agua, se incluyan datos toxicológicos y registro de metales pesados. Siendo el Lerma un río tan extenso se propone que los análisis ecotoxicológicos y algunos otros que requieren de procesamiento inmediato, tales como las concentraciones de fósforo y nitrógeno, sean realizados en sedes de la CNA, OOAPAS y laboratorios clínicos, en ciudades cercanas a los sitios de muestreo. Además se sugiere que esos laboratorios estén acreditados por la CNA para tener una mayor confiabilidad de los resultados.

### *En cuanto al estudio taxonómico de las diatomeas*

En la segunda mitad del siglo pasado, se produjo en todo el mundo lo que ahora se denomina “impedimento taxonómico” siguiendo “modas” que desvalorizaban a esta disciplina y que produjeron la casi “extinción” de expertos en muchos de los grupos de organismos que pueblan y poblaron nuestro planeta.

Felizmente, la toma de conciencia a nivel mundial de esta situación llevó a la creación de la **Convention on Biological Diversity**, con el apoyo de las Naciones Unidas. En el marco de esta convención mundial, se planteó la denominada **Iniciativa Mundial sobre Taxonomía** con el **objetivo** de *reducir los vacíos en nuestro conocimiento de los grupos taxonómicos, la escasez de taxónomos y curadores, y el impacto que estas deficiencias tienen en nuestra habilidad de conservar, utilizar y compartir los beneficios de nuestra diversidad biológica*”.

México no ha escapado a esta problemática por lo que es apremiante la formación de especialistas que tengan habilidades en la taxonomía del grupo, sobre todo porque en los últimos

años han variado notablemente los criterios tradicionales de clasificación.

Se requiere continuar con el estudio taxonómico detallado para avanzar con la descripción de la flora diatomológica de la región, que evite errores en la identificación de especies y que permita aplicar correctamente un futuro índice diatomológico a nivel regional.

El conocimiento taxonómico meticuloso es imprescindible para elaborar un índice de diatomeas que se correlacionaría con las condiciones ambientales y permitiría de esta forma postular suposiciones que posteriormente se convertirían en elementos para un futuro índice biótico integral (IBI) y que además contribuirían a explicar las causas que originan las perturbaciones de los sistemas acuáticos.

#### *En cuanto a las formas teratológicas*

Continuar con los análisis físico-químicos y su relación con los taxones que presenten malformaciones.

La presencia de abundantes formas teratológicas de 3 especies de diatomeas en la cuenca del Lerma llama la atención sobre su posible relación con el hallazgo de valores elevados de concentración de metales pesados en los sedimentos del río.

De verificarse esta correlación, se podría confirmar la utilidad del hallazgo de formas teratológicas de especies de diatomeas como otro bioindicador de calidad del agua. A la luz de estos resultados se puede sugerir que estas malformaciones podrían llegar a utilizarse como un sistema de alarma de la presencia de niveles tóxicos de metales pesados. Obviamente, ésta representaría una herramienta más que preceda y complemente las otras herramientas normales de monitoreo biológico y químico de la calidad del agua.

La importancia de esta herramienta es que puede ser fácilmente utilizada por personal técnico que no necesita tener un profundo conocimiento taxonómico, ya que pueden ser adiestrados para el reconocimiento de las formas normales y alteradas de tan solo 3 especies.

#### *En cuanto al establecimiento de un índice de diatomeas*

A partir de este estudio, establecer un índice diatomológico regional con la finalidad de hacerlo extensivo a otros sistemas lóticos de México y posteriormente comparar su eficiencia con los que ya han sido establecidos y probados en Sudamérica, E. U. A. y Europa.



Además, con la ayuda de un IBD se podrían delinear estrategias de monitoreo y plantear sugerencias para la recuperación de sistemas lóticos contaminados en México, propiciando con estas acciones logros semejantes a los que numerosos países están obteniendo, esto es, regresar paulatinamente a las condiciones históricas de uso de los ríos y su ambiente, entre los que se incluyen diversas actividades como la recreación.

Recomendamos, asimismo, combinar el análisis de diatomeas con el de otros organismos indicadores (clorofitas, macroinvertebrados), los cuales también describen los efectos de la contaminación.

#### *En cuanto a las dependencias gubernamentales*

Se recomienda que dependencias como la red Lerma, con soporte económico y logístico nacional, evalúen al sistema en forma completa, desde su origen hasta su desembocadura, ya que es un flujo único y complejo, por lo tanto no es posible diagnosticar su estado de salud a partir del estudio de un segmento aislado.

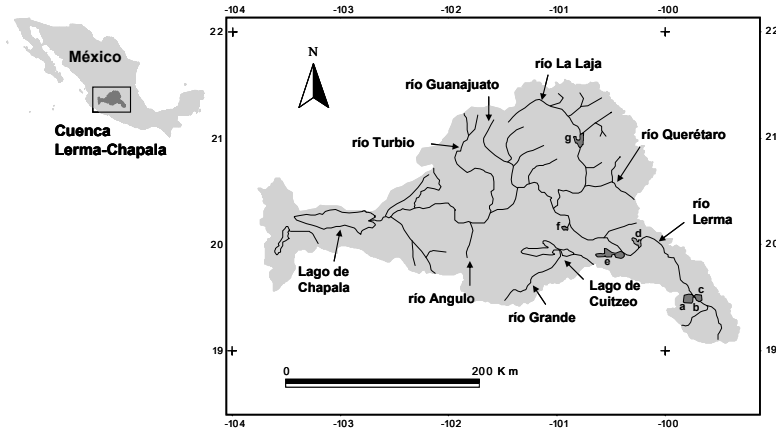
También resulta perentorio la obtención de un soporte financiero anual mediante el cual se logren los medios adecuados para el desarrollo de proyectos de monitoreo, implementación de planes de manejo y remediación que brinden estrategias para la recuperación y aprovechamiento de este sistema lótico que es de prioridad nacional.

Finalmente, la experiencia desarrollada en este trabajo de tesis, permite identificar entre otras problemáticas del área de estudio, los problemas sanitarios de algunos asentamientos humanos como en Chamácuaro o Capulín, por mencionar algunas poblaciones, donde son comunes las dermatitis, conjuntivitis o parasitosis producidas por el mantenimiento de los cárcamos de bombeo o por consumo de peces. Ante este panorama, se recomienda que se lleven a cabo campañas de salud bianuales en aquellas comunidades limítrofes al río, que identifiquen puntualmente las enfermedades derivadas por el contacto con el río Lerma.

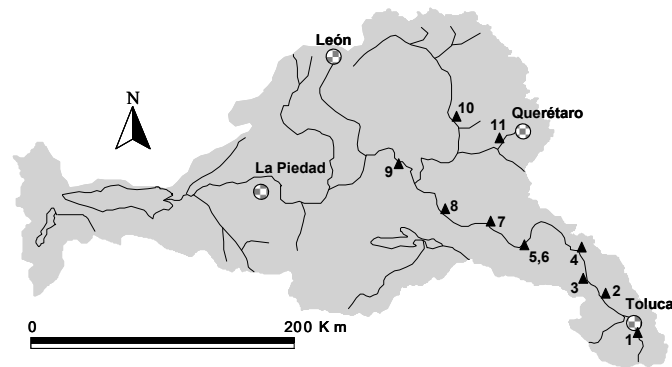
## **ANEXO FIGURAS Y CUADROS**

### **CAPÍTULO 1**

#### **CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA**



**Figura 1.** Cuenca Lerma-Chapala y principales ríos.  
**Lagos:** a) Chignahuapan, b) Chimaliapan, c) Chiconahuapan; **Presas:** d) Tepuxtepec, e) Solís, f) Yuriria, g) Begoña.



**Figura 2.** Localización de los sitios de muestreo en el área de estudio.  
**1-**Puente Lerma-Toluca, Edomex., (PL); **2-**San Jerónimo Ixtapatongo, Edomex. (Ixt); **3-** San Lorenzo Tlacotepec, Edomex. (TI); **4-** Puente Temazcalcingo, Edomex. (Tz); **5-** El Pedregal, Mich. (P); **6-**Manantial el Pedregal, Mich. (Pm); **7-**Chamácuaro, Gto. (Ch); **8-**El Capulín, Gto. (C); **9-**Uruétaro, Gto. (U); **10-**Río la Laja, Gto. (LAJ); **11-**Río Querétaro, Qro. (QRO).

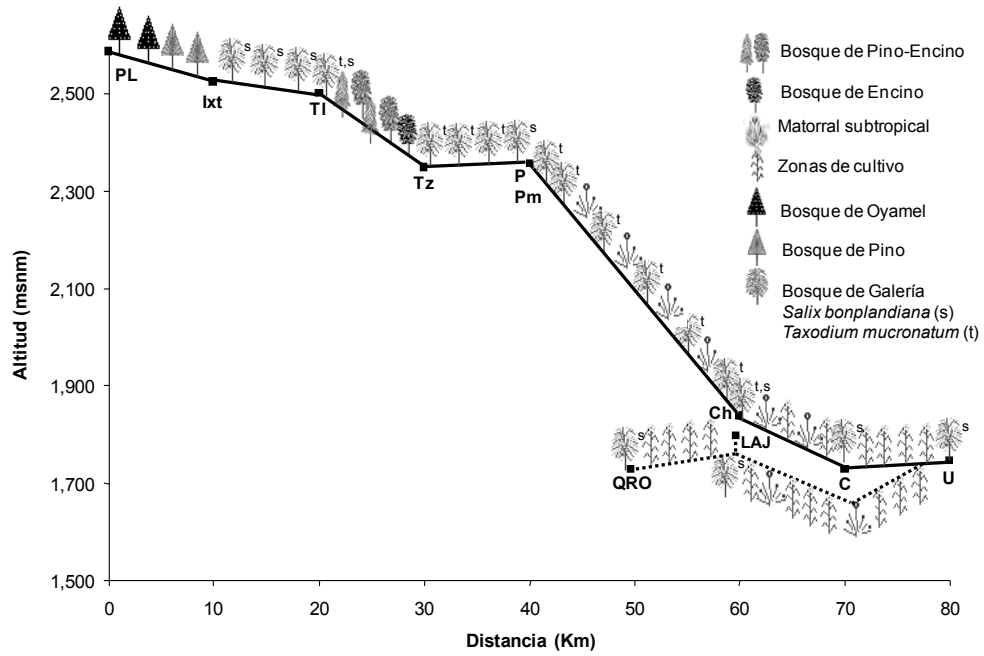


Figura 3. Corte longitudinal con perfil de tipos de vegetación en los sitios de estudio del Alto Lerma.

ESTIAJE

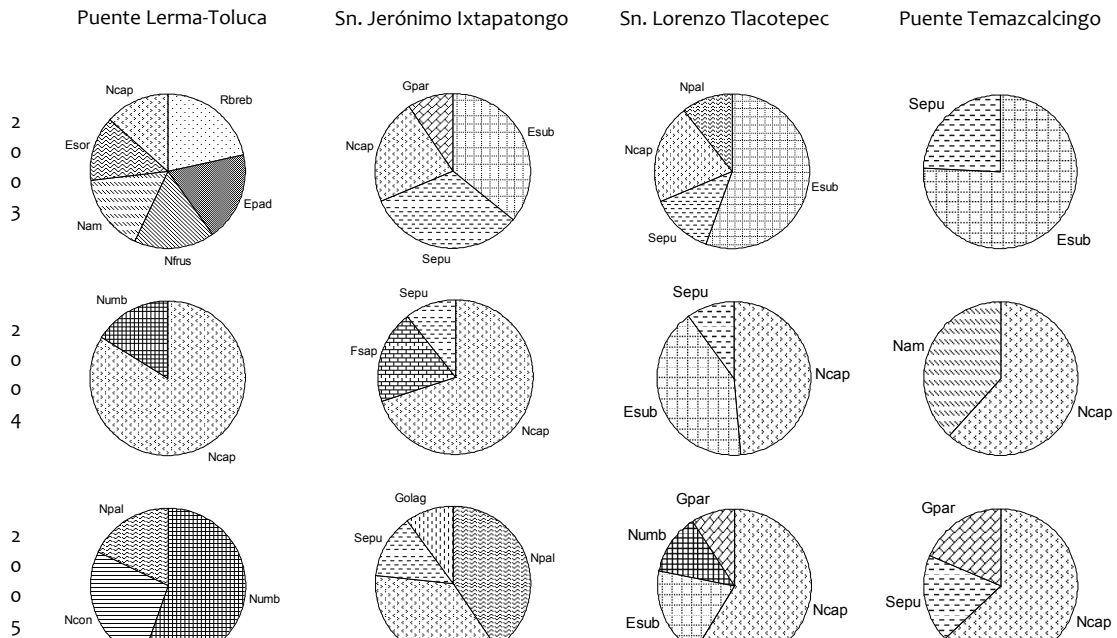
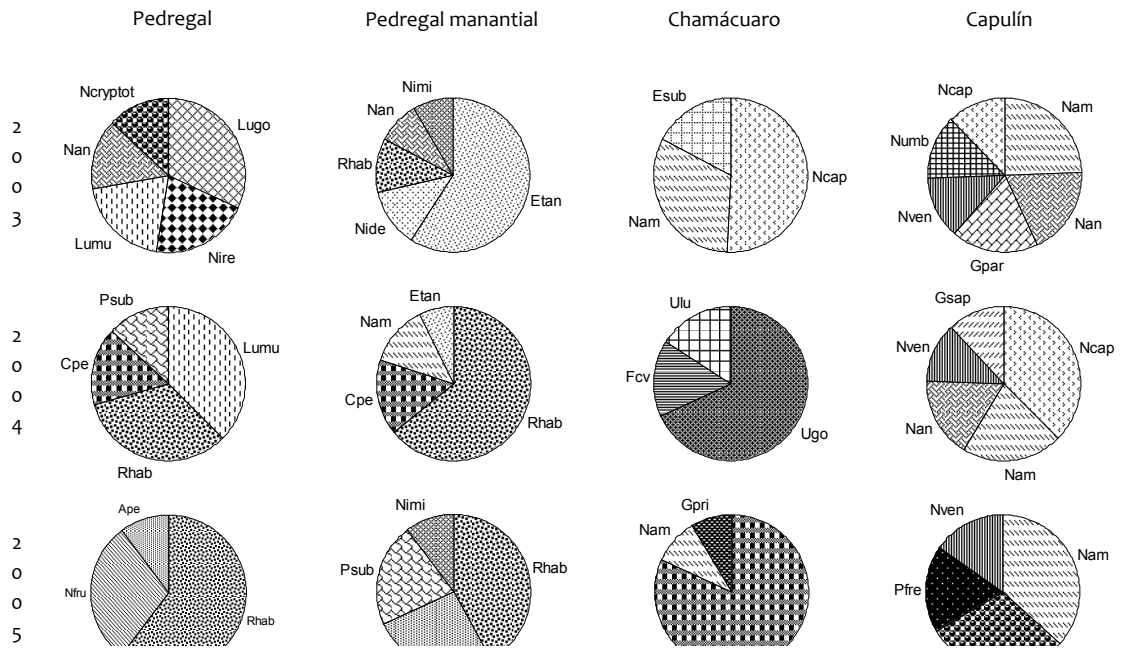


Figura 4. Composición de diatomeas más abundantes (> % 60) durante la temporada de estiaje en los sitios de muestreo. Para las abreviaturas del nombre de las especies ver el Cuadro 5.

**ESTIAJE**



**ESTIAJE**

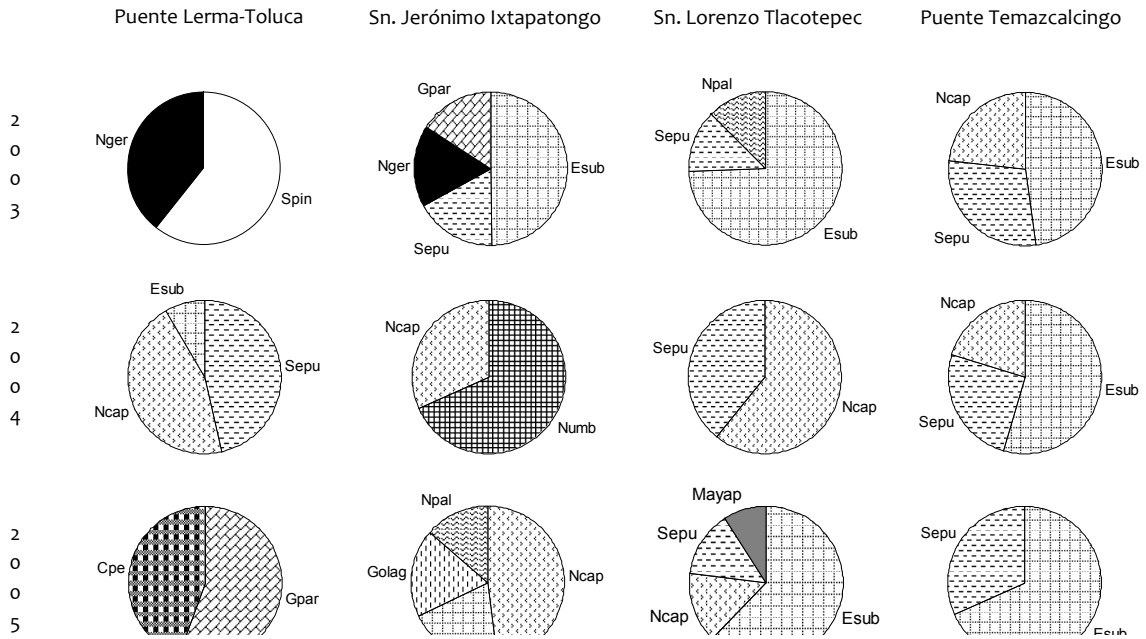
Uruétaro

río La Laja

río Querétaro

**Figura 4.** Continuación.

POSLLUVIAS



POSLLUVIAS

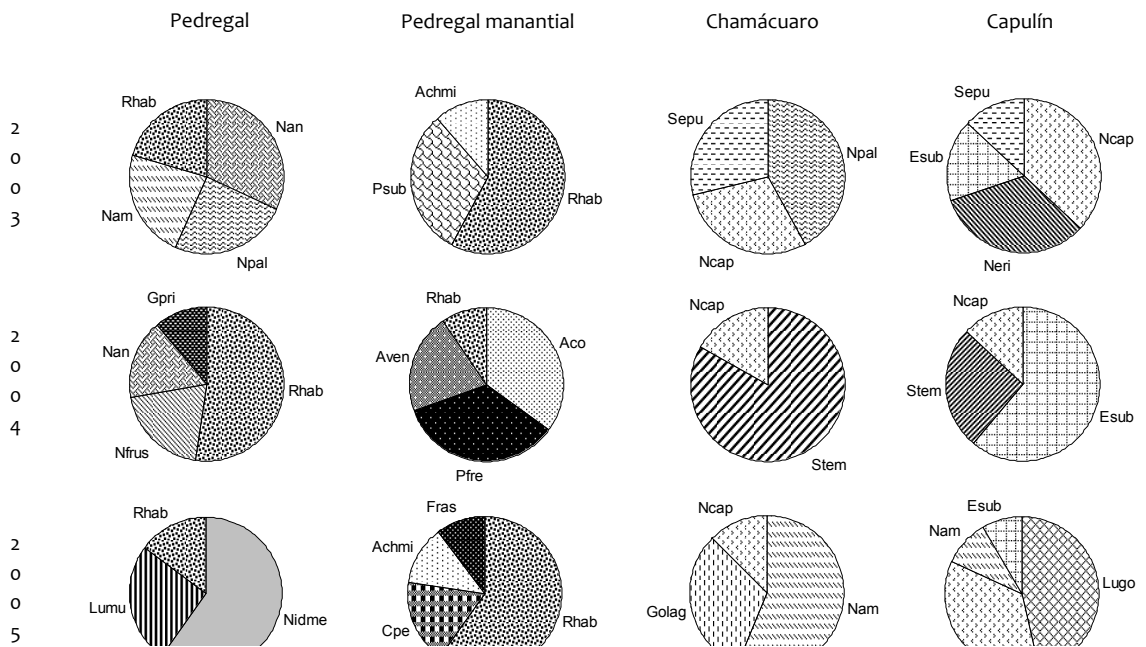
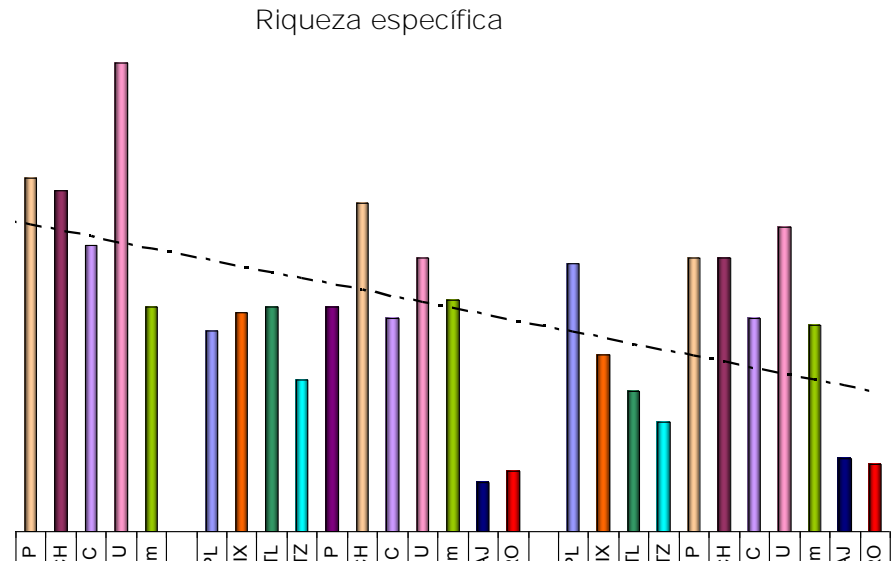


Figura 5. Composición de diatomeas más abundantes (> % 60) durante la temporada de poslluvias en los sitios de muestreo. Para las abreviaturas del nombre de las especies ver el Cuadro 5.





**Figura 7.** Riqueza específica durante los años de muestreo en el Alto Lerma, en la que se observa una tendencia decreciente.



**Cuadro 1.** Características del Área de Estudio.

<b>RASGO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>FUENTE</b>
<b>FISIOGRAFÍA</b>	-Provincia Cinturón Volcánico Transmexicano: rocas volcánicas del Neógeno y Cuaternario. -Estrato-volcanes y conos monogenéticos que conforman el Cinturón Volcánico Transmexicano.	SPP, 1985
<b>GEOLOGÍA</b>	-Campo volcánico miocénico (producto de subducción Placa Pacífica en Norteamericana) -Falla Ixtlahuaca con dirección NNO-SSE. -Fallas de Acambay (E-O): mesas andesíticas o aparatos volcánicos del Plio-Pleistoceno, actual cortina de la presa Tepuxtepec. Primer desnivel del Lerma. -Materiales: brechas, tobas, arenas, cenizas. Aluviones, arenas, conglomerados, brechas volcánicas y coladas lávicas en el sustrato del río.	Waitz, 1943; Pasquaré <i>et al.</i> 1991; Israde-Alcántara, 1999
<b>CLIMA</b>	Climas templados: C (m)(w) y C (w2)(w): Meseta Tarasca, valles y mesetas de Mil Cumbres, bajíos de Zacapu, Cuitzeo, Morelia, Tlalpujahua y Zitácuaro. Temperaturas medias anuales: 18°C en valles y bajíos, hasta 12.5°C en Mil Cumbres y centro de la Meseta Tarasca. Precipitación entre 646 a 1,642 mm al año.	SPP, 1985
<b>SUELOS</b>	-Feozem lúvico: Tepuxtepec. -Luvisol: sur de la subcuenca. -Planosol y en menor proporción Vertisol y Litosol: Tlalpujahua	SPP, 1985
<b>HIDROGRAFÍA</b>	Río Tlalpujahua: límites de Michoacán con el estado de México. Recorrido en dirección Este a Oeste, hasta desembocar en el Lerma. Río Cachiví: origen en la sierra de Tlalpujahua. Tributarios al río Senguio, arroyo Etumbio y Casa Blanca, dirección Este-Oeste.	Maderey y Correa, 1974
<b>VEGETACIÓN</b>	Bosque de oyamel, Bosque de pino, Bosque de pino-encino, matorral subtropical alterado, bosque de galería.	SPP, 1985

**Cuadro 2.** Ubicación geográfica de las localidades de la Cuenca Alto Lerma, México, con anotación de tipos de influencias antrópicas observadas en las colectas.

Sitios de colecta	Coordenadas	Altitud (msnm)	*Influencia antrópica
1. Puente Lerma-Toluca, Edomex. (PL)	19° 16' 45.08" N 99° 38' 56.13" O	2587	Dm, A, I
2. San Jerónimo Ixtapatongo, Edomex. (Ixt)	19° 32' 01.52" N 99° 46' 06.72" O	2523	Dm, A, I
3. San Lorenzo Tlacotepec, Edomex. (Tl)	19° 48' 56.99" N 99° 55' 32.01" O	2502	Dm, A, I
4. Puente Temazcalcingo, Edomex. (Tz)	19° 55' 0.21" N 100° 01' 09.89" O	2347	A, I, Al
5. El Pedregal, Mich. (P)	19° 57' 15.12" N 100° 17' 05.71" O	2357	A
5. El Pedregal, Mich. (P)	19° 57' 15.12" N 100° 17' 05.71" O	2357	Tl
7. Chamácuaro, Gto. (Ch)	20° 06' 18.32" N 100° 49' 53.3" O	1838	Dm, A
8. El Capulín, Gto. (C)	20° 16' 14.6" N 100° 59' 02.16" O	1729	Dm, A
9. Uruétaro, Gto. (U)	20° 16' 14.6" N 100° 59' 02.61" O	1744	Dm, A, I
10. Río Laja, Gto. (LAJ)	20° 57' 53" N 100° 50' 08.41" O	1797	A/E; Dm, I, Up
11. Río Querétaro, Qro. (QRO)	20° 44' 02.05" N 100° 33' 20.51" O	1731	A/E; Dm, A, I, Up

\***Dm**-descargas municipales; **A**-agroquímicos; **I**-industrial; **Al**-alfarería; **Up**-uso pecuario; **Tl**-turismo local; **A/E**-afluente/efluente.

**Cuadro 3.** Variables ambientales del Alto Lerma, México, estiaje-poslluvias, 2003-2005.

Sitios de muestreo	Profundidad (Z cm)		Temperatura (°C)		Conductividad ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )		SDT ( $\text{mgL}^{-1}$ )		pH		Oxígeno Disuelto ( $\text{mgL}^{-1}$ )		Saturación de Oxígeno (%)	
	e	pll	e	pll	e	pll	e	pll	e	pll	e	pll	e	pll
<b>PL</b>	20	20-30	18.2-23.1	14-15.7	728-911	316-720	540-617	219-556	5-10.8	6.7-7.4	0.5-0.8	0.1-1	6-9	1-11
<b>Ixt</b>	40-50	50-60	18.4-21.9	16.5-19.2	443-750	450-917	472-523	290-660	6-9.2	7.1-8.5	1.4-7.9	0.4-5.7	16-88	18-48
<b>TI</b>	40-60	50-60	17.9-20.9	14.9-17.1	423-883	153-467	440-622	110-383	6.8-7.9	7-7.4	2-2.2	2-4.8	23-65	28-52
<b>Tz</b>	100-150	142-200	18.4-19	15-17.6	396-683	137-431	420-507	100-379	7-8	6.8-7.7	5.4-8.4	5.6-8	67-91	69-94
<b>P</b>	150	200	16-18.9	16-17.5	352-780	232-756	263-840	130-540	7-8.1	7.2-7.6	6.5-8.9	6-6.9	86-96	80-90
<b>Pm</b>	20-30	30-40	24-24.1	23.9-24.5	254-262	244-527	173	120-380	6-8	7-7.8	5.8-6.5	4.8-9.4	66-79	56-102
<b>Ch</b>	130-140	150	17.5-18.9	17.7-19	275-613	117-570	202-650	100-357	6.9-7.9	6.9-8.6	5.2-10	4.5-5.6	58-112	53-64
<b>C</b>	10-20	30-35	20-21.3	18.1-19.4	340-395	157-568	238-670	110-317	6.7-7.9	6.7-8.2	3-7.5	3.6-5	35-68	44-55
<b>U</b>	40-60	50-70	21.4-23.3	18.3-19.3	526-691	344-487	357-680	130-386	7	6.9-7.6	3-4.8	2.4-4	36-46	29-45
<b>LAJ</b>	-	8	-	20.7	-	382	-	250	-	8.3	-	0.26	-	3
<b>QRO</b>	-	10	-	21.7	-	1,207	-	210	-	8	-	0.01	-	2
Intervalo	10-150	8-220	16-24.1	14-24.5	254-911	117-1207	173-840	100-660	5-10.8	6.7-8.6	0.5-10	0.01-9.4	6-112	1-102
( $\chi \pm \sigma$ )	(67 $\pm$ 51)	(83 $\pm$ 69)	(20.3 $\pm$ 2.2)	(18 $\pm$ 3)	(537 $\pm$ 201)	(401 $\pm$ 192)	(483.1 $\pm$ 190)	(273.6 $\pm$ 140)	(7.3 $\pm$ 1)	(7.4 $\pm$ 0.5)	(5 $\pm$ 3)	(4.3 $\pm$ 2.4)	(57 $\pm$ 30)	(50 $\pm$ 29)
$\eta$	58	58	58	58	58	58	17	29	58	58	58	58	58	58

**Variables:** Z: profundidad; T: temperatura; C: conductividad; SDT: sólidos disueltos totales; pH; OD: oxígeno disuelto; SO: saturación de oxígeno.

**Estación:** e: estiaje; pll: poslluvias.

**Sitios de muestreo:** notación como en la Figura 2.

**Cuadro 4.** Matriz para poslluvias/2004 del Alto Lerma, México.

Sitios de muestreo	Profundidad	Temperatura	I	Vc	Conductividad	Salinidad	pH	Dt	HCO <sub>3</sub>	Si-SO <sub>2</sub>	P-PO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	O. D.	S. O.	DBO <sub>5</sub>	DQO
Estación	(Z cm)	(°C)	( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ )	( $\text{cm s}^{-1}$ )	( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	(ppt)		( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )	%	( $\text{mgL}^{-1}$ )	( $\text{mgL}^{-1}$ )
PL	30	14	7	0	316	0.3	7	150	71	36	4	3	0.09	0.1	22	61	75
Ixt	40	17	12	82	486	0.1	8	154	81	39	4	4	0.01	6	70	41	75
Tl	50	17	12	72	467	0.2	7	122	61	38	3	5	0.01	2	28	15	37
Tz	200	18	19	46	431	0	7	136	49	36	3	9	0.01	6	69	17	47
P	200	16	8	53	270	0	7	100	26	23	0.4	0.5	0.01	7	86	61	94
Pm	40	24	5	0	268	0.1	8	92	34	58	0	1	0.01	5	56	5	8
Ch	150	18	9	22	570	0.3	8	158	13	50	0.8	0.8	0.01	5	62	10	15
C	30	18	4	39	568	0.3	8	168	75	44	0.8	3	0.01	4	44	6	11
U	30	18	10	28	487	0.3	8	166	63	32	1	3	0.02	2	29	15	23

**Cuadro 5.** Distribución de especies en el Alto Lerma, México y el Mundo.

Especie	Alto Lerma												México												Mundial															
	PL	Ixt	TI	Tz	P	Pm	Ch	C	U	LAJ	QRO	1er Reg	VM	Mich	Oax	Mor	Emex	Pue	Gto	QR	MC	SLP	Hgo	Yuc	Coah	Jal	Papal	Ver	Tlax	Chis	Tuxt	1er Reg	Eur	As	Áfr	Amér	Cosmop			
<i>Achnanthes inflata</i>				1	1						1	1																										1		
<i>Achnanthidium exiguum</i>	1								1				1	1	1	1	1	1		1	1														1	1	1	1	1	
<i>A. minutissimum</i>		1			1								1			1	1	1		1	1														1	1	1	1	1	
<i>Amphipleura lindheimeri</i>					1	1						1				1						1															1			
<i>Amphora normanii</i>					1																																	1		
<i>A. pediculus</i>					1	1						1					1			1		1																1		
<i>A. veneta</i>	1				1	1	1			1						1				1																		1		
<i>Aulacoseira ambigua</i>						1					1	1																										1		
<i>A. granulata</i> var. <i>angustisima</i>	1	1	1	1	1	1				1			1	1	1	1	1	1	1	1																1	1	1	1	
<i>Berkella linearis</i>					1	1	1					1	1									1														1		1		
<i>Caloneis hyalina</i>	1	1		1								1	1			1				1	1																	1		
<i>Caloneis species</i>				1				1						1																										
<i>Cocconeis pediculus</i>				1	1			1				1				1	1			1	1	1																1		
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>evglypta</i>	1	1			1			1				1	1	1	1					1	1	1												1		1	1	1	1	
<i>C. p.</i> var. <i>lineata</i>	1				1	1							1			1	1	1	1	1	1	1	1			1												1		
<i>C. p.</i> var. <i>pseudolineata</i>	1				1																															1	1	1	1	
<i>Craticula accomoda</i>		1	1	1				1																														1		
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>		1	1	1																																		1		
<i>Cymbella mexicana</i>	1			1		1							1			1	1	1	1	1	1	1	1														1			
<i>Denticula kuetzingii</i>	1					1	1		1		1	1									1																	1	1	
<i>Diademsis confervacea</i>	1	1	1						1			1									1																		1	
<i>Diploneis subovalis</i>	1	1			1		1		1			1				1				1		1														1		1		
<i>Discostella pseudostelligera</i>		1		1		1		1								1			1		1	1																1		
<i>Encyonema neogracile</i>	1			1								1								1																				
<i>E. neomesianum</i>		1						1					1				1				1																	1	1	
<i>E. silesiacum</i>	1	1		1	1		1		1			1				1			1	1	1	1																1		
<i>Eolimna subminuscule</i>	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1								1																1		1		
<i>E. tantula</i>	1	1		1	1	1	1																														1	1		
<i>Epithemia adnata</i>	1					1						1				1				1	1	1	1														1	1		
<i>E. sores</i>	1											1					1																				1	1		
<i>Eunotia bilunaris</i>	1						1		1																												1	1	1	
<i>E. diodon</i>	1																																				1	1		
<i>E. intermedia</i>	1																																					1		
<i>Fallacia pygmaea</i>	1	1					1	1	1			1									1																	1		
<i>Fistulifera saprophila</i>		1	1		1		1	1	1																													1		
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	1	1	1	1	1				1			1									1																1	1	1	
<i>Frankophila similioides</i>					1	1																																1		
<i>Gomphonema affine</i>	1		1	1		1			1	1		1								1	1	1		1												1	1	1	1	

**Clave:** 1- Presencia.

**Distribución Alto Lerma:** Estado de México: PL, Puente Lerma-Toluca; Ixt, San Jerónimo Ixtapatongo; TI, San Lorenzo Tlacotepec; Tz, Puente Temazcalcingo. Estado de Michoacán: P, El Pedregal; Pm, El Pedregal manantial. Estado de Guanajuato: Ch, Chamácuaro; C, El Capulín; U, Uruétaro; LAJ, Río la Laja. Estado de Querétaro: QRO, Río Querétaro. **Distribución en México:** VM, Valle de México; Mich, Michoacán; Oax, Oaxaca; Mor, Morelos; Emex, Estado de México; Pue, Puebla; Gto, Guanajuato; QR, Quintana Roo; Mc, México Central; SLP, San Luís Potosí; Hgo, Hidalgo; Yuc, Yucatán; Coah, Coahuila; Jal, Jalisco; Papal, Cuenca del Papaloapan; Ver, Veracruz; Tlax, Tlaxcala; Chis, Chiapas; Tuxt, Los Tuxtlas. **Distribución Mundial:** Eur, Europa; As, Asia; Afr, África; Amér, América; Cosmop, Cosmopolita.

**Cuadro 5.** Distribución de especies en el Alto Lerma, México y el Mundo.

Especie	Alto Lerma											México														Mundial													
	PL	Ixt	TI	Tz	P	Pm	Ch	C	U	LAJ	QRO	1er Reg	VM	Mich	Oax	Mor	Emex	Pue	Gto	QR	MC	SLP	Hgo	Yuc	Coah	Jal	Papal	Ver	Tlax	Chis	Tuxt	1er Reg	Eur	As	Afr	Amér	Cosmop		
<i>G. gracile</i>	1	1	1	1										1			1		1	1	1	1	1		1	1	1						1		1	1	1	1	
<i>G. innocens</i>		1		1																													1	1					
<i>G. lagenula</i>	1	1			1								1			1	1	1		1	1						1								1	1	1	1	
<i>G. lipperti</i>		1	1	1																													1	1					
<i>G. parvulum</i>		1	1	1	1		1	1	1	1		1				1	1	1	1	1	1						1											1	
<i>G. p. var. parvulum f. saprophilum</i>		1	1	1						1						1	1	1	1		1						1											1	
<i>G. pseudoaugur</i>	1	1	1	1							1											1													1				
<i>G. pumilum var. rigidum</i>			1	1		1		1									1																1				1		
<i>Gomphonema aff. brasiliense</i>						1																											1				1		
<i>Gomphonema aff. clavatum</i>	1	1			1		1	1									1																	1	1				
<i>Gomphonema ericense var. ericense</i>	1																															1							
<i>Gyrosigma scalproides</i>					1		1	1	1											1	1							1						1					
<i>Hantzschia amphioxys</i>		1	1				1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1							1	1	1	1	1	1		
<i>Hippodonta capitata</i>	1			1			1	1					1				1		1	1	1	1	1			1													
<i>H. hungarica</i>	1	1																			1	1																1	
<i>Lemnicola hungarica</i>	1	1		1									1				1																		1	1			1
<i>Luticola aequatorialis</i>					1	1																											1				1		
<i>L. goeppertiana</i>		1			1	1		1				1	1					1		1	1	1					1						1	1		1	1		
<i>L. nivalis</i>		1	1				1						1																						1		1		
<i>Mayamaea atomus var. permissis</i>	1	1	1	1			1	1	1		1																						1					1	
<i>Navicula antonii</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1																								1					1	
<i>N. capitatoradiata</i>		1	1	1								1										1	1				1							1		1		1	
<i>N. cryptocephala</i>		1		1								1				1	1	1	1		1	1												1					
<i>N. cryptotenella</i>				1	1		1	1	1			1						1	1	1	1	1	1											1	1		1		
<i>N. erifuga</i>	1	1	1	1	1		1	1	1			1																											
<i>N. germainii</i>	1	1				1																												1					
<i>N. libonensis</i>		1	1				1																											1					
<i>N. microcari</i>						1	1	1	1																									1	1	1			
<i>N. recens</i>	1	1			1	1			1																								1	1	1		1	1	
<i>N. riediana</i>	1	1	1		1	1	1	1	1																								1	1	1		1		
<i>N. rostellata</i>	1	1	1						1																													1	
<i>N. simulata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1												1	1	1	1				1									1		
<i>N. trivialis</i>	1	1	1	1	1		1	1	1																								1					1	
<i>N. upsaliensis</i>	1	1	1				1																										1					1	
<i>N. veneta</i>	1	1	1	1	1		1	1	1			1																							1	1	1	1	
<i>N. vilaplani</i>						1																											1						
<i>Nitzschia amphibia</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1						1	1	1	1	1		
<i>N. brevissima</i>					1																													1			1	1	
<i>N. capitellata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																						1	1		1	1		
<i>N. clausii</i>			1		1		1		1																									1	1		1	1	

**Clave:** 1- Presencia.

**Distribución Alto Lerma:** Estado de México: PL, Puente Lerma-Toluca; Ixt, San Jerónimo Ixtapatongo; TI, San Lorenzo Tlacotepec; Tz, Puente Temazcalcingo. Estado de Michoacán: P, El Pedregal; Pm, El Pedregal manantial. Estado de Guanajuato: Ch, Chamácuaro; C, El Capulín; U, Uruétaro; LAJ, Río la Laja. Estado de Querétaro: QRO, Río Querétaro. **Distribución en México:** VM, Valle de México; Mich, Michoacán; Oax, Oaxaca; Mor, Morelos; Emex, Estado de México; Pue, Puebla; Gto, Guanajuato; QR, Quintana Roo; MC, México Central; SLP, San Luis Potosí; Hgo, Hidalgo; Yuc, Yucatán; Coah, Coahuila; Jal, Jalisco; Papal, Cuenca del Papaloapan; Ver, Veracruz; Tlax, Tlaxcala; Chis, Chiapas; Tuxt, Los Tuxtlas. **Distribución Mundial:** Eur, Europa; As, Asia; Afr, África; Amér, América; Cosmop, Cosmopolita.

Cuadro 5. Continuación.

Especie	Alto Lerma													México													Mundial												
	PL	Ixt	TI	Tz	P	Pm	Ch	C	U	LAJ	QRO	Ier Reg	VM	Mich	Oax	Mor	Emex	Pue	Gto	QR	MC	SLP	Hgo	Yuc	Coah	Jal	Papal	Ver	Tlax	Chis	Tuxt	Ier Reg	Eur	As	Afr	Amér	Cosmop		
<i>N. constricta</i>			1	1	1			1	1	1																							1		1		1	1	
<i>N. debilis</i>					1	1																											1		1		1	1	
<i>N. filiformis</i>				1				1		1																						1	1	1		1	1		
<i>N. fonticola</i>	1			1	1	1	1			1	1																						1	1		1	1		
<i>N. frustulum</i>	1			1	1	1	1			1							1																1	1	1	1	1		
<i>N. gracilis</i>	1			1					1								1																	1	1		1	1	
<i>N. hungarica</i>		1	1					1		1	1																					1	1	1		1	1		
<i>N. inconspicua</i>				1			1					1								1													1	1			1	1	
<i>N. linearis</i>		1		1	1	1	1		1	1		1	1				1			1	1	1	1				1		1		1		1	1	1	1	1		
<i>N. microcephala</i>					1	1													1														1		1		1	1	
<i>N. palea</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			1	1	1	1	1	1	1											1	1	1		1	1	
<i>N. sigma</i>	1	1					1		1											1													1	1		1	1		
<i>N. sinuata</i> var. <i>delognei</i>	1			1							1									1													1	1		1	1		
<i>N. umbonata</i>	1	1	1	1			1	1	1	1	1														1								1	1	1		1	1	
<i>Pinnularia interrupta</i>	1	1	1	1			1		1			1				1	1			1	1											1				1	1		
<i>P. microstauron</i>	1	1	1	1					1				1	1					1			1			1	1		1				1			1	1	1		
<i>Pinnularia</i> aff. <i>saprophila</i>	1	1	1	1	1																											1				1	1		
<i>Pinnularia</i> aff. <i>silviasalae</i>		1				1			1																								1			1	1		
<i>Pinnularia</i> aff. <i>valdetolerans</i>	1	1	1	1	1																												1			1	1		
<i>Placoneis porifera</i>							1																										1	1					
<i>P. subplacentula</i>				1	1	1	1																										1						
<i>Planothidium delicatulum</i>						1	1																										1	1	1				
<i>P. frequentissimum</i>	1	1	1	1	1	1	1																										1				1	1	
<i>P. lanceolatum</i>	1	1	1	1	1	1						1		1	1	1	1	1	1	1	1											1				1	1		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1				1	1						1					1			1													1		1		1	1	
<i>Rhopalodia brebissonii</i>	1						1				1																						1	1			1	1	
<i>Sellophora pupula</i>	1	1	1	1	1	1		1	1	1						1				1													1			1	1	1	
<i>S. seminulum</i>	1	1		1																													1				1	1	
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	1	1										1					1			1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		
<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i>	1	1									1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									1	1	1	1	1	1		
<i>Staurosira</i> sp.	1																		1														1				1	1	
<i>Staurosirella pinnata</i>	1			1													1			1				1									1			1	1		
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i>	1	1	1	1			1	1	1			1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1								1		1	1	1	1		
<i>Surirella angusta</i>		1	1	1			1	1	1							1																		1			1	1	
<i>S. minuta</i>	1		1	1			1		1			1																								1	1	1	
<i>S. ovalis</i>	1	1					1				1						1	1			1	1											1		1		1	1	
<i>Thalassiosira weissflogii</i>		1	1	1					1	1							1																	1	1			1	1
<i>Ulnaria gouldii</i>					1	1	1	1	1		1									1	1	1											1			1	1	1	
<i>U. ulna</i>	1	1	1	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>Total de especies por localidad</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>56</b>	<b>36</b>	<b>51</b>	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>19</b>	<b>35</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>44</b>	<b>59</b>	<b>40</b>	<b>21</b>	<b>54</b>	<b>82</b>		

Clave: 1- Presencia.

**Distribución Alto Lerma:** Estado de México: PL, Puente Lerma-Toluca; Ixt, San Jerónimo Ixtapatongo; TI, San Lorenzo Tlacotepec; Tz, Puente Temascalcingo. Estado de Michoacán: P, El Pedregal; Pm, El Pedregal manantial. Estado de Guanajuato: Ch, Chamácuaro; C, El Capulín; U, Uruétaro; LAJ, Río la Laja. Estado de Querétaro: QRO, Río Querétaro. **Distribución en México:** VM, Valle de México; Mich, Michoacán; Oax, Oaxaca; Mor, Morelos; Emex, Estado de México; Pue, Puebla; Gto, Guanajuato; QR, Quintana Roo; Mc, México Central; SLP, San Luís Potosí; Hgo, Hidalgo; Yuc, Yucatán; Coah, Coahuila; Jal, Jalisco; Papal, Cuenca del Papaloapan; Ver, Veracruz; Tlax, Tlaxcala; Chis, Chiapas; Tuxt, Los Tuxtlas. **Distribución Mundial:** Eur, Europa; As, Asia; Afr, África; Amér, América; Cosmop, Cosmopolita.

**Cuadro 6.** Lista de especies identificadas en las muestras tomadas del río Lerma.

<b>Especies</b>	<b>Acrónimos</b>
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	Achmi
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald	Aco
<i>A. pediculus</i> (Kützing) Grunow	Ape
<i>A. veneta</i> Kützing	Aven
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	Cpe
<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Moser et al.	Esub
<i>E. tantula</i> Hustedt	Etan
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	Epad
<i>E. sorex</i> Kützing	Esor
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot	Fsap
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kützing) Lange-Bertalot	Fcv
<i>Frankophila simillioides</i> Lange-Bertalot & Rumrich	Fras
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	Gocla
<i>G. lagenula</i> Kützing	Golag
<i>G. p.</i> var. <i>parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> Lange-Bertalot & Reichardt	Gsap
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	Gpar
<i>G. pseudoaugur</i> Lange-Bertalot	Gopse
<i>G. pumilum</i> (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot var. <i>rigidum</i> Reichardt & Lange-Bertalot	Gpri
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D. G. Mann	Lugo
<i>L. mutica</i> (Kützing) D.G.Mann	Lumu
<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	Mayap
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot	Nan
<i>N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot	Ncryptot
<i>N. erifuga</i> Lange-Bertalot	Neri
<i>N. germainii</i> Wallace	Nger
<i>N. recens</i> (Lange Bertalot) Lange Bertalot	Nrec
<i>N. veneta</i> Kützing	Nven
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	Nam
<i>N. capitellata</i> Hustedt	Ncap
<i>N. constricta</i> (Kützing) Ralfs	Ncon
<i>N. debilis</i> (Arnott) Grunow	Nide
<i>N. dissipata</i> var. <i>media</i> (Hantzsch) Grunow	Nidme
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow	Nfrus
<i>N. gracilis</i> Hantzsch	Nigra
<i>N. microcephala</i> Grunow	Nimi
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	Npal
<i>N. recta</i> Hantzsch	Nire
<i>N. sublinearis</i> Hustedt	Nsub
<i>N. umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot	Numb
<i>Planothidium frequentissimum</i> Lange Bertalot	Pfre
<i>Psammothidium subatomoides</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Archibald	Psub
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	Rhab
<i>Rhopalodia brebissonii</i> Krammer	Rbreb
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowksy	Sepu
<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i> (Ehrenberg) Hamilton	Scons
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) D. M. Williams & Round	Spin
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Skabitshevsky	Stem
<i>Ulnaria goulardii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	Ugo
<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	Ulu



## **ANEXO FIGURAS Y CUADROS**

### **CAPÍTULO 2**

#### **DIATOMEAS: “CARACTERES GENERALES, TAXONOMÍA Y ECOLOGÍA”**

**Cuadro 1.** Lista de diatomeas del Alto Lerma, México (Con base en Round *et al.* 1990). Las especies que se registran por primera vez para el país están señaladas con el símbolo  $\bullet$ . Se agregan las modificaciones introducidas en los últimos años y que se citarán en cada caso.

**CLASE COSCINODISCOPHYCEAE**

**SUBCLASE THALASSIOSIROPHYCIDAE**

**ORDEN THALASSIOSIRALES** Glezer & Makarova

**FAMILIA THALASSIOSIRACEAE** Lebour

*Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabitschevsky

*Thalassiosira weissflogii* (Grunow) Fryxell & Hasle

**FAMILIA STEPHANODISCACEAE** Glezer & Makarova

*Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Hellerman) Theriot, Stoermer & Håkansson  $\bullet$

*Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk & Klee

**SUBCLASE COSCINODISCOPHYCIDAE**

**ORDEN AULACOSEIRALES** Crawford

**FAMILIA AULACOSEIRACEAE** Crawford

*Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Ehrenberg) Simonsen

*A. ambigua* (Grunow) Simonsen

**CLASE FRAGILARIOPHYCEAE**

**SUBCLASE FRAGILARIOPHYCIDAE**

**ORDEN FRAGILARIALES** Silva

**FAMILIA FRAGILARIACEAE** Greville

*Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot

*Staurosira* sp.

*Staurosira construens* (Ehrenberg) Williams & Round

*S. construens* var. *venter* (Ehrenberg) P. B. Ham. in Hamilton, Poulin, Charles & Angell

*Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams & Round

*Géneros posteriores a la clasificación de Round et al.* 1990

*Frankophila similioides* Lange-Bertalot & Rumrich  $\bullet$

*Ulnaria gouldarii* (Brébisson) Lange-Bertalot

*U. ulna* (Nitzsch) Compère

**CLASE BACILLARIOPHYCEAE**

**SUBCLASE EUNOTIOPHYCIDAE**

**ORDEN EUNOTIALES** Silva

**FAMILIA EUNOTIACEAE** Kützing

*Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Mills  $\bullet$

*E. diodon* Ehrenberg  $\bullet$

*E. intermedia* (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot  $\bullet$

**SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE**

**ORDEN CYMBELLALES** D. G. Mann

**FAMILIA RHOICOSPHENIACEAE** Chen & Zhu

*Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot

**FAMILIA CYMBELLACEAE** Greville

*Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve

*Encyonema neogracile* Krammer

*E. neomesianum* Krammer

*E. silesiacum* (Bleisch) D. G. Mann

*Placoneis porifera* (Hustedt) T. Ohtsuka & Y. Fujita ●  
*P. subplacentula* (Hustedt) E.J. Cox ●

**FAMILIA GOMPHONEMATACEAE** Kützing

*Gomphoneis eriense* (Grunow) Skvortzov in Skvortzov & Meyer var. *eriense* ●  
*Gomphonema affine* Kützing  
*G. gracile* Ehrenberg  
*G. innocens* Reichardt ●  
*G. lagenula* Kützing  
*G. lipperti* Reichardt & Lange Bertalot ●  
*G. parvulum* (Kützing) Kützing  
*G. p.* var. *parvulum* f. *saprophilum* Lange-Bertalot & Reichardt  
*G. pseudoaugur* Lange-Bertalot  
*G. pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot var. *rigidum* Reichardt & Lange-Bertalot ●  
*Gomphonema* aff. *brasiliense* Metzeltin, Lange-Bertalot & García Rodríguez ●  
*Gomphonema* aff. *clavatum* Ehrenberg

**ORDEN ACHNANTHALES** Silva

**FAMILIA ACHNANTHACEAE** Silva

*Achnanthes inflata* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow

*Géneros posteriores a la clasificación de Round et al. 1990*

*Lemnicola hungarica* (Grunow) Round & Basson  
*Planothidium delicatulum* (Kützing) Grunow ●  
*P. frequentissimum* Lange Bertalot ●  
*P. lanceolatum* (Brébisson) Lange-Bertalot

**FAMILIA ACHNANTHIDIACEAE** D. G. Mann

*Achnanthidium exiguum* (Grunow) Czarnecki  
*A. minutissimum* (Kützing) Czarnecki

**FAMILIA COCCONEIDACEAE** Kützing

*Cocconeis pediculus* Ehrenberg  
*C. placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg 1854) Grunow  
*C. placentula* var. *lineata* (Ehrenberg 1843) Van Heurck  
*C. placentula* var. *pseudolineata* Geitler ●

**ORDEN NAVICULALES** Bessey

**SUBORDEN Neidiineae** D. G. Mann

**FAMILIA DIADESMIDACEAE** D. G. Mann

*Diadesmis confervaceae* Kützing, Round, Crawford & Mann  
*Luticola aequatorialis* (Heiden) Lange-Bertalot & Ohtsuka ●  
*L. goeppertiana* (Bleisch) D. G. Mann  
*L. nivalis* (Ehrenberg) D. G. Mann

**FAMILIA AMPHIPLEURACEAE** Grunow

*Amphipleura lindheimeri* Grunow

**SUBORDEN SELLAPHORINEAE** D. G. Mann

**FAMILIA SELLAPHORACEAE** D. G. Mann

*Fallacia pygmaea* (Kützing) Stickle & D. G. Mann  
*Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkowsky  
*S. seminulum* (Grunow) D. G. Mann ●

**FAMILIA PINNULARIACEAE** D. G. Mann*Pinnularia interrupta* W. Smith*P. microstauron* (Ehrenberg) Cleve*Pinnularia* aff. *saprophila* Krammer & Lange-Bertalot ●*Pinnularia* aff. *silviasalae* Metzeltin *et al.* ●*Pinnularia* aff. *valdetolerans* (Idey & Mayama) ●**SUBORDEN DIPLONEIDINEAE** D. G. Mann**FAMILIA DIPLONEIDACEAE** D. G. Mann*Diploneis subovalis* Cleve 47**SUBORDEN NAVICULINEAE** Hendey**FAMILIA NAVICULACEAE** Kützing*Navicula antonii* Lange-Bertalot in Rumrich *et al.* ●*N. capitatoradiata* Germain*N. cryptocephala* Kützing*N. cryptotenella* Lange-Bertalot*N. erifuga* Lange-Bertalot*N. germainii* Wallace ●*N. libonensis* Schoeman ●*N. microcari* Lange-Bertalot ●*N. recens* (Lange Bertalot) Lange Bertalot ●*N. riediana* Lange-Bertalot & Rumrich in Rumrich *et al.* ●*N. rostellata* Kützing*N. simulata* Manguin*N. trivialis* Lange-Bertalot ●*N. upsaliensis* (Grunow) Peragallo ●*N. veneta* Kützing*N. vilaplanii* (Lange-Bertalot & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater in Rumrich *et al.* ●**FAMILIA PLEUROSIGMATACEAE** Mereschkowsky*Gyrosigma scalproides* (Rabenhorst) Cleve**FAMILIA STAURONEIDACEAE** D. G. Mann*Craticula accomoda* (Hustedt) D. G. Mann in Round *et al.* ●*Stauroneis phoenicenteron* (Nitsch) Ehrenberg**ORDEN THALASSIOPHYSALES** D. G. Mann**FAMILIA CATENULACEAE** Mereschkowsky*Amphora normanii* Rabenhorst ●*A. pediculus* (Kützing) Grunow*A. veneta* Kützing*Géneros posteriores a la clasificación de Round et al. 1990**Berkella linearis* Ross & Sims*Caloneis hyalina* Hustedt*Caloneis* sp.*Eolimna subminuscula* (Manguin) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin*E. tantula* Hustedt ●*Fistulifera saprophila* (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot ●*Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski*H. hungarica* (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski*Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot ●

**ORDEN BACILLARIALES** Hendey**FAMILIA BACILLARIACEAE** Ehrenberg*Denticula kuetzingii* Grunow*Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow*Nitzschia amphibia* Grunow*N. brevissima* Grunow in Van Heurck ●*N. capitellata* Hustedt in A. Schmidt *et al.* ●*N. clausii* Hantzsch*N. constricta* (Kützing) Ralfs in Pritchard 1861 non (Gregory) Grunow in Cleve & Grunow ●*N. debilis* (Arnott) Grunow in Cleve & Grunow ●*N. filiformis* (W. Smith) Van Heurck ●*N. fonticola* Grunow in Cleve & Möller ●*N. frustulum* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow*N. gracilis* Hantzsch*N. hungarica* Grunow ●*N. inconspicua* Grunow*N. linearis* (Agardh ex W. Smith)*N. microcephala* Grunow in Cleve & Möller ●*N. palea* (Kützing) W. Smith*N. sigma* (Kützing) W. Smith*N. sinuata* var. *delognei* (Grunow) Lange-Bertalot*N. umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot**ORDEN RHOPALODIALES** D. G. Mann**FAMILIA RHOPALODIACEAE** (Karsten) Topachevs'kyj & Oksiyuk*Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson*E. sorex* Kützing*Rhopalodia brebissonii* Krammer ●**ORDEN SURIRELLALES** D. G. Mann**FAMILIA SURIRELLACEAE** Kützing*Surirella angusta* Kützing*S. minuta* Brébisson in Kützing*S. ovalis* Brébisson**Cuadro 2.** Lista de especies raras en el Alto Lerma, México.**CLASE COSCINODISCOPHYCEAE****SUBCLASE BIDDULPHIOPHYCIDAE****ORDEN BIDDULPHIALES** Krieger**FAMILIA Biddulphiaceae** Kützing*Terpsinoë música***CLASE FRAGILARIOPHYCEAE****SUBCLASE FRAGILARIOPHYCIDAE****ORDEN FRAGILARIALES** Silva**FAMILIA FRAGILARIACEAE** Greville*Fragilaria delicatissima* (W. Smith) Lange-Bertalot*Meridion circulare**Staurosirella leptostauron* (Ehrenberg) D. M. Williams & Round**CLASE BACILLARIOPHYCEAE****SUBCLASE EUNOTIOPHYCIDAE****ORDEN EUNOTIALES** Silva

**FAMILIA EUNOTIACEAE** Kützing*Eunotia camelus* var. *denticulata* Grunow*E. formica* Ehrenberg*E. soleirolii* (Kützing) Rabenhorst**SUBCLASE BACILLARIOPHYCIDAE****ORDEN CYMBELLALES** D. G. Mann**FAMILIA CYMBELLACEAE** Greville*Placoneis elginensis* (Gregory) Cox*P. elginensis* var. *cuneata* (M. Møller ex Foged) Lange-Bertalot**FAMILIA GOMPHONEMATACEAE** Kützing*Gomphonema coronatum* Ehrenberg*Gomphonema* aff. *punae* Lange-Bertalot & Rumrich*Gomphonema* aff. *bozenae* Lange-Bertalot & Reichardt*Reimeria sinuata* (Gregory) Kociolek & Stoermer**ORDEN ACHNANTHALES** Silva**FAMILIA ACHNANTHACEAE** Silva*Achnanthes kryophila* Petersen*Géneros posteriores a la clasificación de Round et al. 1990**Planothidium rostratum* Lange-Bertalot*Psammothidium subatomoides* (Hustedt) Lange-Bertalot & Archibald in Krammer & Lange-Bertalot**ORDEN NAVICULALES** Bessey**SUBORDEN Neidiineae** D. G. Mann**FAMILIA DIADESMIDACEAE** D. G. Mann*Luticola cohnii* (Hilse) Bukhtiyarova*L. dapalis* (Frenguelli) D. G. Mann*L. kotschyi* (Grunow) Mann**FAMILIA NEIDIACEAE** Mereschkowsky*Neidium affine* (Ehrenberg) Pfitzer**SUBORDEN SELLAPHORINEAE** D. G. Mann**FAMILIA SELLAPHORACEAE** D. G. Mann*Sellaphora bacillum* Ehrenberg**FAMILIA PINNULARIACEAE** D. G. Mann*Pinnularia borealis* var. *rectangularis* Carlson*P. braunii* (Grunow) Cleve*P. maior* (Kützing) Rabenhorst*P. nitzschiophila* Krammer & Lange-Bertalot*P. similis* Hustedt**SUBORDEN NAVICULINEAE** Hendey**FAMILIA NAVICULACEAE** Kützing*Navicula cincta* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard*N. rhynchocephala* Kützing*N. tripunctata* (O. F. Müller) Bory*N. wildii* Lange-Bertalot

**FAMILIA STAURONEIDACEAE** D. G. Mann*Craticula ambigua* Ehrenberg, D.G. Mann*C. cuspidata* Kützing, D.G. Mann*C. halophila* (Grunow) D.G. Mann**ORDEN THALASSIOPHYSALES** D. G. Mann**FAMILIA CATENULACEAE** Mereschkowsky*Amphora copulata* (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald*Géneros posteriores a la clasificación de Round et al. 1990**Caloneis hyalina* Hustedt*Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot**ORDEN BACILLARIALES** Hendey**FAMILIA BACILLARIACEAE** Ehrenberg*Denticula subtilis* Grunow*Nitzschia aerophila* Hustedt*N. amphibioides* Hustedt*N. compressa* var. *compressa* (Bailey) Boyer*N. dissipata* var. *dissipata* (Kützing) Grunow*N. dissipata* var. *media* (Hantzsch) Grunow*N. fossilis* (Grunow) Grunow*N. frustulum* var. *bulnheimiana* (Rabenhorst)*N. granulata* Grunow in Cleve & Möller*N. laevis* Hustedt*N. levidensis* var. *salinarum**N. parvula* W. Smith*N. recta* Hantzsch in Rabenhorst*N. reversa* W. Smith*N. subacicularis* Hustedt*N. vitrea* Norman*Nitzschia* aff. *sublinearis* Hustedt**ORDEN RHOPALODIALES** D. G. Mann**FAMILIA RHOPALODIACEAE** (Karsten) Topachevs'kyj & Oksiyuk*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller*R. gibberula* (Ehrenberg) O. Müller*R. musculus* (Kützing) O. Müller**ORDEN SURIRELLALES** D. G. Mann**FAMILIA SURIRELLACEAE** Kützing*Cymatopleura solea* var. *apiculata* (W. Smith) Ralfs in Pritchard*Surirella brebisonii* Krammer & Lange-Bertalot

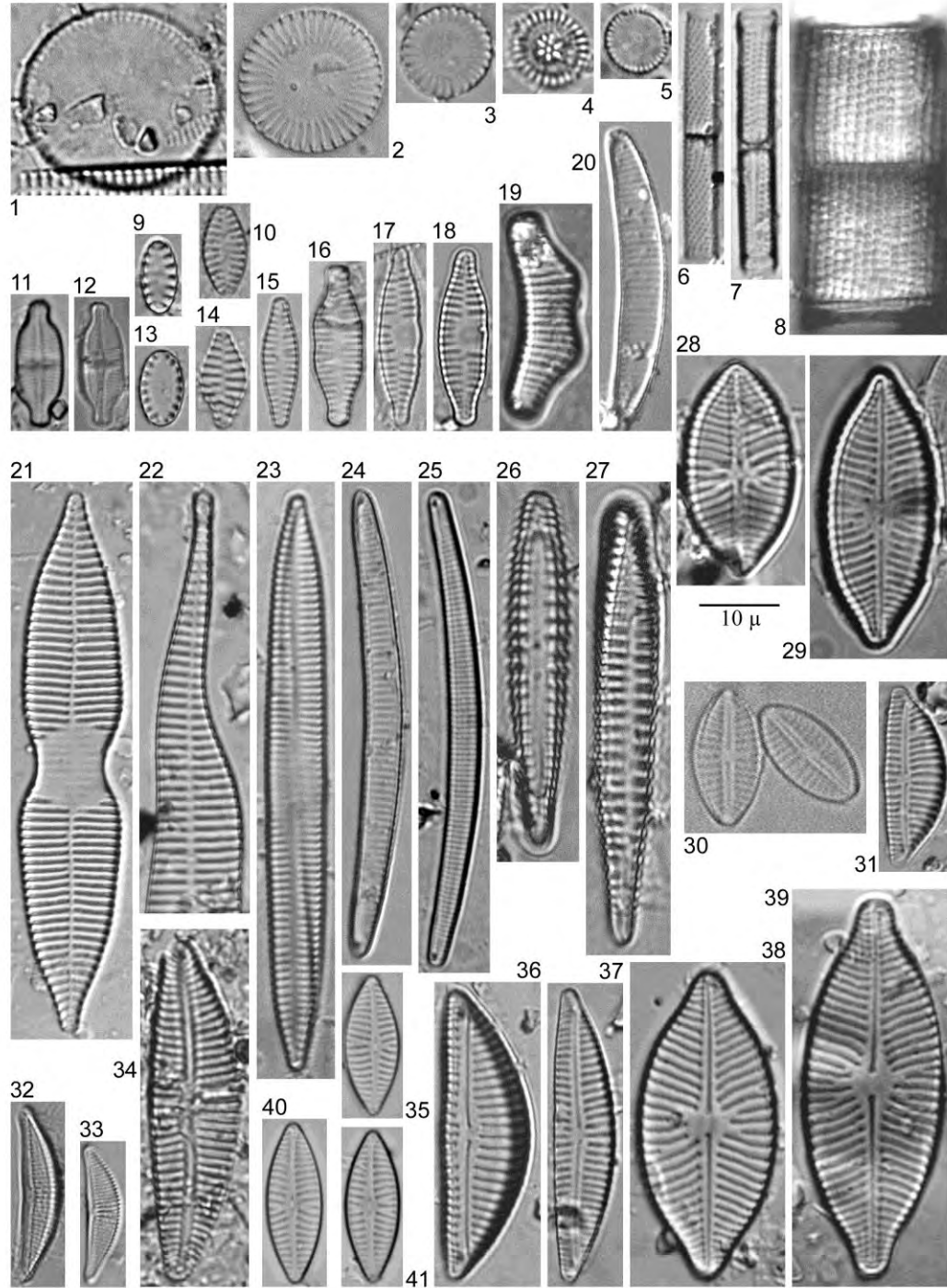
## Lámina I

- Fig. 1. *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) Fryxell & Hasle.  
Figs. 2, 3. *Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabitschevsky.  
Fig. 4. *Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk & Klee.  
Fig. 5. *Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Helleman) Theriot *et al.*  
Figs. 6, 7. *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Ehrenberg) Simonsen  
Fig. 8. *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen.  
Figs. 9, 13, 58. *Frankophila similioides* Lange-Bertalot & Rumrich.  
Figs. 10, 15. *Staurosira construens* var. *venter* (Ehrenberg) P. B. Ham. in Hamilton *et al.*  
Figs. 11, 12. *Achnantheidium exiguum* (Grunow) Czarnecki. 11: valva sin rafe; 12: valva con rafe.  
Fig. 14. *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams & Round.  
Fig. 16. *Staurosira* sp.  
Figs. 17, 18. *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot.  
Fig. 19. *Eunotia diodon* Ehrenberg.  
Fig. 20. *E. intermedia* (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot.  
Figs. 21, 22. *Ulnaria goulardii* (Brébisson) Lange-Bertalot. 21: valva normal; 22: valva malformada.  
Fig. 23. *U. ulna* (Nitzsch) Compère.  
Figs. 24, 25. *Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Mills.  
Figs. 26, 27. *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot. 26: valva con rafe; 27: valva sin rafe.  
Figs. 28, 29. *Placoneis porifera* (Hustedt) T. Ohtsuka & Y. Fujita.  
Figs. 30, 55. *Eolimna subminuscula* (Manguin) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin.  
Figs. 31, 36. *Encyonema silesiacum* (Bleisch) D. G. Mann.  
Figs. 32, 33. *Amphora veneta* Kützing.  
Fig. 34. *Encyonema neomesianum* Krammer.  
Figs. 35, 40, 41. *Navicula antonii* Lange-Bertalot in Rumrich *et al.*  
Fig. 37. *Encyonema neogracile* Krammer.  
Figs. 38, 39. *Placoneis subplacentula* (Hustedt) E.J. Cox.

Escala 10 µm



Lámina I



## Lámina II

Fig. 42. *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve.

Fig. 43. *Gomphoneis eriense* (Grunow) Skvortzov in Skvortzov & Meyer var. *eriense*.

Figs. 44, 45. *Gomphonema affine* Kützing.

Figs. 46, 47. *G. gracile* Ehrenberg.

Fig. 48. *G. lagenula* Kützing.

Figs. 49, 50. *G. innocens* Reichardt.

Figs. 51, 52. *G. lipperti* Reichardt & Lange Bertalot.

Figs. 53, 66. *G. pumilum* (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot var. *rigidum* Reichardt & Lange-Bertalot.

Fig. 54. *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki. Valva sin rafe.

Fig. 56. *Eolimna tantula* Hustedt.

Fig. 57. *Selaphora seminulum* (Grunow) D. G. Mann.

Fig. 59. *Nitzschia sinuata* var. *delognei* (Grunow) Lange-Bertalot.

Figs. 60, 61. *N. microcephala* Grunow in Cleve & Möller.

Fig. 62, 63. *N. fonticola* Grunow in Cleve & Möller.

Figs. 64, 65. *Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot.

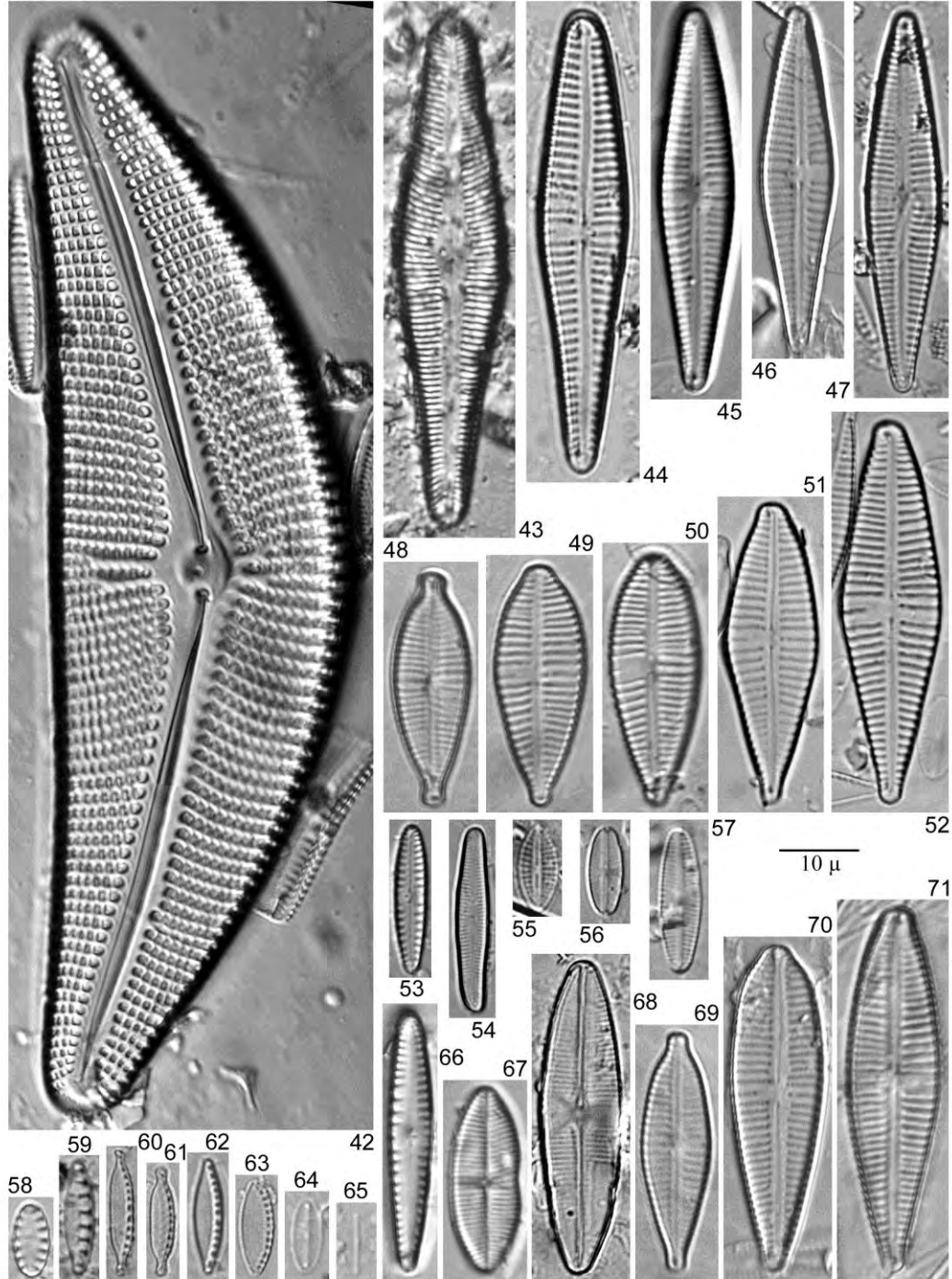
Figs. 67, 68. *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round & Basson. 67: valva sin rafe; 68: valva con rafe.

Figs. 69, 71. *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing.

Fig. 70. *G. pseudoaugur* Lange-Bertalot.

Escala 10  $\mu$ m

Lámina II



## Lámina III

Figs. 72, 73. *Gomphonema* aff. *brasiliensoide* Metzeltin *et al.*

Figs. 74, 75. *Achnanthes inflata* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow. Valvas sin rafe.

Figs. 76, 78. *Cocconeis pediculus* Ehrenberg. 76: valva con rafe; 78: valva sin rafe.

Figs. 77, 80. *C. placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow. Valvas con rafe.

Figs. 79, 87. *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bertalot) Round et Bukhtiyarova. 79: valva con rafe de un ejemplar con extremos más diferenciados del cuerpo de la valva; 87: valva sin rafe de un ejemplar con extremos cuneados.

Figs. 81, 82. *Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck. 81: valva con rafe; 82: valva sin rafe.

Figs. 83, 84. *C. placentula* var. *pseudolineata* Geitler. Valvas sin rafe.

Figs. 85, 86. *Gomphonema p.* var. *parvulum* f. *saprophilum* Lange-Bertalot & Reichardt.

Figs. 88. *Fistulifera saprophila* (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot.

Fig. 89. *Surirella ovalis* Brébisson.

Figs. 90, 91. *Gomphonema* aff. *clavatum* Ehrenberg.

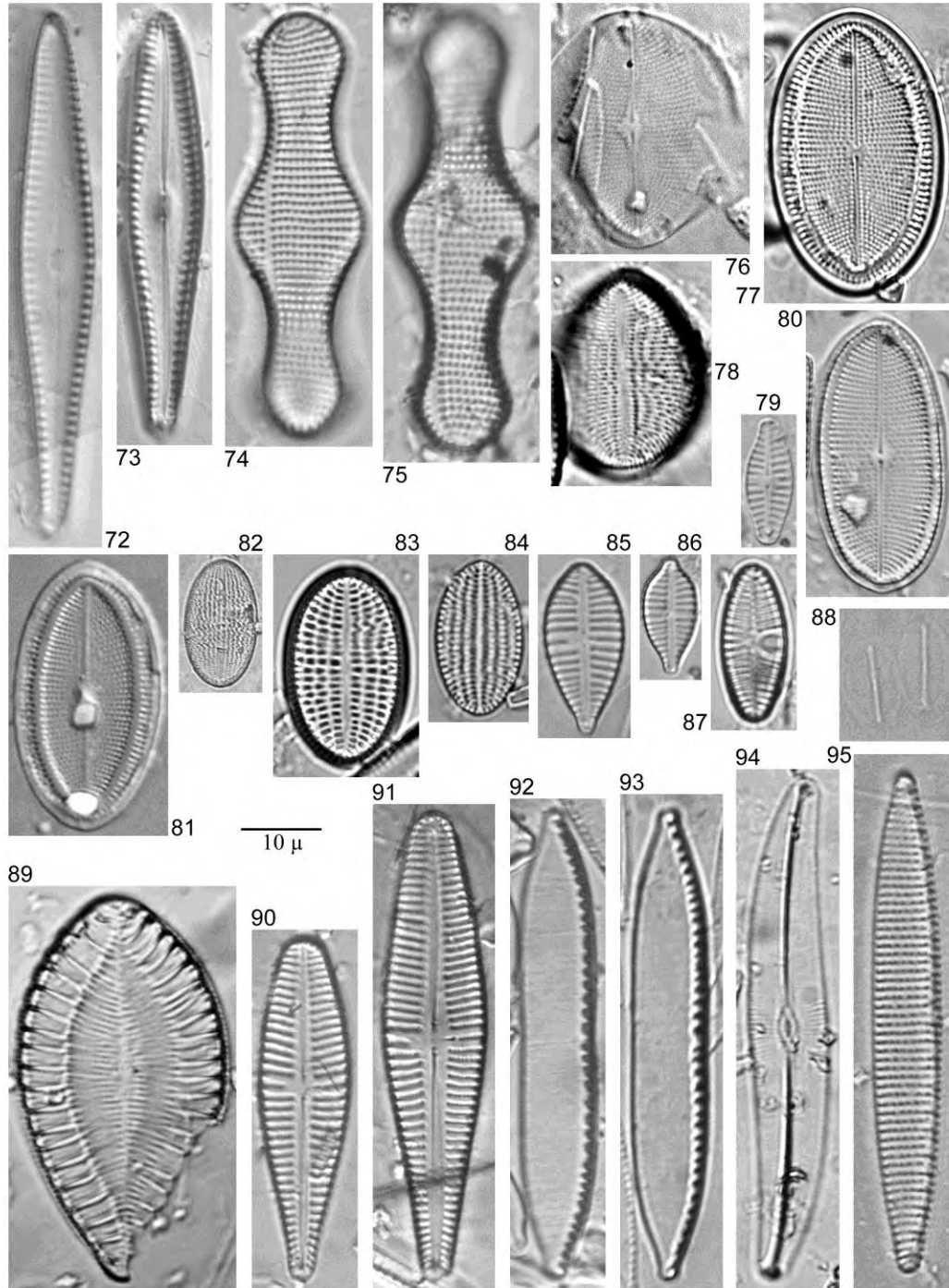
Figs. 92, 93. *Nitzschia umbonata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot.

Fig. 94. *Gyrosigma scalproides* (Rabenhorst) Cleve.

Fig. 95. *Nitzschia amphibia* Grunow.

Escala 10 µm

Lámina III

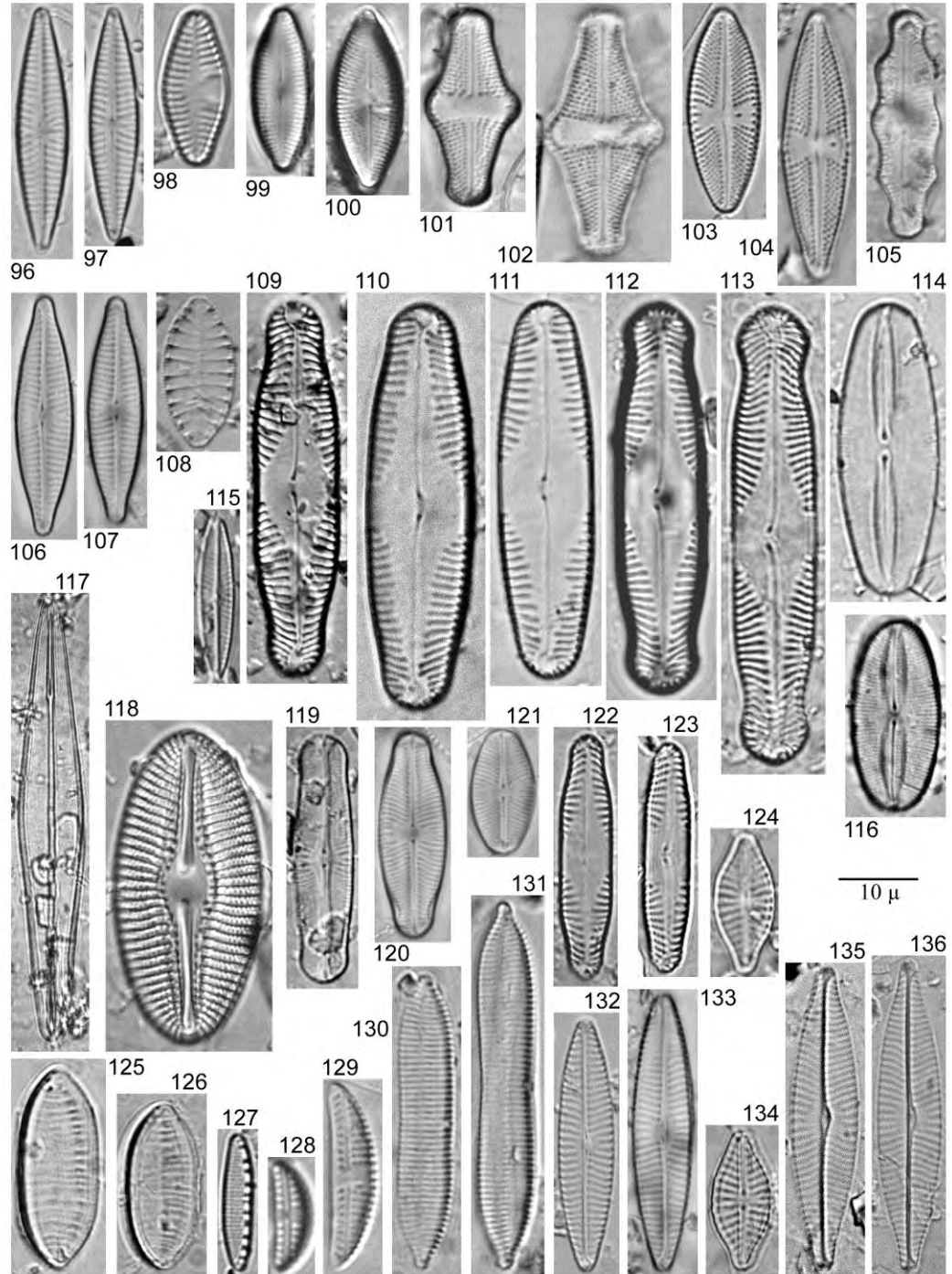


## Lámina IV

- Figs. 96, 97. *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot.  
Fig. 98. *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Lange-Bertalot. Valva sin rafe.  
Figs. 99, 100. *Diadesmis confervaceae* Kützing, Round, Crawford & Mann.  
Figs. 101, 102. *Luticola aequatorialis* (Heiden) Lange-Bertalot & Ohtsuka.  
Figs. 103, 104. *L. goeppertiana* (Bleisch) D. G. Mann.  
Fig. 105. *L. nivalis* (Ehrenberg) D. G. Mann.  
Figs. 106, 107. *Navicula veneta* Kützing.  
Fig. 108. *Surirella minuta* Brébisson in Kützing.  
Fig. 109. *Pinnularia microstauron* (Ehrenberg) Cleve.  
Figs. 110, 111. *P. aff. saprophila* Krammer & Lange-Bertalot.  
Figs. 112, 113. *P. aff. silviasalae* Metzeltin *et al.*  
Figs. 114, 116. *Fallacia pygmaea* (Kützing) Stickle & D. G. Mann.  
Fig. 115. *N. vilaplantii* (Lange-Bertalot & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater in Rumrich *et al.*  
Fig. 117. *Amphipleura lindheimeri* Grunow.  
Fig. 118. *Diploneis subovalis* Cleve.  
Figs. 119, 120, 121. *Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkovsky. 119: "capitate", 120, 121: "obese".  
Figs. 122, 123. *Pinnularia aff. valdetolerans* (Idey & Mayama).  
Figs. 124, 134. *Planothidium delicatulum* (Kützing) Grunow. Valvas con rafe.  
Figs. 125, 126. *Nitzschia debilis* (Arnott) Grunow in Cleve & Grunow.  
Fig. 127. *N. inconspicua* Grunow.  
Figs. 128, 129. *Amphora pediculus* (Kützing) Grunow.  
Figs. 130, 131. *Nitzschia constricta* (Kützing) Ralfs in Pritchard 1861 non (Gregory) Grunow in Cleve & Grunow.  
Figs. 132, 133. *Navicula erifuga* Lange-Bertalot.  
Figs. 135, 136. *N. germanii* Wallace.

Escala 10 µm

Lámina IV



## Lámina V

Fig. 137. *Nitzschia sigma* (Kützing) W. Smith.

Fig. 138, 139. *N. linearis* (Agardh ex W. Smith).

Figs. 140, 141. *N. hungarica* Grunow.

Fig. 142. *N. palea* (Kützing) W. Smith.

Fig. 143. *N. filiformis* (W. Smith) Van Heurck.

Figs. 144, 145. *N. gracilis* Hantzsch.

Fig. 146. *N. clausii* Hantzsch.

Fig. 147. *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson.

Fig. 148. *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow.

Fig. 149. *Denticula kuetzingii* Grunow.

Figs. 150, 151. *Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski.

Fig. 152. *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow.

Figs. 153, 161. *Pinnularia interrupta* W. Smith.

Figs. 154, 155. *Surirella angusta* Kützing.

Fig. 156. *Rhopalodia brebissonii* Krammer.

Fig. 157. *Navicula simulata* Manguin.

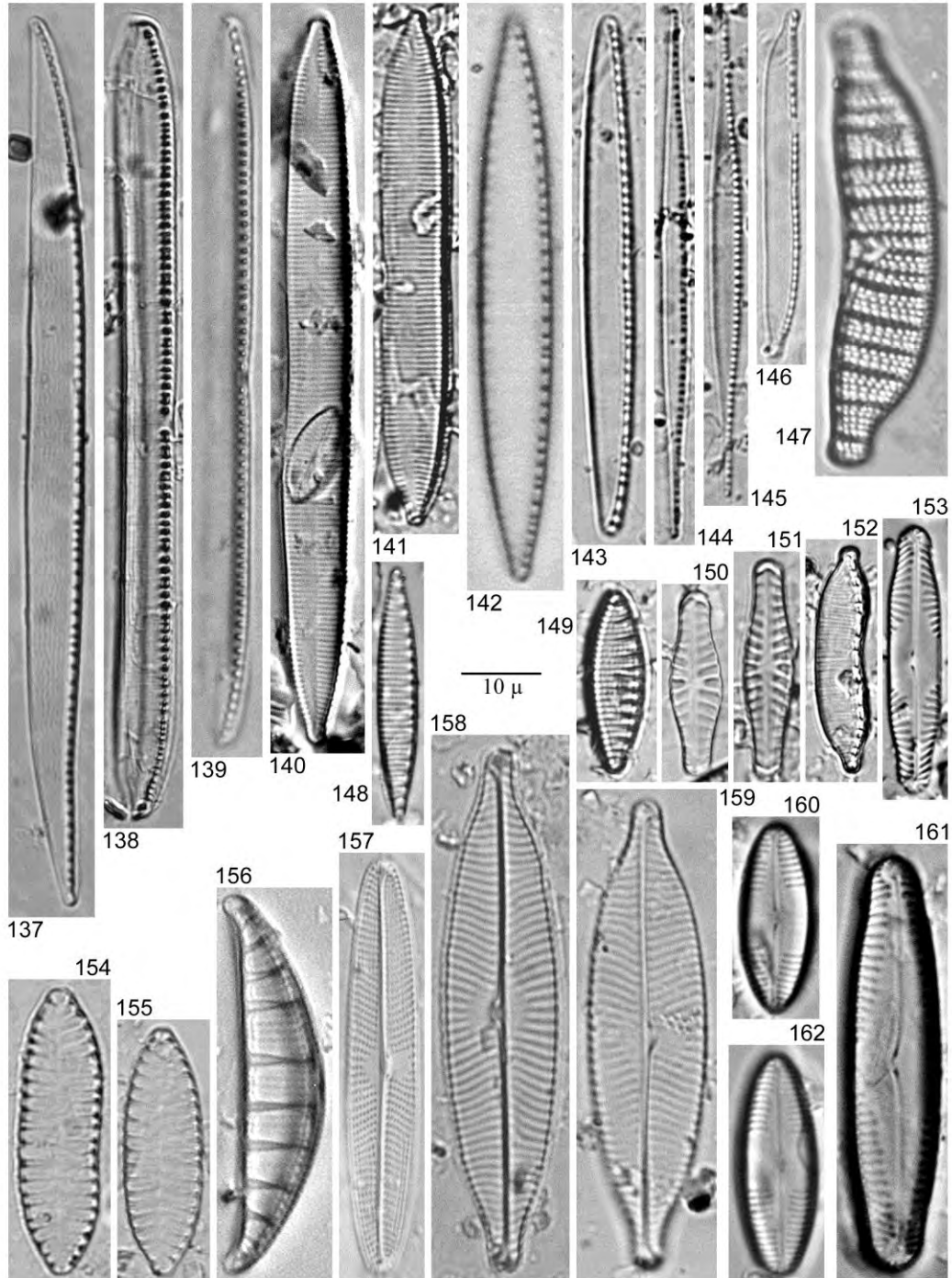
Figs. 158, 159. *N. rostellata* Kützing.

Figs. 160, 162. *Caloneis hyalina* Hustedt.

Escala 10 µm



Lámina V



## Lámina VI

Fig. 163. *Stauroneis phoenicenteron* (Nitsch) Ehrenberg.

Fig. 164. *Berkella linearis* Ross & Sims.

Figs. 165, 166. *Navicula riediana* Lange-Bertalot & Rumrich in Rumrich *et al.*

Figs. 167, 168. *N. trivialis* Lange-Bertalot.

Fig. 169. *N. upsaliensis* (Grunow) Peragallo.

Figs. 170, 171. *Craticula accomoda* (Hustedt) D. G. Mann in Round *et al.*

Figs. 172, 178. *Hippodonta hungarica* (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski.

Figs. 173, 174. *Epithemia sorex* Kützing.

Fig. 175. *Caloneis spec.*

Figs. 176, 177. *Amphora normanii* Rabenhorst.

Fig. 179. *Nitzschia capitellata* Hustedt in A. Schmidt *et al.*

Figs. 180, 181. *Navicula capitatoradiata* Germain.

Figs. 182, 183. *N. recens* (Lange Bertalot) Lange Bertalot.

Figs. 184, 185. *N. cryptocephala* Kützing.

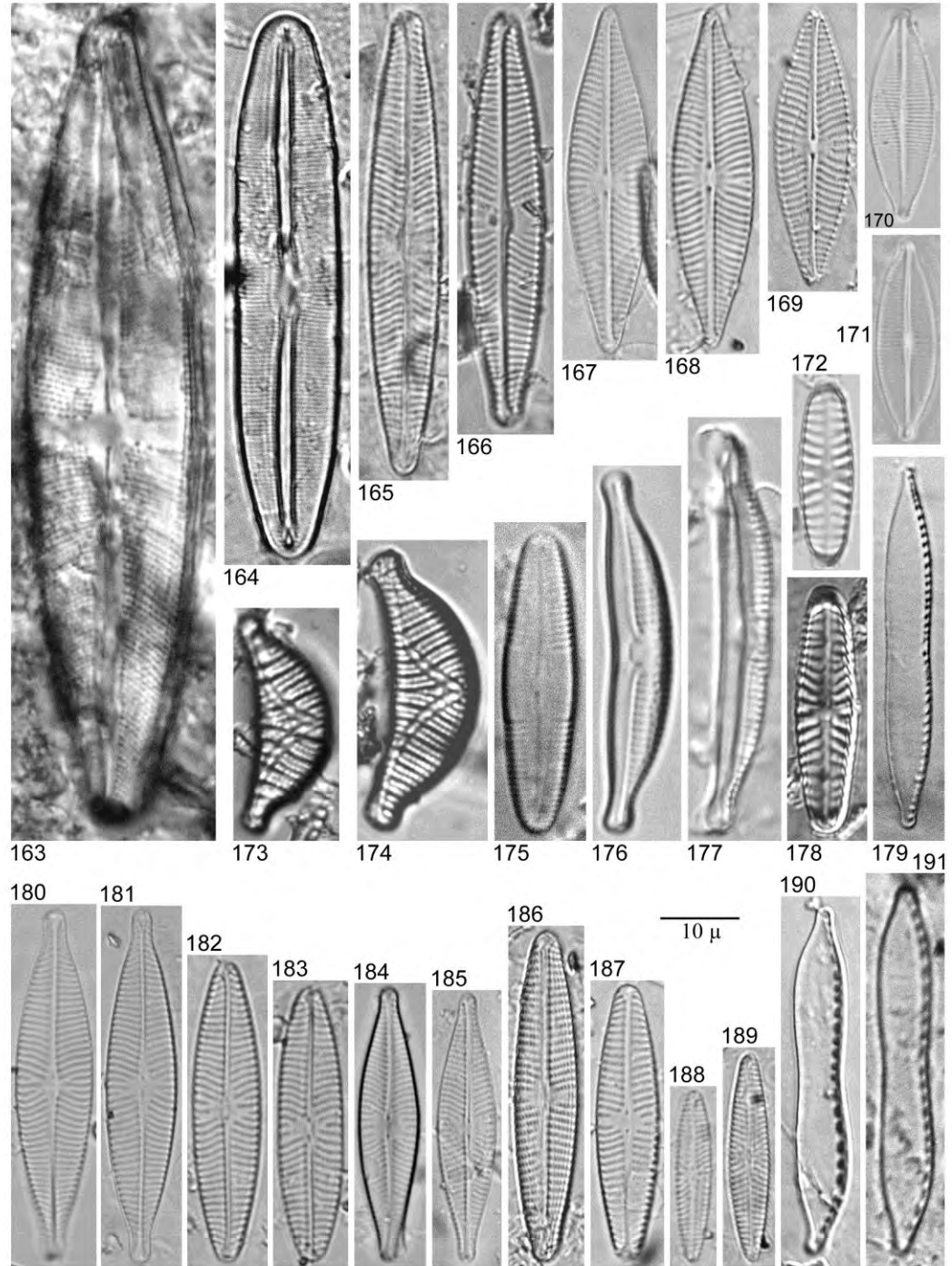
Figs. 186, 187. *N. libonensis* Schoeman.

Figs. 188, 189. *N. microcari* Lange-Bertalot.

Figs. 190, 191. *Nitzschia brevissima* Grunow in Van Heurck.

Escala 10  $\mu$ m

Lámina VI



**Cuadro 3.** Categorización de las variables ambientales en la cuenca del Alto Lerma, México.

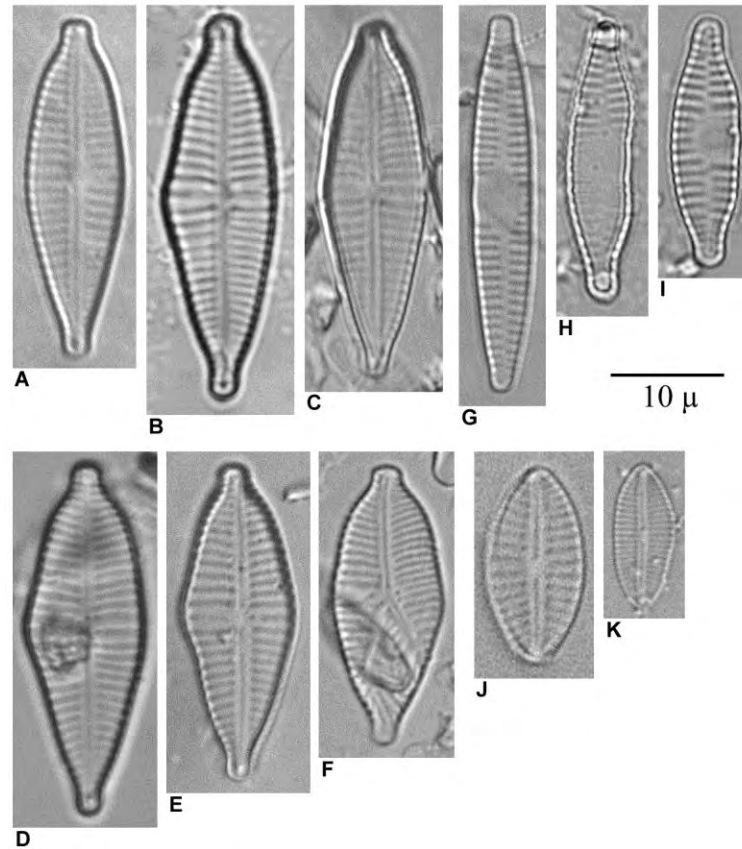
Variables ambientales	De Wolf, 1984	Van Dam <i>et al.</i> 1994		Cantoral, 1997		Alto Lerma (presente estudio)	
	Estado	Estado	Intervalo de variación	Estado	Intervalo de variación	Estado	Intervalo de variación
Oxígeno Disuelto (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	anóxico	0
	-	muy bajo	≈ 10% saturación	-	-	hipóxico	0.01-1
	-	bajo	> 30% saturación	-	-	bajo	2-4
	-	moderado	> 50% saturación	-	-	medio	4-6
	-	ligeramente alto	> 75% saturación	-	-	elevado	6-8
-	continuamente alto	sobre 100% saturación	-	-	muy elevado	8-10	
pH	acidobiótico	acidobiótico	<5.5	acidobiótico	< 5.5	ácido	5-7
	acidófilo	acidófilo	<7	acidófilo	< 7	-	-
	indiferente	circumneutral	≈7	neutral	≈7	neutro	7
	alcalifilo	alcalifilo	>7	alcalifilo	>7	alcalino	7-9
	alcalibiótico	alcalibiótico	>7	alcalibiótico	aguas alcalinas	-	-
-	indiferente	-	-	-	-	-	
Conductividad para aguas dulces (µS cm <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	bajo	50-100
	-	-	-	-	-	moderado	100-500
	-	-	-	-	-	elevado	> 500
Nutrientes	-	hipereutraféntico	-	-	-	hipereutrófico	muy alto
	eutrófico	eutraféntico	-	eutrófico	alto	eutrófico	alto
	meso-eutrófico	meso-eutraféntico	-	mesotrófico	moderado	mesotrófico	medio
	mesotrófico	mesotraféntico	-	-	-	-	-
	meso-oligotrófico	oligo-mesotraféntico	-	-	-	-	-
oligotrófico	oligotraféntico	-	oligotrófico	bajo	oligotrófico	bajo	
Afinidad por la corriente	-	-	-	distrófico	rico en materia orgánica	-	-
	reófilo	-	-	reobiótico	sólo en aguas corrientes	-	-
	indiferente	-	-	reófilo	aguas corrientes o estancadas	reófilo	zona de rápidos (> 5 cm/s)
	limnófilo	-	-	indiferente	aguas con flujo y estancadas	indiferente	aguas con flujo o estancadas
	-	-	-	limnófilo	aguas estancadas o corrientes	-	-
-	-	-	limnobiótico	sólo aguas estancadas	-	-	
Forma de vida	-	-	-	euplancónico	suspendido en el agua	-	-
	plancónica	-	-	ticoplancónico	asociado a perifiton o hábitats terrestres	-	-
	bentónica	-	-	béntico	normalmente sésil	-	-
	-	-	-	perifítico	sobre sustrato sumergido y sobre	-	-
	-	-	-	epipélico	sobre lodo	-	-
	epífita	-	-	epilítico	sobre rocas	epilítica	sobre rocas
	-	-	-	epifítico	sobre plantas	-	-
	-	-	-	epidéndrico	sobre madera	-	-
	aerófila	-	-	epizoico	sobre animales	-	-
	eu-terrestre	-	-	-	-	aerófila	tolera desecación
-	-	-	libre	normalmente libre	-	-	

Adaptado de De Wolf, 1984; Van Dam *et al.* 1994 y Cantoral, 1997

## **ANEXO FIGURAS Y CUADROS**

### **CAPÍTULO 3**

#### **FORMAS TERATOLÓGICAS DE DIATOMEAS COMO INDICADORAS DE ALTERACIONES EN LA CALIDAD DEL AGUA**



**Figura 1.** A, forma normal de *Gomphonema parvulum*; B-F, formas teratológicas de *Gomphonema parvulum*; G, forma normal de *Fragilaria capuchina* var. *vaucheriae*; H, I, formas teratológicas de *Fragilaria capuchina* var. *Vaucheriae*; J, forma normal de *Eolimna subminuscula*; K, forma teratológica de *Eolimna subminuscula*.

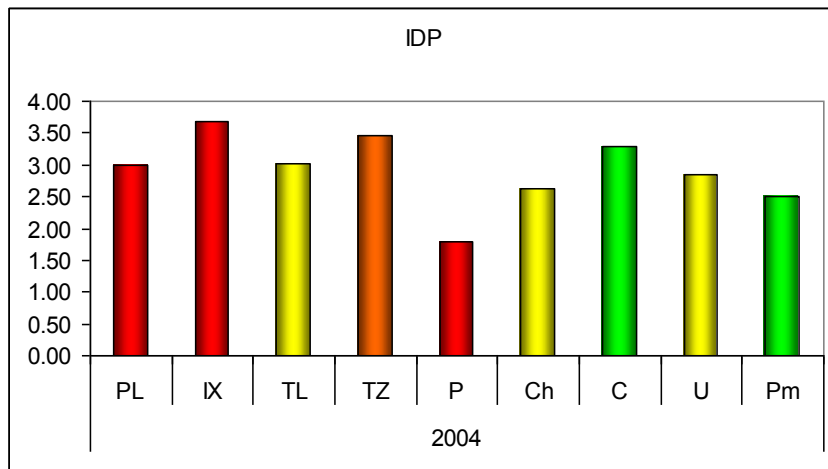
**Cuadro 1.** Relaciones causa-efecto de alteraciones morfológicas en las diatomeas estudiadas.

Especie	Teratología	Causa	Referencia
<i>Fragilaria capuchina</i> var. <i>vaucheriae</i>	Contorno valvar deforme	Cd, As, Pb y Hg en la columna de agua Cd, Cu, Pb, Hg y Zn en los sedimentos	Peres-Weerts, 2000
<i>Gomphonema parvulum</i>	Rafe interrumpido Contorno valvar deforme	Ni ( $155,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ) Cu ( $35 \mu\text{g g}^{-1}$ ) Pb ( $20,45 \mu\text{g g}^{-1}$ )	Gómez <i>et al.</i> 2008
<i>Eolimna subminuscula</i>	Contorno valvar deforme	no hay reportes previos	

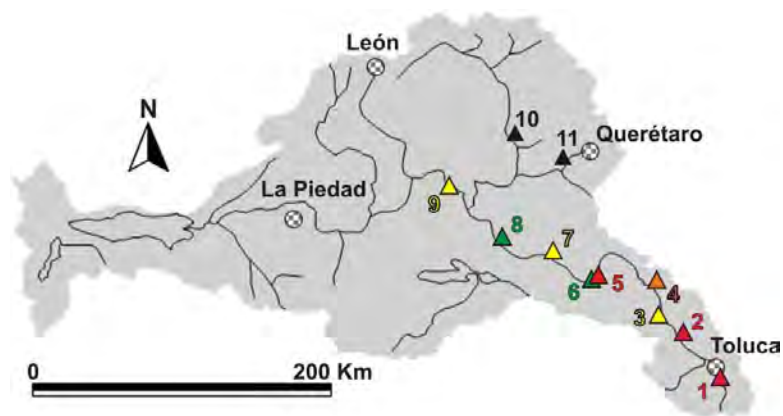
## **ANEXO FIGURAS Y CUADROS**

### **CAPÍTULO 4**

#### **HACIA EL DESARROLLO DE UN ÍNDICE DE DIATOMEAS EN EL RÍO LERMA**



**Figura 1.** Grado de disturbio asociado a la contaminación orgánica y a la eutroficación en el Alto Lerma, según el IDP. Los colores asignados a cada sitio responden a los sugeridos en el cuadro de interpretación del IDP.



**Figura 2.** Calidad del agua de los sitios estudiados de acuerdo a la clasificación de Gómez y Licursi (2001). Colores basados en las clases indicadas en el Cuadro 3 de interpretación de los resultados del IDP. **Verde:** Buena; **Amarillo:** Aceptable; **Anaranjado:** Mala; **Rojo:** Muy mala. **Sitios de muestreo:** notación como en la Figura 2 del Capítulo 1.



**Cuadro 1.** Caracterización de clases de calidad de agua del Alto Lerma basadas en  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{P-PO}_4^{-3}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) (Gómez y Licursi, 2001).

Calidad de Agua Clases	$\text{DBO}_5$	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{P-PO}_4^{-3}$
0	$\leq 3$	$\leq 0.1$	$\leq 0.05$
I	$>3-8$	$>0.1-0.5$	$>0.05-0.1$
II	$>8-15$	$>0.5-0.9$	$>0.1-0.5$
II	$>15-25$	$>0.9-2$	$>0.5-1$
IV	$>25$	$>2$	$>1$

**Cuadro 2.** Interpretación del Índice de Diatomeas Pampeano (IDP); ensayado en el Alto Lerma.

Calidad del agua clase	Color código	IDP	Significado	Grado de disturbio
0	azul	0-0.5	<i>Muy buena</i> : sin contaminación, agua natural, pocos nutrimentos y enriquecimiento orgánico	Muy ligero: poca influencia humana
I	verde	$>0.5-1.5$	<i>Buena</i> : ligeramente contaminada y eutroficada, nutrimentos y niveles de materia orgánica aun bajos	Ligero: ganadería extensiva y agricultura
II	amarillo	$>1.5-2$	<i>Aceptable</i> : moderadamente contaminada y eutroficada: altas concentraciones de nutrimentos y materia orgánica	Actividad agrícola moderada y/o ganadería intensiva
III	anaranjado	$>2-3$	<i>Mala</i> : fuertemente contaminada y eutroficada, presencia de materia orgánica particulada, nitritos, amonio y aminoácidos	Fuerte: agricultura y ganadería intensiva, moderada actividad industrial y densidad de población
IV	rojo	$>3-4$	<i>Muy mala</i> : muy fuertemente contaminada, altas concentraciones de materia orgánica, predominio de procesos reductivos y presencia de productos industriales	Muy fuerte: actividades industriales intensivas y elevada densidad poblacional

**Cuadro 3.** Clases de calidad del agua de los sitios estudiados de acuerdo a la clasificación de Gómez y Licursi (2001). Los colores asignados se basan en las clases indicadas en la tabla de interpretación de los resultados del IDP, anteriormente explicados.

Cuenca Alta del Lerma				Clases de calidad del agua
Sitios	P-PO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )		DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	
	Según Gómez y Licursi (2001)	En este estudio		
Pm	>0.05-0.1	0	5	<b>I</b> <b>Buena</b> Aguas ligeramente contaminadas y eutroficadas, niveles de nutrientes y materia orgánica todavía bajos
C		0.8	6	
Ch	>0.1-0.5	0.8	10	<b>II</b> <b>Aceptable</b> Aguas moderadamente contaminadas y eutroficadas; altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica
TL		2.7	15	
U		1	15	
TZ	>0.5-1	2.5	17	<b>III</b> <b>Mala</b> Aguas fuertemente poluídas y eutroficadas, presencia de materia orgánica parcialmente degradada, nitritos amonio y aminoácidos
IX	>1	3.8	41	<b>IV</b> <b>Muy mala</b> Aguas muy fuertemente contaminadas, con alta concentración de materia orgánica predominio de procesos reductivos y presencia de productos industriales
PL		3.9	61	
P		0.4	61	