



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**FLORÍSTICA Y ECOLOGÍA DE DIATOMEAS BENTÓNICAS DEL
LAGO DE CHALCO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
(LIMNOLOGÍA)

PRESENTA:
BUENDÍA FLORES MARISELA

TUTORA PRINCIPAL
DRA., ROSALUZ TAVERA SIERRA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM
COMITÉ TUTOR:
DRA. MARGARITA CABALLERO MIRANDA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM
DRA. LISETH PÉREZ ALVARADO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
DRA. GABRIELA VÁZQUEZ HURTADO
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C., INECOL
DR. ENRIQUE A. CANTORAL URIZA
UMDI-FACULTAD DE CIENCIAS JURQUILLA, UNAM

CD. MX., SEPTIEMBRE, 2018



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.



FLORÍSTICA Y ECOLOGÍA DE DIATOMEAS BENTÓNICAS DEL LAGO DE CHALCO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
(LIMNOLOGÍA)

PRESENTA:
BUENDÍA FLORES MARISELA

TUTORA PRINCIPAL
DRA., ROSALUZ TAVERA SIERRA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM
COMITÉ TUTOR:
DRA. MARGARITA CABALLERO MIRANDA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM
DRA. LISETH PÉREZ ALVARADO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
DRA. GABRIELA VÁZQUEZ HURTADO
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C., INECOL
DR. ENRIQUE A. CANTORAL URIZA
UMDI-FACULTAD DE CIENCIAS JURQUILLA, UNAM

MÉXICO, CD. MX., SEPTIEMBRE, 2018

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por darme la oportunidad de seguir avanzando en mi formación académica.

A la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la UNAM (DGAPA) por el financiamiento del Proyecto PAPIIT IV100215 en el cual se desarrolló este estudio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT por el apoyo con la beca de No. de registro 788508/612929.

A la Dra. Rosaluz Tavera Sierra, por la dirección de este trabajo y su apoyo incondicional, siempre alentándome a mejorar y crecer. Gracias por darme la oportunidad de participar en este proyecto y su paciencia durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por su tiempo, consejos y sobre todo por apoyo personal.

A los miembros de mi comité tutor y Jurado la Dra. Margarita Caballero, Dra. Liseth Pérez, Dra. Gabriela Vázquez y el Dr. Enrique Cantoral por sus valiosas aportaciones que ayudaron a mejorar este escrito.

Al Instituto de Geofísica y Geología en especial a la Dra. Armienta por el apoyo en la determinación de iones mayores, a la Dra. Margarita Caballero por el espacio en el Laboratorio de Paleolimnología para la limpieza de diatomeas y a la Dra. Socorro Lozano y Dra. Susana Sosa por brindarnos el equipo, tiempo y espacio para continuar con las Fotografías de Microscopía Electrónica de Barrido.

A la Dra. Silvia Espinoza por la paciencia y excelente calidad en las fotografías de cada una de las sesiones de MEB, por sus consejos en la mejora del material y sobre todo por esas pláticas amenas durante cada sesión.

Al Dr. Eberto Novelo por sus valiosos tips, correcciones en la identificación de las especies y por compartir cada día con nosotros su gusto por las algas.

A la M en C. Guadalupe Vidal por su enorme apoyo técnico, académico y personal. Gracias Lupita por siempre apoyarme en cada una de las etapas por las que pasó esta tesis.

A mis compañeros Diana Avendaño por sus consejos y aportaciones a esta tesis, Mauricio Bonilla, Cynthia Martell, Monserrat Robles y Pablo Garrido por su constante apoyo durante el trabajo de campo y finalmente a Martín Hernández por su apoyo técnico, compañía y consejos durante mi estancia en los Institutos de Geofísica y Geología.

En especial a los miembros del Laboratorio de Algas Continentales, Itzel, Alejandra, Angelica, Eva, Martha, Eleonor, Aline, Cynthia, Selene, Horacio y Ana por su grata compañía, tiempo para irnos juntas al final del día y su disposición para ayudar. Gracias por compartir la alegría de la llegada de Bruno y su apoyo personal.

*Quiero dedicar esta tesis a mis padres Gabriela y Máximo y hermanos Gabriel y Eduardo
quienes a pesar de las circunstancias siempre me han apoyado en cada una de mis
decisiones y pasos en esta vida.*

Gracias por siempre estar a mi lado.

*Para Bruno y Luis,
juntos comenzaremos a escribir una nueva historia.*

Dejo en este lugar un epitafio a los sueños y abortadas ideas que dejó mi tesis conforme maduré. Que su espíritu no me maldiga y fructifique en algo decente y coherente porque yo ya estoy demente...

Luis A. Mondragón C.

Índice

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
El antiguo Lago de Chalco	10
Formación y situación actual del Nuevo Lago de Chlaco	10
Flora diatomologica en los cuerpos de agua.....	11
Antecedentes	11
Preguntas de investigación	12
Objetivos	12
Objetivo general.....	12
Objetivos particulares	12
Área de estudio	13
Clima	13
Morfometría	14
Hidrografía	14
Uso de suelo y Vegetación	15
Geología	15
Edafología	15
Métodos de recolección y análisis	15
Recolección <i>in situ</i>	15
Procesamiento en el laboratorio.....	16
Método de análisis	17
Resultados	20
Riqueza y Composición	20
Ambientes Lóticos y Lénticos dentro de la Cuenca de México	71
Estructura de la Comunidad.....	72
Categorización ecológica de las especies (frecuencia de presencia)	74
Variables ambientales	77
Composición iónica	81
Análisis estadísticos.....	81
Discusión	87
Conclusiones	93

Referencias	94
Anexo 1	105
Anexo 2	106
Anexo 3	107
Anexo 4	113

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN DE ESPECIES DURANTE 2015-2016	68
TABLA 2. COMPARACIÓN DE LA COMUNIDAD DE DIATOMEAS DEL LAGO DE CHALCO CON LOS CUERPOS DE AGUA EN LA CUENCA DE MÉXICO.	71
TABLA 3. CATEGORIZACION DE LAS ESPECIES. LETRAS EN NEGRITO AQUELLAS ESPECIES QUE CAMBIARON DE CATEGORIA.....	76
TABLA 4. VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LAGO DE CHALCO DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO 2015. EL VALOR DE KD SE CALCULÓ CON BASE A LOS DATOS DE IRRADIANZA TOMADOS EN CAMPO.	78
TABLA 5. VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL LAGO DE CHALCO DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO 2016. EL VALOR DE KD SE CALCULÓ CON BASE A LOS DATOS DE IRRADIANZA TOMADOS EN CAMPO.	79
TABLA 6. HIDROQUÍMICA DEL LAGO DE CHALCO DURANTE 2015-2016.	80
FIGURA 1. UBICACIÓN DEL LAGO DE CHALCO MOSTRANDO LOS PUNTOS DE COLECTA DURANTE 2015 Y 2016 (*) . TOMADO Y MODIFICADO DE INEGI (GAIA.INEGI.ORG.MX) Y GOOGLE EARTH (2016).....	13
FIGURA 2. PRINCIPALES RÍOS QUE ALIMENTABAN AL LAGO DE CHALCO.....	14
TOMADO Y MODIFICADO DE SEDESOL, 2011	14
FIGURAS 3-25. 3) CYCLOTELLA MENEGHINIANA; 4) DISCOSTELLA PSEUDOSTELLIGERA; 5-6) THALASSIOSIRA AFF. DUOSTRA; 7) FRAGILARIA CAPUCINA; 8) FRAGILARIA SP.; 9) FRAGILARIFORMA VIRESCENS; 10) PSEUDOSTAUCOSIRA BREVISTRATA; 11-13) PSEUDOSTAUCOSIRA SUBSALINA; 14) STAUCOSIRA CONSTRUENS VAR CONSTRUENS; 15) STAUCOSIRA VENTER; 16) STAUCOSIRA NEOPRODUCTA; 17-18) PUNCTASTRIATA MIMETICA; 19) TABULARIA FASCICULATA; 20) ACHNANTHIDIUM EXIGUUM; 21) ACHNANTHIDIUM MINUTISSIMUM; 22) LEMICOLA HUNGARICA; 23-24) COCCONEIS PLACENTULA; 25) ANOMOEONEIS COSTATA. BARRA: 10 µM	61
FIGURAS 26-36. 26) ANOMOEONEIS SPHAEROPHORA; 27) CYMBELLA MEXICANA; 28) CYMBELLA ASPERA; 29) ENCYONEMA MESIANUM; 30) ENCYONEMA SILESIACUM; 31) NAVICYMBULA PUSILLA; 32) GOMPHONEMA AFFINE; 33) GOMPHONEMA ANGUSTATUM; 34) GOMPHONEMA CLAVATUM; 35) GOMPHONEMA GRACILE; 36) GOMPHONEMA HEBRIDENSE. BARRA: 10 µM	62
FIGURAS 37-54. 37) GOMPHONEMA PARVULUM; 38) GOMPHONMEA TRUNCATUM; 39-40) RHOICOSPHENIA ABBREVIATA; 41) DIADESMIS CONFERVACEAE; 42) LUTICOLA GOPPERTIANA; 43) LUTICOLA MUTICA; 44) DIPLONEIS PSEUDOVALIS; 45) EOLIMNA SUBMINUSCULA; 46) GEISSLERIA TAGENSIS; 47) HIPPODONTA HUNGARICA; 48) NAVICULA CRYPTOCEPHALA ; 49) NAVICULA VENETA; 50) PINNULARIA ABAUJENSIS VAR LINEARIS; 51) FALLACIA PYGMAEA; 52) SELLAPHORA PSEUDOVENTRALIS; 53) SELLAPHORA LAEVISSIMA; 54) SELLAPHORA PUPULA; BARRA: 10 µM.....	63
FIGURAS 55-71. 55) CRATICULA HALOPHILA; 56) STAURONEIS PHOENICENTERON; 57) AMPHORA COPULATA; 58) HALAMPHORA COFFEAIFORMIS; 59) HALAMPHORA VENETA; 60-61) DENTICULA VALIDA; 62) HANTZSCHIA AMPHYOXIS; 63) NITZSCHIA AMPHIBIA; 64) NITZSCHIA COMMUNIS; 65-66) NITZSCHIA FRUSTULUM; 67) NITZSCHIA GRACILIFORMIS; 68) NITZSCHIA PALEA; 69) NITZSCHIA GANDERSHEIMIENSIS VAR TENUIROSTRIS; 70) NITZSCHIA HANTZSCHIANA; 71) NITZSCHIA UMBONATA. BARRA: 10 µM.....	64

FIGURAS 72-80.	72) TRYBLIONELLA APICULATA; 73) EPITHEMIA ADNATA; 74) EPITHEMIA ARGUS; 75) EPITHEMIA ARGUS VAR ALPESTRIS; 76) EPITHEMIA SOREX; 77) EPITHEMIA TURGIDA; 78) EPITHEMIA TURGIDA VAR GRANULATA; 79) RHOPALODIA GIBBA; 80) RHOPALODIA OPERCULATA. BARRA: 10 μ M ...	65
FIGURAS 81-89.	81-84) CYCLOTELLA MENEGHINIANA; 83) VISTA EXTERNA, PROLONGACIÓN DE FULTOPÓRTULAS MARGINALES (FM); 84) VISTA INTERNA. FULTOPÓRTULAS MARGINALES (FM) EN CADA COSTILLA; 84) VISTA INTERNA, RIMOPÓRTULA MARGINAL (RM) Y FULTOPÓRTULA CENTRAL (FC); 85) THALASSIOSIRA AFF. DUOSTRA; CON FULTOPÓRTULAS EN EL CENTRO DE LA VALVA (FC); 86) PSEUDOSTAUROSIRA BREVISTRIATA; 87) STAUROSIRA CONSTRUENS; 88) STAUROSIRA VENTER; 89) PUNCTASTRIATA MIMETICA. BARRA: 1 μ M.....	66
FIGURAS 90-98.	90) PUNCTASTRIATA MIMETICA; 91) ANOMOEONEIS COSTATA; 92) ENCYONEMA MESIANUM; 93) NAVICYMBULLA PUSILLA; 94) GOMPHONEMA PARVULUM; 95-96) HALAMPHORA VENETA; 97) NITZSCHIA FRUSTULUM; 98) NITZSCHIA PALEA. BARRA: 1 μ M, EXCEPTO FIG. 91 BARRA: 10 μ M.....	67
FIGURA 99.	PORCENTAJE DE ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DURANTE 2015 (BARRAS OSCURAS) Y 2016 (BARRAS CON LÍNEAS). LAS ABUNDANCIAS DE LAS DIATOMEAS DOMINANTES FUERON \geq A 2 % DEL COMPONENTE BENTÓNICO TOTAL. THALASSIOSIRA AFF. DUOSTRA Y CYCLOTELLA MENEGHINIANA SE GRAFICARON POR SEPARADO PARA FACILITAR UNA VISUALIZACIÓN COMPARATIVA.	68
FIGURA 100.	RIQUEZA MENSUAL DE DIATOMEAS BENTÓNICAS DURANTE 2015-2016.	71
FIGURA 101.	CURVAS DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES OBSERVADAS (LÍNEA CONTINUA) Y ESPERADAS (LÍNEA PUNTEADA) PARA 61 ESPECIES EN 2015 Y (B) 69 ESPECIES EN 2016	72
FIGURA 102.	DIVERSIDAD MENSUAL OBTENIDA A PARTIR DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER DURANTE 2015-2016.	73
FIGURA 103. (A)	DOMINANCIAS MENSUALES ANALIZADAS POR AÑO CON EL ÍNDICE DE DOMINANCIAS DE SIMPSON. 73	
FIGURA 103. (B)	CONTRASTE ENTRE DOMINANCIAS (D) Y EQUITATIVIDADES (J) ANUALES EN 2015 Y 2016.	74
FIGURA 104.	CATEGORIZACIÓN DE LAS ESPECIES DE ACUERDO CON LA PRUEBA DE ASOCIACIÓN DE OLMSTEAD-TUKEY, A) 2015 Y B) 2016. NUMERACIÓN DE ESPECIES DE ACUERDO CON TABLA 3.	75
FIGURA 105.	SALINIDAD MENSUAL CALCULADA A PARTIR DE LA CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS DURANTE EL PERIODO DE MUESTREO.....	80
FIGURA 106.	COMPOSICIÓN IÓNICA DEL LAGO DE CHALCO.	81
FIGURA 107.	ACC CON EL CONJUNTO DE 69 SPP. Y 20 VARIABLES AMBIENTALES. A) ACC SITIOS/VARIABLES AMBIENTALES: LLUVIAS, SECAS. B) ACC ESPECIES/VARIABLES AMBIENTALES: DOMINANTES, FRECUENTES, RARAS, FRECUENTES A DOMINANTES, RARAS A FRECUENTES. INERCIA ACUMULADA DE 39%. NOMENCLATURA DE LAS ESPECIES DE ACUERDO CON TABLA 3.....	82
FIGURA 108.	ACC CON VARIABLES HIDROQUÍMICAS.....	83
FIGURA 109.	ACC CON VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS.....	84
FIGURA 110.	ACC VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y ESPECIES DOMINANTES	85

Resumen

El lago de Chalco ha sido un cuerpo de agua intermitente a lo largo del tiempo, pasando por intentos de desecarlo durante la época colonial hasta su resurgimiento a principios de 1980 como consecuencia de la subsidencia que sufre el terreno, por la explotación del manto acuífero. El nuevo lago de Chalco se ha formado así en medio de la gran mancha urbana, pues al oeste se encuentra la delegación Tláhuac con 344 106 habitantes y al este el municipio de Valle de Chalco Solidaridad con 332 279 habitantes; mientras que el resto del cuerpo de agua está rodeado por la zona ganadera y agrícola del Valle de Chalco. Por su reciente formación y a pesar de la fuerte degradación ambiental a la que está sometido el lago de Chalco por la presión urbana y agropecuaria, las comunidades acuáticas han recibido una atención mínima. En este estudio se presentan 69 taxones de diatomeas bentónicas con una clara dominancia de especies centrales y tres nuevos registros para el país, siendo una de ellas nuevo registro para América.

Se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) asociando al conjunto de taxones con la temporada climática (meses de lluvias y secas) y con las variables ambientales hidroquímicas y fisicoquímicas. El resultado sugirió que la composición de especies está relacionada con las características ambientales particulares del lago, principalmente con la alcalinidad y concentraciones de fósforo y sílice y explicaron la existencia de una marcada heterogeneidad espacial y temporal. Un grupo de especies permaneció dominante a lo largo del periodo de muestreo, respaldando la baja diversidad ($H' = 2.1$ a 0.5) y equidad ($J' = 0.5-0.1$) observadas en la comunidad. La dominancia de este grupo a pesar de persistir, no perfila un sistema resiliente, porque la contribución de una sola especie a la dominancia total enuncia, por el contrario, un sistema altamente competitivo. Estos resultados llevaron a la conclusión de que el lago de Chalco es un ambiente en desequilibrio ecológico que presenta fragmentación del hábitat.

Se argumenta la importancia de estos resultados en ecosistemas acuáticos urbanos como el lago de Chalco, cuya existencia es crucial tanto en el contexto ecológico como social.

Palabras clave: Bentónico, Diversidad, Dominancia, Equidad, Fragmentación, Riqueza.

Abstract

Lake Chalco has been an intermittent body of water over time, passing through attempts to dry it during the colonial period until its resurgence in the early 1980s as a consequence of subsidence suffered by the land, by the exploitation of the aquifer. The new lake of Chalco has thus been formed in the middle of the great urban sprawl, since to the west is the Tláhuac delegation with 344 106 inhabitants and to the east the municipality of Valle de Chalco Solidaridad with 332 279 inhabitants; while the rest of the body of water is surrounded by the livestock and agricultural area of the Chalco Valley. Due to its recent formation and in spite of the strong environmental degradation to which Lake Chalco is subjected due to urban and agricultural pressure, aquatic communities have received minimal attention. This study presents 69 taxa of benthic diatoms with a clear dominance of central species and three new records for the country, one of them being a new record for America.

A Canonical Correspondence Analysis (CCA) was carried out, associating the set of taxa with the climatic season (rainy and dry months) and with the hydrochemical and physicochemical environmental variables. The result suggested that the composition of species is related to the particular environmental characteristics of the lake, mainly with alkalinity and concentrations of phosphorus and silica and explained the existence of an evident spatial and temporal heterogeneity. A group of species remained dominant throughout the sampling period, supporting the low diversity ($H' = 2.1$ to 0.5) and evenness ($J' = 0.5$ - 0.1) observed in the community. The dominance of this group, despite persisting, does not profile a resilient system, because the contribution of a single species to total dominance enunciates, on the contrary, a highly competitive system. These results led to the conclusion that Lake Chalco is an ecologically-imbalance environment that presents habitat fragmentation.

The importance of these results in urban aquatic ecosystems such as Lake Chalco, whose existence is crucial in the ecological as well as social context, is argued.

Keywords: Benthic, Diversity, Dominance, Equitability, Fragmentation, Richness.

Introducción

El antiguo Lago de Chalco

El antiguo Lago de Chalco formaba parte de la gran cuenca de México la cual fue un ecosistema acuático conformado por cinco lagos, al Norte Xaltocan y Zumpango, en el centro Texcoco y al Sur Xochimilco y Chalco (Burns, 2009). Desde los primeros asentamientos en la subcuenca del sur la zona comenzó a sufrir varias modificaciones (Camarillo et al., 2013). Los intentos de desecación del antiguo Lago de Chalco se iniciaron desde la época colonial y continuaron durante el siglo XIX debido a que los canales por donde circulaban las canoas se vieron frecuentemente obstruidos por los pastos o por el deterioro de los terraplenes y bordos de las acequias. A causa de las sucesivas inundaciones que sufrían los habitantes de la ciudad de México y los pueblos al sur de la cuenca, tanto el gobierno como algunos hacendados buscaron drenar las aguas del antiguo Lago de Chalco para evitar las inundaciones y por ende obtener tierras de buena calidad. Se presentaron varias propuestas hasta que en mayo de 1895 se aprobó el proyecto de desecar el lago de Chalco mediante la construcción de varios canales que dirigían las aguas hacia los lagos de Xochimilco y Texcoco, utilizando los terrenos obtenidos para usos agrícolas e industriales. Finalmente, en 1908 se dieron por terminadas las obras de desecación de la Ciénega (Beltrán, 1998).

Formación y situación actual del Nuevo Lago de Chalco

Actualmente un nuevo Lago de Chalco se está formando debido a la subsidencia ocasionada por la operación de catorce pozos perforados a profundidades de 400 m a principios de la década de 1980, denominados Sistema Mixquic-Santa Catarina. Estos pozos se construyeron como una medida para extraer agua potable del acuífero y así satisfacer la creciente demanda de agua para la zona metropolitana de la Ciudad de México (Ortiz-Zamora y Ortega-Guerrero, 2007). A la re-formación del lago de Chalco, también ha contribuido la creciente presión de la mancha urbana, los cambios en la estructura y composición de la cobertura vegetal, los procesos de degradación de suelos y el sellamiento de la superficie por urbanización, que alteraron irremediamente las condiciones de infiltración, escurrimiento, percolación y evapotranspiración del agua. Además, dichos cambios modifican los parámetros ecológicos que determinan las variaciones naturales en las importaciones y exportaciones de sedimentos, nutrientes y compuestos químicos (Cotler et al., 2010), lo que trae como consecuencia poca recarga del acuífero (Camarillo, et al., 2013). Una comparación que da una idea de lo crítico de la subsidencia actual es que la cantidad total de agua subterránea extraída en la subcuenca de Chalco entre 1988 y 1991 se estimó en 7.75 a 8.0 m³ /segundo, contra una recarga estimada de 6.5 m³ /segundo. Esto ha ocasionado un hundimiento acelerado, de 40 cm/año (Ortiz-Zamora y Ortega-Guerrero, 2007).

El Nuevo Lago de Chalco se encuentra influenciado por problemas de cambios de profundidad, presión urbana y actividad agrícola, panorama común entre los cuerpos de agua sobrevivientes en la cuenca de la ciudad de México. Llama la atención que no se hayan realizado monitoreos en la actualidad, si se conocen las circunstancias de presión urbana y agropecuaria que representan una fuerte degradación ambiental. Considerando la relevancia de estudiar las comunidades bióticas del lago de Chalco y conocer como interactúan en este sistema, se presenta este estudio sobre diatomeas bentónicas.

Flora diatomologica en los cuerpos de agua

Las diatomeas son un grupo diverso de algas en los cuerpos de agua, con características únicas como valvas resistentes de sílice que hacen posible que se preserven en el ambiente lacustre. Se sabe que a través del conocimiento del conjunto de diatomeas que habita en los lagos, se pueden inferir variaciones ambientales por los cambios de riqueza y composición de especies ya que responden rápidamente a modificaciones físicas y químicas como luz, condiciones de humedad, temperatura, velocidad de corriente, salinidad, pH, oxígeno, nutrientes (fosforo, nitrógeno, sílice), metales pesados y pesticidas que se producen en su entorno, haciéndolas una excelente herramienta en la evaluación ambiental (Pan et al., 2006; Vilmi A. et al., 2015). Aunado a esto suelen ser el grupo más diverso en los cuerpos de agua (Novelo y Tavera, 2011) y con una mayor representación en el bentos (Vázquez & Caballero, 2013), además los sedimentos superficiales de los lagos son un buen reflejo de lo que ocurre en el cuerpo de agua gracias a que actúan como un depósito de información (Alvial et al., 2008). Aunque en el país se ha dado prioridad a los estudios de diatomeas planctónicas, epifíticas y epilíticas, los estudios enfocados a la comunidad bentónica (Bojorge-Garcia et al., 2014; Buendía et al., 2015; Caballero et al., 2006, 2013; Pérez et al., 2013) han mostrado que existe gran riqueza y diversidad de diatomeas, incluyendo registros nuevos para el país.

Algo que resalta de todos los estudios de diatomeas, independientemente de la comunidad trabajada, es la importancia de contar con un documento completo de la ficoflora, en primer lugar porque se desconoce su riqueza en más de la mitad del país (Novelo y Tavera, 2011, 2018), pero de manera central, porque una flora que sustenta la identidad taxonómica de las especies permite interpretaciones ecológicas precisas y como se muestra en este trabajo para el lago de Chalco, permite visualizar las posibles interacciones entre la biota y la situación ambiental del cuerpo de agua y poder establecer rutas posibles para su manejo.

Antecedentes

En el área del Lago de Chalco actualmente se cuenta con estudios geológicos, hidrológicos, de prevención de riesgos etc., (Barreiro-Güemes y López-Barreiro, 1997a; Bouvier, et al., 1993;

Brown et al., 2012; Ortega et al., 2015; Ortega-Guerrero, 2007; Ortiz-Zamora y; SEDESOL, 2011), dando poca importancia a los estudios biológicos, en lo que se refiere a las algas no se tiene un inventario completo para esta localidad. Sobre el estudio relacionado con diatomeas se cuenta con algunos estudios paleolimnológicos vinculados con cambio climático (Bradbury, 1971; Caballero & Ortega, 1998; Caballero et al., 2010), en los cuales las diatomeas toman un papel muy importante ya que junto a otros *proxys* se ha logrado reconstruir parte de la historia del pasado de este lago, resaltando que el sitio atravesó por diferentes fluctuaciones en el nivel del agua y por una transición de agua hiposalina a subsalina. Se tiene un registro de diatomeas de sedimentos superficiales realizado por Caballero (1995) donde muestra que la riqueza de diatomeas contaba con 17 especies de las cuales se presentaron como más abundantes *Halamphora veneta*, *Nitzschia frustulum* N. *liebethuthii* y *Cyclotella meneghiniana*, donde el Lago de Chalco era menos profundo profundo (1 m), presentaba aguas muy turbias con una visibilidad del disco de Secchi de 0.4 m, un pH de 9.2 y una dominancia de carbonatos + bicarbonatos y sodio, podía secarse completamente en la temporada de estiaje y presentaba una conductividad de 2420 $\mu\text{m}/\text{cm}$.

Preguntas de investigación

¿Qué condiciones ofrece, en la actualidad, el lago de Chalco para la ficoflora bentónica?

¿Qué factores influyen en el conjunto de diatomeas bentónicas presentes en el Lago de Chalco?

¿Cuál es la relación entre las variables ambientales y la composición de la flora de diatomeas bentónicas del lago de Chalco, tomando en cuenta la influencia urbana y agrícola?

Objetivos

Objetivo general

Conocer la composición de la comunidad de diatomeas bentónicas del Lago de Chalco y determinar si existe una relación entre su riqueza y abundancia con los factores ambientales.

Objetivos particulares

- Documentar la composición de especies de diatomeas bentónicas (morfológica y gráfica, por microscopia fotónica y electrónica de barrido) del Lago de Chalco.
- Determinar si existen cambios temporales en la composición de especies a través de cambios en la presencia de especies.
- Determinar la categoría ecológica de las especies en función de la abundancia (dominante, frecuente, rara).

- Caracterizar ecológicamente la comunidad de diatomeas bentónicas de la zona estudiada con base en la documentación bibliográfica de las especies, incluyendo su relación con los datos ambientales recabados (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, irradianza subacuática, alcalinidad, iones disueltos y concentración de nutrimentos inorgánicos disueltos y totales), con apoyo de análisis estadísticos.

Área de estudio

El nuevo lago de Chalco está situado al sureste de la cuenca de México, en la porción centro oriental de la Faja Volcánica Transversal Mexicana, a una altura media de 2240 msnm, tiene un área aproximada de 5.23 km² y una profundidad de 3 m. Está limitado al N por los domos volcánicos de la Sierra de Santa Catarina, al E por la Sierra Nevada, al S por el campo volcánico monogenético de la Sierra de Chichinautzin y al O por la divisoria por la que corre la avenida Tláhuac-Chalco (Herrera, 2011; Ortega et al., 2015). Se encuentra inmerso entre las zonas urbanas de la delegación Tláhuac (Ciudad de México) y el Municipio de Valle de Chalco Solidaridad (Estado de México) (Fig. 1).

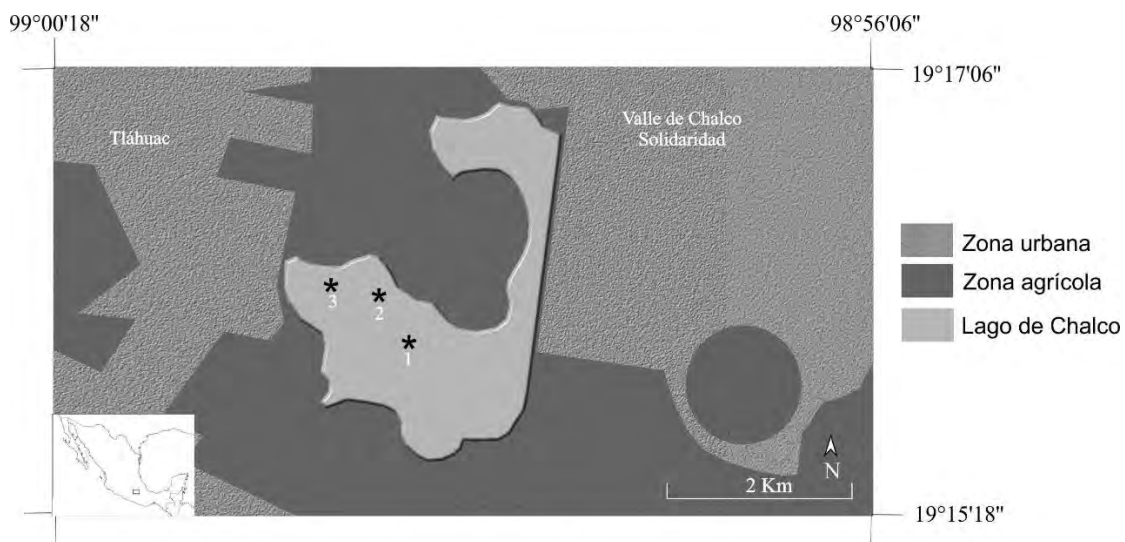


Figura 1. Ubicación del lago de Chalco mostrando los puntos de colecta durante 2015 y 2016 (*). Tomado y modificado de INEGI (gaia.inegi.org.mx) y Google Earth (2016).

Clima

El clima se clasifica como templado subhúmedo con una temperatura mínima en enero de 4.2 °C y máxima en mayo de 28.3°C, con una precipitación anual de 552.9 mm/a y un potencial de evaporación de 1825.5 mm/a, resultando un balance de -1272.6 (SMN, 2018), lo que implica la existencia de un desequilibrio en el balance precipitación-evaporación (Libes, 2009). Durante el año

se definen dos periodos: secas (octubre-mayo) y lluvias (junio-septiembre) (SMN, 2018) (Anexo 1; Fig. I).

Morfometría

El Lago de Chalco presenta una longitud máxima de 4 km, Ancho máximo de 3.20 km, una línea de costa de 19.8 km y una profundidad de 3 m.

Hidrografía

El lago de Chalco era alimentado por tres principales ríos: Amecameca, Tlalmanalco y San Francisco Acuatla. Además, recibía aporte de arroyos que bajaban por las laderas de las Sierras de Santa Catarina y Chichinautzin durante la época de lluvias y de las aguas de numerosos manantiales localizados principalmente hacia la antigua ribera meridional de Chalco (Bouvier, et al., 1993). En la actualidad estos ríos fueron desviados artificialmente hasta convertirlos en lo que se conoce como el Canal la compañía y Canal general, por lo que hoy el Nuevo Lago de Chalco es alimentado solo por la acumulación del agua de lluvia (Fig. 2). Con el transcurso del tiempo se ha observado un incremento del área lacustre ocasionado por la subsidencia del terreno y por su ubicación en una de las partes más bajas de la cuenca. Para evitar inundaciones en la época de lluvias se bombea el agua del lago a través de los canales mencionados (SEDESOL, 2011).

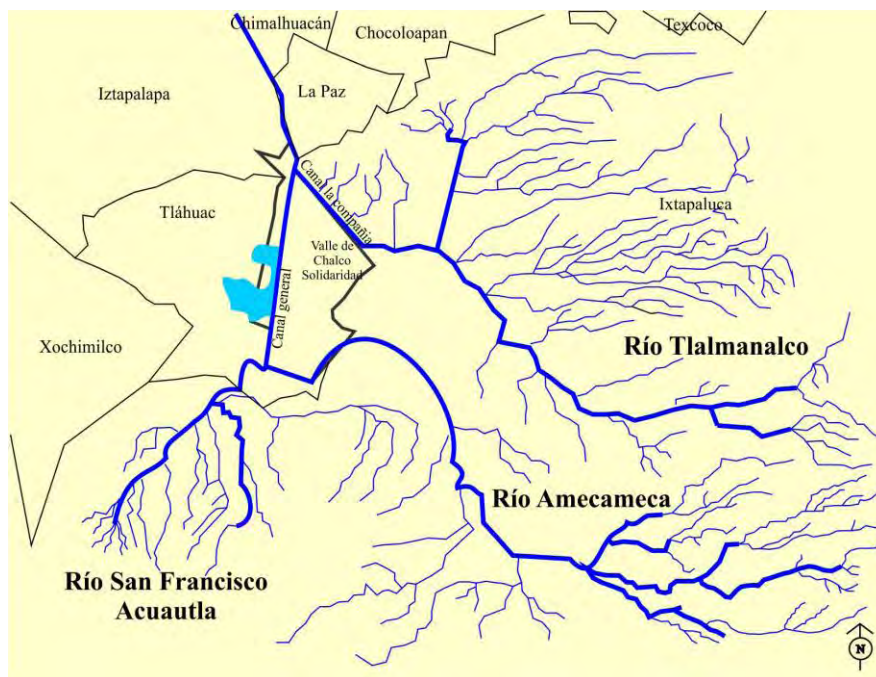


Figura 2. Principales ríos que alimentaban al Lago de Chalco.
Tomado y modificado de SEDESOL, 2011

Uso de suelo y Vegetación

La cuenca de Chalco cuenta principalmente con dos tipos de uso de suelo: Zona urbana: constituida por la delegación Tláhuac (344 106 habitantes), Xochimilco (402 056 habitantes) y el municipio Valle de Chalco Solidaridad (332 279 habitantes). Zona agrícola: se encuentran principalmente cultivos de maíz, alfalfa, frijol y trigo, algunas zonas se dedican también a la ganadería. La vegetación dominante en la zona es pastizal (4%) y matorral (1%) en forma de manchones alrededor del cuerpo de agua (Bouvier et al., 1993; Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos Tláhuac y Valle de Chalco Solidaridad, Distrito Federal, 2018). Se desarrolla *Scirpus lacustris*, en la zona de inundación; parcialmente asociado con el tular del borde se encuentra el pasto salobre *Distichlis spicata* (Gramineae). También existe escasa vegetación flotante representada por *Hydrocotyle americana* (Umbelliferae) que se encuentra en zonas marginales muy someras con fondos lodosos y es abundante en los canales aledaños (Barreiro-Güemes y López-Barreiro, 1997b).

Geología

El territorio donde se ubica el lago de Chalco se compone principalmente de rocas de origen sedimentario e ígneas extrusivas pertenecientes al periodo Cenozoico, las unidades litológicas presentes son: brecha volcánica básica Q(Bvb) (18.5%), toba básica Ts(Tb), aluvial Q(al) (4.5%) y lacustre Q(la) (28.5%) (Prontuario de Información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, Tláhuac, Distrito Federal, 2018; SEDESOL, 2011). La forma característica del Lago de Chalco se debe a una colada de basalto proveniente de la Sierra Volcánica de Santa Catarina la cual disminuye la velocidad de hundimiento (Ortiz-Zamora y Ortega-Guerrero, 2007).

Edafología

El suelo se compone de Solonchak (9.5%) formado a partir de carbonatos álcali blanco o bien tequezquite; Gleysol mólico (9%) el cual se caracteriza por ser un suelo pantanoso con alto contenido de arcilla; Regosol eútrico (13.5%) formado por sedimentos arenosos; Arenosol (7%) y Phaeozem (5%) (Prontuario de Información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, Tláhuac, Distrito Federal, 2018; SEDESOL, 2011).

Métodos de recolección y análisis

Recolección *in situ*

Se realizaron colectas mensuales durante 2015 (7 meses) y 2016 (10 meses) donde se muestrearon por mes 3 puntos (geoposicionados) buscando influencia urbana (punto 3), agrícola (punto 2) y una combinación de ambas (punto 1) (Fig. 1), en cada uno se tomaron parámetros físico-químicos como: pH, conductividad y oxígeno disuelto con una sonda multiparamétrica Hydrolab DS 5. Se

tomaron muestras de agua superficial para la determinación de nutrimentos las cuales se mantuvieron en refrigeración (4°C) hasta su procesamiento en el laboratorio. Solo en el punto más profundo (punto 2) se tomaron muestras de 1L de agua para la determinación de la alcalinidad, conductividad, Cl y SO₄ y 500 ml de agua agregando una cantidad suficiente de HNO₃ para disminuir el pH entre 2-3, para los análisis de cationes (Na, K, Ca, Mg), de acuerdo con los protocolos del laboratorio de química analítica del Instituto de Geofísica UNAM, mediante métodos secos siguiendo los procedimientos descritos en APHA (1995, 2005) para aguas continentales superficiales, refrigeración (4°C) hasta su procesamiento en el laboratorio. Se midió irradiancia subacuática con sensores Hobo® en superficie y a 0.30 m de profundidad simultáneamente para el cálculo del coeficiente de atenuación vertical.

En los mismos puntos se tomó sedimento con una draga Eckman, de la cual se recolectó solo la superficie con una espátula. Las muestras se mantuvieron a 4°C hasta su procesamiento en el laboratorio.

Procesamiento en el laboratorio

Determinación de nutrimentos

Se determinó nitrato, nitrito, amonio, sílice, fósforo total y fosforo reactivo, con base en los protocolos establecidos por USEPA (2017), con métodos espectrofotométricos (Hach DR 1900).

Determinación de iones mayores

Los bicarbonatos se midieron por titración ácida a pH 4.6, usando como indicador una mezcla de rojo de metilo y verde de bromocresol. Los sulfatos se determinaron por medio de turbidimetría. Las concentraciones de calcio y magnesio se obtuvieron por medio de titración complexométrica con EDTA. El cloruro se determinó potenciométricamente con un electrodo selectivo de iones adicionando una solución 5M de NaNO₃, utilizada como un ajustador de fuerza iónica. El sodio y potasio se midieron con espectroscopia de emisión atómica. La calidad analítica se revisó mediante el balance iónico (con un error de >5%), (Armienta et al., 2008).

Procesamiento de sedimento y montaje de preparaciones permanentes

Sólo en marzo de 2015 se tomó una pequeña muestra de sedimento fresco para observar bajo microscopía de epifluorescencia, células vivas (Anexo 2). El sedimento fue sometido a un proceso de liofilización (liofilizadora Labconco Corporation FreeZone™) para obtener una muestra de sedimento seco de la cual se tomaron 0.5 g para someter a digestión lenta con HCl, H₂O₂ y HNO₃ (Stoermer et al., 1995). El material resultante se concentró en 2 mL, se tomaron 200 µl de la muestra por cada preparación y se montaron con resina Naprhax®. Se observaron bajo el microscopio Nikon Optiphot (Melville, NY, USA) y los ejemplares se fotografiaron utilizando

una cámara Nikon Coolpix S10 (Nikon Corporation, Tokyo). El resto del material limpio se sometió a un proceso de flotación (Morley et al., 2004) para observar bajo Microscopia Electrónica de Barrido. Las muestras se observaron con un microscopio Jeol JSM-5310LV, de alto vacío siguiendo el método de electrones secundarios a 20 KV a una distancia de trabajo de 16.

Método de análisis

Taxonomía y ecología de las especies

La determinación de especies se realizó con base en literatura especializada, Cejudo-Figueiras et al., (2011), Foged, (1984); Krammer & Lange-Bertalot, (1985, 1986, 1988, 1991a, 1991b); Krammer, (1997a; 2000); Lange-Bertalot, (1980); Mora, (2015); Morales, (2005); Morales & Manoylov, (2006); Novais et al., (2013); Novelo et al., (2007); Novelo, (2012); Patrick & Reimer, (1966, 1975); Round F. et al., (1990); Trobajo et al, (2013); Wehr & Sheath (2003). Referencias electrónicas: Diatoms of the United States; World Register of Marine Species (WoRMS). La clasificación taxonómica de especies se hizo con base en Medlin & Kaczmarska, (2004) y se confrontó con Novelo (2012), INA (<http://ucjeps.berkeley.edu>) y Guiry & Guiry (2018).

Una vez que la especie fue identificada se realizó la búsqueda de información ecológica para cada una (Bahls, 2009; Bojorge et al., 2014; Cespedes-Vargas et al., 2016; Chudaev & Gololobova, 2015; García-Rodríguez et al., 2007; Houk & Klee, 2004; Kumar & Hosmani, 2010; Levkov et al., 2016; López-Fuerte, 2010; López-Fuerte & Siqueiros Beltrones, 2016; Lowe, 1974; Montoya-Moreno et al., 2013; Morales et al., 2015; Quingmin et al., 2009; Quingmin et al., 2015; Rodríguez, 2002; Rosén et al., 2000; Rott et al., 1998; Stenger-Kovács, 2014; Van Dam et al., 1994; Wetzel et al., 2015; Williams et al., 2009; Wojtal, 2003; Yanin et al. 1986), complementándola con información para México con la Base de datos del Laboratorio de Algas continentales (Novelo y Tavera, 2018), Facultad de Ciencias, UNAM.

Una vez que se tuvo identificado el conjunto de especies bentónicas del lago de Chalco, se realizó una comparación entre ambientes lóticos y lénticos dentro de la cuenca de México, con el fin de encontrar semejanzas entre las floras y determinar si existe alguna relación entre los sitios y ambientes.

Cálculo de abundancia absoluta

El cálculo de la abundancia de cada especie se determinó sobre un conteo de 300 frustulas, expresando la abundancia absoluta como número de frustulas por gramo de sedimento seco (f/gss), de acuerdo con Secherer (1994). Las abundancias absolutas de cada especie se utilizaron para evaluar los cambios de la biota de diatomeas bentónicas durante el periodo de muestreo. Estos

análisis se realizaron con el software TILIA (Grimm, E., Illinois State Museum) y el software XLSTAT-ecology 2014.

Estructura de la comunidad

Los análisis para determinar la estructura de la comunidad de diatomeas bentónicas incluyeron la determinación del esfuerzo de muestreo por medio de una curva de acumulación de especies de acuerdo a la ecuación de Clench ($S_n = a \cdot n / (1 + b \cdot n)$), modelo que ha demostrado tener un buen ajuste en la mayoría de las situaciones reales y con la mayoría de los taxones (Ávalos, 2007), esta ecuación está recomendada para estudios en donde ya se tiene experiencia en el muestreo y con el grupo taxonómico objetivo, de esta forma es mayor la probabilidad de añadir nuevas especies al inventario (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La realización de las curvas de acumulación de especies se hizo con una aleatorización de datos (Ávalos, 2007), en el programa EstimateS 7.0 (Colwell, 2013) El ajuste de las curvas se realizó con el programa Satatistica 10 (StatSoft, 1998) con el método de ajuste Simplex & Quasi-Newton (Carmona y Carmona, 2013; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La estimación de la diversidad de especies con el índice de Shannon-Wiener (H'):

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de especies

S = Número de especies

p_i = proporción de la especie i del número total de individuos

La estimación del valor de dominancia con el índice de Simpson (D):

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Donde:

n_i = proporción de la especie i del número total de individuos

N = Número total de organismos

Y la estimación de la equitatividad con el índice de equidad de Pielou (J') en el software PAST versión 3.17:

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde: $H'_{max} = \ln(S)$

Los resultados se estimaron independientemente para 2015 y 2016 ya que se observaron cambios importantes de composición de especies.

Categorización ecológica de las especies (frecuencia de presencia)

Se determinaron cambios temporales en la composición de especies a través de variaciones en la densidad de poblaciones y cambios en frecuencia por medio de la Prueba de asociación de Olmstead-Tuckey (Sokal & Rohlf 1995), la cual consistió en distinguir las categorías (rara, frecuente o dominante) a través de un gráfico de cuatro cuadrantes el cual se construyó con respecto a la mediana percentil del porcentaje de frecuencia (eje abscisas) y la mediana percentil del logaritmo natural de la abundancia de individuos (eje ordenadas). La asignación a la categoría de especie dominante correspondió con el cuadrante que reunió los valores de frecuencia y densidad mayores que las medianas (cuadrante superior derecho), mientras que la asignación a la categoría de especie rara correspondió con el cuadrante que reunió los valores de frecuencia y densidad menores que las medianas (cuadrante inferior izquierdo). La caracterización de especies dominantes y raras se basó en la jerarquización previa de las abundancias observadas en todos los muestreos de 2015 y 2016.

Variables ambientales

Se realizaron diagramas triangulares (Ternary plot) en el software Past 3, con la concentración de la composición iónica para 2015 y 2016. Se enfatizó en el periodo climático (secas-lluvias) de cada año ya que se observaron diferencias importantes (Fig. 108). Se realizó una matriz con los datos ambientales medidos (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes inorgánicos disueltos y totales, iones disueltos y alcalinidad) para realizar los análisis estadísticos.

Se realizó el cálculo del coeficiente de atenuación vertical:

$$K_d = \frac{\ln E_d(0) - \ln E_d(z)}{z}$$

Donde:

K_d = coeficiente de atenuación vertical (sin unidades)

E_d0 = intensidad luminosa en la superficie

E_dz = intensidad luminosa en cualquier profundidad

Análisis estadísticos

Se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con el software Multi-Variate Statistical Package (MVSP) Versión 3.1, donde se analizó la relación entre la comunidad de diatomeas bentónicas (69 especies), variables ambientales (20) y sitios de colecta (51 puntos), tanto en 2015 como en 2016. Los datos fueron transformados con raíz cuadrada en cada análisis, excepto pH. Con base en los resultados se decidió realizar un segundo ACC tomando en cuenta solo los meses de lluvias (junio-agosto) y secas (abril-mayo), los cuales coincidieron en ambos años, separando las variables ambientales en fisicoquímicas (temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, kd, fósforo total, nitrito, nitrato, amonio y silice) e hidroquímicas (alcalinidad (sumando carbonato y bicarbonato), cloruro, sulfato, sodio, potasio, magnesio y calcio). El número de variables adecuado para el ACC permitió considerar un análisis de variables fisicoquímicas independiente del análisis con variables hidroquímicas, seleccionando los sitios de colecta por temporada climática (secas y lluvias) y analizando solo las especies que mostraron dar mayor información, en el caso de las variables hidroquímicas el análisis fue robusto con el conjunto de las 69 especies, independientemente de la categoría a la que pertenecen, en cambio las variables fisicoquímicas no presentaron la misma certidumbre por lo se decidió hacer este análisis por cada grupo de especies (dominantes, frecuentes y raras) resultando tener mayor información el conjunto de especies dominantes y las variables fisicoquímicas. En cada análisis se realizó el test de permutación con el software XLSTAT ecology 2014 para comprobar la robustez del análisis.

Resultados

Riqueza y Composición

Se identificaron 69 especies durante el periodo de 2015 a 2016. De cada especie se realizó una breve descripción incluyendo distribución, formas de vida, afinidades ecológicas, una fotografía del ejemplar en microscopía de luz y cuando fue posible en microscopía electrónica de barrido. El material obtenido se incorporó al herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME-CM) (Anexo 4).

Subdivisión: Bacillariophytina
Clase: Mediophyceae
Subclase: Thalassiosirophycideae
Orden: Thalassiosirales
Familia: Stephanodiscaceae

Cyclotella (Kützing) Brébisson

Cyclotella meneghiniana Kützing, 1844

Figuras 3, 81-84

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.

Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

=*Cyclotella kützingiana* var. *meneghiniana* (Kützing) Brun, 1880; *Stephanocyclus meneghiniana* (Kützing) Skabichevskii, 1975;

Surirella melosiroides G.G.A.Meneghini ms., 1844.

Valvas circulares con una ondulación concéntrica. En el centro se presentan de 1 hasta 6

fultopórtulas. Las estrías son marginales, radiales, agrupadas en fascículos que se extienden del margen hacia el centro, abarcando solo $\frac{1}{4}$ del radio dejando claramente libre el centro de la valva.

Diámetro de la valva: 11.22-25.08 μm ; Densidad de estrías: 9-12/10 μm . MEB: En vista externa. El centro de la valva presenta una ondulación tangencial y granulación que se extiende en toda la valva (Fig. 81). Fultopórtulas marginales localizadas en cada interestría asociadas a proyecciones

alargadas que se observan como espinas (Fig. 82). En vista interna. Estrías formadas por areolas irregulares con granulación entre ellas, agrupadas en cámaras o fascículos (Fig. 83). Fultopórtulas centrales compuestas por 3 poros satelitales (Fig.84); una rimopórtula entre las fultopórtulas marginales (Fig. 84).

Distribución: Hidalgo, Michoacán, ampliamente distribuido en las regiones templadas y cálido templadas; México central, San Luis Potosí, Morelos, Yucatán, Puebla, Jalisco, Michoacán, Quintana Roo, Cantera Oriente, D.F., México; Brasil; España; Europa Central; Cuba; Argentina; cosmopolita; Polonia; Perú; Austria; India; Francia; Inglaterra; Holanda, África, EU.

Ambientes y formas de vida: Marismas; ríos; estanques; lagos; charcos; agua corriente; cenotes; manantiales; presas; puesta de ranas; canales; arroyos; represas; manantiales y rápidos, sustratos de carbonato de calcio, humedales, estuario; bentónica; metafítica; planctónica; litoral; epilítica; perifítica; endozoica; epífita; epipsámica; epipélica, edáfica.

Temperatura y conductividad: Temperatura 25.5°C, conductividad alta.

Salinidad: Especie oligohalobia a eurihalobia, requiere pequeñas cantidades de sal para ser abundante.

Alcalinidad y pH: alcalífila; pH óptimo de 8 a 8.5.

Nivel trófico: Aguas eutróficas; eurioxibiónica, heterótrofa facultativa de nitrógeno, indiferente al calcio, considerada de condiciones oligo- meso y alfa beta mesosapróbicas, de aguas contaminadas.

Discostella pseudostelligera (Hustedt) Houk & Klee

Figura 4

Houk, V. & Klee, R. (2004). The stelligeroid taxa of the genus *Cyclotella*(Kützing) Brébisson

(Bacillariophyceae) and their transfer into the new genus *Discostella* gen. nov. *Diatom Research* 19(2): 203-228.

= *Cyclotella pseudostelligera* Hustedt

Valvas circulares con el centro cóncavo. El área central se caracteriza por presentar un patrón estrellado. Estrías marginales y radiales con un patrón irregular debido a la inserción de pequeñas estrías cerca del margen de la valva. Fultopótulas marginales localizadas cada 3 a 4 estrías.

Diámetro de la valva: 6.6 μm ; Densidad de estrías: 24/10 μm .

Distribución: Huasteca, San Luis Potosí, Estado de México, Baja California Sur, Guanajuato, México; Pensilvania, EU; Inglaterra, Islas Guadalupe.

Ambientes y formas de vida: Ríos, lagos, charcos, oasis, jales, litoral, limnobiótica; planctónica, epilítica, perifítica, metafítica.

Temperatura, salinidad y pH: Meta-oligo-mesotérmica, oligohalobia a indiferente a la sal, acidófila, indiferente al pH, oligosapróbica.

En México se ha observado en aguas templadas con pH circumneutral, someras, de baja a alta conductividad en sitios con condiciones de disturbio moderado, flujo de corriente de bajo a moderado y un alto porcentaje de saturación de oxígeno (Bojorge et al., 2014; López-Fuerte, 2010).

Familia: Thalassiosiraceae

Thalassiosira Cleve

Thalassiosira* aff. *duostra C. Pienaar

Figura 5-6, 85

Pienaar, C. & Pieterse, A.J.H. (1990). *Thalassiosira duostra* sp. nov. a new freshwater centric diatom from the Vaal River, South Africa. *Diatom Research* 5: 105-111.

Valvas circulares con la cara valvar plana. Estrías no agrupadas en fascículos. Areolas grandes circulares, sin ningún arreglo evidente. Fultopótulas marginales, 4 Fultopótulas centrales, distantes entre sí, entre el centro y el margen de la valva. Diámetro de la valva: 13.8-16 μm ; Densidad de areolas: 20-25/10 μm . MEB: Valvas circulares con la cara valvar plana con areolas loculadas cubiertas exteriormente por un foramina mientras que internamente están cubiertas por una cribra. Las areolas son grandes de forma irregular, cuanto más cerca están del margen de la valva se observan alargadas. En el centro de la valva se presentan 4 fultoportulas muy distantes entre sí entre el margen y el centro de la valva. Las valvas presentan un anillo de Fultopótulas marginales como proyecciones alargadas (Fig. 85). Se consideró afin a la especie *T. duostra* porque las areolas son circulares o irregulares en el centro hasta dos tercios de la superficie de la valva y alargadas e irregulares en el margen y en la vista conectiva, sin ningún arreglo evidente.

Subdivisión: Bacillariophytina

Clase: Bacillariophyceae

Subclase: Fragilariophycidae

Orden: Fragilariales

Familia: Fragilariaceae

Fragilaria Lyngbye

Fragilaria capucina Desmazières

Figura 7

Desmazières, J.B.H.J. (1830). *Plantes Cryptogames du nord de la France*. pp. Nos 451-500.

= *Fragilaria capucina* f. *lanceolata* (Grunow) Hustedt 1957; *Fragilaria capucina* f. *lanceolata* (Grunow) Skabichevskii 1960.

En vista valvar. Valvas linear lanceoladas con ápices rostrados. Esternón estrecho y ligeramente lanceolado. El área central es rectangular, se caracteriza por la ausencia de estrías y un ligero hinchamiento en los márgenes de la valva. Estrías alternadas, ligeramente radiadas hacia los ápices. Largo de la valva: 30 μm ; Ancho de la valva: 5 μm ; Densidad de estrías: 12/10 μm .

Distribución: Lago Chapala, Jalisco, Cantera Oriente, D.F., Yucatán, Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Veracruz, Valle de Bravo; Texcoco, Estado de México, Tlaxcala, Guanajuato, Querétaro, Tehuacán, Puebla, México; Laponia, Suecia; Alpes, Austria; Fagaras, Rumania; Montes Rila, Bulgaria; Lima, Perú; Ontario, Canadá; Islas Guadalupe; Illinois, Montana, EU. Himalaya, Nepal, Pamir, Szechwan, Japón, Afganistan, Groenlandia; Baltic Lake District; Bremen, Alemania; Rio Sola, Montes Tatra, Polonia; Lago Volta, Ghana.

Ambientes y formas de vida: Ríos, lagos, cenotes, paredes y muros húmedos, estanques, represas, presas, canales, jales, estanques artificiales. Ticoplanctónica, planctónica, lignícola, bentónica, epilítica, epipelon, perifítica, metafítica.

pH, Nivel trófico, salinidad, temperatura: Alcalífila, eutrófica, oligosaprobica, indiferente a la salinidad, oligotermal a euritermal.

Fragilaria sp.

Figura 8

En vista valvar. Valvas linear lanceoladas con ápices rostrados diferenciados del cuerpo de la valva. Esternón amplio y lanceolado. No se distingue un área central. Estrías alternadas, ligeramente radiadas. Largo de la valva: 23.7-29.0 μm ; Ancho de la valva: 4.6-4.89 μm ; Densidad de estrías: 10/10 μm .

Fragilariforma Williams & Round

Fragilariforma virescens (Ralfs) Williams and Round

Figura 9

Williams, D.M. & Round, F.E. (1988). *Fragilariaforma*, nom. nov., a new generic name for *Neofragilaria* Williams & Round. *Diatom Research* 3(2): 265-267.

= *Fragilaria virescens* Ralfs; *Fragilaria virescens* Ralfs 1843; *Diatoma virescens* (Ralfs) Hassall 1845; *Nematoplata virescens* (Ralfs) Kuntze 1898; *Neofragilaria virescens* (Ralfs) D.M. Williams & Round 1987; *Fragilaria aequalis* Heiberg 1863; *Fragilaria aequalis* var. *producta* Lagerstedt 1873; *Fragilaria virescens* var. *oblongella* Grunow 1881; *Fragilaria producta* (Lagerstedt) Grunow 1881; *Staurosira aequalis* var. *producta* (Lagerstedt) Grunow 1881; *Staurosira producta* (Lagerstedt) Grunow 1882.

En vista valvar. Valvas con márgenes convexos. Ápices rostrados. El área axial muy estrecha y lineal. Estrías delgadas, paralelas a ligeramente radiadas, intercaladas entre sí a lo largo de toda la valva, se caracterizan por ser largas casi hasta el punto de tocarse unas con otras. Largo de la valva: 11-33 μm ; Ancho: 4-6 μm . Densidad de estrías: 13-15/10 μm .

Distribución: Estado de México, México central; Lago Chapala, Jalisco, Xochimilco, D.F., Cuitzeo, Michoacán, Veracruz, México; Córdoba, Argentina; Norteamérica; Illinois, Michigan, Montana, EU; Bremen, Alemania; Ontario, Canadá; Islas Signy, Inglaterra; Antártica.

Ambientes y formas de vida: Ríos; manantiales; esteno-oligo-, mesotérmica, corrientes en varios biomas; lagos; oligosapróbica, indiferente a la corriente, corrientes y represas, aguas ricas en oxígeno; rocas húmedas; canales; bentos; planctónica; epilítica subaérea.

pH: Óptimo de 6.4 a 6.8; alcalífila.

Salinidad: oligohalobia; halófoba; indiferente a la sal, halófila.

Pseudostaurosira Williams & Round

Pseudostaurosira brevistriata (Grunow) Williams & Round

Figuras 10, 86

Williams, D.M. & Round, F.E. (1987). Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research* 2: 267-288.

= *Fragilaria brevistriata* Grunow in van Heurck; Heurck, H. van (1885). *Synopsis des Diatomées de Belgique. Texte*. pp. 1-235. Anvers: Martin Brouwers & Co.

Valvas lanceoladas con ápices rostrados, redondeados. Área axial muy amplia y lanceolada. No se distingue un área central. Estrías marginales, cortas, ligeramente radiadas. Solo se distingue una areola por estría. Largo de la valva: 9-18µm; Ancho de la valva: 3-5µm; Densidad de estrías: 12-14/10 µm. MEB: Areolas redondas a ovaladas restringidas al margen de la valva. Presencia de espinas en cada estría sobre el manto de la valva, ausentes en los ápices. (Fig. 86).

Distribución: Zirahuén; Michoacán, Quintana Roo, Tlaxcala, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Texcoco, Estado de México, Tehuacán; Puebla, México;

Ambientes y formas de vida: Lagos; cenotes; charcos; humedales; canales, sedimentos de lagos; planctónica; bentónica; metafítica; perifítica; epipélica.

Salinidad: Mesohalobia

Pseudostaurosira subsalina (Hustedt) E.A. Morales

Figura:11-13

Morales, E.A. (2005). Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research* 53(2): 113-133.

= *Fragilaria construens* var. *subsalina* Hustedt 1925; *Fragilaria construens* f. *subsalina* (Hustedt) Hustedt 1957; *Staurosira construens* f. *subsalina* (Hustedt) Bukhtiyarova 1995; *Staurosira construens* var. *subsalina* (Hustedt) N.A. Andresen, Stoermer & R.G. Kreiss 2000; *Staurosira subsalina* (Hustedt) Lange-Bertalot 2004.

Valvas isopolares linear-lanceoladas con ápices rostrados. Área axial amplia y lanceolada. Área central no diferenciada. Estrías cortas y radiadas, compuestas de dos areolas (a diferencia de *P. brevistriata* la cual solo presenta una). Largo de la valva: 16.5-40 µm; Ancho de la valva: 3.3-7 µm; Densidad de estrías: 11-14/10 µm.

Distribución: Estado de México, México.

Ambientes y formas de vida: Lagos; perifítica, planctónica.

pH, Salinidad y Nivel trófico: Alcalífila, halófila, tolerante a elevadas concentraciones de nitrógeno inorgánico, oligosaprobica, meso-eutrófica, requerimiento continuo y alto de oxígeno.

Staurosira Ehrenberg

Staurosira construens var. *construens* Ehrenberg

Figura 14, 87

Ehrenberg, C.G. (1843). Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd und Nord-Amerika. *Abhandlungen der Königlich-Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1841: 291-466, pls 1-4.

=*Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow; Grunow, A. (1862). Die Österreichischen Diatomaceen nebst Anschluss und Arten. *Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien* 12: 315-472, 545-588.

Valvas cruciformes, rómbicas con ápices redondeados, alargados, sin presencia de rimopórtula.

Área axial recta a lanceolada, estrecha. Área central no diferenciada. Estrías relativamente anchas, (en contraste con los géneros *Fragilaria* y *Staurosirella*), ligeramente radiadas en el centro a paralelas en los ápices. Largo de la valva: 9-10 µm; Ancho de la valva: 3-5 µm; Densidad de estrías: 10-12/10 µm. MEB: La cara de la valva es ligeramente ondulada, estrías alternadas y compuestas de areolas ovaladas. Presencia de espinas huecas en cada interestría (costilla) a lo largo del todo el margen de la valva, excepto en los ápices. Campo poroso apical presente (Fig. 87).

Distribución: Zirahuén; Cuitzeo; Michoacán, Quintana Roo, Tlaxcala, Texcoco, Estado de México, Puebla, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Catemaco, Veracruz, México; Belice; Jamaica.

Ambientes y formas de vida: Lagos; cenotes; charcos; humedales; canales; ríos, sedimentos de lagos; Planctónica; bentónica; perifítica; metafítica.

pH, Nivel trófico y salinidad, temperatura: Alcalífila; eutrófica, oligosaprobica-α mesosaprobica, Indicadora de aguas oxigenadas; indiferente a la salinidad, oligo-euritermal.

Staurosira neoproducta (Lange-Bertalot) Chudaev & Gololobova

Figura 16

Chudaev, D.A. & Gololobova, M.A. (2012). Frustule morphology of species of the genus *Staurosira sensu stricto* (Bacillariophyceae) from the Lake Gluboke (Moscow Region). *Novosti Sistematiki Nizschilkn Rastenii* [Novitates Systematicae Plantarum Non Vascularium] 46: 68-84, + pls I-VII.

= *Fragilariforma neoproducta* (Lange-Bertalot) D.M. Williams & Round; *Fragilaria neoproducta* Lange-Bertalot 1993.

Valvas linear-lanceoladas con ápices alargados, rostrados; esternón muy estrecho y ligeramente lanceolado. No se distingue un área central. Estrías finamente punteadas, alternadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 33 µm; Ancho de la valva: 4.6 µm; Densidad de estrías: 13/10 µm.

Distribución: Cuitzeo, Michoacán, MÉXICO.

Formas de vida, salinidad, Nivel trófico: Ticoplanctónica. Alta concentración de nutrientes, oligohalobia, en aguas turbias y florecimiento de fitoplancton, decrecimiento de oxígeno, aumento de saporiedad, lagos itermitentes.

***Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J.D. Möller**

Figura 15, 88

Cleve, P.T. & Möller, J.D. (1879). *Diatoms. Part V, No. 217-276*. Upsala: Esatas Edquists Boktrykeri.
= *Fragilaria venter* Ehrenberg; Ehrenberg, C.G. (1854); *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehrenberg) Grunow 1881; *Nematoplata venter* (Ehrenberg) Kuntze 1898; *Fragilaria construens* f. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957; *Sataurosira construens* var. *venter* (Ehrenberg) P.B. Hamilton 1992; *Staurosira construens* f. *venter* (Ehrenberg) Bukhtiyarova 1995.

Valvas lanceoladas, elípticas, con ápices redondeados no alargados, sin presencia de rimopórtula.

Área axial recta a lanceolada, estrecha. No se diferencia un área central. Estrías relativamente anchas, alternadas, ligeramente radiadas. Largo de la valva: 4-23 μm ; Ancho de la valva: 3-6.5 μm ; Densidad de estrías: 9-14/10 μm . MEB: Cara valvar ligerament ondulada por la formación de las costillas, estrías alternadas compuestas por areolas ovaladas. Espinas presentes en todo el margen de la valva excepto en los apices, huecas y se encuentran presentes en las costillas (interestrías). Campo poroso apical presente en ambos ápices (Fig. 88).

Distribución: Quintana Roo, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Estado de México, Querétaro, Puebla, México;

Ambientes y formas de vida: Cenotes, humedales, canales, charcos, lagos, ríos; perifítica; planctónica; metafítica; epilítica; bentónica.

Salinidad: Halófila

pH y conductividad: Aguas alcalinas, conductividad alta.

***Punctastriata* Williams and Round**

***Punctastriata mimetica* E.A. Morales**

Figuras 17-18, 89-90

Morales, E.A. (2005). Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research* 53(2): 113-133.

Valvas heteropolarés cruciformes, lanceolados, ovales, romboides con ápices subrostrados. Área axial estrecha, recta a lanceolada; área central no diferenciada. Estrías gruesas, paralelas, alternadas, con terminación aguda hacia el área axial. En microscopía de luz no existe alguna característica que la diferencie del género *Staurosirella*. Largo de la valva: 6-14.5 μm ; Ancho de la valva: 4-5 μm ; Densidad de estrías: 9-12/10 μm . MEB: *Punctastriata* a diferencia de *Staurosirella* presenta de dos a tres hileras de areolas formando la estría, las cuales al llegar al área axial de la valva se unen para fusionarse en una sola. Presenta espinas espatuladas entre las estrías (costillas), cerca del margen de la valva. Presencia de campo poroso apical en ambos ápices (Figura 89-90).

P. mimetica puede diferenciarse de otras especies por la localización de las espinas, *P. linearis* se localizan ya sea en las costillas o interrumpiendo las estrías y *P. ovalis* solo interrumpiendo las estrías. Tanto *P. linearis* como *P. ovalis* presentan estrías con terminaciones amplias a diferencia de *P. mimetica* las cuales presentan terminaciones agudas (Morales, 2005).

pH y Nivel trófico: Se ha observado creciendo en aguas altamente alcalinas con un pH de 8.2 en un medio de baja conductividad, 179 $\mu\text{s/cm}$, con concentraciones de 0.129 mg/L de fosforo (ortofosfatos) y Nitrógeno total de 0.437 mg/L (Morales, 2005).

Tabularia (Kützing) Williams & Round

Tabularia fasciculata (C. Agardh) D.M. Williams & Round

Figura 19

Williams, D.M. & Round, F.E. (1986). Revision of the genus *Synedra* Ehrenb. *Diatom Reserch* 1(2): 313-339. = *Diatoma fasciculata* C. Agardh 1812, *Echinella fasciculata* (Agardh) Jurgens 1816, *Lyngyea fasciculata* (C. Agardh) Sommerfelt 1826, *Exilaria fasciculata* (C. Agardh) Greville 1827, *Exilaria fasciculata* Kützing 1833, *Synedra fasciculata* (C. Agardh) Kützing 1844, *Synedra tabulata* var. *fascicualta* (C. Agardh) Grunow ex Hustedt 1932, *Fragilaria fasciculata* (C. Agardh) Lange-Bertalot 1980, *Synedra affinis* Kützing 1844, *Synedra tabulata* (C. Agardh) Kützing 1844, *Synedra tabulata* var. *affinis* (Kützing) A. Cleve 1953, *Synedra ridica* M. H. Hohn & J. Hellerman 1966, *Fragilaria tabulata* (C. Agardh) Lange-Bertalot 1981, *Tabularia affinis* (Kützing) Snoeijs 1992.

Valvas linear-lanceoladas con ápices rostrados ligeramente alargados. Área axial muy amplia lanceolada. No hay un área central evidente. Estrías alternadas gruesas y cortas. Largo de la valva: 20-89 μm ; Ancho de la valva: 3.3-4.6 μm ; Densidad de estrías: 11-13/10 μm .

Distribución: Michoacán, Tehuacán, Puebla, Oaxaca, Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., México.

Ambientes y formas de vida: Arroyos; canales; charcos; represas, ambientes mixtos; estanques; ríos; laguna costera; lagos; Planctónica; epilítica; epipélica; bentónica; perifítica.

pH, Salinidad, Nivel trófico: Alcalífila, eurihalobia, tolerante de elevadas concentraciones de nitrógeno disuelto, requerimiento moderado de oxígeno, α mesosaprobica, eutrífica.

Clase: Bacillariophyceae

Subclase: Bacillariophycidae

Orden: Achnanthes

Familia: Achnanthidiaceae

Achnantheidium Kützing

Achnantheidium exiguum (Grunow) Czarnecki

Figura 20

Czarnecki, D.B. (1994). The freshwater diatoms culture collection at Loras College, Dubuque, Iowa. In: Proceedings of the 11th International Diatom Symposium (Kockiolek, J.P., ed.). *Memoirs of the California Academy of Sciences* 17: 155-174.

= *Achnanthes exigua* Grunow, 1880.

Valvas monorafideas, lineal-lanceoladas con ápices rostrados bien diferenciados. Área axial recta y estrecha. Rafe recto, fisuras proximales ligeramente engrosadas en forma de gota, no se diferencian las fisuras distales. Área central simétrica en forma de rectángulo, se caracteriza por ser un área libre de estrías (en la valva con rafe). Estrías delgadas y ligeramente radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 14.5 μm ; Ancho de la valva: 6 μm ; Densidad de estrías: 24/10 μm .

Distribución: Quintana Roo, D.F., Baja California Sur, Estado de México, Guanajuato, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Veracruz, Belice; Jamaica.

Ambientes: Humedales; cenotes; oasis; lagos; ríos; arroyos; canales; estanques; laguna costera; perifítica; metafítica; planctónica; epilítica; bentónica.

pH y Conductividad: Aguas alcalinas, conductividad alta, corriente nula.

***Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki**

Figura 21

Czarnecki, D.B. (1994). The freshwater diatoms culture collection at Loras College, Dubuque, Iowa. In: Proceedings of the 11th International Diatom Symposium (Kockiolek, J.P., ed.). *Memoirs of the California Academy of Sciences* 17: 155-174.

= *Achnanthes minutissima* Kützing, 1853; *Achnantheidium lanceolatum* f. *minutissima* (Kützing) Tömösvary, 1879; *Microneis minutissima* (Kützing) Cleve 1895; *Cocconeis minutissima* (Kützing) Schönfeldt, 1907; *Microneis minutissima* (Kützing) Meister, 1912; *Achnantheidium microcephalum* Kützing, 1844; *Achnanthes microcephala* (Kützing) Grunow, 1880; *Achnanthes minutissima* var. *cryptocephala* Grunow, 1880; *Achnanthes minutissima* f. *curta* Grunow, 1880; *Microneis microcephala* (Kützing) Cleve, 1895; *Microneis minutissima* var. *crptocephala* (Grunow) Cleve, 1895; *Achnantes cryptocephala* (Grunow) M. Peragallo, 1897; *Schizonema microcephalum* (Kützing) Kuntze, 1898; *Cocconeis mirocephala* (Kützing) Schonfeldt, 1907; *Microneis microcephla* (Kützing) Meister, 1919; *Achnanthes minutissima* var. *genuina* A. Cleve, 1953. Valvas monoráfideas, linear-lanceoladas, la valva que posee el rafe se observa cóncava y la valva sin rafe convexa. Ápices redondeados a ligeramente capitados. Área axial recta y estrecha. Rafe recto con fisuras proximales ligeramente engrosadas en forma de gota, las fisuras distales no se distinguen. Área central en forma de moño, se caracteriza por presentar una o dos estrías más cortas que el resto. Estrías delgadas y radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 5-16.5 µm; Ancho de la valva: 3.3-4.6 µm; Densidad de estrías: 25/10 µm.

Distribución: México central; Estado de México, Tehuacán, Puebla, Catemaco, Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo, Quintana Roo, Yucatán, Morelos, España; EU; Europa Central; Austria; Alemania; Polonia; Suecia; Rumania; Bulgaria; Cuba; Perú; Canadá.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; arroyos; charcos; manantiales, presas; corrientes de montaña, sedimentos fósiles de lago; suelo húmedo, indiferente a la corriente; diatomita; estanques artificiales; lagos, cenotes; Epífita en hidrófitas sumergidas, algas y en superficies sumergidas; ambientes subaéreos; epilítica; litoral; edáfica; perifítica; epipélica; planctónica; litoreofila, peloreofila; metafítica; epífita subaérea.

pH, Salinidad, Conductividad, Temperatura, Nivel trófico: aguas alcalinas, mineralizadas, Oligohalobio, conductividad media a elevada; meso a euritermal; Aguas oligotróficas a eutróficas; buen indicador de altas concentraciones de oxígeno. Presente en aguas contaminadas.

Otras características: indiferente al calcio y al hierro

***Lemnicola* Round and Basson**

***Lemnicola hungarica* (Grunow) F.E. Round & P.W. Basson**

Figura 22

Round, F. E. & Basson, P.W. (1997). A new monoraphid diatom genus (*Pogoneis*) from Bahrain and the transfer of previously described species *A. hungarica* and *A. taeniata* to new genera. *Diatom Research* 12(1): 71-81.

= *Achnantheidium hungaricum* Grunow 1863; *Achnanthes hungarica* (Grunow) Grunow 1880; *Microneis hungarica* (Grunow) Cleve 1895; *Cocconeis hungarica* (Grunow) Schönfeldt 1907; *Microneis hungarica* (Grunow) Meister 1912.

Valvas monorafideas elíptico-lanceoladas con ápices redondeados no diferenciados del cuerpo de la valva. En la valva con rafe, área axial estrecha, ligeramente lanceolada en el centro de la valva. La rafe es recta con las fisuras proximales en forma de gota, estrechas entre si. Las fisuras distales no se diferencian. Área central diferenciada por la presencia de un estauro asimétrico. En la valva sin rafe, área axial estrecha, ligeramente lanceolada. Área central irregular en forma, transversal y asimétrica, ausencia de estauro. Estrías opuestas ligeramente radiadas en los ápices a radiadas en el centro. Largo de la valva: 18.5-33 μm ; Ancho de la valva: 6-7.26 μm ; Densidad de estrías: 20-25/10 μm .

Distribución: Estado de México, Guanajuato, Xochimilco, Tláhuac, D.F., México; Norte America; Islas del pacífico: Islas Hawaianas; Alemania; Irlanda; Rusia; España; Argentina, Sur América; Korea, Mongolia, Taiwan, Asia; Australia, Nueva Zelanda (Guiry & Guiry, 2017);

Ambientes y formas de vida: Ríos, lagos, canales. Epilítica, bentónica.

pH y Conductividad: Aguas ligeramente ácidas a alcalinas, conductividad elevada.

Familia: Cocconeidaceae

***Cocconeis* Ehrenberg**

***Cocconeis placentula* Ehrenberg**

Figura 23-24

Ehrenberg, C.G. (1838). [*Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen.*] *Atlas*. pp. pls I-LXIV. Leipzig: Verlag von Leopold Voss.

= *Cocconeis communis* f. *Placentula* (Ehrenberg) Chmielewski, 1885; *Cocconeis communis* var.

placentula (Ehrenberg) O.Kirchner, 1878; *Cocconeis pediculus* var. *placentula* (Ehrenberg) Grunow, 1867.

Valvas monorafideas elípticas con ápices ampliamente redondeados, no diferenciados del cuerpo de la valva. En la valva con rafe el área axial es estrecha y recta. Fisuras proximales no flexionadas, cercanas entre sí. El área central es pequeña y circular. Las estrías están formadas por areolas las cuales siguen un arreglo de zigzag y son delimitadas del margen de la valva por un área hialina alrededor de la valva dando la apariencia de un anillo. En la valva sin rafe el área axial es estrecha y recta. No hay presencia de área central. Las estrías en los ápices se observan más juntas y en el centro se observan ligeramente más separadas. No hay zona hialina y no están delimitadas. Largo de la valva: 20-33 μm ; Ancho de la valva: 12-20 μm ; Densidad de estrías: 21-25/10 μm .

Distribución: Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Texcoco, Estado de México, Michoacán, México central; Puebla, San Luis Potosí, Tlaxcala, Yucatán, Quintana Roo; Jalisco, D.F., Brasil; España;

EU; Polonia; Europa Central; cosmopolita; Canadá; Iran; Alemania; Suecia; Rumania; Bulgaria; Cuba; Perú; Argentina, India, Holanda, África; Inglaterra

Ambientes y Formas de vida: Ríos; lagunas, manantiales; arroyo, canales de riego temporal; euriótica; presa; corrientes de montaña, ríos de tierras bajas; sedimentos fósiles de lago; aguas corrientes; aguas estancadas; pantanos litorales de lagos; diatomita; cenote; indiferente a la corriente, indiferente al calcio; lagos alpinos; charcos; estanques; rápidos, pozas, aguas calcáreas, indiferente a calcio; Bentónica; perifítica; epífita; epilítica; metafítica; litoral; planctónica; epipsámica; epipélica; litoreofila.

pH, Salinidad y Conductividad: Comúnmente en aguas neutras a alcalina, alcalífila; pH óptimo cerca de 8; Aparentemente indiferente a la sal pero no se observa abundante en aguas ligeramente salobres; indiferente a las bajas concentraciones de cloruros; oligohalobia a eurihalobia. conductividad alta.

Orden: Cymbellales

Familia: Anomoeoneidaceae

Anomoeoneis Pfitzer

Anomoeoneis costata (Kützing) Hustedt

Figura 25 y 91

Hustedt, F. (1927). *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz Band VII Die Kieselalgen*. Leipzig: Akademische.

= *Navicula costata* Kützing, 1844; *Anomoeoneis bohémica* (Ehrenberg) Reinhard, 1913; *Anomoeoneis polygramma* (Ehrenberg) Cleve, 1895; *Anomoeoneis sphaerophora f. costata* (Kützing) A.-M.Schmid, 1977; *Anomoeoneis sphaerophora var. polygramma* (Ehrenberg) O.Müller, 1900; *Frustulia bohémica* (Ehrenberg) Rabenhorst, 1864; *Navicula bohémica var. fossilis* (Ehrenberg) Grunow, 1882; *Navicula sculpta var. bohémica* (Ehrenberg) Cleve & Möller, 1879.

Valvas rómbicas, lanceoladas, con ápices redondeados no prolongados. Área axial amplia, recta delimitada por una hilera de areolas alargadas levemente desarregladas separadas de las estrías que conforme avanzan hacia el área central se hace ligeramente estrecha. Rafe recto. Fisuras proximales ligeramente curvadas hacia la misma dirección como en el caso de las fisuras distales. Área central asimétrica en forma de moño, caracterizada por ser una zona libre de areolas en donde un extremo se extiende hasta el margen de la valva. Estrías ligeramente radiadas caracterizadas por ser una serie de areolas alargadas, no organizadas separadas de las areolas que delimitan el área axial, por lo que este arreglo, (el área hialina que se forma) da la apariencia de una especie de lira. Largo de la valva: 59-70 μm ; Ancho de la valva: 20 μm ; Densidad de estrías: 21-32/10 μm . En MEB: Fisuras próximas dobladas ligeramente hacia el mismo lado, fisuras distales en forma de hoz, presencia de un área hialina paralela a ambos bordes del rafe. Areolas circulares pequeñas, organizadas en los ápices y conforme se acercan al centro su arreglo es irregular (Fig. 91).

Distribución: Estado de México, Quintana Roo, Ciudad de México., Michoacán, EU.

Ambientes y Formas de vida: Pantanos, aguas estancadas, bajo nivel de agua, profundidad moderada; lagos alpinos; cenotes; estuario; lagos; charcos; manantiales termales; canales; Bentónica; litoral, crenófila; planctónica; perifítica; metafítica.

pH y Salinidad: Alcalófila eutérmica; Salinidad variable; lagos salobres someros, mesohalobio.

***Anomoeoneis sphaerophora* E. Pfitzer**

Figura 26

Pfitzer, E. (1871). *Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Bacillariaceen (Diatomaceen)*. *Botanische Abhandlungen aus dem Gebiet der Morphologie und Physiologie*. Vol. 2 pp. 189, 6 pls.. Bonn: Herausg. von J. Hanstein.

=*Navicula amphisbaena* var. *sphaerophora* (Kützing) Rabenhorst, 1847; *Navicula sphaerophora* Kützing, 1844.

Valvas elípticas lanceoladas con ápices subcapitados alargados. Área axial estrecha, recta, delimitada por una hilera de areolas paralelas a la rafe, separadas ligeramente de las estrías. Rafe recto. Fisuras proximales de la rafe rectas o ligeramente curvadas hacia la misma dirección. Fisuras distales de la rafe curvadas hacia el mismo lado. Área central irregular tocando ambos lados del margen de la valva. Estrías ligeramente radiadas, caracterizadas por ser una serie de puntos alargados, separados cuando están junto al área axial y conforme se acercan al margen de la valva se juntan más. A diferencia de *A. costata*, en *A. sphaerophora* el área hialina que se forma por la separación de areolas no forma una especie de lira. Largo de la valva: 36-43µm; Ancho de la valva: 10-12µm; Densidad de estrías: 20-26/10µm.

Distribución: EU; Inglaterra, Hidalgo, Michoacán, Estado de México, Ciudad de México, Oaxaca, Tabasco, Guanajuato, Tlaxcala, Argentina; Perú; Sudáfrica.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; aguas duras, entre musgos; pantanos, aguas estancadas, manglar; estanque; presas; lagos; charcos; jales; canales; crenófila en aguas termales; Bentónica; perifítica; planctónica; epífita subaérea; metafítica; sedimentos de lagos; diatomita.

pH, Salinidad, Nivel trófico: óptimo en pH 8.4; Aguas dulces a salobres, aguas salinas cálidas, halófila; Frecuente como forma saprobia en aguas ricas en materia orgánica.

Familia: Cymbellaceae

***Cymbella* C. Agardh**

***Cymbella aspera* (Ehrenberg) Cleve**

Figura 28

Cleve, P.T. (1894). Synopsis of the naviculoid diatoms. Part I. *Kongliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, series 4* 26(2): 1-194, 5pl.

= *Cocconema asperum* Ehrenger 1840; *Cymbella lanceolata* var. *aspera* (Ehrenberg) Brun 1880; *Frustulia gastroides* Kützing 1833; *Cymbella gastroides* (Kützing) Brébisson & Godey 1835; *Cymbella gastroides* (Kützing) Kützing 1844.

En vista valvar. Valvas dorsiventrales con el margen dorsal arqueado y el ventral ligeramente convexo en el centro. Ápices estrechos y redondeados. Área axial estrecha, ligeramente lanceolada. Rafe lateral con las fisuras próximas ligeramente curvadas hacia el mismo lado, presencia de un intermisio entre ellas, fisuras distales curvadas hacia el lado dorsal. Área central pequeña ligeramente circular, diferenciada por la presencia de 7 estigmoides del lado ventral. Estrías

finamente punteadas, radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 112-126 μm ; Ancho de la valva: 18.5- 22.4 μm ; Densidad de estrías: 8-10/10 μm .

Distribución: Patzcuaro, Cuitzeo, Michoacan, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Tlaxcala, Lago de Chapala, Jalisco, Chiapas, Quintana Roo, Veracruz, México; Mesopotamia, Irak; Río Sola, Polonia; Carolina del Norte, Illinois, Montana, EU; Puno, Lima, Ancash, Perú; Bremen, Alemania; Belice; Jamaica.

Ambientes y formas de vida: Arroyos, manantiales, aguas estancadas, epifítica, aerofila.

pH, conductividad y salinidad, Nivel trófico: alcalífila, conductividad media a alta, oligohalobia; Meta-oligo-mesotérmica; hipereutrónica.

Otras características: indiferente al calcio, requiere una alta concentración de oxígeno.

***Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve**

Figura 27

Cleve, P.T. (1894). Synopsis of the navicloid diatoms. Part I. *Kongliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, series 4* 26(2): 1-194, 5 pl.
= *Cocconema mexicanum* Ehrenberg 1844.

Valvas dorsiventrales, con margen ventral ligeramente cóncavo, ápices redondeados. Área axial estrecha delimitada por las areolas. Rafe lateral con fisuras proximales en forma de gota, entre ellas se observa la presencia de un intermisio; fisuras distales flexionadas fuertemente hacia el mismo lado. Se distingue un área central delimitada por el acortamiento de algunas estrías dándole una forma circular; se caracteriza por la presencia de un estigma entre las fisuras proximales. Estrías ligeramente radiadas a lo largo de toda la valva, formadas por areolas cuadradas, aquellas que se encuentran delimitando el área axial se observan ligeramente alargadas. Largo de la valva: 69.6-120 μm ; Ancho de la valva: 27.7-32.5 μm ; Densidad de estrías dorsales: 7/10 μm ; Densidad de estrías ventrales: 8/10 μm .

Distribución: Guanajuato, Michoacán, México central; Texcoco, Estado de México, Huasteca, San Luis Potosí, Tlaxcala, Morelos, Tehuacán, Alchichica, Puebla, Lago Chapala, Jalisco, Quintana Roo, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Baja California Sur, Veracruz, México; Norteamérica; Florida, Montana, EU; Guatemala.

Ambientes y formas de vida: Sedimentos de ríos, ríos; aguas estancadas; manantiales; en rápidos y pozas, mesotermal, en aguas calcáreas; cenotes; charcos; humedales; canales; oasis; estanques; lagos maars; Bentónica; metafítica; macroalgas; perifítica; planctónica; epilítica; epífita.

pH, Salinidad y Conductividad: Alcalífila, aguas neutras a alcalinas; oligohalobia, halófila; conductividad moderada a alta.

***Encyonema* Kützing**

***Encyonema mesianum* (Cholnoky) D.G. Mann**

Figuras 29 y 92

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

= *Cymbella mesiana* Cholnoky

Valvas dorsiventrales, con margen dorsal completamente arqueado y margen ventral ligeramente convexo en la parte central. Apices cuneados no diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial ligeramente curvada delimitada por las areolas que conforman las estrias. Rafe dorsiventral con las fisuras proximales muy juntas entre si, las fisuras distales se diferencian muy bien curvandose hacia el lado ventral de la valva. Área central poco diferenciable, ligeramente circular. Estrias ligeramente radiadas, areolas en el margen dorsal se observan cuadradas y pequeñas, en el margen ventral se observan ligeramente alargadas. Largo de la valva: 22-28; Ancho de la valva: 9.24; Densidad de estrias dorsales: 10-13/10 μm ; Ventrales: 9-12/10 μm . MEB: Fisuras proximales ligeramente curvadas dorsalmente mientras las distales se curvan ventralmente. Estrias radiadas en el lado dorsal mientras en el ventral se observan paralelas. Estrias formadas por areolas alargadas y delgadas (Fig. 92).

Distribución: El Edén, Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Michoacán, Tehuacán, Puebla, MÉXICO;

Ambientes y formas de vida: cenotes; charcos; humedales; lagos; canales; estanques; ríos; perifítica; metafítica; planctónica; epilítica; bentónica.

Encyonema silesiacum (Bleisch) D.G. Mann

Figura 30

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

= *Cymbella silesiaca* Bleisch, 1864; *Cymbella ventricosa* var. *silesiaca* (Bleisch) A. Cleve 1955; *Cymbella minuta* var. *silesiaca* (Bleisch) Reimer, 1975.

Valvas dorsiventrales con margen dorsal arqueado y el ventral recto, apices redondeados no diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial recta ligeramente amplia delimitada por las areolas que constituyen las estrias. Rafe lateral con fisuras proximales deflectadas hacia el lado dorsal y las fisuras proximales deflectadas fuertemente hacia el lado ventral. Área central poco distinguible, se caracteriza por un ligero acortamiento de las estrias dorsales. Estrias punteadas, ligeramente radiadas en el lado dorsal de la valva y en el ventral se observan paralelas. Largo de la valva: 23–28 μm ; Ancho de la valva: 9.24-10 μm ; Densidad de estrias dorsales: 12-14/10 μm ; ventrales: 10-11/10 μm .

Distribución: El Edén, Quintana Roo, Veracruz, Michoacán, Estado de México, Querétaro, Tehuacán, Puebla, Oaxaca, Guanajuato, México; Belice; Jamaica.

Ambientes y formas de vida: Cenotes; charcos; humedales; rios; lagos cráter; arroyos; lagos; perifítica; metafítica; planctónica; epilítica; epipsámica.

pH y Conductividad: Aguas ligeramente ácidas a neutras, conductividad baja a moderada.

Navicymbula Kramer

Navicymbula pusilla (Grunow) Krammer

Figura 31 y 93

Krammer, K. (2003). *Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella*. In: *Diatoms of Europe, Diatoms of the European Inland waters and comparable habitats*. (Lange-Bertalot, H. Eds) Vol. 4, pp. 1-529. Rugell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

= *Cymbella pusilla* Grunow 1875; *Cocconema pusilla* 'pusillum' (Grunow) West & G.S. West 1911; *Navicella pusilla* (Grunow) Krammer 1997; *Seminavis pusilla* (Grunow) E.J. Cox & G. Reid 2004.

Valvas ligeramente dorsiventrales con margen dorsal arqueado y el ventral ligeramente convexo.

Ápices redondeados no alargados. Área axial estrecha y recta. Rafe recto con las fisuras proximales en forma de gota y distales con forma de hoz flexionadas hacia el margen dorsal. Área central pequeña ligeramente lanceolada. Estrías gruesas radiadas en el centro a paralelas en los polos.

Estrías pequeñas en ambos márgenes en el centro de la valva. Largo de la valva: 27.06 µm; Ancho de la valva: 6.6 µm; Densidad de estrías: 14/10 µm. MEB: fisuras proximales cortas y curvadas completamente, distales en forma de gancho, ambas se curvan hacia el lado dorsal a diferencia del género *Cymbella* y *Encyonema*. Estrías delgadas compuestas por areolas elongadas (Fig. 93).

Distribución: Tehuacán, Puebla, Oaxaca, México.

Ambientes y formas de vida: Ríos; canales; arroyos; estanques; planctónica; epipélica; epilítica; edáfica.

Familia: Gomphonemataceae

Gomphonema Ehrenberg

Gomphonema affine Kützing

Figura 32

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

= *Gomphonema dichotomum* var. *affine* (Kützing) G. Rabenhorst 1864; *Gomphonema lanceolatum* var. *affine* (Kützing) A. Cleve 1932; *Gomphonema lanceolatum* var. *affine* (Kützing) Cleve-Euler 1955.

Valvas no constreñidas con márgenes convexos en toda la valva; ápices redondeados agudos, la base ligeramente más redondeada. Área axial recta y estrecha; Rafe filiforme con fisuras proximales ligeramente redondeadas. Área central pequeña y redonda, se caracteriza por la presencia de un estigma y el acortamiento de una estría aislada del resto en ambos márgenes. Estrías ligeramente radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 39-41 µm; Ancho de la valva: 7-10 µm; Densidad de estrías: 12-14/10 µm.

Distribución: Hidalgo, México central; Tehuacán, Puebla, Huasteca, San Luis Potosí, Zempoala, Morelos, Misol-Ha, Chiapas, Zirahuén; Cuitzeo; Michoacán, El Edén, Quintana Roo, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Tabasco, Oaxaca, Papaloapan; Baja California Sur, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Veracruz, México; EU; Córdoba, Argentina; Europa Central; Guyana; Rio Grande do Sul, Brasil; Belice; Jamaica.

Ambientes: Ríos; suelo húmedo; charcos; lagos; canales; ambientes mixtos; estanques; cascadas; humedales; cenotes; estanques de peces; oasis; jales, eutérmica; Litoral; edáfica; subaérea; epífita; planctónica; epilítica; epipélica; epipsámica; perifítica; bentónica; metafítica.

pH, Conductividad, Salinidad, Nivel trófico: Alcalífila; oligohalobia; tolera un amplio rango; moderadas a altas; mesotrófica hasta muy contaminadas.

***Gomphonema angustatum* C. Agardh**

Figura 33

Agardh, C.A. (1831). *Conspects criticus diatomacerum. Part 3 pp.33-4.Lundae [lud]* : Literis Berlinggianus. Valvas lineares, ligeramente lanceoladas, alargadas con ápices agudos, redondeados. Área axial recta y estrecha. Rafe filiforme, fisuras proximales rectas y en forma de gota, no se diferencian las fisuras distales. Área central estrecha, presencia de un estigma se caracteriza por presentar una estría aislada del resto. Estrías gruesas y cortas ligeramente radiadas. Largo de la valva: 33 μm ; Ancho de la valva: 4 μm ; Densidad de estrías: 12/10 μm .

pH, Salinidad, Nivel trófico: Alcalifila, oligohalobia, tolerante a pequeñas concentraciones de nitrógeno orgánico disuelto, continuo y alto requerimiento de oxígeno, oligosaprobia, oligotrófica.

***Gomphonema clavatum* Ehrenberg**

Figura 34

Ehrenberg, C.G. (1832). Über die Entwicklung und Lebensdauer der Infusionsthier; nebst fernerer Beiträgen zu einer Vergleichung ihrer organischen Systeme. *Abhandlungen der königlichen Akademie Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse* 1831: 1-154, pls I-IV.

Valvas heteropolares con márgenes convexos. Ápices redondeados obtusos no diferenciables del cuerpo de la valva. Área axial estrecha en los polos a lanceolada en el centro. Rafe ligeramente sinuoso con las fisuras proximales estrechas entre sí. Las fisuras distales no se distinguen. Área axial ligeramente lanceolada caracterizada por la presencia de un estigma y el acortamiento de una estría en un solo margen de la valva. Estrías punteadas, radiadas en el centro a paralelas en los polos. Largo de la valva: 30-33 μm ; Ancho de la valva: 6.6-7.2 μm ; Densidad de estrías: 9-13/10 μm .

Distribución: Tehuacán, Puebla, Papaloapan; Oaxaca, Zirahuén, Michoacán, Cantera Oriente, D.F., Texcoco; Estado de México, Baja California Sur, Veracruz, Guanajuato, Morelos, México; Europa Central

Ambientes y formas de vida: Manantiales, ríos, arroyos, canales, charcos, represas, estanques, lagos, presas, oasis, Jales; perifítica, bentónica, subaérea, planctónica, epilítica, epipsámica, epipélica, epífita, metafítica.

pH, salinidad, conductividad, Nivel trófico: Aguas ligeramente ácidas a alcalinas, presente en ambientes con conductividad moderada a elevada, subsalina, meso-eutrónica.

Otras características: tolerante a pocas concentraciones de nitrógeno orgánico, requerimiento alto de oxígeno (por arriba del 100% de saturación).

***Gomphonema gracile* Ehrenberg**

Figura 35

Ehrenberg, C.G. (1838). *Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen: Ein Blick in das tiefere organische Leben der Natur*. pp. I-xviii, [1-4], 1-547, [1]. Leipzig: Verlag von Leopold Voss.

Valvas heteropolares con márgenes convexos. Ápices redondeados, agudos, ligeramente alargados. Área axial recta y estrecha. Rafe filiforme con las fisuras proximales ligeramente redondeadas. Área central rectangular con la presencia de un estigma, opuesto a la estría más corta y aislada del resto. Estrías ligeramente radiadas y punteadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 16.5-46.2 μm ; Ancho de la valva: 7.2-8 μm ; Densidad de estrías: 10-13/10 μm .

Distribución: Papaloapan; Oaxaca, Cuitzeo; Michoacán, Baja California Sur, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Veracruz, Yucatán, Guanajuato, Tehuacán, Puebla, Jalisco, Estado de México, Huasteca, San Luis Potosí, Querétaro, Quintana Roo, Tlaxcala, México; Belice; Jamaica; Nueva Zelanda; Sudáfrica; Montana, EU.

Ambientes y formas de vida: estanques de peces; lagos; ríos; oasis; charcos; cenotes; jales; ambientes mixtos; arroyos; canales; represas; manantiales termales; humedales; aguas termales; cascadas; Planctónica; bentónica; metafítica; epilítica; perifítica; epífita; epipsámica; epipélica; edáfica; termófila.

pH, Conductividad: Aguas ácidas a circumneutras; conductividad moderada a alta.

***Gomphonema hebridense* W. Gregory**

Figura 36

Gregory, W. (1854). Notice of the new forms and varieties of known forms occurring in the diatomaceous earth of Mull; with remarks on the classification of the Diatomaceae. *Quarterly Journal of Microscopical Science* 2: 90-100, pl. IV.

= *Gomphonema vibrio* var. *hebridense* (W. Gregory) Rabenhorst 1864; *Gomphonema lagerheimii* A. Cleve 1895.

Valvas isopolares, lineales lanceoladas ligeramente convexas en el centro. Ápices agudos, redondeados no diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial estrecha, ligeramente lanceolada en el centro. Rafe lateral con las fisuras proximales en forma de gota estrechas entre sí, no se diferencian las distales. Área central pequeña se caracteriza por la presencia de un estigma y un ligero acortamiento de las estrías en ambos márgenes de la valva. Estrías ligeramente radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 51 μm ; Ancho de la valva: 7 μm ; Densidad de estrías: 11/10 μm .

Distribución: Baja California, México, Estados Unidos, China, Rusia, Alemania, Alaska, Irak, Inglaterra.

Formas de vida y ambientes: Bentónica, epipsámica, epífita. Manglares, tapetes microbianos.

Otras características: Se ha observado en ambientes subsalinos a hipersalinos, en cuerpos de agua con un constante movimiento por la acción del viento y contaminados por el uso de fertilizantes

cuya presencia se debe a la escorrentía de los campos agrícolas que los rodean. Manglares (Bahls, 2009; López-Fuerte & Siqueiros-Beltrones, 2016; Kumar & Hosmani, 2010).

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing**

Figura 37 y 94

Kützing, F.T. (1849). *Species algarum*. pp. [i]-vi, [1]-922. Lipsiae [Leipzig]: F.A. Brockhaus.
= *Sphenella párvula* Kützing 1844; *Sphenoneis párvula* (Kützing) Trevisan 1848; *Gomphonella párvula* (Kützing) Rabenhorst 1853; *Gomphonema parvulum* var. *exile* Grunow 1878; *Gomphonema parvulum* var. *lanceolata* Grunow 1880; *Gomphonema parvulum* var. *subcapitata* Grunow 1880; *Gomphonema parvulum* f. *lanceolata* (Grunow) Otto Müller 1905; *Gomphonema parvulum* f. *subcapitata* (Grunow) Otto Müller 1905; *Gomphonema parvulum* var. *curta* R. d' Aubert 1920; *Gomphonema parvulum* f. *semiaperta* Mayer 1928. Valvas heteropolares, márgenes convexos; ápices agudos, redondeados subcapitados. Área axial recta y estrecha. Rafe filiforme con las fisuras proximales ligeramente redondeadas ligeramente distantes entre sí. Área central pequeña, rectangular; presencia de un estigma opuesto a una estría más corta y aislada del resto. Estrías punteadas ligeramente radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 20-40 µm; Ancho de la valva: 5.2-9.2 µm; Densidad de estrías: 11-20/10 µm. MEB: rafe sinuoso, fisuras proximales en forma de gota, ligeramente flexioanadas. Estrías finas copuestas por areolas circulares. Presencia de un estigma, opuesto a la estría más corta en el centro de la valva. Campo poroso apical presente en el polo de apoyo (Fig. 94)

Distribución: Tlaxcala, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Papaloapan; Oaxaca, Cuitzeo; Michoacán, Morelos, Catemaco, Veracruz, Baja California Sur, Texcoco, Estado de México, Guanajuato, Tehuacán, Puebla, Lago Chapala, Jalisco, Huasteca, San Luis Potosí, Querétaro, Quintana Roo, Michoacán, México; Belice; Jamaica; Nueva Zelanda; Sudáfrica;

Ambientes y Formas de vida: canales; estanques de peces; lagos; ríos; oasis; charcos; manantiales; jales; arroyos; ambientes mixtos; represas; humedales; aguas termales; paredes húmedas; cascadas, sedimentos de lagos; Planctónica; bentónica; epilítica; epífita; metafítica; perifítica; metafítica; epipélica; epipsámica; edáfica; termófila.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: Circumneutral (principalmente en valores cercanos a 7), oligohalobia, heterótrofa facultativa necesita periódicamente elevadas concentraciones de nitrógeno orgánico disuelto, alfa mesosaprobico/polisaprobico, eutrófica. Ambientes con amplios intervalos de conductividad.

Otras características: Bajo requerimiento de oxígeno (30% de saturación), Indiferente al calcio y al hierro. Mejor desarrollada en aguas ricas en nutrientes particularmente en aguas con contenido de desechos sanitarios o agrícolas. En aguas estancadas, aguas-cenote, indiferente al calcio y al hierro.

***Gomphonema truncatum* Ehrenberg**

Figura 38

Ehrenberg, C.G. (1832). Über die Entwicklung und Lebensdauer der Infusionsthier; nebst fernerer Beiträgen zu einer Vergleichung ihrer organischen Systeme. *Abhandlungen der*

Königlichen Akademie Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse 1831: 1-154, pls I-IV.

= *Gomphonema acuminatum* var. *constrictum* (Kützing) W. Caruthers 1864; *Gomphonema constrictum* var. *truncatum* (Ehrenberg) Gutwinski 1887; *Gomphonema constrictum* var. *truncatum* (Ehrenberg; Ehrenberg) Gutwinski 1888.

Valvas heteropolaes bi-onduladas con el ápice apical agudo y el basal obtuso constreñido. Área axial recta y estrecha. Rafe filiforme con las fisuras proximales ligeramente redondeadas. Área central en forma de moño con dos o tres estrías más cortas que el resto; presencia de un estigma.

Largo de la valva: 32.3 µm; Ancho de la valva: 9 µm; Densidad de estrías: 12/10 µm.

Distribución: Hidalgo, México central; Morelos, Tehuacán, Puebla, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F.; Huasteca, San Luis Potosí, Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Quintana Roo, Estado de México, Guanajuato, México; EU; Europa Central; Rio Grande do Sul, Brasil; África.

Ambientes y formas de vida: Ríos; canales; lagos; arroyos; aguas corrientes y estancadas; humedales; cenotes; charcos; presas; jales, oligo a mesotermal, sedimentos de lagos; Litoral; planctónica; epilítica; epipélica; perifítica; bentónica; metafítica; epífita.

pH, Salinidad, Nivel trófico, Conductividad: Aguas circumneutras; alcalífila. Oligohalobia, de condiciones oligosaprobias a betamesosaprobias; beta mesosapróbica; prefiere aguas de contenido de nutrientes bajo a moderado; oligo, meso a eutrófica, soporta aguas contaminadas. Aguas con alta conductividad.

Familia: Rhoicospheniaceae
Rhoicosphenia Grunow

Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot

Figura 39-40

Lange-Bertalot, H. (1980). Ein Beitrag zur Revision der Gattungen *Rhoicosphenia* Grun., *Gomphonema* C. Ag., *Gomphoneis* Cl.. *Botaniska Notiser* 133: 585-594.

= *Gomphonema rotundatum* Ehrenberg 1830; *Gomphonema curvatum* Kützing 1833; *Rhoicosphenia curvata* (Kützing) Grunow 1860; *Rhoicosphenia curvata* var. *major* Cleve 1895; *Rhoicosphenia curvata* var. *subacuta* M.Schmidt 1899.

Valvas heteropolaes, claviformes con márgenes convexos. Ápices redondeados a puntiagudos no distinguibles del cuerpo de la valva. Área axial recta y estrecha. La rafe es filiforme con las fisuras proximales en forma de gota sin ninguna curvatura, fisuras distales no visibles. Área central pequeña y redonda. Estrías anchas ligeramente radiadas. Septos visibles en los polos. En vista cingular valvas angulares. Largo de la valva: 23-31 µm; Ancho de la valva: 7µm.

Distribución: Tehuacán, Puebla, Papaloapan; Oaxaca, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Quintana Roo, Texcoco, Estado de México, Cuitzeo; Michoacán, Catemaco, Veracruz, Guanajuato, México; Murcia, España especie común en Norteamérica y Europa central, parece ser rara y aún ausente en las regiones tropicales.

Ambientes y formas de vida: Agua corriente; en varios biomas; manantiales; cascadas; charcos; lagos; arroyos; canales; ambientes mixtos; estanques; ríos; humedales; cenotes; lagos, cráter; perifítica; subaérea; epilítica; epipélica; epipsámica; metafitica; planctónica epífita; perifítica; metafitica; epilítica; bentónica.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: Aguas ácidas a alcalinas; Aguas salobres; puede mostrar un fuerte desarrollo en aguas salinas; Aguas con conductividad alta; Alfa y beta mesosaprobio.

Otras características: evita aguas con bajo contenido de electrolitos baja a moderada, fuerte desarrollo en aguas con altas concentraciones de Ca.

Orden: Naviculales

Familia: Diadesmidaceae

***Diadesmis* Kützing**

***Diadesmis confervacea* Kützing**

Figura 41

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.

Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

= *Navicula confervacea* (Kützing) Grunow 1880; *Diadesmis confervaceoides* Lange-Bertalot & U.Rumrich 2000.

Valvas elíptico-lanceoladas con ápices rostrados. En algunos ejemplares son poco diferenciados del cuerpo de la valva. La rafe es recta, fisuras proximales en forma de gota sin presencia de alguna curvatura, muy separadas entre sí. Área central amplia, circular y con la presencia de un nódulo. Las estrías son radiales a lo largo de la valva, se observan punteadas, en el centro de la valva son cortas y conforme se acercan a los polos se van alargando un poco más. Largo de la valva: 14-21 µm; Ancho de la valva: 6-9 µm; Densidad de estrías: 22/10 µm.

Distribución: Quintana Roo, Baja California Sur, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Estado de México, Guanajuato, Tehuacán, Puebla, México; Islas Guadalupe.

Ambientes y formas de vida: Cenotes; humedales; charcos; oasis; lagos; ríos; arroyos; canales; ambientes mixtos; perifítica; planctónica; epilítica; metafitica; epipélica; bentónica.

pH, alcalinidad y conductividad: Aguas ligeramente ácidas a alcalinas, conductividad media a elevada.

***Luticola* D.G. Mann**

***Luticola goeppertiana* (Bleisch) D.G. Mann**

Figura 42

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

= *Navicula mutica* f. *goeppertiana* Bleisch 1861; *Navicula goeppertiana* (Bleisch) H.L. Smith; Smith, H.L. (1876-1888). *Diatomacearum Species Typicae. Centuries I-VI, numbers 1-600; supplement numbers 601-750*. Boston: Stodder; *Navicula mutica* var. *goeppertiana* (Bleisch) Grunow; Grunow, A. (1880). Bemerkungen zu den Diatomeen von Finnmark, dem Karischen Meere und vom Jenissey nebst Vorarbeiten für Monographie der Gattungen *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Pleurosigma*, *Amphiprora*, *Plagiotropis*, *Hyalodiscus*, *Podosira* und einiger *Navicula*-Gruppen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, ser. 4* 17(2):

16-121; pl.I-VII; *Placoneis mutica* var. *goeppertiana* (Bleisch) Mereschkowsky; Mereschkowsky, C. (1903). Uber *Placoneis*, ein neues Diatomeen-Genus. *Beihefte zum Botanischen Centralblatt* 15(1): 1-30, pl.1.

Valvas lanceoladas con ápices agudos poco diferenciables del cuerpo de la valva. Área axial estrecha ligeramente lanceolada. La rafe es recta con las fisuras proximales y distales curvadas hacia el mismo lado. Área central amplia en forma de reloj de arena distinguible por la presencia de 4 areolas en cada lado del margen de la valva y la presencia de un estigma del lado contrario hacia donde se curvas las fisuras de la rafe. Estrías punteadas y radiales a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 24-30µm; Ancho de la valva: 8-8.5µm; Densidad de estrías: 20-22/10 µm.

Distribución: Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Tehuacán, Puebla, Oaxaca, México; Santos, Brasil.

Ambientes y formas de vida: Arroyo; cenotes; charcos; lagos; ríos; canales; estanque; ambientes mixtos, sedimentos de lagos; metafitica; perifítica; epilítica; epipsámica; epipélica; epífita; edáfica; planctónica; bentónica.

pH y Conductividad: Aguas ácidas a alcalinas, conductividad moderada a elevada.

***Luticola mutica* (Kützing) D.G. Mann**

Figura 43

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

= *Navicula mutica* Kützing 1844; *Schizonema muticum* (Kützing) Kuntze 1898; *Placoneis mutica* (Kützing) Mereschkowsky 1903; *Navicula mutica* (Kützing) Frenguelli 1924.

Valvas elíptico-lanceoladas. Ápices redondeados no distinguibles del cuerpo de la valva. Área axial recta y estrecha. La rafe es recta con las fisuras proximales curvadas hacia el mismo lado al igual que las fisuras distales. El área central es amplia con forma de reloj de arena, se distingue por la presencia de dos a tres estrías muy pequeñas a cada lado del margen, así como también de la presencia de un estigma del lado contrario de donde se curvan las fisuras proximales. Estrías delgadas, punteadas y radiales a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 11-12µm; Ancho de la valva: 5-6µm; Densidad de estrías: 21-22/10 µm.

Distribución: Tehuacán, Puebla, Oaxaca, Estado de México, Michoacán, Quintana Roo, Guanajuato, Veracruz, México.

Ambientes y formas de vida: Canales; arroyos; ríos, estanques; charcos; lagos; manantiales termales; laguna costera, sedimentos de lagos; Epipsámica; epilítica; epífita; epipélica; planctónica; aerófila; bentónica; perifítica.

Salinidad: Halófila

Familia: Diploneidaceae

***Diploneis* Ehrenberg**

***Diploneis pseudovalis* Hustedt**

Figura 44

Hustedt, F. (1930). Bacillariophyta (Diatomeae) Zweite Auflage. In: *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas. Heft 10.* (Pascher, A. Eds), pp. [i]-vii, [1]-466. Jena: Verlag von Gustav Fischer.

Valvas elíptico-lanceoladas con apices redondeados no diferenciados. Área axial estrecha y recta delimitada por areolas que constituyen las estrias. Rafe recto con fisuras proximales ligeramente engrosadas, fisuras distales no se diferencian. Área central bien delimitada, circular, ligeramente abultada. Estrias radiadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 13.86 µm; Ancho de la valva: 6 µm; Densidad de estrias: 20/10 µm.

Distribución: México central; Texcoco, Estado de México, Tehuacán, Alchichica, Puebla, Baja California Sur, Guanajuato, Oaxaca, México; Louisiana EU; Europa Central, Sudafrica.

Ambientes y formas de vida: Marismas; sedimentos fósiles de lago; arroyos; ríos; canales; estanques; oasis; jales; lagos maars; eutérmica; Epipélica; epilítica; epífita; edáfica; planctónica.

pH, Salinidad: Alcalífila, oligohalobia, eurihalobia; sólo en aguas salobres.

Familia: Naviculaceae

Eolimna Lange-Bertalot & Schiller

Eolimna subminuscula (Manguin) Gerd Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin **Figura 45**

Moser, G., Lange-Bertalot, H. & Metzeltin, D. (1998). Insel der Endemiten Geobotanisches Phänomen Neukaledonien (Island of endemics New Caledonia - a geobotanical phenomenon). *Bibliotheca Diatomologica* 38: 1-464.

= *Navicula subminuscula* Manguin, E. (1942). Contribution à la connaissance des Diatomées d'eau douce des Açores. *Travaux Algologiques, Sér. 1. Muséum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Cryptogamie 2:* 115-160.

Valvas elíptico-lanceoladas con ápices agudos a redondeados. Área axial estrecha. La rafe es recta con las fisuras proximales distantes entre sí, no se observa ninguna curvatura en ellas, (es posible que la distancia se deba a la presencia de un nódulo central). En microscopia de luz es difícil observar las características de la rafe. Área central no diferenciable. Las estrias son radiadas a paralelas a lo largo de toda la valva, son largas en el centro y conforme se acercan a los polos disminuyen su tamaño, delimitando muy bien el área axial, en la mayoría de los ejemplares la base de la estria es ancha y conforme crece termina en punta. Largo de la valva: 6-7µm; Ancho de la valva: 3-5µm; Densidad de estrias: 18-22/10µm. MEB: Vista interna. La rafe es recta con las fisuras proximales muy distantes entre sí. Las estrias están formadas por areolas circulares de 3 a 5, las areolas que se encuentran en el margen son más alargadas que el resto.

Geissleria Lange-Bertalot & Metzeltin

Geissleria tagensis Novais & Ector

Figura 46

Novais, M.H., Wetzel, C.E., Van de Vijver, B., Morais, M.M., Hoffman, L. & Ector, L. (2013). New species and combinations in the genus *Geissleria* (Bacillariophyceae). *Cryptogamie Algologie* 34(2): 117-148.

Valvas linear-elípticas con ápices ampliamente redondeados. Área axial recta y estrecha. Rafe recto con fisuras proximales distantes entre sí. Área central pequeña, en forma de moño; se caracteriza por la presencia de una estria aislada ligeramente más corta que el resto; ausencia de estigma. Estrias radiadas en el centro de la valva, en los ápices se observan ligeramente opuestas. Presencia de annulos

en ambos polos. Largo de la valva: 11-13 μm ; Ancho de la valva: 4-5 μm ; Densidad de estrías: 18/10 μm .

Distribución: Francia; Río Tagus, Portugal; (Guiry 2017) Xochimilco, Tláhuac, México

Ambientes y Formas de vida: Se ha observado en ríos de baja velocidad de corriente y pobremente mineralizados, en ambientes con una saturación de oxígeno de 72.5% a 93.3% (Novais *et al.*, 2013); Epilítica

pH, temperatura y conductividad: Ambientes ácidos a ligeramente alcalino (6.2-7.7); intervalo de temperatura 18.1-21.2; conductividad moderada (280-718 $\mu\text{mS cm}^{-1}$) (Novais *et al.*, 2013).

Hippodonta Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski

Hippodonta hungarica (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski **Figura 47**

Lange-Bertalot, H., Metzeltin, D. & Witkowski, A. (1996). *Hippodonta* gen. Nov. Umschreibung und Begründung einer neuer Gattung der Naviculaceae. *Iconographia Diatomologica* 4: 247-275.

= *Navicula hungarica* Grunow 1860; *Navicula viridula* var. *hungarica* (Grunow) Peragallo & Peragallo 1897; *Navicula capitata* var. *hungarica* (Grunow) R. Ross 1947; *Navicula humilis* Donkin 1872; *Navicula hungarica* var. *humilis* (Donkin) Gutwinski 1899; *Navicula hungarica* f. *humilis* (Donkin) Cleve 1953.

En vista valvar. Valvas elíptico-lanceoladas con ápices redondeados; en ambos polos se observa una zona hialina. Área axial estrecha y lanceolada. Rafe recto, fisuras proximales en forma de gota, estrechas entre si. Área central pequeña con la característica de presentar una estría pequeña y aislada del resto en ambos márgenes de la valva. Estrías gruesas, radiadas en el centro a paralelas en los polos. Largo de la valva: 26.5-33 μm ; Ancho de la valva: 6.6 μm ; Densidad de estrías: 8/10 μm .

Distribución: Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Estado de México, Puebla, México;

Ambientes y Formas de vida: Cenotes; lagos; charcos; ríos; canales, sedimentos de lagos;

Perifítica; metafítica; epilítica, aerófila; bentónica.

pH, Salinidad, Conductividad: Aguas ligeramente ácidas a neutras, Mesohalobia, conductividad baja.

Navicula Bory de St. Vincent

Navicula cryptocephala (Kützing) Rabenhorst

Figura 48

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

= *Navicula cryptocephala* var. *lancettula* (Schumann) Grunow, 1880; *Navicula cryptocephala* var. *subsalina* Hustedt, 1925; *Navicula lancettula* Schumann, 1867.

Valvas lanceoladas con ápices redondeados, rostrados, poco diferenciados del cuerpo de la valva.

Área axial estrecha y recta, ligeramente convexa en el centro. La rafe es recta con las fisuras proximales en forma de gota, rectas. Fisuras distales en forma de gancho. Área central transversal-rectangular. Estrías pteadas ligeramente radiadas en el centro de la valva a paralelas en los ápices. Las estrías centrales se caracterizan por ser más pequeñas que el resto, comúnmente dos de cada

lado del margen de la valva. Largo de la valva: 17-36 μ m; Ancho de la valva: 5-7 μ m; Densidad de estrías: 13-17/10 μ m.

Distribución: Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Cantera Oriente; Xochimilco; D.F., Huasteca, San Luis Potosí, Texcoco, Estado de México, Oaxaca, Veracruz, Papaloapan; Guanajuato, Tehuacán, Puebla, México; Bremen, Alemania; Mts. Tatra, Polonia; Ontario, Canadá; Arabia Saudita; Islas Guadeloupe; Illinois, Michigan, Montana, EU; Nueva Zelanda; Sudáfrica.

Ambientes y Formas de vida: lagos; ríos; pozas de ríos; canales; musgos; charcos; ambientes subaéreos; aguas termales 36°C; cascadas; arroyos; estanques; lago calcáreo; manantiales; canales; suelo húmedo; jales; ambientes mixtos; aguas termales; paredes húmedas, sedimentos de lagos; Planctónica; bentónica; perifítica; metafítica; epilítica; epífita subaérea; epífita; edáfica; epipsámica; epipélica; termófila.

pH, Salinidad, Conductividad: alcalífila; oligohalobia, conductividad baja, corriente alta.

Navicula veneta Kützing

Figura 49

Kützing, F.T. (1884). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.
= *Navicula cryptocephala* var. *veneta* (Kützing) Rabenhorst 1864; *Navicula cryptocephala* f. *veneta* (Kützing) Hustedt 1957; *Navicula lancettula* Schumann 1867; *Navicula cryptocephala* var. *lancettula* (Schumann) Grunow 1880; *Navicula cryptocephala* var. *subsalina* Hustedt 1925.

Valvas linear-lanceoladas con ápices subrostrados. Área axial recta y estrecha. Rafe recto con las fisuras proximales ligeramente redondeadas cercanas entre si, fisuras distales en forma de hoz. Área central pequeña ligeramente lanceolada. Estrías radiadas en el centro a paralelas en los polos. Estrias de 1 a 2 más cortas que el resto en el centro de la valva. Largo de la valva: 17-30 μ m; Ancho de la valva: 5-7 μ m; Densidad de estrías: 13-15/10 μ m.

Distribución: Tehuacán, Puebla, Oaxaca, Papaloapan; México Central; Baja California Sur, Xochimilco, D.F., Texcoco; Estado de México, Michoacán, Guanajuato, México; Inglaterra; Europa Central; África Oriental.

Ambientes y formas de vida: Ríos; manantiales; cascadas, corrientes; charcos; arroyos; canales; ambientes mixtos; estanques; lagos; oasis; jales, sedimentos de lagos; Bentónica; perifítica; epipsámica; subaérea; planctónica; edáfica; epífita; epilítica; epipélica; metafítica.

pH y conductividad: Aguas neutras a ligeramente ácidas, con conductividad alta hasta salobre, en Europa central esta especie muestra una inclinación a las aguas con mayor cantidad de electrolitos y es resistente a la contaminación.

Familia: Pinnulariaceae

Pinnularia

Pinnularia abaujensis var. *linnearis* (Hustedt) R. M. Patrick

Figura 50

Patrick, R.[M.] & Reimer, C.W. (1966). The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Volume 1: Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Naviculaceae. *Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 13: 1-688.

= *Pinnularia gibba* var. *linearis* Hustedt

Valvas lineales alargadas con ápices rostrados poco diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial estrecha en los ápices amplia conforme se acerca al centro. Rafe filiforme con las fisuras proximales en forma de gota ligeramente flexionadas hacia el mismo lado; fisuras distales en forma de hoz. Área central amplia y transversal con ausencia de estrías, se extiende hasta el margen de la valva. Estrías gruesas y radiadas a lo largo de toda la valva, en los ápices se observan largas en el centro más cortas. Largo de la valva: 63.80 µm; Ancho de la valva: 9 µm; Densidad de estrías: 11/10 µm.

Distribución, Temperatura, pH: Especie cosmopolita, se ha observado en aguas sin movimiento, prefiere agua con bajo contenido de electrolitos, ditrófica, altas temperaturas y valores de pH bajos (Krammer & Lange-Bertalot, 1986; Rosén *et al.*, 2000).

Familia: Sellaphoraceae

Fallacia (Kützing) A.J. Stickle & D.G. Mann

Fallacia pygmaea (Kützing) A.J. Stickle & D.G. Mann

Figura 51

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

= *Navicula pygmaea* Kützing, 1849; *Schizonema pygmaeum* (Kützing) Kuntze, 1898; *Lyrella pygmaea* (Kützing) Makarova & Karajeva, 1987.

Valvas elíptico-lanceoladas con ápices redondeados no diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial estrecha y recta. Rafe recto con fisuras proximales en forma de gota, las fisuras distales no se distinguen. Este género se caracteriza por una superficie hialina en forma de lira a cada lado del área axial la cual contiene un área central. Estrías opuestas finamente punteadas. Largo de la valva: 20 µm; Ancho de la valva: 7.2 µm; Densidad de estrías: 30/10 µm.

Distribución: Yucatán, Quintana Roo, Baja California Sur, Estado de México, Guanajuato, Tehuacán; Puebla, Xochimilco, Tláhuac, D.F., México; Guyana; Belice; Jamaica.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; cenote; oasis; charcos; canales; lagos; humedales, sedimentos de lagos; perifítica; epilítica; epífita; edáfica; planctónica; bentónica.

pH, Salinidad, Conductividad: Aguas ácidas a neutras, Mesohalobia; conductividad moderada a elevada.

Sellaphora Mereschkowsky

Sellaphora pseudoventralis (Hustedt) Chudaev & Gololobova

Figura 52

Chudaev, D.A. & Gololobova, M.A. (2015). *Sellaphora smirnovii* (Bacillariophyta, Sellaphoraceae), a new small-celled species from Lake Glubokoe, European Russia, together with transfer of *Navicula pseudoventralis* to the genus *Sellaphora*. *Phytotaxa* 226(3): 253-260.

= *Navicula pseudoventralis* Hustedt 1953; *Naviculadicta pseudoventralis* (Hustedt) Lange-Bertalot 1994.

Valvas elíptico-lanceoladas con ápices ampliamente rostrados. Área axial recta y estrecha. Rafe recto con las fisuras proximales distantes entre sí. Área central amplia, rectangular con la presencia de una estría más corta y aislada del resto. Estrías radiadas finamente punteadas a lo largo de la valva. Largo de la valva: 8.6-13.2 μm Ancho de la valva: 4-5 μm ; Densidad de estrías: 18-20/10 μm .

Distribución: Cosmopolita, México central, Xochimilco, Tláhuac, D.F., México; Inglaterra, Alemania, Polonia, Rumania, Eslovaquia, Norte América, Colombia, Kenya, Australia, Francia (Guiry & Guiry, 2017).

Ambientes, formas de vida y Nivel trófico: Canales, lagos; Epifita, bentónica. Común en lagos oligo a mesotróficos con un contenido variable de electrolitos y bajo contenido mineral (Chudaeu & Gololobova, 2015; Yanin *et al.*, 1986).

***Sellaphora laevissima* (Kützing) D.G. Mann**

Figura 53

Mann, D.G. (1989). The diatom genus *Sellaphora*: separation from *Navicula*. *British Phycological Journal* 24: 1-20, 58 figs, 1 table.

= *Navicula laevissima* Kützing 1844

Valvas lineales con ápices ampliamente redondeados no diferenciables del cuerpo de la valva. Área axial estrecha y recta. La rafe es filiforme con las fisuras proximales ligeramente curvadas hacia el mismo lado. Fisuras distales no visibles. Área central pequeña y circular delimitada por estrías más cortas en el centro de la valva. Estrías ligeramente radiadas. Largo de la valva: 37-49 μm ; Ancho de la valva: 10.06 μm ; Densidad de estrías: 20/10 μm .

Distribución: Quintana Roo, Cantera Oriente, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Tehuacán, Puebla, Guanajuato, México; Belice; Jamaica.

Ambientes y formas de vida: Charcos; cenotes; humedales; ambientes mixtos; agos; ríos; canales; perifítica; metafítica; planctónica; epipélica; epilítica; bentónica;

Salinidad: Indiferente.

***Sellaphora pupula* (Kützing) Mereschkovsky**

Figura 54

Mereschkowsky, C. (1902). On *Sellaphora*, a new genus of diatoms. *Annals and Magazine of Natural History* Ser. 7, 9: 185-195.

= *Navicula pupula* Kützing; Kützing, F.T. (1844). *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

Valvas lanceoladas con ápices rostrados, redondeados, presencia de pseudoseptos apicales. Área axial recta y estrecha. La rafe es recta con las fisuras proximales en forma de punto sin ninguna curvatura observable. El área central es transversal en forma de moño sin llegar a tocar los márgenes. Las estrías son muy finas radiadas en el centro de la valva a paralelas en los polos. En el centro las estrías se caracterizan por ser más cortas que el resto. Largo de la valva: 36-42.2 μm ; Ancho de la valva: 9.2 μm ; Densidad de estrías: 27/10 μm .

Distribución: Zirahuén; Michoacán, Quintana Roo, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Tabasco, Tlaxcala, Estado de México, Baja California Sur, Guanajuato, Tehuacán; Puebla, Oaxaca, México; Belice; Jamaica.

Ambientes y formas de vida: Lagos; cenotes; charcos; humedales; ríos; canales; oasis; charcos; lagos cráter; arroyos; represas, sedimentos de lagos; planctónica; bentónica; perifítica; metafitica; epífita; plocónica; epilítica; edáfica; epipélica.

pH, Salinidad, conductividad: Aguas ligeramente ácidas a alcalinas, salinidad Indiferente, conductividad baja a moderada, indiferente a la corriente.

Familia: Stauroneidaceae

***Craticula* Grunow**

***Craticula halophila* (Grunow) D.G. Mann**

Figura 55

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. pp. i-xi, 1-747. Cambridge: Cambridge University Press.

Valvas lanceoladas con ápices rostrados alargados (claramente diferenciados del cuerpo de la valva). Área axial recta y estrecha. La rafe es recta con las fisuras proximales muy cercanas entre si y rectas. En microscopía de luz es compleja su observación. El área central es pequeña y circular.

Las estrías paralelas entre si casi difícil de observar en microscopía de luz. Largo de la valva: 16.5-27 µm; Ancho de la valva: 4.6-6µm; Densidad de estrías: no se diferencian en microscopía de luz.

Distribución: Estado de México, Xochimilco, Tláhuac, Ciudad de México, Puebla, Michoacán, México.

Ambientes y Formas de vida: Presas; canales; lagos; charcos; ambientes mixtos; canales; ríos; perifítica; plocónica; metafitica; epilítica; epipélica; planctónica; bentónica.

Salinidad: Mesohalobia

***Stauroneis* Ehrenberg**

***Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg**

Figura 56

Ehrenberg, C.G. (1843). Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd-und Nord Amerika. *Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1841: 291-466, pls 1-4.

= *Bacillaria phoenicenteron* Nitzsch 1817, *Cybella phoenicenteron* (Nitzsch) C.Agardh 1830, *Navicula phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg 1836, *Schizonema phoenicenterum* (Ehrenberg) Kuntze 1898.

Valvas lanceoladas con ápices redondeados, agudos, poco diferenciables del cuerpo de la valva.

Área axial recta y estrecha. La rafe es recta con las fisuras proximales en forma de gancho. El área central es un estauo estrecho, rectangular, perpendicular al eje apical que se extiende hasta los márgenes de la valva. Estrías muy finas ligeramente radiadas formadas por areolas redondas evidentes. Largo de la valva: 65.74 µm; Ancho de la valva: 11 µm; Densidad de estrías: 20/10 µm.

Distribución: Cosmopolita; Hidalgo, Pátzcuaro, Michoacán, México central; Texcoco; Estado de México, Huasteca, San Luis Potosí, Lago Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Quintana Roo, Tláhuac,

Xomilco, Tlaxcala, México; Murcia, España; Córdoba, Argentina; cosmopolita; Carolina del Norte; Colorado; Illinois, EU; Goiás, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Brasil; Bavaria; Bremen, Nowy Sacs, Mts. Inglaterra, RU Tatra; Rio Sola, Polonia; Austria; Cuba; Lima, Ancash, Junin, Pasco, Perú; Laguna Negra, Venezuela; Islas Guadalupe; India, África.

Ambientes y formas de vida: ríos; corrientes; charcos; cursos de agua dulce alcalina no contaminada; prefiere aguas someras especialmente de lagos eutróficos; sedimentos fósiles de lago;, indiferente a la corriente, estanques; Aguas termales, laguna, estanques; lagos alpinos; puesta de rana; represa; pozas y plataformas con corriente fuerte, arroyos cenotes; humedales; estuario; pozas de rios; dominante en aguas eutróficas lago calcáreo, alcalino; entre macrofitas, perifítica; termófila; planctónica; endozoica metafitica; epilítica.

pH y Conductividad, Nivel trofico: pH, de 6 a 8.2, Oligohalobia; conductividad moderada; Eutrófica a oligotrófica, vive en aguas contaminadas.

Orden: Thalassiophysales

Familia: Catenulaceae

Amphora Ehrenberg

Amphora copulata (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald

Figura 57

Schoeman, F.R. & Archibald, R.E.M. (1986). Observations on *Amphora* species (Bacillariophyceae) in the British Museum (Natural History). V. Some species from the subgenus *Amphora*. *S. Afr. J. Bot.* 52: 425-437. = *Frustulia copulata* Kützing

Valvas semi-lanceoladas con el margen dorsal convexo y el ventral ligeramente abultado en el centro. Ápices redondeados, agudos. Área axial estrecha; rafe arqueado con las fisuras proximales ligeramente redondeadas y flexionadas hacia el margen dorsal. El área central se caracteriza por la presencia de una fascia (zona carente de estrías) tanto dorsal como ventral. Estrías radiadas en el centro a paralelas en los polos. Largo de la valva: 30 µm; Ancho de la valva: 6.6 µm; Densidad de estrías: 13-15/10 µm.

Distribución: Huasteca, San Luis Potosí, Yucatán, Quintana Roo, Cantera Oriente, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Morelos, Baja California Sur, Estado de México, Guanajuato, México; Belice; Jamaica; Argentina, Europa, Holanda, África.

Ambientes y formas de vida: Cenotes; humedales; ríos; canales; oasis; lagos; charcos, sedimentos de lagos; Perifítica; planctónica; epífita; epilítica; metafitica; bentónica.

pH: Alcalífila, Eurihalobia, conductividad alta, Eutrófica.

Halamphora (Cleve) Levkov

Halamphora coffeaeformis (Agardh) Levkov

Figura 58

Levkov, Z. (2009). *Amphora sensu lato*. In.: H. Lange-Bertalot (ed.), *Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 5 pp. 5-916.: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

= *Frustulia coffeaeformis* Agardh; Agardh, C.A. (1827). Aufzählung einiger in den österreichischen Ländern gefundenen neuen Gattungen und Arten von Algen, nebst ihrer Diagnostik und beigefügten Bemerkungen. *Flora* 10(40): 625-640; *Amphora coffeaeformis* (Agardh) Kützing; Kützing, F.T. (1844). *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

Valvas dorsiventrales. Ápices alargados, subcapitados. El área axial es estrecha ligeramente cóncava. La rafe se encuentra cerca del margen ventral con las fisuras proximales en forma de gota y las fisuras distales dirigidas dorsalmente. Área central no diferenciable. Estrías dorsales radiadas, delgadas a lo largo de toda la valva, sin diferenciación en las centrales como en el caso de *H. veneta*. Las estrías ventrales son difíciles de observar en microscopia de luz. Largo de la valva: 27-33µm; Ancho de la valva: 6-7.5 µm; Densidad de estrías: 17-22/10µm.

Distribución: Tehuacán, Puebla, Oaxaca, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Michoacán, México.

Ambientes y formas de vida: ríos; canales; arroyos; charcos; estanques; ambientes mixtos; lagos; edáfica; epipsámica; epífita; epilítica; epipélica; planctónica; bentónica; perifítica.

pH, Salinidad, Nivel trófico, Temperatura: Alcalífila principalmente en pH >7, Mesohalobia, Alfa mesosaprobio, eutrófico. Mesooxibiontica. Especie mesotermal.

Otras características: tolerante a elevadas concentraciones de nitrógeno orgánico disuelto, requerimiento moderado de oxígeno (50% de saturación).

***Halumphora veneta* (Kützing) Levkov**

Figura 59 y 95-96

Levkov, Z. (2009). *Amphora sensu lato*. In.: *H. Lange-Bertalot (ed.), Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*. Vol. 5 pp. 5-916.: A.R.G. Gantner Verlag K.G.

= *Amphora veneta* Kützing; Kützing, F.T. (1844). *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

Valvas dorsiventrales. Ápices rostrados, redondeados, no diferenciados del cuerpo de la valva. Área axial estrecha ligeramente cóncava. La rafe es recta con las fisuras proximales en forma de gota y las fisuras distales dirigidas dorsalmente. Estrías dorsales radiadas punteadas a lo largo de toda la valva con un patrón diferente en las centrales, lo que hace que esa área en específico sea completamente diferenciable. Estrías ventrales no se aprecian claramente. Largo de la valva: 18 µm; ancho de la valva: 5 µm; Densidad de estrías: 26-30/10 µm. MEB: Borde dorsal de la rafe más engrosado que el ventral. Rafe recto posicionado muy cerca del margen ventral. Estrías con areolas elongadas a excepción de las estrías centrales donde son circulares (Figs. 95-96).

Distribución: Tehuacán, Puebla, México central; Texcoco; Estado de México, Quintana Roo, Cantera Oriente; Xochimilco, D.F., Tlaxcala, Cuitzeo, Michoacán, Oaxaca, Veracruz, Papaloapan; Guanajuato, Querétaro, México; Arizona; Florida; EU; Bretaña, Francia; Tucumán, Argentina; Murcia, Ibacete, España; Europa Central; Maharastra, India; África Oriental; Cuba; Puno, Lima, Perú.

Ambientes y Formas de vida: hábitats bien aereados; arroyos; remanso; suelo húmedo; litoral, plantas de tratamiento; pantanos litorales de lagos; cenotes; manantiales; arroyos; lagos; ambientes

mixtos; charcos; represas; estanques; ríos; canales; humedales; jales; manantiales termales, sedimentos de lagos; epífita; perifítica edáfica bentónica; litoral; epipélica, epilítica; edáfica; perifítica; epipsámica; planctónica; metafítica.

pH, Conductividad, Nivel trófico: alcalífila, oligohalobia a Eurihalina; aguas de alta conductividad; alfa- meso y polisapróbicas.

Otras características: aguas duras a moderadamente duras,

Orden: Bacillariales

Familia: Bacillariaceae

***Denticula* Kützing**

***Denticula valida* (Pedicino) Grunow**

Figura 60,61

Heurck, H. van (1882-1885). *Types de Synopsis de Diatomées de Belgique. Serie I-XXII. 550 slides. Déterminations, notes et diagnoses par M.A. Grunow.* pp. 1-118. Anvers.

= *Denticula elegans f. valida* Pedicino; *Eunotia sancti-antonii* Ehrenberg 1854; *Epithemia sancti-antonii* (Ehrenberg) Ralfs 1861; *Denticula elegans var. valida* Pedicino 1867; *Cystopleura sancti-antonii* (Ehrenberg) Kuntze 1891; *Denticula lauta var. valida* (Pedicino) Okuno 1964.

Valvas lineales, lanceoladas, estrechas con ápices agudos; presencia de una ligera constricción en el centro de la valva (de un solo lado). La rafe es marginal con presencia de fibulas alargadas que se extienden hasta el borde contrario de la valva. Estrías punteadas con areolas claramente visibles en microscopia de luz. En vista cingular. Valvas rectangulares con las fibulas capitadas. Largo de la valva: 30-46 µm; Ancho de la valva: 5 µm; Densidad de Fíbulas: 2-4/10 µm; Densidad de estrías: 17-20/10 µm.

Distribución: Huasteca, San Luis Potosí, Quintana Roo, Cuitzeo; Michoacán, Baja California Sur, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Texcoco, Estado de México, Guanajuato, México. Europa Central, Islandia y Norteamérica, Chile; EU.

Ambientes y formas de vida: En aguas tranquilas; arroyos calientes y aguas tibias; ríos; pozas, manantiales termales; humedales; cenotes; charcos; lagos; oasis; lagos cráter; canales. Temperaturas altas hasta hidrotermales; meso a eutermal; perifítica; planctónica; epilítica; metafítica; bentónica.

Conductividad: alta.

***Hantzschia* Grunow**

***Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow**

Figura 62

Cleve, P.T. & Grunow A. (1880). Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar* 17(2): 1-121, 7 pls.

= *Eunotia amphioxys* Ehrenberg 1843; *Nitzschia amphioxys* (Ehrenberg) W. Smith 1853; *Hantzschia amphioxys var. genuina* Grunow 1884; *Homoeocladia amphioxys* (Ehrenberg) Kuntze 1898.

Vista valvar. Valvas dorsiventrales con el margen dorsal convexo y el ventral ligeramente cóncavo.

Ápices redondeados ligeramente alargados. El rafe sigue la simetría hantzschioide, es decir, corre

siempre a lo largo del margen ventral. Fíbulas cuadradas a rectangulares sin una separación equidistante. En el centro de la valva se carece de fibula. Estrías paralelas ligeramente separadas entre sí; no se distinguen las areolas. Largo de la valva: 34 μm ; Ancho de la valva: 5.2 μm ; Densidad de estrías: 27/10 μm ; Densidad de fíbulas: 5/10 μm .

Distribución: Cantera Oriente, Xochimilco; Tláhuac, D.F., Lago de la Luna, Texcoco; Estado de México, Yucatán, Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Quintana Roo, Tlaxcala, Tabasco, Papaloapan; Oaxaca, Baja California Sur, Veracruz, Guanajuato, Tehuacán; Puebla, Querétaro, Guanajuato, México; Cuba; Austria; Puno, Lima, Ancash, Junin, Perú; Bremen, Alemania; Mts. Tatra, Polonia; Ontario, Canadá; Inglaterra, RU; Islas Guadalupe; Illinois, EU; Nueva Zelanda; Sudáfrica.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; lagos; cenotes; humedales; charcos; suelos; canales; suelos alcalinos; euritópica, euritérmica, en aguas frías; aguas termales; musgos; rocas húmedas; ambientes subaéreos; aguas termales 36°C; arroyos; estanques; presas; oasis; jales; ambientes mixtos; suelo seco, sedimentos de lagos; Epilítica; aerófila (condiciones de secas), rupícola, muscicola; planctónica; bentónica; perifítica; metafítica; epipélica; edáfica; epilítica subaérea; epífita subaérea; epipélica; epífita.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: Alcalífila; Oligohalobia; eurihalina; agua dulce y salobre; Moderada a alta; de condiciones fuertemente mesosaprobias a alfa mesosaprobias.

Nitzschia Hassall

Nitzschia amphibia Grunow

Figura 63

Grunow, A. (1862). Die Österreichischen Diatomaceen nebst Anschluss einiger neuen Arten von andern Lokalitäten und einer kritischen Uebersicht der bisher bekannten Gattungen und Arten. *Verhandlungen der kaiserlich-königlichen zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien* 12:315-472 [Abt 1], 545-588 [Abt.2], 7 pls.

= *Bacillaria amphibia* (Grunow) Elmore 1895; *Homoeocladia amphibia* (Grunow) Kuntze 1898.

Valvas linear-lanceoladas con ápices agudos redondeados. Rafe marginal (simetría nitzschioide) con un nódulo central visible. Fíbulas triangulares, la mayoría coincidiendo con una estría. Estrías delgadas, finamente punteadas, perpendiculares a los márgenes de la valva. Largo de la valva: 16.5-33 μm ; Ancho de la valva: 3.3-4.6 μm ; Densidad de estrías: 16-19/10 μm ; Densidad de fíbulas: 9-10/10 μm .

Distribución: Tehuacán, Puebla, Pátzcuaro, Michoacán, ampliamente distribuida en los EU templados; Zirahuén, Michoacán, México central; Texcoco, Estado de México, Huasteca, San Luis Potosí, Oaxaca, Papaloapan; Morelos, Yucatán, Lago Chapala, Jalisco, Michoacán, Quintana Roo, Yucatán, México; Murcia, España; Europa Central; Bretaña, Francia; Camagüey, Cuba; Inglaterra, RU Córdoba, Argentina; Polonia; Maharashtra, India; URSS; Arizona; Florida; EU; Lima; Puno, Ancash, Huanuco, Perú; cosmopolita; Goiás, Rio Grande do Sul, Brasil; Austria; África.

Ambientes y formas de vida: Ríos y aguas corrientes; riberas de cursos de agua dulce; remansos canal de riego; sobre musgos; en áreas someras de lagos; suelo; sedimentos fósiles de lago; aguas estancadas; pantanos litorales de lagos; paredones; cenotes; aguas termales; suelo húmedo; plantas sumergidas; indiferente a la corriente; lagos; estanques y corrientes; laguna; manantiales; arroyos; cascadas, desarrollo masivo en zonas de nivel de agua variable; canales; charcos; En bromelias; bentónica; perifítica; edáfica; metafítica; epífita; litoral; epipélica; epilítica; planctónica; subaérea, epipsámica.

pH y Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: Alcalifila, óptimo ligeramente sobre 8.5; Oligohalobionte; a levemente salobres conductividad alta; aguas no contaminadas, Heterótrofa facultativa para el nitrógeno; eutrófica; mesosapróbica, mesooxibióntica.

Otras características: aguas muy duras, oligotérmica a mesotérmica.

Nitzschia communis Rabenhorst

Figura 64

Rabenhorst, L. (1848-1860). *Die Algen Sachsens*. Resp. Mittel-Europa's Gesammelt und herausgegeben von Dr. L. Rabenhorst, Dec. 1-100. No. 1-1000. [Exsiccata, issued at various dates]. . Dresden.

Valvas linear lanceoladas con ápices anchos y redondeados, poco diferenciados del cuerpo de la valva. La rafe es marginal sin un nódulo central visible. Fíbulas cortas, rectangulares y anchas. Las estrías difícilmente visibles en microscopia de luz. Largo de la valva: 18-30µm; Ancho de la valva: 4-5µm; Densidad de fíbulas: 12-13/10µm.

Distribución: México central; Texcoco, Estado de México, Tehuacán, Puebla, Quintana Roo, Cantera Oriente, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Baja California Sur, Oaxaca, Guanajuato, México; Arizona, Montana, EU; cosmopolita; Europa Central; Bretaña, Francia; RU; Ontario, Canadá; Islas Guadalupe; Nueva Zelanda. Polonia.

Ambientes y formas de vida: Lagos; lagos de profundidad moderada; cenote; aguas termales; arroyos; canales; ríos; ambientes mixtos; suelos calcáreos no deficientes en nutrientes; humedales; cenotes; charcos; oasis; aguas estancadas o corrientes; Bentónica; litoral; epipélica; epífita; planctónica; edáfica; perifítica; metafítica; epilítica.

pH, Salinidad, Nivel trófico: Alcalifila, óptimo 8; Aguas salobres; oligohalobia, Mesosapróbica.

Otras características: indiferente a la corriente, heterótrofa obligada del nitrógeno, mesooxibióntica.

Nitzschia frustulum (Kützing) Grunow

Figura 65-66 y 97

Cleve, P. T. & Grunow, A. (1880). Beiträge zur kenntniss der arctischen Diatomeen. Kongl. Svenska Vetensk.-Akad. Handl. Ser. 4 17(2): 1-121, 7 pl.

= *Synedra frustulum* Kützing; Kützing, F.T. (1844). *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne; *Nitzschia austriaca* Hustedt; Hustedt, F. (1959).

Die Diatomeenflora des Salzlackengebietes im österreichischen Burgenland. *Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Mathematische und Naturwissenschaftliche, Kl. Abt. 1*, 168(4/5): 387-452, 1pl.

Valvas elíptico-lanceoladas con ápices agudos ligeramente alargados. La rafe es marginal con un nódulo central visible. Fíbulas cortas y anchas, abarcando dos estrías por fibula. Las estrías finamente punteadas perpendiculares a los márgenes de la valva. Largo de la valva: 9-17 μm ; Ancho de la valva: 3-5 μm ; Densidad de fíbulas: 11-15/10 μm . MEB. Fíbulas anchas y cortas. Estrías uniseriadas compuestas por areolas circulares con el mismo tamaño a través de toda la valva, generalmente dos por fibula (Fig. 97).

Distribución: México central; Texcoco; Estado de México, Tehuacán, Puebla, Quintana Roo, Yucatán, Zempoala, Morelos, Cantera Oriente; Xochimilco, Tláhuac, D.F., Tabasco, Tlaxcala, Cuitzeo, Michoacán, Baja California Sur, Veracruz, Guanajuato, Oaxaca, México; Alemania; Nowy Sacs; Polonia; Taiwan; Cuba; Puno, Lima, Ancash, Junin, Huanuco, Loreto, Perú; Islas Guadalupe; Inglaterra, RU; Europa Central; Maharashtra, India; Córdoba, Argentina; Francia.

Ambientes y formas de vida: ríos; pantanos, aguas estancadas, lagos someros, bajo nivel de agua, profundidad moderada, pantanos marginales; suelo húmedo; manantiales; charcos, puesta de rana; canales; arroyos; represas; ambientes mixtos; estanques; aire; cenotes; lagos; humedales; presas; oasis; jales; sedimentos de lagos; diatomita; Bentónica; litoral; planctónica; edáfica; perifítica; endozoica; epífita; epipsámica; epilítica; epipélica; aerofítica; metafítica.

pH, Salinidad, conductividad, Nivel trófico: Alcalífila; aguas salobres; eurihalobia; poca conductividad; conductividad moderada a elevada, eutrófica.

Otras características: limnobiótica, parece ser heterótrofa obligada del nitrógeno, mesooxibióntica

Nitzschia graciliformis Lange-Bertalot & Simonsen

Figura 67

Lange-Bertalot, H. & Simonsen, R. (1978). A taxonomic revision of the *Nitzschiae lanceolatae* Grunow. 2. European and related extra-European freshwater and brackish water taxa. *Bacillaria* 1: 11-111.

= *Nitzschia graciliformis* Lange-Bertalot & Simonsen 1978

Valvas linear lanceoladas con una ligera constricción en el centro de la valva. Ápices alargados estrechamente subcapitados y redondeados. La rafe es marginal con fíbulas cortas, rectangulares, equidistantes. Las estrías no son visibles en microscopía de luz. Largo de la valva: 38-65.5 μm ; Ancho de la valva: 3.3 μm ; Densidad de fíbulas: 20-22/10 μm .

Distribución: Francia, Alemania, Rumania, Norte América, Colombia, Rusia.

Formas de vida y ambientes Perifítica, epipélica, estanques, observada en ambientes eutróficos, subsalinos, alcalífila, β -mesosaprobica (Rott *et al.*, 1998, García-Rodríguez *et al.*, 2007, Van Dam *et al.*, 1994, Montoya-Moreno *et al.*, 2013).

Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith*Figura 68 y 98**

Smith, W. (1856). *A synopsis of the British Diatomaceae*; with remarks on their structure, functions and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens. Vol. 2 pp. [i-vi] - xxix, 1-107, pls 32-60, 61-62, A-E. London: John van Voorst.

= *Synedra palea* Kützing, F.T. 1844. *Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. Pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

Valvas linear-lanceolados con ápices subcapitados, redondeados, claramente distinguibles del cuerpo de la valva. La rafe es marginal sin un nódulo central visible. Fíbulas cortas, rectangulares con un arreglo irregular a lo largo del margen ya que la distancia entre ellas difiere. Las estrías no son visibles en microscopia de luz. Largo de la valva: 21-36 μm ; Ancho de la valva: 3-4.5 μm ; Densidad de fíbulas: 11-15/ 10 μm . MEB: Fíbulas cuadradas abarcando dos estrías por fibula. Estrías finas compuestas por areolas pequeñas y circulares. Estrías densas, areolas pequeñas y densas. Rafe marginal. No hay presencia de un nódulo central (Fig. 98).

Distribución: México Central; Zirahuén; Cuitzeo; Michoacán, Quintana Roo, Cantera Oriente; D.F., Huasteca, San Luis Potosí, Catemaco, Veracruz, Texcoco; Estado de México, Tabasco, Tlaxcala, Baja California Sur, Guanajuato, Tehuacán, Puebla, Querétaro, Oaxaca, Colima, MÉXICO; AUSTRIA; Puno, Lima, Ancash, Junin, Huanuco, Piura, Loreto, Perú; Rio Grande do Sul, Brasil; Bremen, Alemania; Polonia; Nueva Zelanda; Inglaterra, Islas Guadalupe; Illinois, EU.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; lagos; humedales; cenotes; charcos; suelos; suelos alcalinos; ambientes subaéreos; euritémica; arroyos; estanques; aguas salinas cálidas; rocas húmedas; canales; presas; oasis; manantiales; jales; lagos cráter; arroyos; ambientes mixtos; represas; estanques; euritópica, sedimentos de lago; Bentónica; perifítica; metafítica; planctónica; epilítica; epipélica; edáfica; epilítica subaérea; subaérea; epífita; epipsámica.

pH y conductividad, Salinidad, Nivel trófico: Espectro ecológico amplio para pH (4.3-8.5) y conductividad; Agua dulce y salobre; Típicamente mesosaprobia a alfa mesosaprobia, de aguas contaminadas, con residuos orgánicos.

Nitzschia gandersheimiensis* var. *tenuirostris* Grunow*Figura 69**

Van Heurck, H. (1881). *Synopsis des Diatomées de Belgique Atlas*. pls XXXI-LXXVII. Anvers: Ducaju et Cie.

Valvas lanceoladas con ápices subrostrados ligeramente alargados característica que la diferencia de la especie nominal. Rafe marginal (simetría nitzschioide) sin un nódulo central visible. Fíbulas pequeñas con una separación equidistante entre ellas. Estrías no visibles en microscopía de luz. Largo de la valva: 14.5-23 μm ; Ancho de la valva: 3-4 μm ; Densidad de fíbulas: 14-17/10 μm . Esta variedad corresponde a *Nitzschia gandersheimiensis* fo. *tenuirostris* ya que a diferencia de *Nitzschia palea*, presenta un nódulo central evidente, es decir, las fíbulas del centro de la valva están ligeramente más distantes entre sí que las demás.

Distribución: México central; Texcoco, Estado de México, Hidalgo, Tehuacán, Puebla, Guanajuato, México; Goiás, Brasil; Bavaria, Alemania; Río Sola, Polonia; Islas Guadalupe; Illinois, EU.

Ambientes y formas de vida: Sedimentos fósiles de lago; eutémica, laguna; lagos; presas; charcos; ríos; estanque. Planctónica; termófila; metafítica; epilítica.

pH y Salinidad: Indiferente al pH; Oligohalobia.

Nitzschia hantzschiana Rabenhorst

Figura 70

Rabenhorst, L (1860). Erklärung der Tafel VI. *Hedwigia* 2: 40, 6/6.

= *Nitzschia frustulum* var. *hantzschiana* (Rabenhorst) Grunow: Heurck, H. van (1880). *Synopsis des Diatomées de Belgique* Atlas. pls I-XXX. . Anvers: Ducaju et Cie; *Homoeocladia hantzschiana* (Rabenhorst). Kuntze, O. (1898). *Revisio generum plantarum*. Pars III (3). pp. 1-576. Leipzig, London, Milano, New York, Paris: Arthur Felix, Dulau & Co., U. Hoepli, Gust. A. Schechert, Charles Klincksierck; *Nitzschia hantzschiana* var. *genuina* A.Cleve; *Nitzschia tenuis* var. *parva* Rabenhorst. Rabenhorst, L. (1864). *Flora europaea algarum aquae dulcis et submarinae. Sectio I. Algas diatomaceas complectens, cum figuris generum omnium xylographice impressis*. pp. 1-359. Lipsiae [Leipzig]: Apud Eduardum Kummerum.

Valvas linear-lanceoladas, en la mayoría de los ejemplares con un margen recto y el otro ligeramente constreñido en el centro. Ápices subcapitados, redondeados, alargados, claramente distinguibles del cuerpo de la valva. La rafe es marginal con un nódulo central visible. Estrías paralelas a lo largo de toda la valva, visibles en microscopia de luz. Fíbulas cortas, rectangulares con un arreglo irregular a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 13-30µm; Ancho de la valva: 3-5µm; Densidad de estrías: 22-24/10µm; Densidad de fíbulas: 12-14/10µm.

Distribución: México central; Texcoco, Estado de México, Oaxaca, Papaloapan; Tehuacán, Puebla, Huasteca, San Luis Potosí, Michoacán, Querétaro, Guanajuato, México; Río Sola, Polonia; Himalaya, Nepal; Austria; Rio Grande do Sul, Brasil; Islas Guadalupe; Inglaterra, North Dakota, Montana, Bretaña, Francia; Europa Central

Ambientes y Formas de vida: suelos de zonas áridas; ríos; frecuente en arroyos intermitentes, sobre esquistos; alpinas; arroyos; charcos, puesta de rana; estanque; lagos; forma litoral, meta-oligo-mesotérmica, aerófila y crenófila; manantiales termales, sedimentos de lagos. Bentónica; edáfica; litoral; "endozoica"; epipélica; perifítica; endolítica; epilítica; metafítica.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: en medios con pH cerca de 8.3; Oligohalobia, aguas con baja conductividad, alcalifila, de condiciones oligosaprobias

Nitzschia umbonata (Ehrenberg) Lange-Bertalot

Figura 71

Lange-Bertalot, H. (1978). Zur Systematik, Taxonomie und Ökologie des abwasserspezifisch wichtigen Formenkreises um "*Nitzschia thermalis*. *Nova Hedwigia* 30: 635-652.

= *Navicula umbonata* Ehrenberg; Ehrenberg, C.G. (1837). Über das Massenverhältnifs der jetzt lebenden Kiesel-Infusorien und über ein neues Infusorien-Conglomerat als Polirschiefer von Jastraba in Ungarn. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse* 1836: 109-135,

pl.1-2; *Surirella umbonata* (Ehrenberg) G.L. Rabenhorst; Rabenhorst, L. (1853). *Die Süßwasser-Diatomaceen (Bacillarien.): für Freunde der Mikroskopie.* pp. i-xii, 1-72. Leipzig: Eduard Kummer. *Nitzschia stagnorum* Rabenhorst 1860; *Nitzschia diducta* Hustedt 1938; *Nitzschia fossalis* Hustedt 1942.

Valvas lineal lanceoladas con una ligera constricción en el centro. Ápices rostrados, redondeados.

La rafe es marginal con un nódulo central evidente. Las fíbulas cortas y delgadas con un patrón irregular ya que no presentan la misma distancia una de la otra. Las estrías son muy finas, rectas, poco diferenciables en microscopia de luz. Largo de la valva: 50-104.2 µm; Ancho de la valva: 7-9 µm; Densidad de fíbulas: 9-10/10µm.

Distribución: México central; Tehuacán, Puebla, Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Estado de México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Jalisco, Morelos, México; Europa Central; Bretaña, Francia; Galicia, España; Nueva Zelanda;

Ambientes y formas de vida: arroyos; canales; charcos; cenotes; muros de granito; lagos; ríos; jales; presas; aguas termales; crenófila; eutérmica; epilítica; edáfica; epífita; planctónica; perifítica; epilítica subaérea; metafitica; bentónica; epipélica; termófila;

pH, Salinidad, conductividad, Nivel trófico: Indiferente al pH; eurihalobia, aguas eutróficas, con conductividad alta.

***Tryblionella apiculata* W. Gregory**

Figura 72

Gregory, W. (1857). On the post-Tertiary diatomaceous sand of Glenshira. Part II. Containing an account of a number of additional undescribed species. *Transactions of the Microscopical Society of London* 5: 67-88, pl.1.

= *Nitzschia apiculata* (W. Gregory) Grunow 1878; *Homoeocladia apiculata* (Gregory) Kuntze 1898; *Synedra constricta* Kützing 1844; *Nitzschia constricta* (Kützing) Ralfs 1861; *Nitzschia dubia* var. *constricta* (Kützing) Carruthers 1864; *Tryblionella constricta* (Kützing) Poulin 1991, *Tryblionella kuetzingii* Álvarez-Blanco & S. Blanco 2014

Valvas lineares, panduriformes, constreñidas en el centro con ápices sub capitados. Esta especie se caracteriza por la presencia de un área longitudinal a lo largo de toda la valva sin estrías, como si fuera un área axial. Estrías delgadas y transversales a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 43-45 µm; Ancho de la valva: 6.3-7 µm; Densidad de estrías en 10 µm: 20-23

Distribución: Papaloapan; Oaxaca, Tehuacán, Puebla, Baja California Sur, Guanajuato, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Michoacán, México.

Ambientes y formas de vida: Ríos, oasis charcos, arroyos, canales, lagos; metafitica, epilítica, planctónica, edáfica, epífita, epipsámica, epipélica, bentónica, perifítica.

Orden: Rhopalodiales

Familia: Rhopalodiaceae

***Ephithemia* Brébisson**

***Ephithemia adnata* (Kützing) Brébisson**

Figura 73

Brébisson, [L.] A. de (1838). *Considerations sur les diatomées et essai d'une classification des genres et des espèces appartenant à celle famille, par A. de Brébisson, auteur de la Flore de Normandie, etc.* pp. [i], [1]-20, [4, err.]. Falaise & Paris: Brée l'Ainée Imprimeur-Libraire; Meilhac.

= *Frustulia adnata* Kützing; Kützing, F.T. (1833).; *Navicula zebra* Ehrenberg; Ehrenberg, C.G. (1833); *Epithemia zebra* (Ehrenberg) Kützing; Kützing, F.T. (1844); *Cymbella zebra* (Ehrenberg) Hassall; Hassall, A.H. (1845); *Eunotia adnata* (Brébisson) G. L. Rabenhorst; Rabenhorst, L. (1853); *Cystopleura zebra* (Ehrenberg) Kuntze; Kuntze, O. (1891).

Valvas con margen dorsal convexo y uno ventral ligeramente cóncavo. Los ápices son redondos casi rostrados muy poco diferenciados del cuerpo de la valva. El canal del rafe se observa alineado al margen ventral extendiéndose de los ápices hasta el centro en donde se forman un arco poco pronunciado que alcanza menos de la mitad de distancia entre el margen ventral y el dorsal.

Costillas a lo largo de toda la valva ligeramente radiadas. Estrías ligeramente radiadas compuestas por areolas circulares a cuadradas, grandes, muy bien diferenciadas en microscopia de luz. Largo de la valva: 39.2-60 μm ; Ancho de la valva: 10.4-12 μm ; Densidad de estrías: 10-14/10 μm ; Densidad de Costillas: 2-4/10 μm ; Densidad de estrías entre costillas: 3-7.

Distribución: México central; Oaxaca, Papaloapan; Tehuacán, Puebla, Huasteca, San Luis Potosí, Cuitzeo, Michoacán, Baja California Sur, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Catemaco, Veracruz, Texcoco, Estado de México, Morelos, Guanajuato, México; EU; Europa Central.

Ambientes y formas de vida: Paredón; lagos; ríos; oasis; charcos; canales; litoral, eutérmica. Epífita; epilítica; planctónica; perifítica; metafítica; bentónica.

Alcalinidad, Salinidad, conductividad: Aguas alcalinas, oligohalobia, conductividad moderada a alta, alcalífila.

***Epithemia argus* (Ehrenberg) Kützing**

Figura 74

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen.* pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.

Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.

= *Eunotia argus* Ehrenberg; *Eunotia ocellata* Ehrenberg 1840; *Epithemia ocellata* (Ehrenberg) Kützing 1844; *Cystopleura argus* (Ehrenberg) Kuntze 1891; *Epithemia argus* var. *ocellata* (Ehrenberg) F.Fricke 1904.

Valvas dorsiventrales con ápices redondeados ligeramente distinguibles del cuerpo de la valva. El canal del rafe se observa alineado al margen ventral, a diferencia de *E. adnata* el arco central se extiende hasta casi llegar al margen dorsal. Costillas y estrías radiales a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 45 μm ; Ancho de la valva: 11-12.5 μm ; Densidad de costillas: 2-3/10 μm ; Estrías entre costillas: 4-7; Densidad de estrías: 11-13/10 μm .

Distribución: Inglaterra, Hidalgo, México central; Tlaxcala, Oaxaca, Papaloapan, Huasteca, San Luis Potosí, Zirahuén; Cuitzeo; Michoacán, Quintana Roo, Tehuacán, Alchichica, Puebla, México; Murcia, Albacete, Jaén; Murcia, España; Córdoba, Argentina; Arizona, Illinois; Montana, EU; Europa Central; Puno, Perú; Cuba.

Ambientes y Formas de vida: Ríos; arena, suelo, entre musgos, diatomita; eutérmica; prefiere agua con contenido moderado a totalmente alto de carbonato de calcio, en arroyos y charcos; lagos;

paredón; cenote-aguas termales, pozas, arroyos, manantiales, pantanos y en el litoral de lagos. Bentónica; litoral, epifítica; epilíton; perifítica; planctónica; metafítica.

pH, Salinidad, Conductividad: Alcalifila, Aguas salobres; oligohalobia, Aguas con alta conductividad.

Epithemia argus* var. *alpestris (W. Smith) Grunow

Figura 75

Grunow, A. (1860). Über neue oder ungenügend gekannte Algen. Erste Folge, Diatomeen, Familie Naviculaceen. *Verhandlungen der kaiserlich-königlichen Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien* 10: 503-582, pls III-VII.

= *Epithemia alpestris* W. Smith 1853; *Epithemia argus* var. *amphicephala* Grunow 1881; *Cystopleura argus* var. *alpestris* (W. Smith) De Toni 1892; *Epithemia argus* var. *capitata* Fricke 1904; *Epithemia zebra* f. *amphicephala* (Grunow) A. Cleve 1952.

Valvas dorsiventrales, estrechas, con el margen ventral cóncavo y el dorsal convexo. A diferencia de *E. argus*, esta variedad tiene una forma muy característica debido a que sus ápices son redondeados y con la apariencia de un ligero curvamiento hacia el lado dorsal. El canal del rafe se observa alineado al margen ventral y el arco central se extiende hasta casi llegar al margen dorsal. Costillas y estrías ligeramente radiadas. Largo de la valva: 44.88 µm; Ancho de la valva: 7.26 µm; Densidad de costillas: 5/10µm; Densidad de estrías entre costillas: 3-4; Densidad de estrías: 11-13/10 µm.

Distribución: Inglaterra, Alemania, Irlanda, España, Países bajos y Norte América (Guiry & Guiry, 2017), Perú.

Formas de vida: Arroyos, manantiales, lagos, estanques, pantanos, tierras de cultivo (Qingmin *et al.*, 2009).

pH: 7.3-8.6 (Qingmin *et al.*, 2009).

Epithemia sorex Kützing

Figura 76

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.

= *Eunotia westermanni* var. *sorex* (Kützing) G. Rabenhorst 1847; *Eunotia sorex* (Kützing) G. Rabenhorst 1853; *Cystopleura sorex* (Kützing) Kuntze 1891.

Valvas dorsiventrales con el margen dorsal convexo y el ventral cóncavo. Ápices redondeados ligeramente captados, bien diferenciados del cuerpo de la valva. El canal del rafe se guía por el margen ventral en los extremos de la valva y en el centro se arquea formando un pico llegando cerca del margen dorsal. Las estrías están formadas por areolas cuadradas. Largo de la valva: 33-35 µm; Ancho de la valva: 8-9 µm; Densidad de costillas: 6/10 µm; Estrías entre costillas: 2-3; Densidad de estrías: 13-14/10 µm.

Distribución: Puebla, Texcoco; Estado de México, México central; Tehuacán, Puebla, Papaloapan; Oaxaca, Lago Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, Quintana Roo, Guanajuato, Jalisco, Tlaxcala, Xochimilco, Tláhuac, D.F., México; India; Francia; Europa Central; Montana, EU; Arizona: Illinois,

EU; Albacete; Presa la Minilla, España; Córdoba, Argentina; África Oriental; Bremen, Alemania; Arabia Saudita; Nueva Zelanda.

Ambientes y Formas de vida: Tular; aguas a menudo ricas en calcio; aguas estancadas y corrientes; ríos; lagos; presas; cenote-aguas termales; arroyos; cascadas, corrientes, prefiere aguas estancadas; charcos; humedales; jales; corriente nula; aguas termales; canales, eutémica, sedimentos de lagos. Perifítica; metafítica; bentónica; litoral; epífita; epilítica; aerófila; episámmica, subaérea; edáfica; epipélica; planctónica; termófila.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: Aguas alcalinas; alcalífila; pH óptimo 8.3 a 8.5; Aguas salobres; halófila; conductividad Alta, Eutrófica, saproxena a -mesosapróbica,

Epithemia turgida (Ehrenberg) Kützing

Figura 77

Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30.
= *Rhopalodia turgida* (Ehrenberg) Kützing; *Navicula turgida* Ehrenberg 1832; *Eunotia turgida* (Ehrenberg) Ehrenberg 1837; *Cymbella turgida* (Ehrenberg) Hassall 1845; *Cystopleura turgida* (Ehrenberg) Kuntze 1891. Valvas dorsiventrales con margen dorsal convexo y margen ventral ligeramente cóncavo. Ápices rostrados bien diferenciados del cuerpo de la valva. Las fisuras distales de la rafe se mantienen alineadas al margen ventral mientras que las fisuras proximales se curvan en el centro formando un pico. A diferencia de otras especies de *Epithemia* esta se caracteriza por la distancia hasta la cual se curvan las fisuras proximales, aproximadamente a mitad de la valva. Estrías ligeramente radiadas formadas por areolas cuadradas. Largo de la valva: 46.2-103.62 µm; Ancho de la valva: 9.24-16.5 µm; Densidad de estrías: 8-13/10 µm; Estrías entre costillas: 2; Densidad de costillas: 4/10 µm.

Distribución: Hidalgo, Texcoco; Estado de México, Pátzcuaro, Lago Zirahuén; Cuitzeo, Michoacán, México central; Oaxaca, Papaloapan; Tehuacán, Puebla, Lagunas Zempoala, Morelos, Quintana Roo, Xochimilco, Tláhuac, D.F., Morelos, Baja California Sur, Tlaxcala, Veracruz, Guanajuato, México; Murcia, Albacete; Murcia, España; Colorado, Illinois; ampliamente distribuida en los EU templados, Michigan, Montana, EU; Europa Central; Bretaña, Francia; Rio Sola, Polonia; Islas Guadalupe; Nueva Zelanda;

Ambientes, Formas de vida: lagos, sedimentos de manantiales, entre musgos; aguas estancadas; limnófila, lagos alpinos; cascadas; aguas corrientes; aguas litorales; charcos; represas; ríos; cenotes; humedales; canales; estanques; oasis; manantiales termales; aguas termales, eutémica; termófila, sedimentos de lagos. Planctónica; epífita; perifítica; litoral; subaérea epilítica; metafítica; plocónica; epilítica; bentónica.

pH, Salinidad, Conductividad, Nivel trófico: alcalífila, pH óptimo cerca de 8.2; oligohalobia, Conductividad media a alta, Saproxena a -mesoprobióntica; meso a eutróficas.

***Epithemia turgida* var. *granulata* (Ehrenberg) Brun**

Figura 78

Valvas dorsiventrales con el margen ventral ligeramente cóncavo y el dorsal convexo; ápices redondeados, diferenciados del cuerpo de la valva, rostrados. Fisuras distales alineadas al margen ventral mientras que las fisuras proximales se curvan en el centro de la valva formando un pico llegando a la mitad de la valva. Estrías ligeramente radiadas en el centro de la valva a paralelas en los polos. Areolas cuadradas y gruesas. Largo de la valva: 40 µm; Ancho de la valva: 13.2 µm; Densidad de costillas en 10 µm: (6) 10; Estrías entre costillas: 1-2; Densidad de estrías en 10 µm: 9- 22.

pH: Se ha encontrado en zonas de evaporación, arroyos y pantanos, sitios asociados principalmente con hidrofitas, pH 7.3-9.1. (Qingmin *et al.*, 2009)

***Rhopalodia* O. Müller**

***Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Otto Müller**

Figura 79

Müller, [G.F.] O. (1895). *Rhopalodia ein neues Genus der Bacillariaceen. Botanische Jahrbucher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie* 22: 54-71, 2 pl.

=Navicula gibba Ehrenberg 1832, Pinnularia gibba (Ehrenberg) Ehrenberg 1843, Eunotia gibba (Ehrenberg) Ehrenberg 1843, Navicula ncinata Ehrenberg 1832, Epithemia gibba (Ehrenberg) Kützing 1844, Frustulia gibba (Ehrenberg) Jenner 1845, Epithemia ventricosa var. gibba (Ehrenberg) J. Schumann 1869, Cystopleura gibba (Ehrenberg) Kuntze 1891, Schizonema gibbum (Ehrenberg) Kuntze 1898.

Valvas lineares alargadas con ápices redondeados ligeramente curvos hacia el margen ventral; margen ventral recto y el dorsal ligeramente convexo en el centro. Costillas paralelas en el centro de la valva conforme se acercan a los polos se observan ligeramente radiadas. Largo de la valva: 50-100.2 µm; Ancho de la valva: 6-7 µm; Densidad de estrías en 10:10-13/10 µm.

Distribución: Cosmopolita, Coahuila, Michoacán, Zirahuén, Hidalgo, Texcoco, Estado de México, Tehuacán, Puebla, Pátzcuaro, Michoacán, México central, Huasteca, San Luis Potosí, Tlaxcala, Oaxaca, Papaloapan, Morelos, Quintana Roo, Yucatán, México; Murcia; Albacete; Presa la Minilla, España, Polonia, Colorado, Carolina del Norte, EU, Europa Central, Camagüey, Cuba, Córdoba, Argentina, Arizona, EU, Lima, Puno, Ancash Huanuco, Perú, Canadá, Alemania, Austria, India, África; Inglaterra, RU.

Ambientes y Formas de vida: Agua corriente, sedimentos de manantiales, presas, canales, aguas estancadas, lagos, remanso, menudo en zonas someras de lagos, sedimentos de lagos, cenotes arroyos, estanques, humedales, estuarios. Bentónica epífita, metafítica, perifítica, epipélica, epilítica edáfica, planctónica, epipsámica, subaérea.

pH, Salinidad, Conductividad y Temperatura, Nivel trófico: pH óptimo cerca de 7; alcalifila; de agua subsalina a salada, conductividad moderada; oligotrófica a eutrófica, mesosapróbica a oligosapróbica con alto contenido de electrolitos; eutermal a mesotermal.

***Rhopalodia operculata* (C. Agardh) Hakanasson**

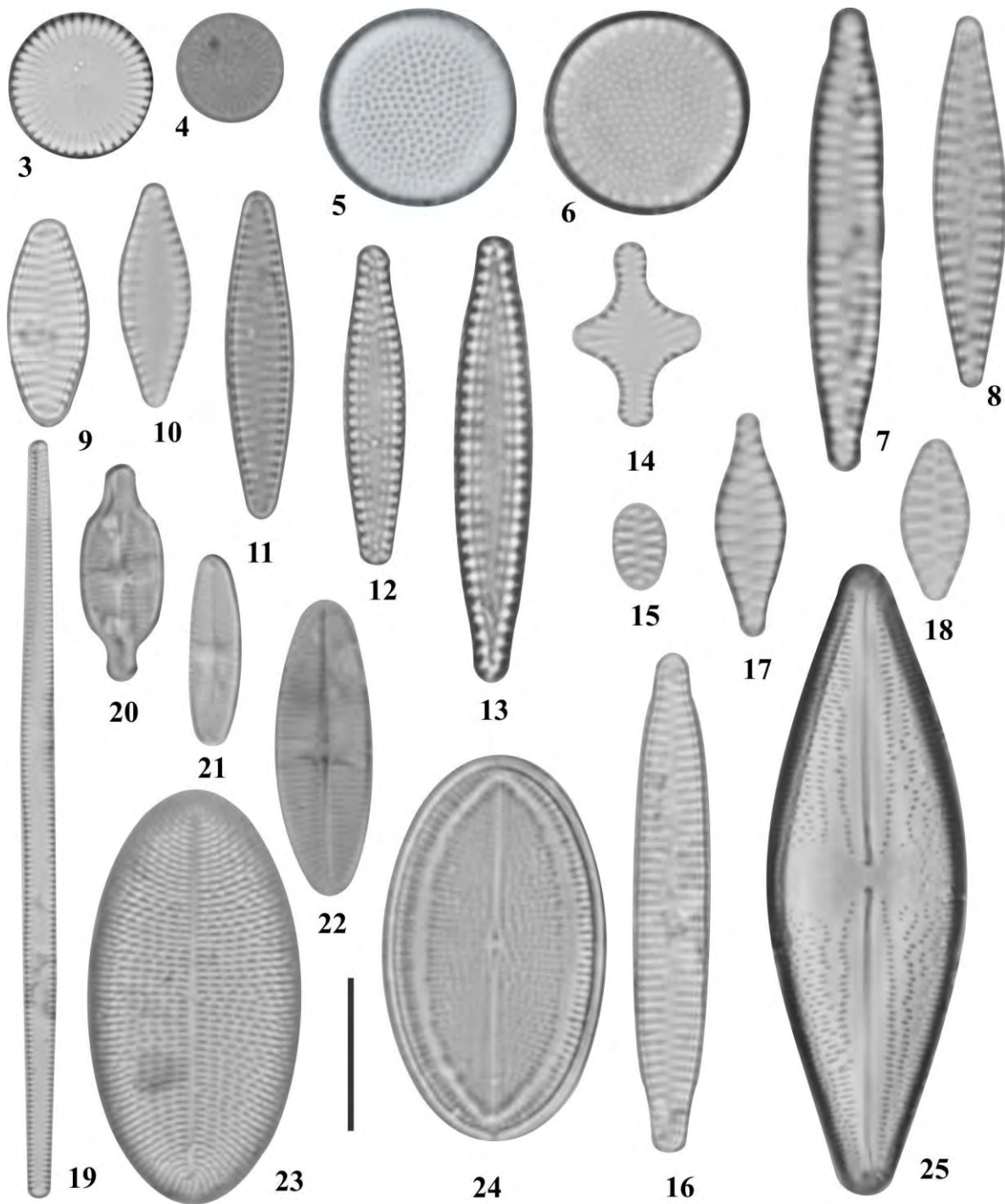
Figura 80

Hakansson, H. (1979). Examination of diatom type material of C.A. Agardh. In: Simonsen, R. (ed.), Proceedings of the Fifth Symposium on Recent and Fossil Diatoms, Antwerp, September 3-8, 1978. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 64: 163-168.

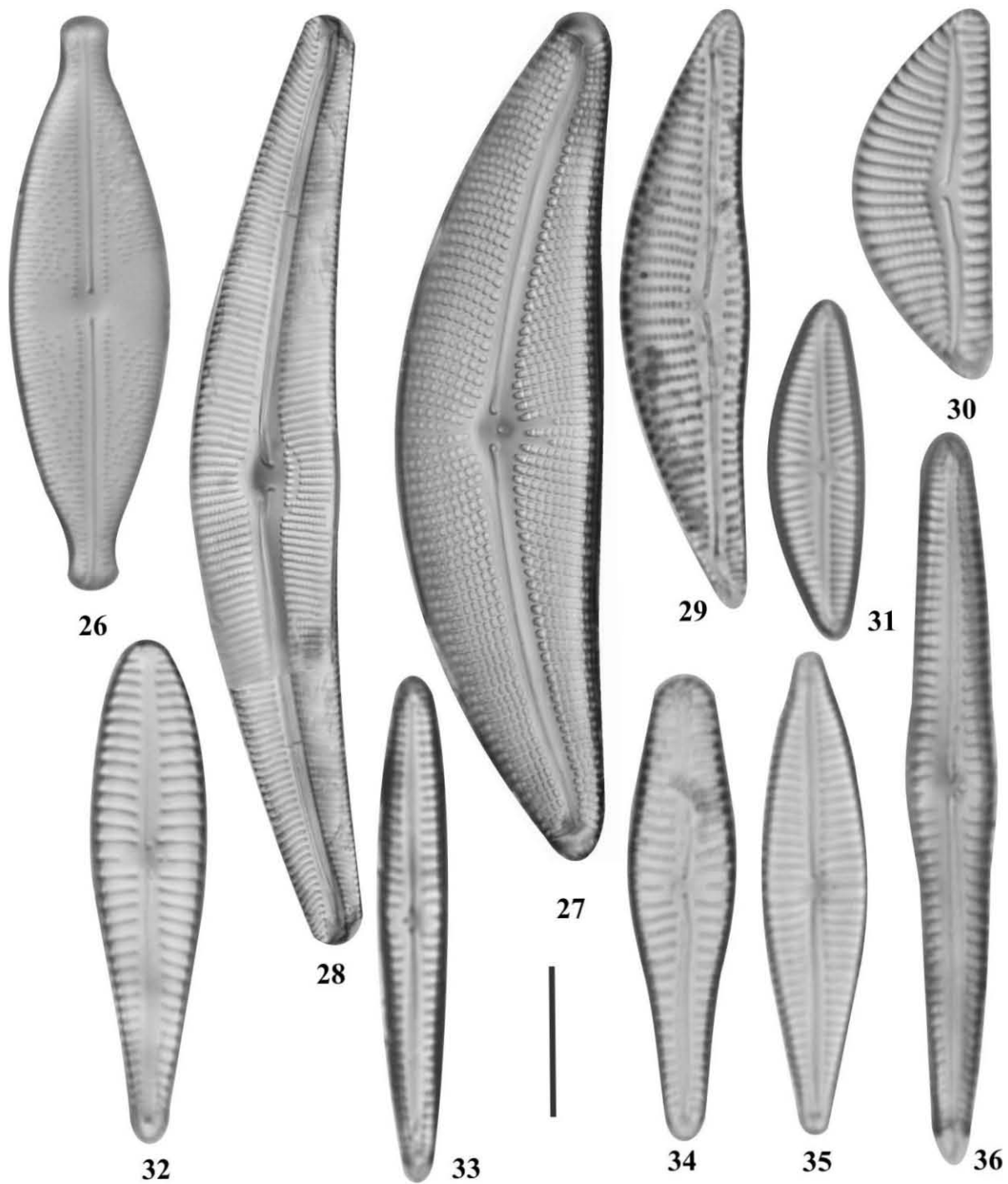
Valvas semielípticas con el margen dorsal convexo y el ventral recto, ápices redondeados ligeramente prolongados. Rafe ventral. No hay un área central diferenciable. Se observan costillas delgadas a lo largo de toda la valva. Largo de la valva: 30-43 μm ; Ancho de la valva: 8-10 μm ; Densidad de estrías: 21/10 μm ; Densidad de costillas: 5-8/10 μm ; Estrías entre costillas: 3-5.

Distribución: Cuitzeo, Michoacán, Xochimilco, Tláhuac, D.F.; Guanajuato; Puebla, México.

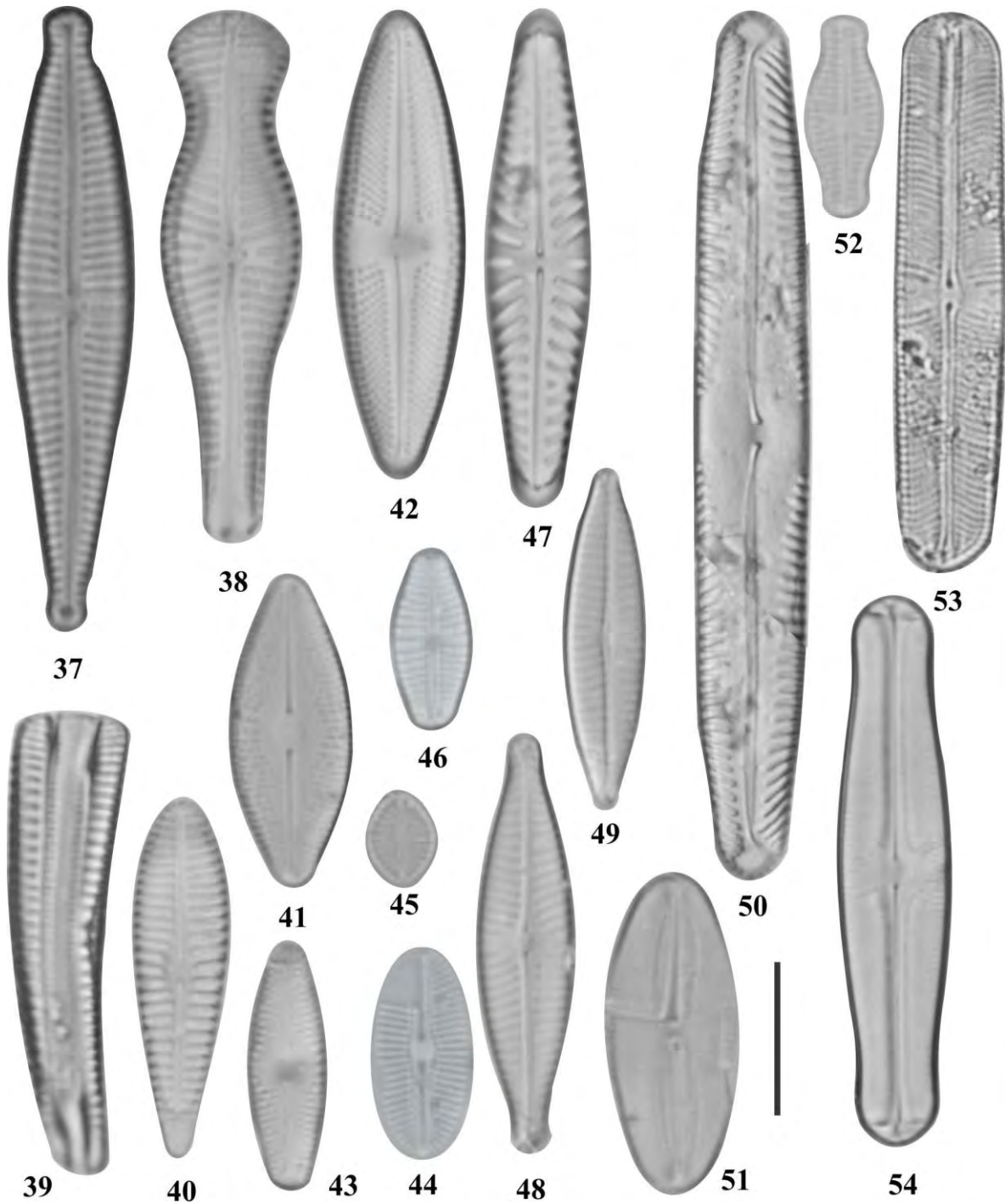
Ambientes y formas de vida: Lagos, charcos, jales, canales; metafítica, perifítica, bentónica. Presente en aguas continentales con alta conductividad, además de encontrarse en aguas termales y minerales con alta conductividad (Orozco, 2011).



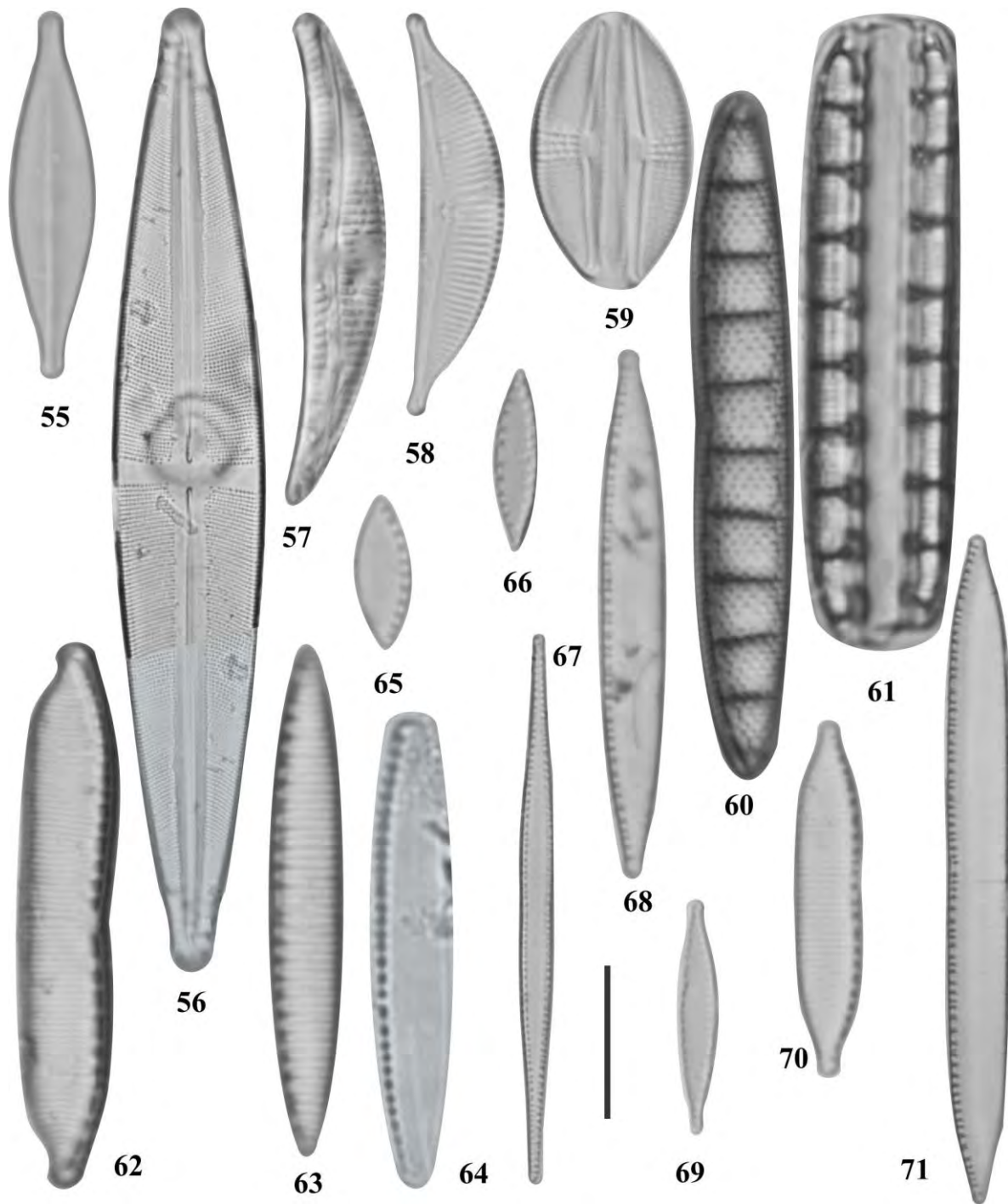
Figuras 3-25. 3) *Cyclotella meneghiniana*; 4) *Discostella pseudostelligera*; 5-6) *Thalassiosira aff. duostra*; 7) *Fragilaria capucina*; 8) *Fragilaria* sp.; 9) *Fragilariforma virescens*; 10) *Pseudostaurosira brevistriata*; 11-13) *Pseudostaurosira subsalina*; 14) *Staurosira construens var. construens*; 15) *Staurosira venter*; 16) *Staurosira neoproducta*; 17-18) *Punctastriata mimetica*; 19) *Tabularia fasciculata*; 20) *Achnanthisidium exiguum*; 21) *Achnanthisidium minutissimum*; 22) *Lemicola hungarica*; 23-24) *Cocconeis placentula*; 25) *Anomoeoneis costata*. Barra: 10 μ m



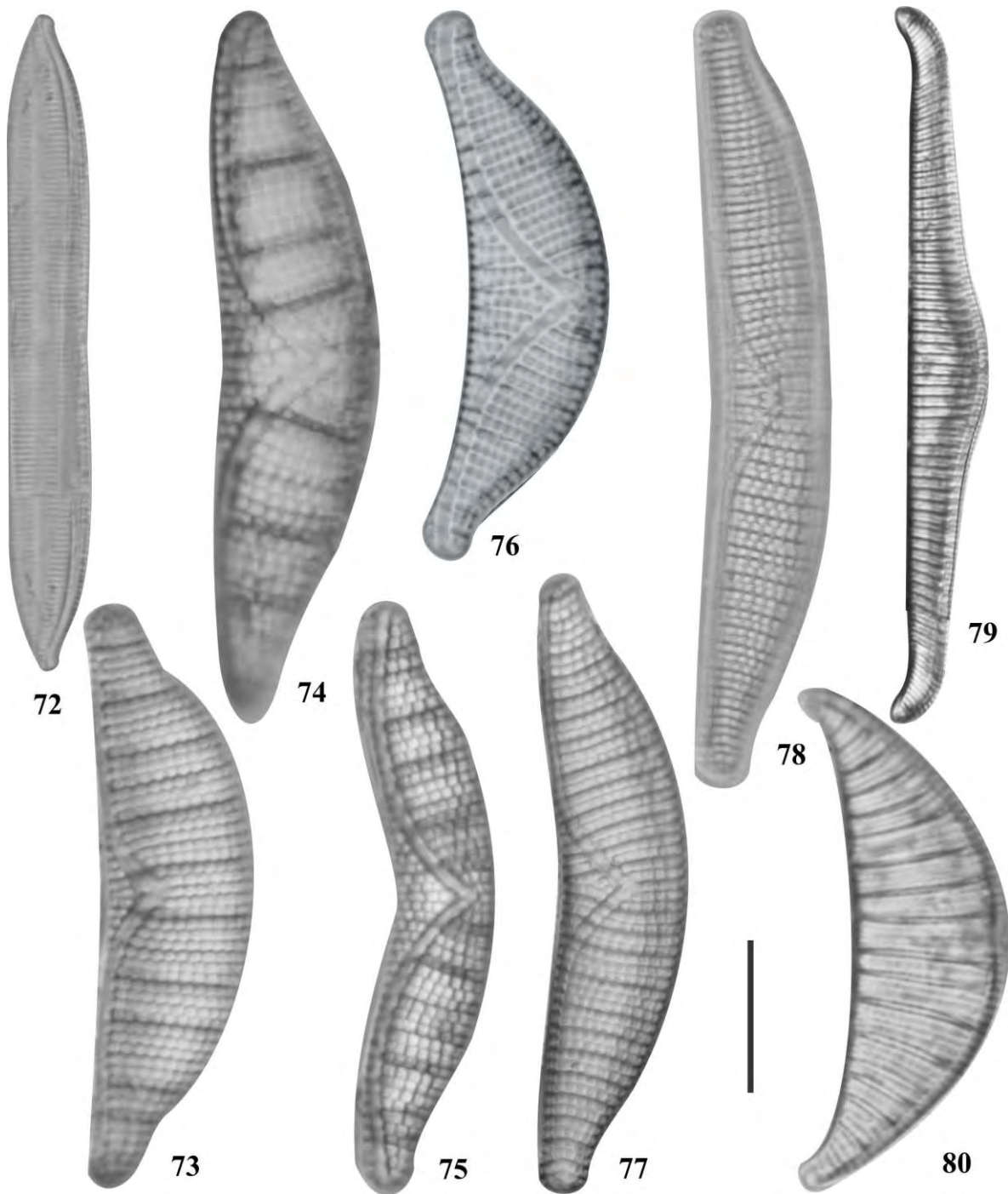
Figuras 26-36. 26) *Anomoeoneis sphaerophora*; 27) *Cymbella mexicana*; 28) *Cymbella aspera*; 29) *Encyonema mesianum*; 30) *Encyonema silesiacum*; 31) *Navicymbula pusilla*; 32) *Gomphonema affine*; 33) *Gomphonema angustatum*; 34) *Gomphonema clavatum*; 35) *Gomphonema gracile*; 36) *Gomphonema hebridense*. Barra: 10 μ m



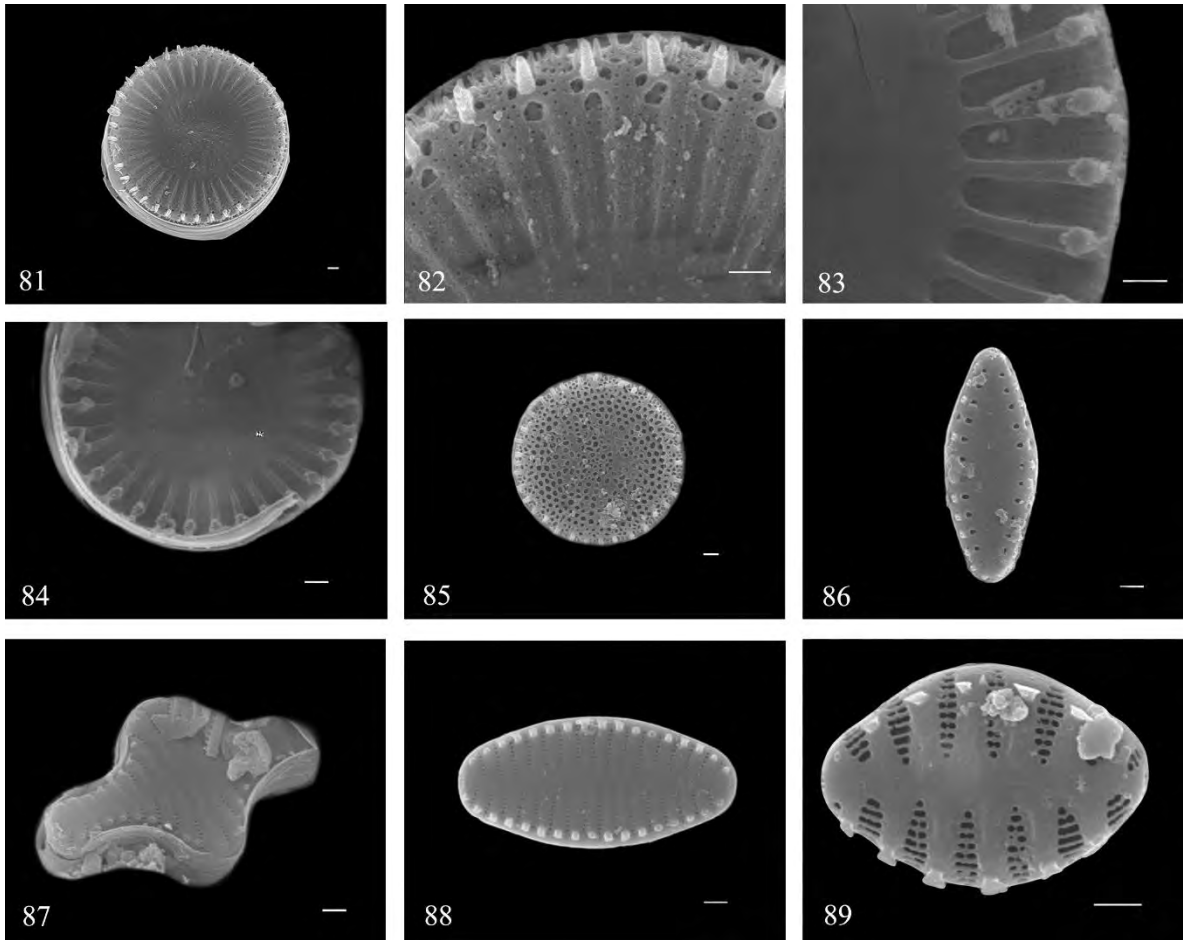
Figuras 37-54. 37) *Gomphonema parvulum*; 38) *Gomphonmea truncatum*; 39-40) *Rhoicosphenia abbreviata*; 41) *Diadismus confervaceae*; 42) *Luticola goppertiana*; 43) *Luticola mutica*; 44) *Diploneis pseudovalis*; 45) *Eolimna subminuscula*; 46) *Geissleria tagensis*; 47) *Hippodonta hungarica*; 48) *Navicula cryptocephala*; 49) *Navicula veneta*; 50) *Pinnularia abaujensis* var *linearis*; 51) *Fallacia pygmaea*; 52) *Sellaphora pseudoventralis*; 53) *Sellaphora laevissima*; 54) *Sellaphora pupula*; Barra: 10 μ m



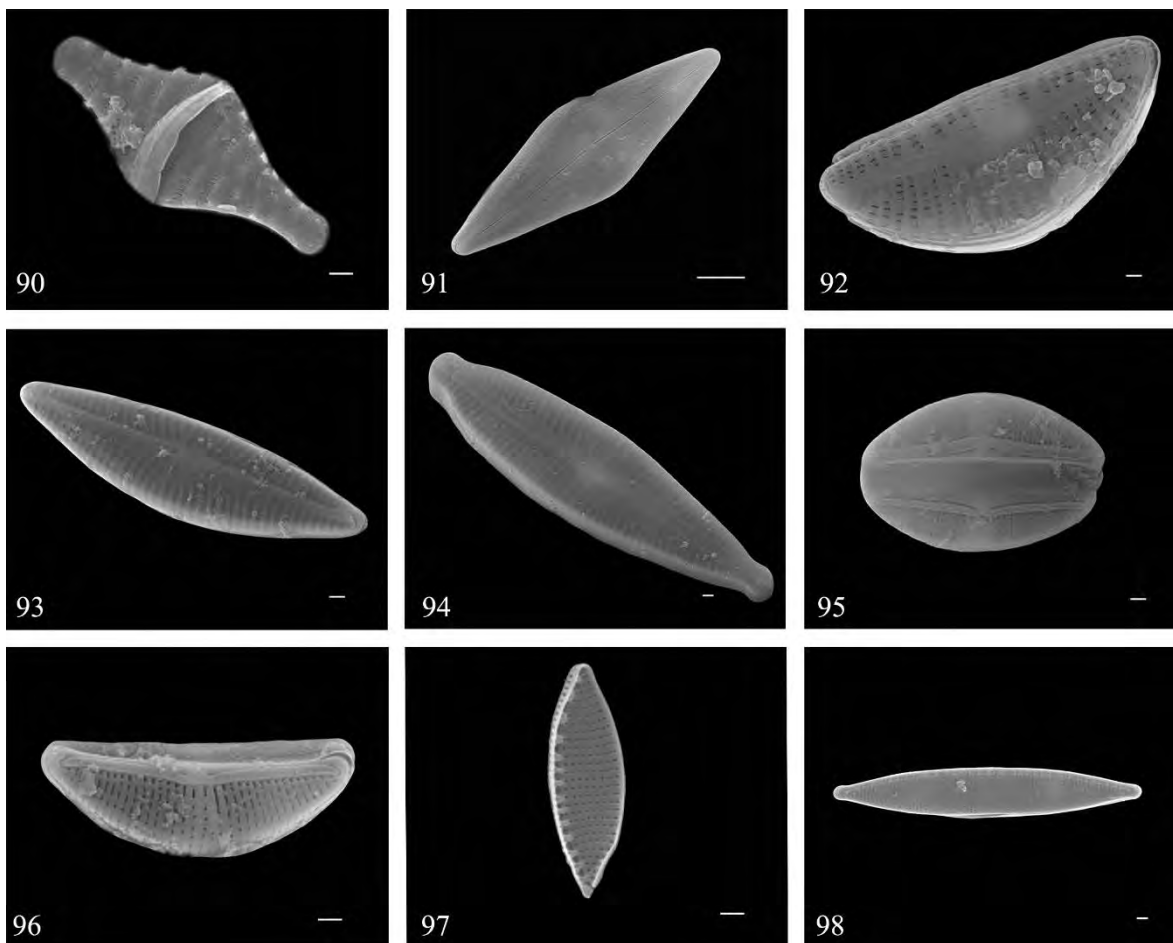
Figuras 55-71. 55) *Craticula halophila*; 56) *Stauroneis phoenicenteron*; 57) *Amphora copulata*; 58) *Halamphora coffeaeformis*; 59) *Halamphora veneta*; 60-61) *Denticula valida*; 62) *Hantzschia amphyoaxis*; 63) *Nitzschia amphibia*; 64) *Nitzschia communis*; 65-66) *Nitzschia frustulum*; 67) *Nitzschia graciliformis*; 68) *Nitzschia palea*; 69) *Nitzschia gandersheimiensis* var *tenuirostris*; 70) *Nitzschia hantzschiana*; 71) *Nitzschia umbonata*. Barra: 10 μ m



Figuras 72-80. 72) *Tryblionella apiculata*; 73) *Epithemia adnata*; 74) *Epithemia argus*; 75) *Epithemia argus* var *alpestris*; 76) *Epithemia sores*; 77) *Epithemia turgida*; 78) *Epithemia turgida* var *granulata*; 79) *Rhopalodia gibba*; 80) *Rhopalodia operculata*. Barra: 10 μ m



Figuras 81-89. 81-84) *Cyclotella meneghiniana*; 83) Vista externa, prolongación de fultopórtulas marginales (FM); 84) Vista interna. Fultopórtulas marginales (FM) en cada costilla; 84) Vista interna, Rimopórtula marginal (RM) y fultopórtula central (FC); 85) *Thalassiosira* aff. *duostris*; con fultopórtulas en el centro de la valva (FC); 86) *Pseudostaurosira brevistriata*; 87) *Staurosira construens*; 88) *Staurosira venter*; 89) *Punctastriata mimetica*. Barra: 1µm



Figuras 90-98. 90) *Punctastriata mimetica*; 91) *Anomoeoneis costata*; 92) *Encyonema mesianum*; 93) *Navicymbulla pusilla*; 94) *Gomphonema parvulum*; 95-96) *Halamphora veneta*; 97) *Nitzschia frustulum*; 98) *Nitzschia palea*. Barra: 1µm, excepto Fig. 91 Barra: 10 µm.

Se presentaron como primer registro para México *Epithemia argus* var *alpestris* y *Nitzschia graciliformis*. Asimismo, *Thalassiosira* aff. *duostra* correspondió también con el primer registro para América. A lo largo del estudio destacó la presencia constante de *Amphora copulata*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Eolimna subminuscula*, *Gomphonema parvulum*, *Halamphora coffeaeformis*, *H. veneta*, *Nitzschia frustulum*, *N. gandersheimiensis* v. *tenuirostris*, *N. hantzschiana*, *N. palea*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *P. subsalina*, *Punctastriata mimetica*, *Staurosira confusa*, *S. construens*, *S. venter* y *Thalassiosira* aff. *duostra*, de las cuales sobresalió la dominancia de *C. meneghiniana* representando el 95% de la abundancia total de las especies, de la misma forma también destacó la presencia de *T. aff. duostra* como codominante de *C. meneghiniana* (Fig. 99).

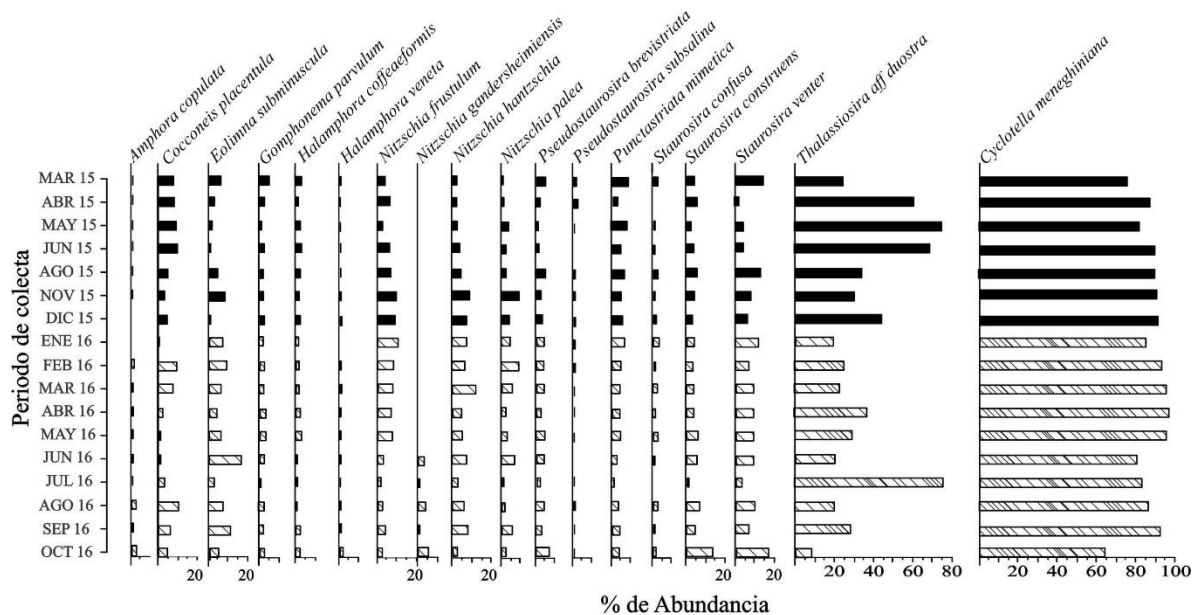


Figura 99. Porcentaje de abundancia de las especies dominantes durante 2015 (barras oscuras) y 2016 (barras con líneas). Las abundancias de las diatomeas dominantes fueron $\geq 2\%$ del componente bentónico total comparado con el 75% que representó *Thalassiosira aff. duostra* y el 95% que representó *Cyclotella meneghiniana* las cuales debido a su alta dominancia, sus porcentajes se calcularon de forma independiente al resto del grupo para facilitar una visualización comparativa.

Durante el periodo de muestreo, la composición de especies varió presentando una mayor riqueza en 2016 (Tabla 1), (Fig. 100).

Tabla 1. Composición de especies durante 2015-2016

	2015	2016
Bacillariophytina		
Mediophyceae, Thalassiosirophyceae		
Thalassiosirales, Stephanodiscaceae		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing, 1844	✓	✓
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee, 2004		✓
Thalassiosirales, Thalassiosiraceae		
<i>Thalassiosira aff. duostra</i> Pienaar y Pieterse 1990	✓	✓
Bacillariophyceae, Fragilariophycidae		
Fragilariales, Fragilariaceae		
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières 1830		✓
<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) Williams and Round 1988	✓	✓
<i>Pseudostaurisira brevistriata</i> (Grunow) Williams & Round 1987	✓	✓
<i>P. subsalina</i> (Hustedt) E.A. Morales 2005	✓	✓
<i>Staurisira construens</i> Ehrenberg 1843	✓	✓
<i>S. neoproducta</i> (Lange-Bertalot) Chudaev y Gololobova 2012	✓	✓
<i>S. venter</i> Cleve y J.D.Möller 1879	✓	✓
<i>Punctastriata mimetica</i> E.A. Morales 2005	✓	✓
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) D.M. Williams & Round 1986	✓	✓

Bacillariophyceae, Bacillariophycidae		
Achnanthes, Achnanthesiaceae		
<i>Achnanthes exiguum</i> (Grunow) Czarnecki 1994		✓
<i>Achnanthes minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki 1994	✓	✓
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) F.E. Round & P.W. Basson 1997	✓	✓
Achnanthes, Cocconeidaceae		
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838	✓	✓
Cymbellales, Anomoeoneidaceae		
<i>Anomoeoneis costata</i> (Kützing) Hustedt 1927	✓	✓
<i>A. sphaerophora</i> E. Pfitzer 1871	✓	✓
Cymbellales, Cymbellaceae		
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve 1894	✓	✓
<i>C. mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve 1894	✓	✓
<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) D.G. Mann 1990		✓
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann 1990	✓	✓
<i>Navicymbulla pusilla</i> (Grunow) Krammer 2003	✓	✓
Cymbellales, Gomphonemataceae		
<i>Gomphonema affine</i> Kützing 1844	✓	✓
<i>G. angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1864	✓	
<i>G. clavatum</i> Ehrenberg 1832	✓	
<i>G. gracile</i> Ehrenberg 1838	✓	✓
<i>G. hebridense</i> W. Gregory 1854	✓	✓
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849	✓	✓
<i>G. truncatum</i> Ehrenberg 1832		✓
Cymbellales, Rhoicospheniaceae		
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot 1980	✓	✓
Naviculales, Diadesmidaceae		
<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing 1844	✓	✓
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D.G. Mann 1990	✓	✓
<i>L. mutica</i> (Kützing) D.G. Mann 1990	✓	✓
Naviculales, Diploneidaceae		
<i>Diploneis pseudovalis</i> Hustedt 1930		✓
Naviculales, Naviculaceae		
<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Gerd Moser, Lange-Bertalot y Metzeltin 1998	✓	✓
<i>Geissleria tagensis</i> Novais & Ector 2013	✓	✓
<i>Hippodonta hungarica</i> (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin y Witkowski 1996	✓	✓
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844		✓
<i>N. veneta</i> Kützing 1844	✓	✓
Naviculales, Pinnulariaceae		
<i>Pinnularia abaujensis</i> var. <i>linearis</i> R.M.Patrick 1966		✓
Naviculales, Sellaphoraceae		

<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) A.J. Stickle & D.G. Mann 1990		✓
<i>Sellaphora laevissima</i> (Kützing) D.G. Mann 1989	✓	✓
<i>S. pseudoventralis</i> (Hustedt) Chudaev & Gololobova 2015	✓	✓
<i>S. pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky 1902	✓	✓
Naviculales, Stauroneidaceae		
<i>C. halophila</i> (Grunow) D.G. Mann 1990	✓	✓
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1843	✓	
Thalassiophysales, Catenulaceae		
<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald 1986	✓	✓
<i>Halamphora coffeaeformis</i> (Agardh) Levkov 2009	✓	✓
<i>H. veneta</i> (Kützing) Levkov 2009	✓	✓
Bacillariales, Bacillariaceae		
<i>Denticula valida</i> (Pedicino) Grunow 1882-1885	✓	✓
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow 1880		✓
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	✓	✓
<i>N. communis</i> Rabenhorst 1848-1860	✓	✓
<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow 1880	✓	✓
<i>N. gandersheimiensis</i> v. <i>tenuirostris</i> Grunow 1881	✓	✓
<i>N. graciliformis</i> Lange-Bertalot & Simonsen 1978	✓	✓
<i>N. hantzschiana</i> Rabenhorst 1860	✓	✓
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	✓	✓
<i>N. umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot 1978	✓	✓
<i>Tryblionella apiculata</i> W. Gregory 1857	✓	
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838	✓	✓
<i>Epithemia argus</i> (Ehrenberg) Kützing 1844		✓
<i>E. argus</i> v. <i>alpestris</i> (W. Smith) Grunow 1860		✓
<i>E. sorex</i> Kützing 1844	✓	✓
<i>E. turgida</i> (Ehrenberg) Kützing 1844	✓	✓
<i>E. turgida</i> v. <i>granulata</i> (Ehrenberg) Brun 1880		✓
<i>Rhopalodia gibba</i>	✓	✓
<i>R. operculata</i>		
Riqueza	55	64

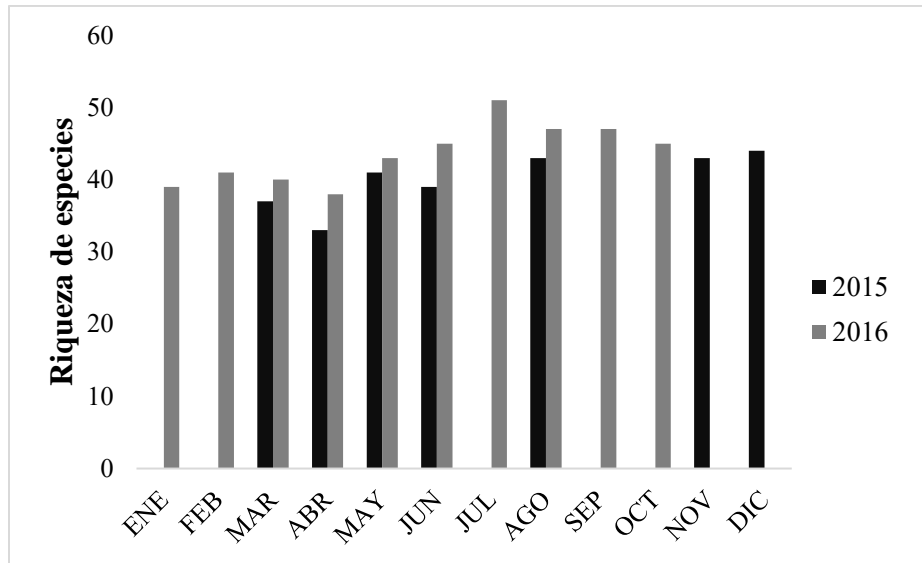


Figura 100. Riqueza mensual de diatomeas bentónicas durante 2015-2016.

Ambientes Lóticos y Lénticos dentro de la Cuenca de México

La flora de diatomeas del lago de Chalco se comparó con los registros dentro de la cuenca de México (Tabla 2) el mayor porcentaje entre las especies compartidas correspondió con la subcuenca más cercana, que es Xochimilco-Tláhuac (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de la comunidad de diatomeas del Lago de Chalco con los cuerpos de agua en la Cuenca de México.

Ambiente	Ubicación geográfica	Forma de vida	Porcentaje de especies en común	Referencia
Lentico	Subcuenca Xochimilco-Tláhuac (94 spp.)	Bentónica	50%	Buendía-Flores et al., 2015
Lotico	Subcuenca del Río Magdalena (70 spp.)	Epilítica	25%	Ramírez et al., 2001 Ramírez Vázquez y Cantoral Uriza, 2003
Lotico	Subcuencas: Coatlaco Coaxacoaco San Rafael-Tlalmanalco Ameca-Canal Nacional Las regaderas Santo desierto-Mixcac Magdalena-Eslava Cuautitlan San Ildefonso Tlalnepantla La Colmena (450 spp.)	Epilítica	8%	Salinas (2018)

Estructura de la Comunidad

Rarefacción. Se comprobó que el muestreo fue suficiente mediante una curva de acumulación de especies (rarefacción) (Fig. 101a, b), tanto para 2015 como 2016, ambas curvas llegaron a ser asintóticas, lo que justificó explorar la Diversidad de Shannon.

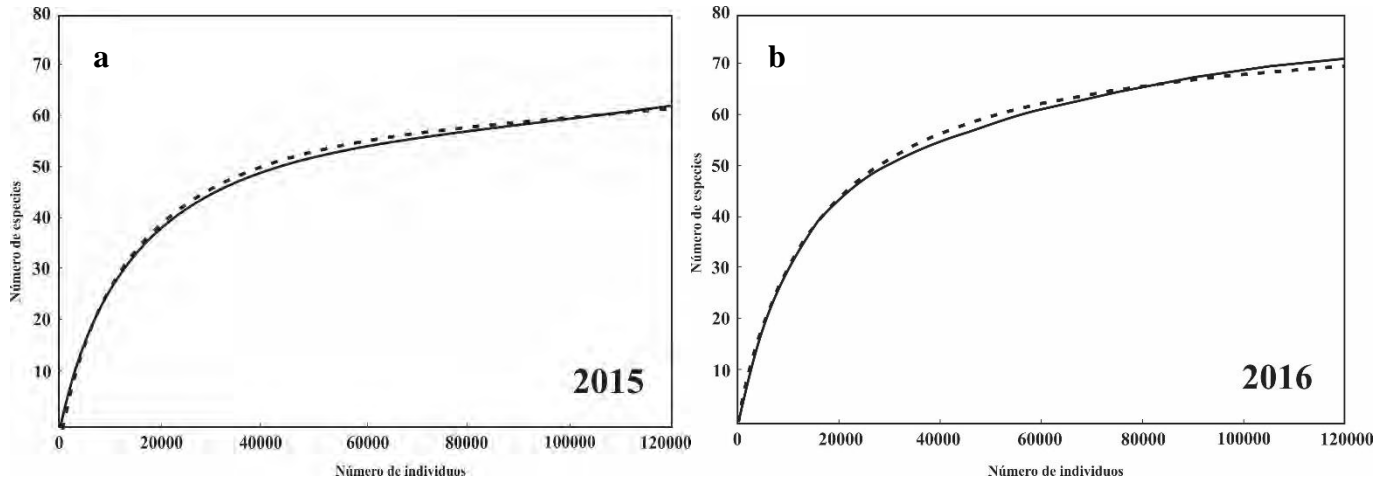


Figura 101. Curvas de acumulación de especies observadas (línea continua) y esperadas (línea punteada) para 61 especies en 2015 y (b) 69 especies en 2016

Tanto en 2015 como 2016 la calidad del muestreo fue buena mostrando un valor de $R^2= 0.99$ y $R^2= 0.98$ respectivamente, con una varianza explicada en 2015 de 98.2% y en 2016 de 96.7%. De acuerdo con el modelo de Clench se registró un 87% de la flora de diatomeas bentónicas del lago de Chalco en 2015 y en 2016 un 93 %.

Diversidad. La diversidad de especies disminuyó durante el periodo de muestreo, el índice de Shannon-Wiener mostró una mayor diversidad en 2015 ($H'=2.079$; $H_{\max}=4.1$) que en 2016 ($H'= 0.5$; $H_{\max}=4.2$) (Fig. 102).

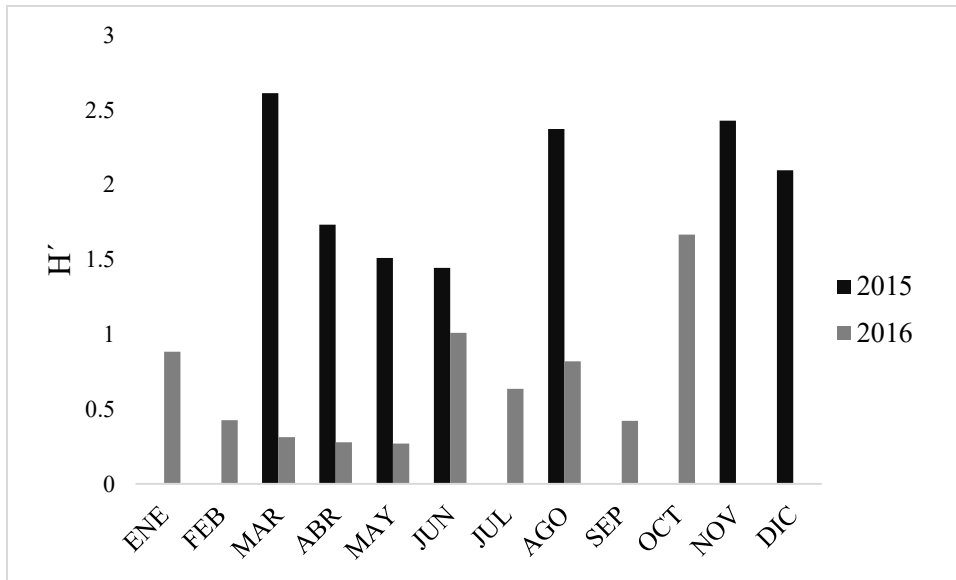


Figura 102. Diversidad mensual obtenida a partir del índice de Shannon-Wiener durante 2015-2016.

El Índice de Simpson (D) indicó mayor dominancia en 2016 (D= 0.8) que en 2015 (D=0.3), lo que correspondió con el valor del índice de Pielou (J'), que mostró mayor equitatividad en 2015 (0.5) que en 2016 (0.1) (Fig. 103 a y b).

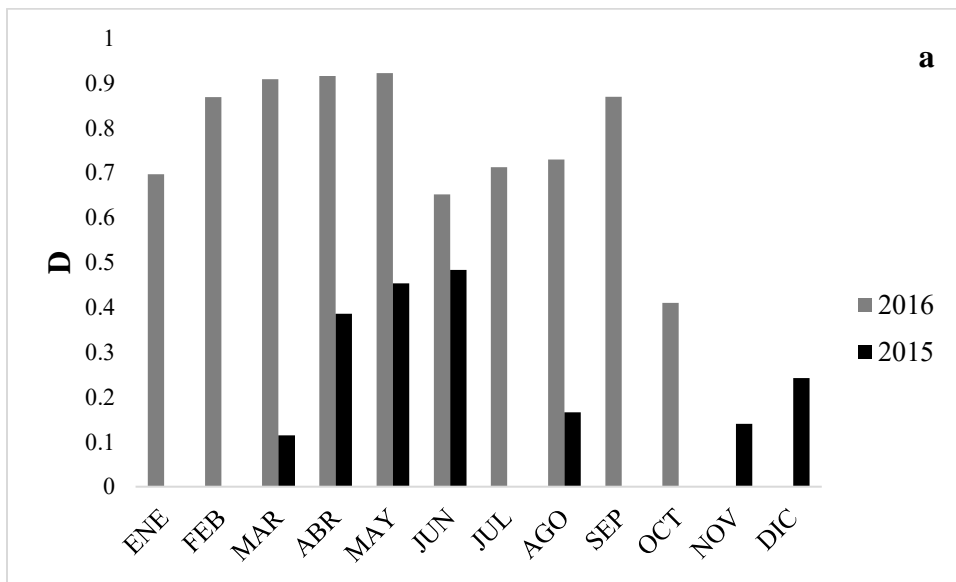


Figura 103. (a) Dominancia mensual analizada por año con el índice de dominancia de Simpson.

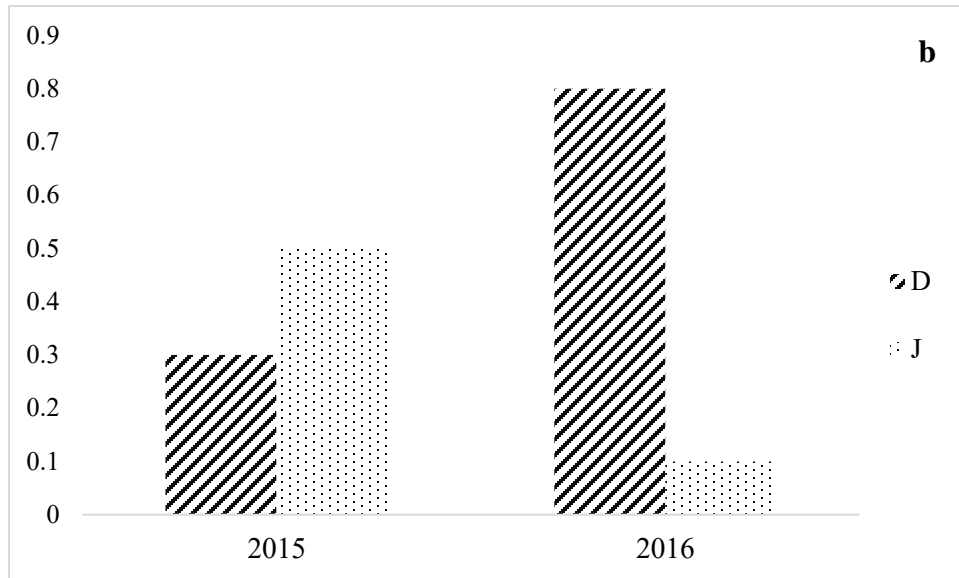


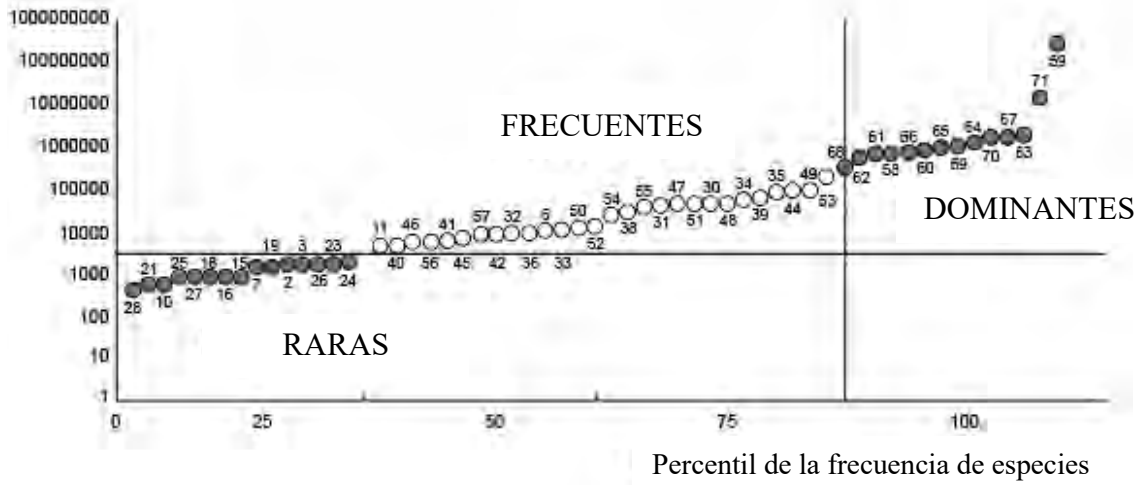
Figura 103. (b) Contraste entre dominancia (D) y equitatividad (J) anuales en 2015 y 2016.

Categorización ecológica de las especies (frecuencia de presencia)

La prueba de asociación de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1979) categorizó a las especies en tres categorías: Dominantes, Frecuentes y Raras y mostró cambios de frecuencia de 2015 a 2016 (Fig. 104 a y b).

Entre el periodo de colecta se observaron cambios en la distribución de especies con respecto a la categoría asignada. De 2015 a 2016 aumentaron las especies dominantes, frecuentes y raras. En 2016 se incluyeron 13 especies raras (*Diploneis pseudovalis*, *Discostella pseudostelligera*, *Epithemia turgida* var. *granulata*, *Encyonema silesiacum*, *Epithemia argus*, *E. argus* var. *alpestris*, *Epithemia turgida*, *Fallacia pygmaea*, *Fragilaria capucina*, *Gomphonema angustatum*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula cryptocephala*, y *Pinnularia abaujensis* var. *linearis*), tres especies dominantes (*Amphora copulata*, *Halamphora veneta*, *Nitzschia gandersheimiensis* f. *tenuirostris*), 4 especies frecuentes (*Rhopalodia gibba*, *Cymbella aspera*, *Gomphonema affine* y *G. gracile*) y 4 especies ya no fueron observadas (*Stauroneis phoenicenteron*, *Gomphonema hebridense*, *G. clavatum* y *G. aungustatum*) (Tabla 3).

LN Número de frustulas / gramo de sedimento



LN Número de frustulas / gramo de sedimento

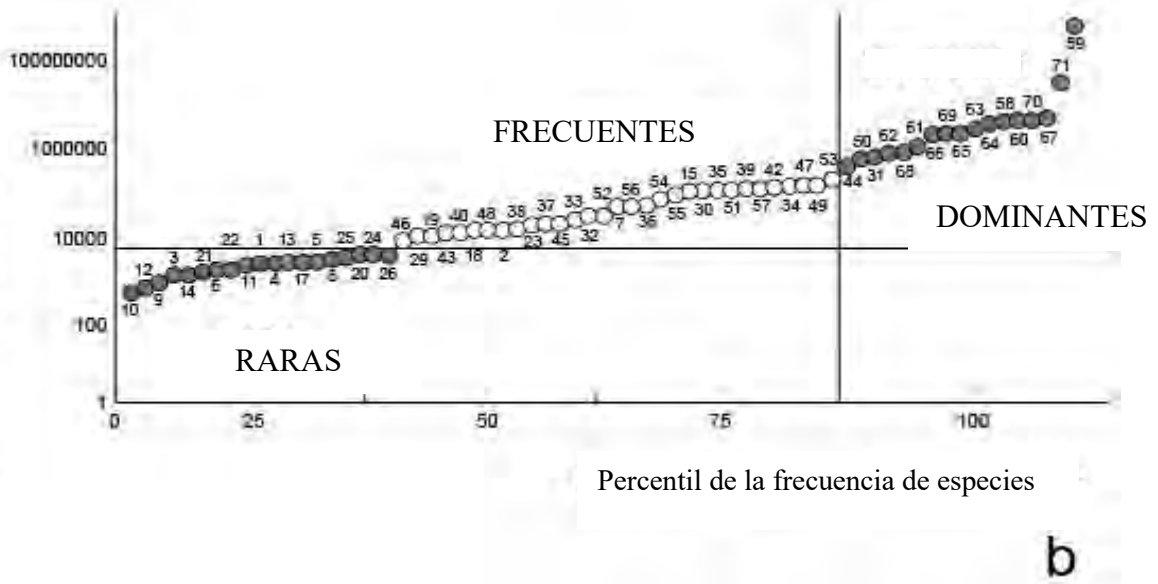


Figura 104. Categorización de las especies de acuerdo con la Prueba de Asociación de Olmstead-Tukey, a) 2015 y b) 2016. Numeración de especies de acuerdo con Tabla 3.

Tabla 3. Categorización de las especies. **Letras en negrito** aquellas especies que cambiaron de categoría.

	RARAS		FRECUENTES		DOMINANTES
1	Cymbella aspera	28	<i>Achnantheidium exiguum</i>	30	Amphora copulata
2	<i>C. mexicana</i>	29	<i>A. minutissimum</i>	56	<i>Cocconeis placentula</i>
3	<i>Diploneis pseudovalis</i>	30	Amphora copulata	57	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
4	<i>Discostella pseudostelligera</i>	31	<i>Anomoeoneis costata</i>	58	<i>Eolimna subminuscula</i>
5	<i>Encyonema silesiacum</i>	32	<i>A. sphaerophora</i>	59	<i>Gomphonema parvulum</i>
6	Epithemia adnata	33	<i>Craticula halophila</i>	60	<i>Halamphora coffeaeformis</i>
7	<i>E. argus</i>	1	Cymbella aspera	42	H. veneta
8	<i>E. argus</i> v. <i>alpestris</i>	34	<i>Denticula valida</i>	61	<i>Nitzschia frustulum</i>
9	<i>Epithemia sorex</i>	35	<i>Diadsmis confervacea</i>	48	N gandersheimiensis v. tenuirostris
10	E. turgida	36	<i>Encyonema mesianum</i>	62	<i>N. hantzschiana</i>
11	<i>E. turgida</i> v. <i>granulata</i>	6	Epithemia adnata	63	<i>N. palea</i>
12	<i>Fallacia pygmaea</i>	10	E. turgida	64	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>
13	<i>Fragilaria capucina</i>	37	<i>Fragilariforma virescens</i>	65	<i>Punctastriata mimetica</i>
14	Gomphonema affine	38	<i>Geissleria tagensis</i>	66	<i>Staurosira confusa</i>
15	<i>G. clavatum</i>	14	Gomphonema affine	67	<i>S. construens</i>
16	<i>Hantzschia amphioxys</i>	39	<i>G. angustatum</i>	68	<i>S. venter</i>
17	Hippodonta hungarica	40	<i>G. gracile</i>	69	<i>Thalassiosira</i> aff. <i>duostra</i>
18	Lemnicola hungarica	41	<i>G. truncatum</i>		
19	<i>Navicula cryptocephala</i>	42	Halamphora veneta		
20	<i>Navicymbula pusilla</i>	17	Hippodonta hungarica		
21	<i>Pinnularia abaujensis</i> v. <i>linearis</i>	18	Lemnicola hungarica		
22	Rhopalodia gibba	43	<i>Luticola goeppertiana</i>		
23	<i>R. operculata</i>	44	<i>Luticola mutica</i>		
24	<i>Sellaphora laevissima</i>	45	<i>Navicula veneta</i>		
25	<i>S. pupula</i>	46	<i>Nitzschia amphibia</i>		
26	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	47	<i>N. communis</i>		
27	<i>Triblyonella apiculata</i>	48	N. gandersheimiensis v. tenuirostris		
		49	<i>N. graciliformis</i>		
		50	<i>N. umbonata</i>		
		51	<i>Pseudostaurosira subsalina</i>		
		52	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>		
		22	Rhopalodia gibba		
		53	<i>Sellaphora pseudoventralis</i>		
		54	<i>Staurosira neoproducta</i>		
		55	<i>Tabularia fasciculata</i>		

Variables ambientales

De las variables fisicoquímicas tomadas en campo durante el periodo de muestro se observó una temperatura promedio de 20°C y 21°C en 2015 y 2016 respectivamente. La temperatura menor (16°C) se registró en enero y la más alta (24°C) en junio, ambas durante 2016. El porcentaje de oxígeno disuelto reflejó la concentración elevada de fitoplancton en la columna de agua alcanzando un valor de 93%. El pH se mantuvo básico durante el periodo de muestreo (9.1-10.5), en cambio la conductividad presentó un rango de variabilidad entre 1332 y 1991 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de 2015 a 2016. Los valores de K_d mostraron una columna de agua poco iluminada ya que los resultados fueron mayores a 1, es decir la luz en el bentos es poca o nula (Tablas 4 y 5).

Tabla 4. Variables fisicoquímicas del Lago de Chalco durante el periodo de muestreo 2015. El valor de Kd se calculó con base a los datos de irradianza tomados en campo.

	T °C	OD mg/l	% OD	pH (unidades)	CE μ s	Kd (unidades)	PO ₄ ³⁻ mg l ⁻¹	Ptot mg l ⁻¹	NO ₃ -N mg l ⁻¹	NO ₂ -N mg l ⁻²	NH ₄ -N mg l	SiO ₂ mg l ⁻¹
MZ(15)1	17.92	0.74	18	9.07	1744	-	0.11	0.33	0.14	0.00	0.12	39.2
MZ(15)2	18.17	0.96	58.5	9.41	1715	-	0.09	0.28	0.38	0.00	0.05	36.3
MZ(15)3	19.15	2.99	89.3	9.56	1734	-	0.10	0.30	0.27	0.03	0.06	39.4
AB(15)1	21.25	0.43	32.5	9.4	1662	12.09	0.40	1.09	0.95	0.00	0.72	49.7
AB(15)2	20.7	0.66	2	9.47	1620	24.85	0.20	0.49	0.68	0.00	0.17	48.0
AB(15)3	20.62	0.97	10.9	9.44	1600	7.66	0.57	1.30	0.99	0.00	0.15	41.0
MY(15)1	21.17	3.35	47	10.47	1662	2.70	0.26	0.60	0.45	0.00	0.09	48.7
MY(15)2	21.1	1.73	41.8	9.69	1594	0.20	0.26	0.59	0.47	0.00	0.10	47.0
MY(15)3	21.04	1.05	14.6	9.61	1573	1.09	0.23	0.53	0.50	0.00	0.11	47.1
JN(15)1	23.785	3.935	53.95	9.115	1516	13.86	0.11	0.35	1.78	0.00	0.21	34.0
JN(15)2	23.575	3.305	50.55	9.635	1499	6.13	0.02	0.35	1.76	0.00	0.21	31.5
JN(15)3	20.13	0.165	2.2	9.76	1653	2.00	0.10	0.36	1.85	0.00	0.23	34.2
AG(15)1	20.79	4	47.2	9.83	1335	0.36	0.02	0.06	1.26	0.00	0.19	34.0
AG(15)2	21.24	4.43	58.1	9.95	1331	6.44	0.12	0.38	1.44	0.01	0.11	31.5
AG(15)3	20.96	4.02	51.4	10.05	1330	2.62	0.13	0.39	1.73	0.00	0.17	34.2
NV(15)1	21.175	5.82	80.5	9.54	1532.5	10.56	0.11	0.34	1.30	0.03	0.03	41.9
NV(15)2	20.195	1.725	24.5	9.315	1514	12.43	0.05	0.15	0.30	0.04	0.03	42.0
NV(15)3	20.8	1.695	24.95	9.38	1522.5	9.49	0.18	0.56	0.40	0.05	0.03	22.1
DC(15)1	18.705	10.035	70.31	9.57	1533	12.12	0.21	0.63	0.20	0.12	0.53	46.4
DC(15)2	18.155	13.055	56.1	8.97	1684	12.01	0.09	0.28	0.02	0.04	0.15	46.5

De acuerdo con la concentración de fósforo total el lago de Chalco muestra un nivel trófico hipertrófico (Lampert and Sommer, 2007).

Tabla 5. Variables fisicoquímicas del Lago de Chalco durante el periodo de muestreo 2016. El valor de kd se calculó con base a los datos de irradianza tomados en campo.

	T °C	OD mg/l	% OD	pH (unidades)	CE μ s	kd (unidades)	PO ₄ ³⁻ mg l ⁻¹	Ptot mg l ⁻¹	NO ₃ -N mg l ⁻¹	NO ₂ -N mg l ⁻²	NH ₄ -N mg	SiO ₂ mg l ⁻¹
EN(16)1	15.015	12.915	62.3	9.2	1752.5	10.80	0.19	0.58	0.02	0.03	4.73	44.1
EN(16)2	16.01	12.68	60.75	9.2	1776.5	23.03	0.20	0.62	0.06	0.06	6.16	37.2
EN(16)3	18.15	18.18	134.5	9.375	1760.5	23.54	0.23	0.71	0.06	0.02	6.35	35.6
FB(16)1	18.605	23.41	106.5	9.42	1737	13.53	0.06	0.20	0.10	0.01	1.40	43.1
FB(16)2	19.505	17.49	65.4	9.335	1738	15.05	0.04	0.14	0.10	0.04	0.27	33.7
FB(16)3	18.29	9.74	107.15	9.395	1753.5	16.03	0.05	0.15	0.10	0.01	0.24	39.4
MZ(16)1	22.07	16.02	84.55	9.42	1881.5	10.54	0.11	0.32	0.25	0.00	0.31	39.5
MZ(16)2	21.665	15.105	3.14	9.36	1878	1.10	0.12	0.36	0.25	0.01	0.30	38.4
MZ(16)3	21.415	14.38	42.9	9.325	1865.5	14.56	0.11	0.34	0.25	0.01	0.24	38.0
AB(16)1	18.785	9.13	42.25	9.225	1962	12.39	0.12	0.37	0.09	0.01	0.10	39.4
AB(16)2	19.62	9.275	44.3	9.175	1946.5	12.23	0.03	0.09	0.38	0.01	0.08	35.4
AB(16)3	19.65	9.6	48	9.16	1946	1.23	0.06	0.19	0.23	0.01	0.01	45.2
MY(16)1	21.915	8.505	26.4	9.46	2020.5	0.51	0.12	0.37	0.14	0.00	0.24	33.1
MY(16)2	23.12	9.365	37.95	9.415	1994.5	7.50	0.06	0.20	0.18	0.01	0.23	36.9
MY(16)3	24.975	8.685	25.95	9.59	1958.5	7.30	0.10	0.31	0.25	0.01	0.06	31.3
JN(16)1	23.225	11.505	36.4	9.545	1930.5	14.74	0.05	0.20	0.00	0.01	0.27	30.0
JN(16)2	23.94	10.725	31.85	9.545	1932	13.94	0.03	0.13	0.02	0.02	0.24	32.5
JN(16)3	23.925	12.72	42.05	8.145	1905	8.50	0.04	0.14	0.02	0.01	0.24	37.4
JL(16)1	21.035	11.415	36.05	10.765	1806.5	15.54	0.11	0.32	0.20	0.01	0.28	27.0
JL(16)2	21.41	10.3	31.65	9.365	1835	0.28	0.02	0.07	0.20	0.01	0.30	22.5
JL(16)3	22.505	12.21	36.8	9.505	1841	0.57	0.10	0.30	0.20	0.01	0.29	24.8
AG(16)1	21.1	12.67	3.2	9.4	1878.5	9.54	2.50	7.68	0.01	0.01	0.04	32.9
AG(16)2	21.325	8.85	27.15	9.345	1845.5	8.26	1.96	6.02	0.01	0.01	0.02	27.6
AG(16)3	23.045	9.47	28.45	9.415	1841	9.68	2.18	6.68	0.01	0.01	0.03	31.8
SP(16)1	20.875	13.51	41	9.68	1854	1.139	2.993	0.972	0.010	0.003	0.363	22.841
SP(16)2	21.29	13.805	41.2	9.665	1841.5	0.257	2.350	0.762	0.010	0.003	0.191	19.162
SP(16)3	22.44	14.22	43.05	9.63	1852	14.026	2.607	0.846	0.010	0.003	0.286	22.077
OC(16)1	20.9	24.6	78	9.11	1830	0.958	2.722	0.882	0	0.001	0.415	23.023
OC(16)2	22.6	23.4	66	9.19	1772	3.478	2.137	0.691	0	0.001	0.218	19.314
OC(16)3	22.3	23	74	9.18	1772	1.260	2.371	0.767	0	0.001	0.327	22.253

La hidroquímica mostró que el agua del lago de Chalco es de tipo subsalina (Armienta et al., 2008). Se observaron los valores más altos de HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na durante 2016 y SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} durante 2015. En ambos años hubo un contraste entre los meses de abril-mayo y junio-agosto, presentándose los valores más altos y más bajos, respectivamente (Tabla 6). Tomando en cuenta la concentración de iones se realizó el cálculo de la salinidad mostrando que esta incrementó durante 2016 (Fig. 105).

Tabla 6. Hidroquímica del lago de Chalco durante 2015-2016.

Fecha de colecta	CO_3^{2-} mg l ⁻¹	HCO_3^- mg l ⁻¹	SO_4^{2-} mg l ⁻¹	Cl^- mg l ⁻¹	Na^+ mg l ⁻¹	K^+ mg l ⁻¹	Ca^{2+} mg l ⁻¹	Mg^{2+} mg l ⁻¹	Alcalinidad mg l ⁻¹	SDT mg l ⁻¹
Marzo 15	123.4	247.76	272.62	201	304	37	36.43	40.4	408.74	1180
Abril 15	173.40	163.52	288.86	234.00	303.75	39.22	68.09	76.70	423.03	1224.00
Mayo 15	143.24	192.90	283.14	203.00	307.75	37.20	68.09	70.80	396.86	1177.00
Junio 15	23.5	344.62	273.68	205.00	302	37.75	33.57	37.00	321.65	1221.00
Agosto 15	104.5	255	243.4	202	287	33.1	33.56	40.7	383.1	1123
Noviembre 15	56.9	405	215.02	200	275.8	81.4	37.8	45.85	426.8	1101
Diciembre 15	94.02	332.04	219.26	203	270	58.6	36.82	48.14	428.86	1109
Enero 16	90.31	271.67	227.6	202.00	295	52.2	42.1	47.6	92.78	1188.00
Febrero 16	142.72	287.23	221.34	205.00	299.50	57.65	41.24	48.55	473.30	1197.00
Marzo 16	107.76	352.38	233.00	209.50	312.50	39.50	42.20	46.52	468.44	1230.00
Abril 16	125.24	319.80	257.70	219.00	332.50	44.00	40.28	46.52	470.87	1238.00
Mayo 16	102.94	366.33	266.62	228.5	315.5	43	40.27	43.6	471.85	1363
Junio 16	113.24	308.76	269.82	225.5	302.5	41.3	40.27	40.7	441.82	1300
Julio 16	81.07	337.54	258.98	219.5	300	40.15	38.35	36.63	411.8	1230
Agosto 16	102.76	316.8	264.6	206	312	38.3	37	38.34	431	1242
Septiembre 16	86.2	364	249.24	209	345	38.3	40.9	40.12	442	1217
Octubre 16	76.53	407.7	250.5	210.5	310.5	39.1	40.27	41.28	461.73	1258

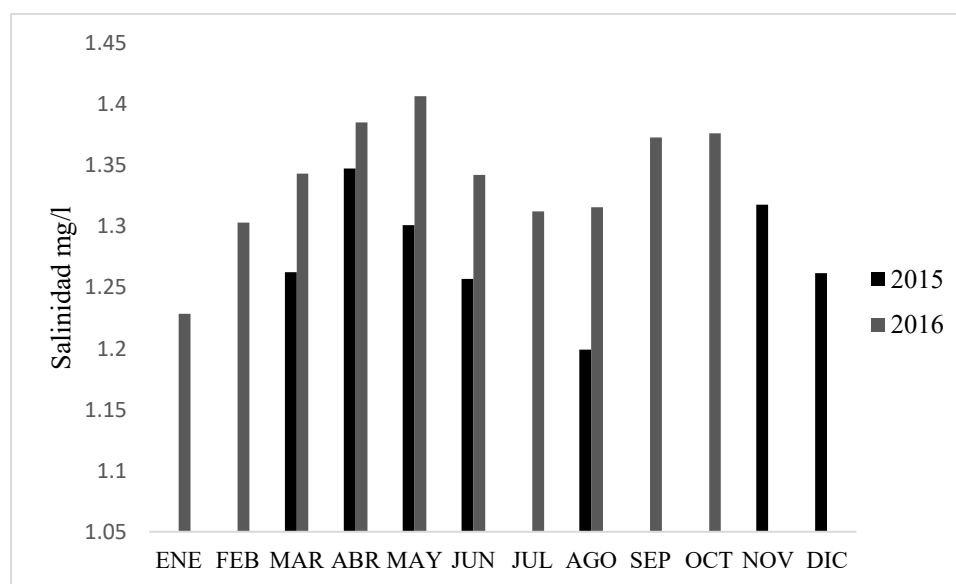


Figura 105. Salinidad mensual calculada a partir de la concentración de iones disueltos durante el periodo de muestreo.

Composición iónica

De acuerdo con los diagramas trinagulares, en ambos años se presentó una dominancia de carbonato y sodio indicando que el agua del lago de Chalco es de tipo carbonatada sódica, característica común de un cuerpo de agua subsalino (Armenta et al. 2008). Otra característica que se observó fueron cambios temporales en ambos años, es decir, agrupamiento de los meses por temporada de lluvias (mayo, junio, julio, agosto, septiembre) y de secas (enero, febrero marzo, abril, octubre, noviembre, diciembre) (Fig. 106).

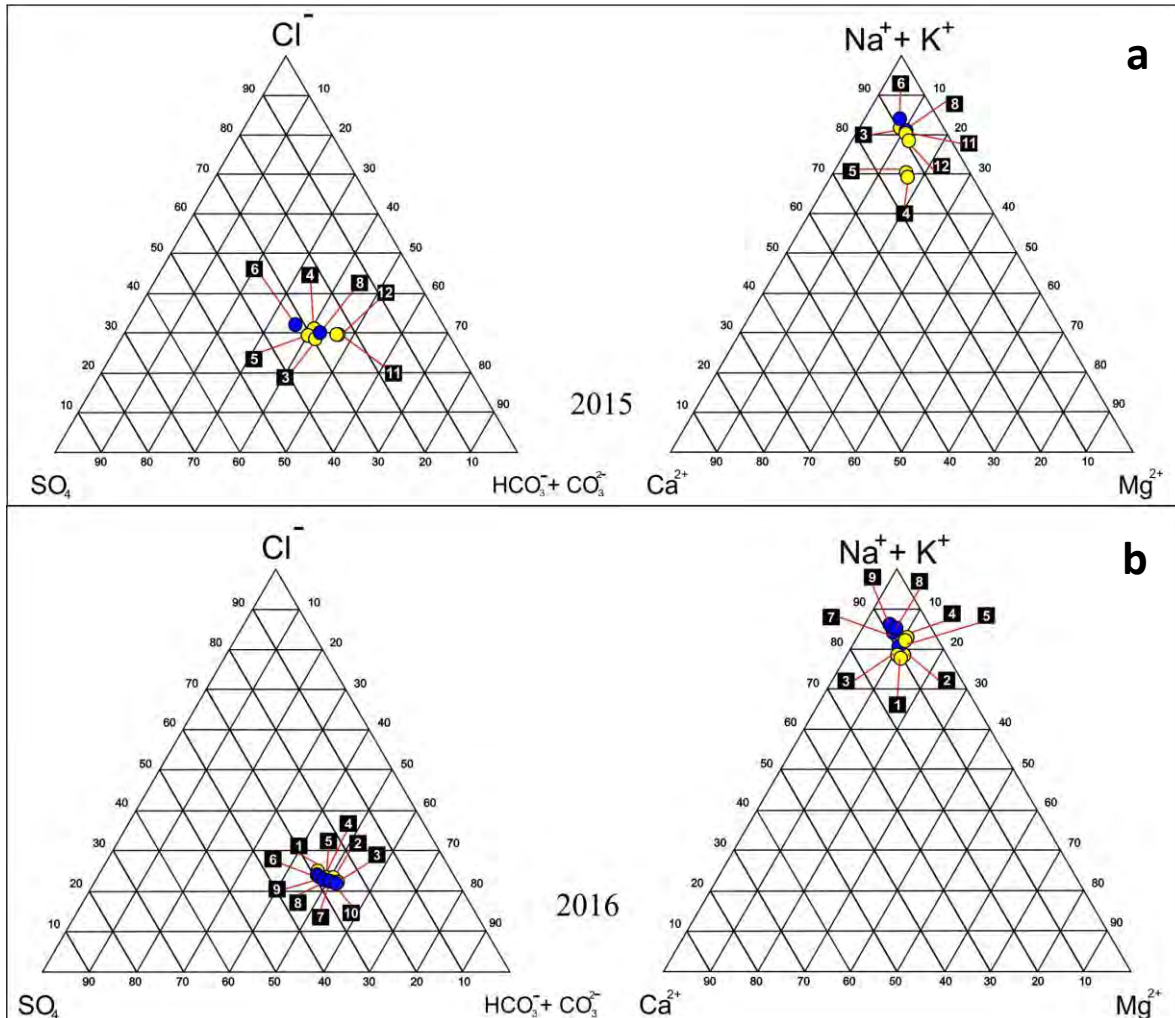


Figura 106. Composición iónica del Lago de Chalco.

a) 2015: $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$; $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

b) 2016: $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$; $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$

● Temporada de lluvias; ● Temporada de secas (1=enero; 2=febrero... 12=diciembre).

Análisis estadísticos

Al realizar el ACC con el conjunto de 69 especies, 20 variables ambientales y 51 puntos de colecta tomados entre 2015 y 2016 no mostró una relación lineal entre los sitios, abundancia de especies y

variables ambientales ya que el valor de p calculada fue mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ de acuerdo con el test de permutación (Fig. 107 A y B), sin embargo el resultado mostró una diferencia anual y espacial, destacando los meses de secas y lluvias, en ambos años (Fig. 107 A), en cuanto a las especies se observó un agrupamiento de las dominantes (puntos azules) y frecuentes (puntos amarillos) resaltando en los extremos aquellas especies que cambiaron de frecuencia de 2015 a 2016 (puntos rosas y verdes) y las especies raras (puntos rojos) (Fig. 107 B), la clasificación de cada especie está dada por la categoría asignada en la prueba de asociación de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1979) (Fig. 104).

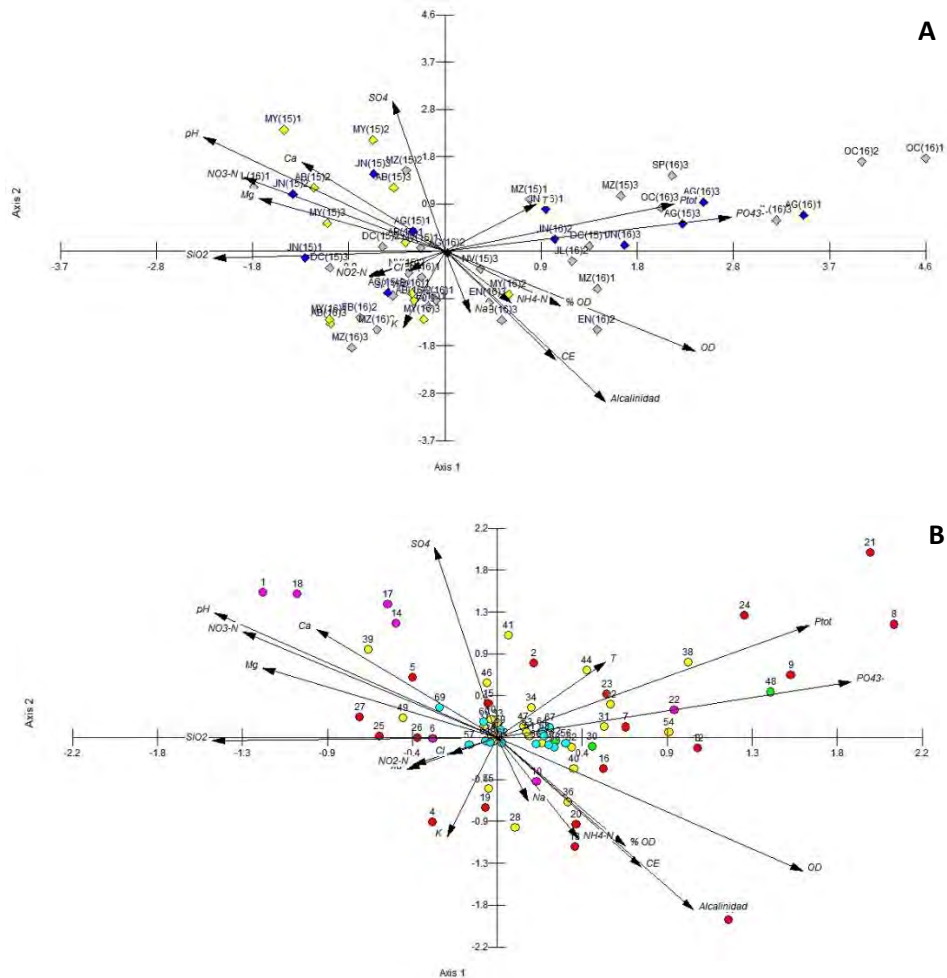


Figura 107. ACC con el conjunto de 69 spp. y 20 variables ambientales. **A)** ACC Sitios/variables ambientales: Lluvias \blacklozenge , Secas \blacklozenge . **B)** ACC Especies/variables ambientales: \bullet Dominantes, \bullet Frecuentes, \bullet Raras, \bullet Frecuentes a dominantes, \bullet Raras a frecuentes. Inercia acumulada de 39%. Nomenclatura de las especies de acuerdo con Tabla 3.

Tomando en cuenta los resultados se realizó un segundo ACC con el conjunto de 69 especies, solo los meses de lluvias (junio-agosto) y secas (abril-mayo), coincidentes en ambos años y que mostraron un contraste en las proporciones de iones mayores, separando las variables ambientales en físicoquímicas (Fig.109) e hidroquímicas (Fig. 108). De esta manera el porcentaje de inercia

aumentó a 63% y 70% respectivamente. El análisis mostró una relación lineal con las variables hidroquímicas ($p < 0.05$) y una no lineal con las fisicoquímicas ($p > 0.05$) de acuerdo con el test de permutación.

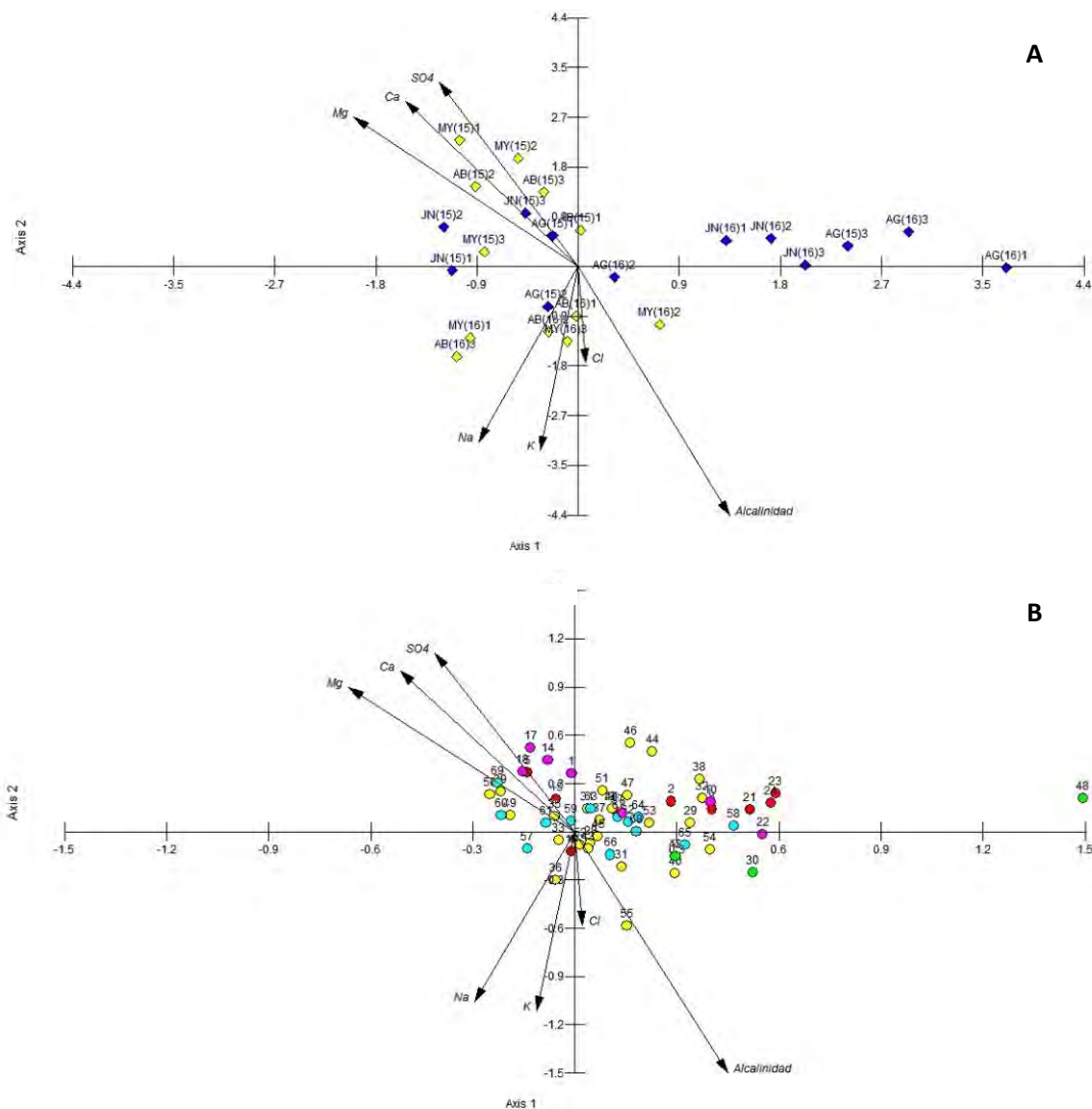


Figura 108. ACC con variables Hidroquímicas

A) ACC Sitios/variables hidroquímicas: ◆ Lluvias, ◆ Secas

B) ACC Especies/variables hidroquímicas:

● Dominantes, ● Frecuentes, ● Raras, ● Frecuentes a dominantes, ● Raras a frecuentes.

Inercia acumulada 70%. Nomenclatura de las especies de acuerdo con Tabla 3.

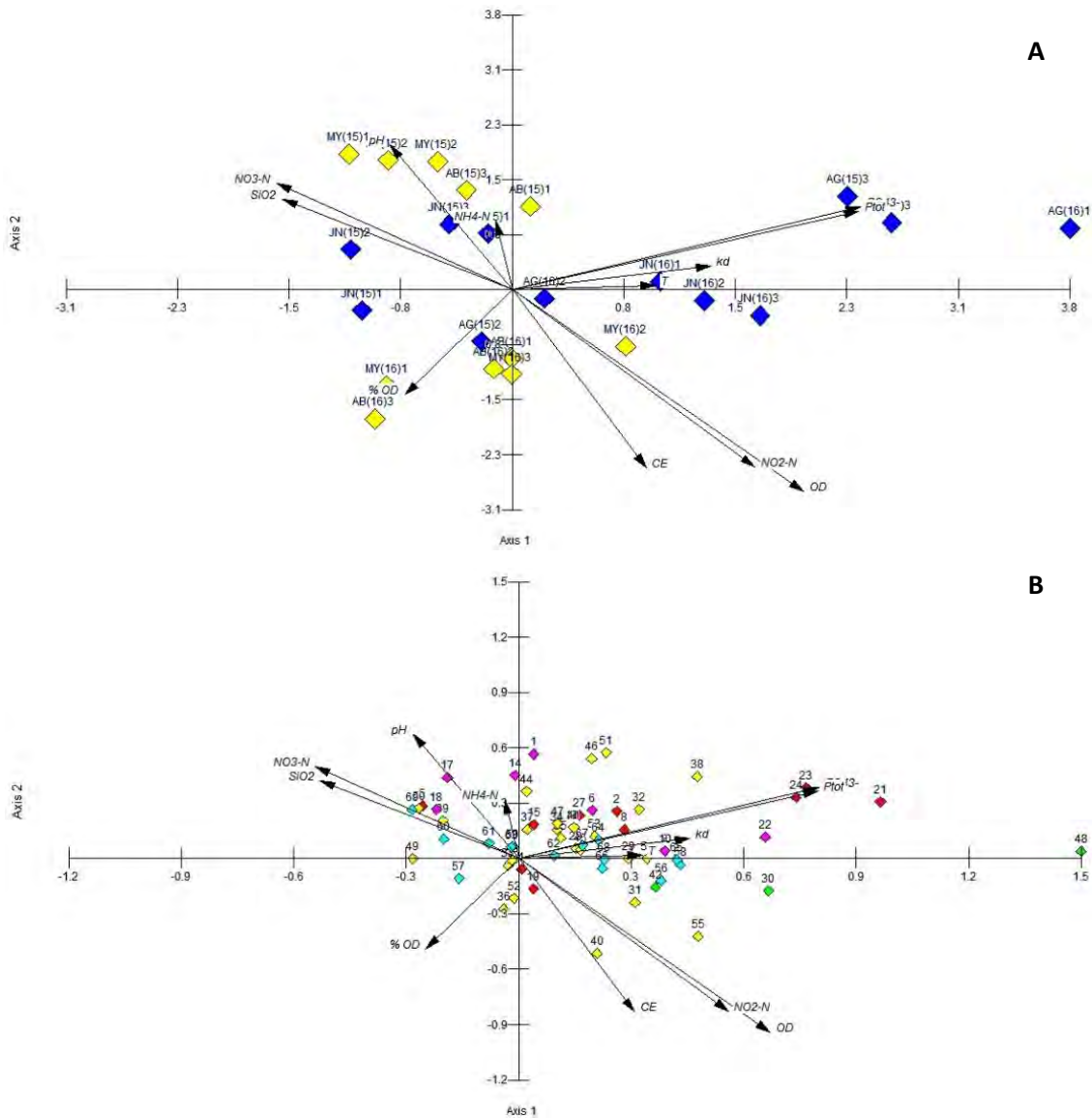


Figura 109. ACC con variables fisicoquímicas

Figura 109. A) ACC Sitios/variables fisicoquímicas: ◆ Lluvias, ◆ Secas

B) ACC Especies/variables fisicoquímicas:

● Dominantes, ● Frecuentes, ● Raras, ● Frecuentes a dominantes, ● Raras a frecuentes.

Inercia acumulada 63%. Nomenclatura de las especies de acuerdo con Tabla 3.

A partir del conjunto de especies (69) y su valor de inercia acumulada con las variables fisicoquímicas (63%) se hizo un ACC con cada grupo (dominantes, frecuentes y raras) obteniendo una relación lineal con el grupo de especies dominantes ($p < 0.05$) y un 83% de inercia acumulada (Fig. 110).

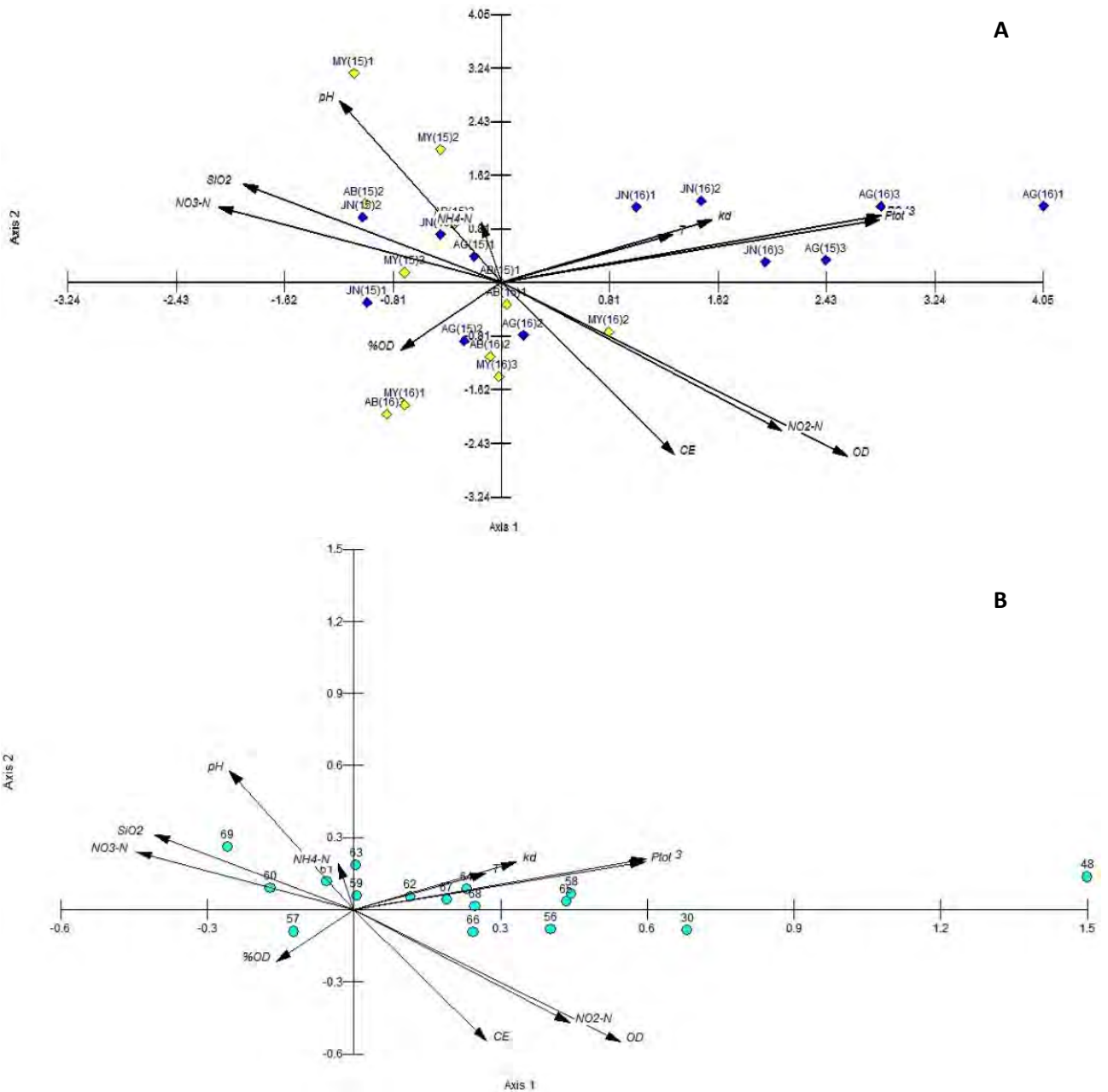


Figura 110. ACC variables fisicoquímicas y especies dominantes
A) ACC Sitios/variables fisicoquímicas: ◆ Lluvias, ◇ Secas
B) ACC Especies dominantes ● /variables fisicoquímicas
 Inercia acumulada 83%. Nomenclatura de las especies de acuerdo con Tabla 3.

Diatomeas bentónicas del lago de Chalco y Variables hidroquímicas

La relación de la abundancia del conjunto de especies con la hidroquímica del lago mostró una diferencia entre años, épocas (secas/lluvias) y sitios de colecta (Fig. 108). Los dos primeros ejes explicaron el 70% de la inercia total, las variables que se correlacionaron positivamente con el eje 1 fueron cloruro y negativamente magnesio y sodio. El segundo eje estuvo correlacionado negativamente con la alcalinidad y el potasio, mientras que el sulfato y calcio se correlacionaron

positivamente. En cuanto a los sitios se observó una clara diferencia anual y espacial asociándose los meses de lluvias con sulfato, calcio y magnesio, especialmente 2015, mientras los meses de secas se relacionaron con sodio y potasio, principalmente 2016. Se observó un gradiente de alcalinidad mostrando a los sitios de 2016 (especialmente secas) con mayor cantidad, en cuanto a las lluvias se observan cantidades medias y los sitios de 2015 (especialmente secas) cantidades bajas. El conjunto de especies se agrupó principalmente bajo las condiciones dadas en la época de lluvias de 2016 cuando los valores de sulfatos, calcio y magnesio disminuyeron e incrementó ligeramente la alcalinidad, especies como *Nitzschia gandersheimi* var. *tenuirostris* (48) en agosto punto 1, *Amphora copulata* (30) y *Halamphora veneta* (42) en mayo punto 2, incrementaron sus abundancias de tal manera que pasaron de ser frecuentes a dominantes, mientras *Epithemia turgida* (10) y *Rhopalodia gibba* (22) pasaron de ser raras a frecuentes durante 2016 (Fig. 108 B). Se observó que solo algunas especies frecuentes y dominantes (*Encyonema mesiana* (36), *Anomoeoneis costata* (31), *Tabularia fasciculata* (55), *A. copulata* (30) y *H. veneta* (42)), son capaces de tolerar condiciones de mayor salinidad, como las que se presentan durante mayo punto 2 de 2016.

Especies dominantes de diatomeas bentónicas del lago de Chalco y variables fisicoquímicas

El conjunto de variables fisicoquímicas presentó una relación lineal solo con el grupo de especies dominantes y sitios de 2015 y 2016 ($p < 0.05$) de acuerdo con el test de permutación, explicando con los dos primeros ejes el 83% de inercia total. Las variables que se correlacionaron positivamente con el eje uno fue fósforo total (P_{tot}), temperatura (T), nitrito (NO₂-N), coeficiente de atenuación (K_d) y negativamente el nitrato (NO₃-N). En cuanto al eje dos se relacionaron positivamente el pH, óxido de silicio (SiO₂), y el amonio (NH₄-N) pero negativamente el porcentaje de oxígeno disuelto (%OD), conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD). El análisis mostró una marcada diferencia anual y espacial, asociando los meses de secas de 2016 con un incremento en la Conductividad eléctrica principalmente en mayo punto 1 y abril punto 3 y los meses de lluvias con un incremento en los niveles de fósforo total, principalmente en el punto 3. Por el contrario, los meses de 2015 se asociaron con un incremento en pH, especialmente durante mayo punto 1 y 2, en cambio los meses de lluvias se relacionaron con un incremento de sílice y nitrato, principalmente durante junio punto 2, en comparación con 2016. El conjunto de especies dominantes se relacionó especialmente con el incremento de fósforo total durante 2016, situación que contribuyó con el aumento considerable de la abundancia de especies como *Eolimna subminuscula* (58), *Punctastriata mimetica* (65) y *N. gandersheimi* var. *tenuirostris* (48), principalmente durante la época de lluvias, puntualmente en los puntos 1 y 3. En cambio especies

como *Thalassiosira* aff. *duostris* (69) y *Halamphora coffeaeformis* (60) presentaron una mayor abundancia durante los meses de secas y lluvias puntos 2 y 3 de 2015, donde se presentó una mayor cantidad de sílice, nitrato y valores menores de conductividad eléctrica, a diferencia de 2016, donde solo algunas especies como *Cocconeis placentula* (56) y *Amphora copulata* (30) toleraron una conductividad eléctrica mayor como la que se presentó durante mayo en el punto 2.

En general las variables hidroquímicas mostraron una mejor relación con los sitios de colecta y el conjunto de especies de 2015 y 2016, a diferencia de las variables fisicoquímicas las cuales no tuvieron una relación robusta con el conjunto de especies y sitios de colecta de 2015 y 2016. Ambos grupos de variables, con sus respectivas características mostraron que el lago de Chalco presenta cambios anuales, entre épocas climáticas y sitios de colecta, lo que lo hace un ambiente heterogéneo tanto temporal como espacialmente. Esta situación contribuye a la inestabilidad de las especies ya que no todo el conjunto es capaz de tolerar tales cambios, ocasionando que en el lago de Chalco solo algunas especies permanecen a lo largo del tiempo, situación que contribuye a la fragmentación del hábitat.

Discusión

Composición de especies de la comunidad bentónica de Chalco.

Las diatomeas son un grupo diverso en los cuerpos de agua y se caracterizan por ocupar una gama amplia de hábitats, tanto en ecosistemas lénticos como lóticos intervienen variables físicas y químicas que influyen en su colonización y distribución (Mora, 2015; Pedraza-Garzón y Donato-Rondón, 2011). La mayoría de estas variables dependen del clima, geología, topografía y uso de suelo, sin embargo, existen también factores geográficos que definen la composición de una comunidad, como son barreras físicas, distancia entre hábitats, mecanismos de dispersión (viento, aves) etc. (Potapova and Charles, 2002). En los ecosistemas acuáticos de la Cuenca de México (Tabla 2) y considerando la diversidad de ambientes (lagos, arroyos y ríos) y de formas de vida que albergan (planctónicas, perifíticas, metafiticas y bentónicas), existen varias especies que se observa que se comparten, tal es el caso de *Cymbella mexicana*, *Encyonema silesiacum*, *Epithemia adnata*, *Gomphonema angustatum*, *Gomphonema parvulum*, *Halamphora veneta*, *Hantzschia amphioxys*, *Luticola goeppertiana*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia frustulum*, *Nitzschia palea*, *Stauroneis phoenicenteron*, *Stauroneis venter* y *Rhoicosphenia abbreviata*. En ocasiones estas especies se han caracterizado por ser abundantes dentro de la cuenca, pero en el lago de Chalco solo *C.*

meneghiniana, *G. parvulum*, *H. veneta*, *N. frustulum*, *N. palea* y *S. venter* se presentaron como dominantes, mientras que *R. abbreviata*, *L. goeppertiana* fueron frecuentes y *C. mexicana*, *E. silesiacum*, *E. adnata*, *G. angustatum*, *H. amphioxys*, *N. cryptocephala* y *S. phoenicenteron* fueron

especies raras. Entre los ambientes lénticos de Xochimilco-Tláhuac y Chalco no hay una conexión directa y aunque dichos ambientes se caracterizan por una intensa actividad agrícola, urbana y ganadera y la migración de aves podría ser una fuente importante de transporte de especies, los cuerpos de agua no comparten las mismas características hidrológicas (Buendía et al. 2015; López et al. 2015), de manera que el tránsito de las especies entre ellos no sería una limitante para su presencia, pero las condiciones precisas para colonizarlos si podrían limitar su establecimiento o al menos su abundancia. No es de extrañar que solamente el 50 % de las especies se compartan, aun considerando la misma forma de vida y la cercanía de los cuerpos de agua. Por otra parte, dentro de la cuenca de México sólo hay un registro enfocado a la comunidad bentónica de diatomeas (Buendía et al., 2015), como en el caso del Lago de Chalco (Tabla 2). En comparación con los ecosistemas lóticos, el porcentaje de especies compartidas es menor todavía (Tabla 2). Posiblemente influye que actualmente los ríos de la cuenca, en sus tramos alcanzados por la urbanización, se han convertido en drenajes abiertos de agua negra o bien, se han entubado (Salinas 2018) y ya no son un afluente importante de los lagos, lo que implica que estos se alimentan principalmente de agua de lluvia, como en el caso del lago de Chalco y explica la escasa similitud florística.

La comunidad de diatomes bentónicas del Lago de Chalco es rica tomando en cuenta el registro total de 69 especies (Tabla 1). Se caracterizó por la presencia de un grupo de especies dominantes variando solo su abundancia durante el periodo de muestreo (Fig. 99), este grupo está representado por especies con altos requerimientos de nitrógeno, que habitan en pH básico y son comunes en cuerpos de agua con desechos sanitarios o agrícolas, por lo que se consideran tolerantes a la contaminación, además durante 2016 se observaron especies cuyas preferencias ecológicas coincidieron con el incremento en las concentraciones de alcalinidad, pH y conductividad. Estos cambios en la composición de especies con abundante desarrollo en el Lago de Chalco sugieren una relación con los cambios observados en la concentración de sales (Tabla 6; Fig. 106), que podrían ser producto de fluctuaciones en el nivel de agua. Esta situación se facilita en la región porque predomina un clima semiseco, así que la composición florística y la abundancia poblacional de diatomeas de este lago podrían ser una característica tópica asociada al clima actual del Valle de México. Caballero (1995) reportó en el Lago de Chalco un potencial de evaporación de 1695 mm/a, lo que implicaba un balance negativo de -1033 mm/a indicando un desequilibrio en el balance precipitación-evaporación. Actualmente el balance precipitación-evaporación es de -1272.6 mm/a (SMN, 2018) lo que implica que en el Lago de Chalco se sigue manteniendo un desequilibrio de precipitación-evaporación lo cual se manifiesta en la composición de diatomeas bentónicas actuales ya que compartimos el 47% de especies que presentó Caballero (1995).

Una característica particular de la comunidad bentónica estudiada en el Lago de Chalco es la presencia de diatomeas centrales como *Cyclotella meneghiniana*, *Thalassiosira* aff. *duostra* y *Discostella pseudostelligera*, una especie rara cuya abundancia aumentó en 2016 (Anexo 3. Tabla B). Estas especies de diatomeas centrales en las que destacó la dominancia de *C. meneghiniana* han sido recientemente estudiadas en relación con cambio climático y se ha visto que, independientemente de su tamaño, no necesariamente son habitantes del fitoplancton. Los cambios en temperatura y mezcla de la columna de agua afectan la posición de varias especies de estos géneros en la columna de agua y su tasa de división celular, por lo que afectan su dominancia, pero la variación y selección de tamaño depende también de respuestas específicas a la luz y nutrientes (Jewson et al., 2015; Saros et al., 2016; Vilmi et al., 2015), en el caso de *C. meneghiniana* se ha reportado que cuando se encuentra en competencia con *Microcystis aeruginosa* y *Planktothrix agardhii* en el plancton, *C. meneghiniana* resulta ser desplazada de la columna de agua ya que es sensible a la temperatura y el fósforo (Anunciação et al., 2015), en cambio se ha observado en el bentos como una especie heterótrofa facultativa de nitrógeno con una buena tasa de crecimiento a intensidades bajas de luz (Lylis and Trainor, 1973). Tanto *C. meneghiniana* como *T. aff. duostra* son habitantes del bentos y perifiton en regiones templadas (Altuner, 2017; Szabó et al., 2004) y en México existen registros de perifiton y bentos donde crecen *C. meneghiniana* y *Discostella pseudostelligera* (Buendía-Flores et al., 2015; García-Meza 1999; López-Fuerte 2010). Asimismo, *C. meneghiniana* ha sido reportada como afín a lagos salinos, eutróficos (Bolgovics et al., 2017), algunos con contaminación orgánica (Bere, 2014); esta especie también ha sido registrada como acalífila y halófila, dominante en la cuenca del antiguo lago de Chalco (Bradbury, 1971; Caballero, 1995; Caballero & Ortega Guerrero, 1998; Ortega-Guerrero et al., 2017), lo que coincide con la situación ambiental que hemos observado. *T. duostra* se presume habitante de aguas contaminadas (Szabó et al., 2004), pero desde su descripción en ríos de África (Pienaar y Pieterse, 1990) no se ha documentado en detalle su ecología y tampoco ha sido registrada con abundancia notable. Tal como sugieren algunos autores (Malik & Saros, 2016; Saros & Anderson, 2015), la presencia de estas diatomeas centrales sugiere la importancia de descifrar su autoecología para interpretar la distribución regional que presentan, como su asociación con modificaciones climáticas a gran escala, pues son buenos indicadores de cambio climático, pero sus cambios poblacionales no son unidireccionales ni sincrónicos, aún dentro de una misma región.

Taxonomía. La determinación de las especies se basó totalmente en la observación de caracteres propios de los taxones por lo que las imágenes en Microscopía Fotónica (MF) y/o Electrónica de Barrido (MEB), fueron fundamentales para su identificación. *Cyclotella meneghiniana* se identificó

por la presencia de fultopórtulas marginales siempre en cada costilla colocadas en el manto de la valva con una prolongación en forma de espina en vista externa (Figs. 81-84), agrupamiento de 2-6 centrales con 3 poros satelitales en vista interna, la forma irregular de las areolas agrupadas en fascículos, área central tangencialmente ondulada y granulada mostrando una clara diferenciación entre la zona marginal y la central (Fig. 81), y la única rimopórtula marginal orientada radialmente con un gran proceso labial (Fig. 84). Se logró diferenciar entre *Punctastriata* y *Staurosirella* cuyos géneros carecen de caracteres diacríticos solo observando valvas en MF (Morales, 2005).

Punctastriata mimetica se diferenció de *Staurosirella pinnata* por la presencia de estrías “como rendija” carácter diacrítico de *Punctastriata* (Figs. 89-90).

Para *Cyclotella pseudostelligera* se decidió seguir la denominación actual al considerarla basónimo de *Discostella pseudostelligera* (Guiry & Guiry, 2018), debido a la observación de caracteres como fultopórtulas marginales entre y cada 3-7 estrías, presencia de ornamentación que diferencia la zona marginal de la central y ausencia de fultopórtulas o areolas en la zona central (Fig. 4) (Houk & Klee, 2004). En el caso de las variedades fue importante observar caracteres diacríticos para la determinación de la especie, por ejemplo, en el caso de *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*, Lange-Bertalot (1980) decidió modificar la especie nombrándola *N. gandersheimiensis* var. *tenuirostris*, ya que se observó una diferencia entre las valvas de *N. palea* var. *tenuirostris*, algunas presentaban un nódulo central diferenciando por la presencia de fibulas centrales más distantes entre sí, carácter suficiente para diferenciar a *N. gandersheimiensis* var. *tenuirostris*, el cual fue fácilmente reconocido en MF (Fig. 71). Otro ejemplo fue diferenciar entre los géneros *Amphora* y *Halamphora* los cuales se separan por un carácter específico. Este fue observado en MEB; *Halamphora* presentó el borde dorsal del rafe más engrosado (Fig. 94) que el ventral a diferencia de *Amphora* donde ambos bordes tienen el mismo grosor (Qingmin et al., 2015). Puede haber confusión entre algunas especies de *Staurosira* y *Starosirella* si se observan solo con MF ya que pueden presentar formas similares. El carácter diacrítico para diferenciarlos es la forma de las areolas. Los ejemplares observados de *Staurosira* presentaron areolas menos alargadas y formando estrías delgadas (Figs. 89-90).

Diversidad. *Cyclotella meneghiniana* fue un elemento fundamental en la estructura de la comunidad de diatomeas bentónicas del Lago de Chalco aumentando la dominancia y disminuyendo la equitatividad, lo que consecuentemente llevó a tener valores bajos de diversidad (H'), situación que se considera como una respuesta de recuperación del ambiente ante una situación de disturbio frecuente (Lengyel et al., 2014). Tomando en cuenta otros estudios enfocados a la comunidad bentónica (López-Fuerte y Siqueiros-Beltrones, 2006; Pérez et al., 2013; Vázquez y Caballero,

2013) la comunidad del lago de Chalco es baja ya que estos trabajos presentan valores entre $H' = 2$ y $H' = 3$. De acuerdo con Oesterheld (2008) los agroecosistemas muestran una gran heterogeneidad ambiental provocada por una continua pérdida del hábitat. Un elemento que acentúa esta situación es el enriquecimiento de nutrientes, aproximadamente 20% del nitrógeno que se aplica como fertilizante se pierde por escorrentía hacia ríos o cuencas de captación generando un desbalance de nutrientes, lo que ocasiona la dominancia de algunas especies dando pie a una pérdida de diversidad como consecuencia de la fragmentación (Stevenson, 1984). Con este panorama el Lago de Chalco es un ecosistema inestable para el establecimiento de una comunidad de diatomeas más diversa ya que solo un grupo de especies pueden permanecer durante todo el año (Fig. 99) situación que se observa ligeramente más marcada durante los meses de secas donde la dominancia tiende a incrementarse (Fig. 103 a).

Relación entre la comunidad de diatomeas bentónicas y variables ambientales. Al tomar el conjunto de especies y analizarlas con cada grupo de variables ambientales, es decir, fisicoquímicas e hidroquímicas, obtuvimos un contraste de las condiciones en las que se encuentra este conjunto de especies. En el caso de la comunidad bentónica las investigaciones mencionan a la eutrofización y la concentración de iones como los principales factores de la distribución de diatomeas bentónicas (Soininen, 2007), hecho que se manifestó en este estudio ya que hubo una mayor afinidad por el fósforo, con la disponibilidad de este nutriente cuando el sedimento pierde oxígeno (Wu et al. 2014), y la alcalinidad. *Staurosira confusa*, *Amphora copulata*, *Halamphora veneta*, *Punctastriata mimetica*, *Eolimna subminuscula*, *Nitzschia gandersheimiensis* var. *tenuirostris* y *Cyclotella meneghiniana* aumentaron sus densidades de 2015 a 2016 prefiriendo un ambiente alcalino, así como también mayor pH, conductividad y concentración de fósforo total.

El componente dominante de diatomeas bentónicas mostró que el lago de Chalco mantiene las condiciones necesarias para su establecimiento ya que su frecuencia y abundancia se mantuvo estable a lo largo del periodo de muestreo, a pesar de esto no se presentaron de forma homogénea en todo el lago, en algunos puntos de colecta y época climática su presencia y frecuencia varió. Este fenómeno se ha observado con la influencia antropogénica ya que esta modifica las características ambientales del ecosistema siendo una de las principales fuentes de heterogeneidad en la composición de comunidades bentónicas (Tang et al., 2017). En particular los sitios 2 y 3 presentaron una marcada agrupación de especies (Figs. 108 y 109) ya que están influenciados por la actividad agropecuaria y antropogénica respectivamente. Esta diferenciación entre sitios marca una distribución delimitada de las especies a lo que se produce como consecuencia de la fragmentación del hábitat (Fisher & Lindenmayer 2007; García 2011). Un punto importante a discutir es si la

fragmentación es realmente una causa de la pérdida del hábitat ya que la separación espacial de las especies puede ser causa de la utilización de recursos o por afinidades muy específicas del hábitat (Soininen, 2007) o bien exista una competencia entre los organismos que influya en la separación espacial de las especies, por ejemplo, la alelopatía (Anunciação et al., 2015). Llama la atención que aun cuando el sílice y el fósforo son factores importantes para la mayoría de las diatomeas dominantes del lago de Chalco, ya sea como favorables o limitantes, exista una distribución heterogénea de las especies entre los sitios de colecta, lo que respalda la interpretación de que la pérdida del hábitat ocurre principalmente por factores externos a las especies (Wu et al. 2014).

En cuanto al conjunto de diatomeas bentónicas del lago de Chalco y las variables hidroquímicas, la presencia y abundancia de estas especies varió principalmente por las concentraciones de alcalinidad resultado de fluctuaciones anuales entre época climática y sitios. La evaporación tuvo un efecto directo sobre la alcalinidad donde durante la época de secas aumentó (Tabla 5) (Likens, 2010), permitiendo el establecimiento de especies como *Discostella pseudostelligera*, *Navicula cryptocephala* y *Navicymbulla pusilla*, tolerantes a salinidad y alcalinidad (Van Dam et al. 1994; Rodríguez, 2002; Lowe 1974), por el contrario especies como *Encyonema silesiacum* y *Gomphonmea clavatum* presentes durante la época de lluvias se debe a la presencia de inones de baja disolución como el sulfato cuya presencia refleja impacto humano proveniente de fertilizantes utilizados en la agricultura (Davies et al., 2002). Una vez más estas condiciones se traducen como una fragmentación del hábitat dada por la degradación del ambiente (Fisher & Lindenmayer 2007).

Es notable que los cambios rápidos de composición de la comunidad bentónica que observamos representan una constante amenaza de disminución de la biodiversidad, sin embargo, estas comunidades no han sido suficientemente estudiadas para consensuar esta postura en el ámbito bibliográfico, que ciertamente es polémica de acuerdo con algunos autores (Fahrig 2003; Fisher & Lindenmayer 2007). Esto obedece a varias razones, una es que los estudios con microorganismos, aun cuando abarquen varias localidades, son a nivel de parches, pues es difícil compaginar la escala microambiental de los organismos con la macroambiental, para definir el paisaje que representarían varios lagos en una región (Batáry et al. 2010). En esta dirección ya se han iniciado estudios con comunidades de diatomeas (Zorzal-Almeida et al. 2017), pero aún no hay suficiente evidencia para evaluar si las discontinuidades en la distribución espacial deberían considerarse un motor de aumento o de disminución de la diversidad, sobre todo si los cambios de composición muchas veces sugieren una diversidad beta (Johnson & Angeler 2014). Otra razón es la duda si es suficiente con la evaluación de la diversidad de una sola comunidad, por ejemplo, en este estudio con las diatomeas bentónicas, sin estudios que abarquen otras comunidades como las planctónicas y riparias, ya que

cada grupo suele responder diferente ante el estrés ambiental, especialmente de tipo antropogénico (Hu & Zhang 2016; Johnson & Angeler 2014; Vilmi et al. 2015).

Conclusiones

El conjunto de diatomeas bentónicas del lago de Chalco se caracterizó por ser rica en especies (69 especies en total) con una clara dominancia de especies centrales.

Cyclotella meneghiniana fue la única especie con una dominancia superior al 90% lo que reveló un ambiente deteriorado en estado de bajo equilibrio.

El lago de Chalco mostró una tendencia hacia la dominancia (D) y baja equitatividad (J'). La disminución resultante de la diversidad de especies (H') tanto en 2015 como en 2016, indicó un desequilibrio en el ecosistema dado por un conjunto pequeño de especies resilientes.

El lago de Chalco se caracterizó por una heterogeneidad marcada tanto espacial como temporal dada por los sitios de muestreo y la época climática.

El conjunto de especies fue más sensible a los cambios de alcalinidad, durante la época de secas y concentraciones de Fósforo total, durante la época de lluvias, en el sistema, especialmente durante 2016.

El análisis estadístico indicó que los parámetros con mayor asociación a los cambios en las abundancias de las especies fueron los cambios en concentraciones de bicarbonatos y carbonatos, es decir la alcalinidad del sistema.

Se interpretó que la heterogeneidad espacial y temporal en la distribución de las especies indicó la fragmentación del hábitat asociada con la influencia antropogénica.

Referencias

- Altuner, Z. 2017. An Investigation on the Benthic Diatoms of Murat River (Muş) and Comparison with Ehrenberg's Study. *Journal of New Results in Science*, 6(29): 17-23.
- Alvial I. E.; F. J. Cruces; A. E. Araneda; M. Grosjean & R. E. Urrutia. 2008. Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 81: 83-94 p.
- Anuniação Gomes, A. M. 2015. Temperature Effect on exploitation and interference competition among *Microcystis aeruginosa*, *Planktothrix agardhii* and, *Cyclotella meneghiniana*. *The Scientific World Journal*. 10 pp.
- Armienta, M.A., Vilaclara, G., De la Cruz-Reyna, S., Ramos, S., Cenicerros, N., Cruz, O., Aguayo, A., Arcega-Cabrera, F. 2008. Water chemistry of lakes related to active and inactive Mexican volcanos. *Journal of Volcanology and Research*, 178: 249-258.
- Ávalos Hernández O. 2007. Bombyliidae (Insecta:Diptera) de Quilamula en el área de Reserva Sierra de Huautla, Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 23(1): 139-169.
- Bahls, L.L., 2009. A checklist of diatoms from inland waters of the Northwestern United States. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 158(1): 1-35.
- Barreiro-Güemes y M. T. López-Barreiro. 1997a. Comunidad planctónica. En: Barreiro-Güemes, M.T.; M. T., R. Sánchez Trejo.; A. Aguirre.León y L.A. Ayala. 1997. Ecología del humedal de San Pedro Tláhuac: un sistema lacustre del Valle de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 122 p.
- Barreiro-Güemes y M. T. López-Barreiro. 1997b. Vegetación acuática. En: Barreiro-Güemes, M.T.; M. T., R. Sánchez Trejo.; A. Aguirre.León y L.A. Ayala. 1997. Ecología del humedal de San Pedro Tláhuac: un sistema lacustre del Valle de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México, 122 p.
- Batáry P., Báldi A, Kleijn D and Tschardt T 2010 Landscape-moderated biodiversity effects of agri-environmental management: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society. Biological Sciences*
- Beltrán Bernal T. 1998. La desecación del lago (cienega) de Chalco. *El colegio Mexiquense*, 14 pp. <http://www5.cmq.edu.mx/index.php/docman/publicaciones/doc-de-investigacion/163-di0290141/file> (noviembre 2016).

- Bere, T. 2014 Ecological preferences of benthic diatoms in a tropical river system in São Carlos SP, Brazil. *Tropical Ecology*, 55(1), 47-61.
- Bojorge-García; J. Carmona y R. Ramírez. 2014. Species richness and diversity of benthic diatom communities in tropical mountain streams of Mexico. *Inland Waters*, 4: 279-292.
- Bolgovics, Á., Ács, É., Várbió, G., Görgényi, J., Kiss, K.T., Földi, A., Nagy-László, Z., Trábert, Z. and Borics, G. 2017. Benthic diatom-based lake types in Hungary. *Fundamental Applied Limnology*, 189(2), 105-116.
- Bouvier C.; E. Didon; H. Niedzielski & R. Huizar. 1993. Hidrología e Hidrogeología en la Cuenca de Chalco Descripción y Perspectivas. *ContactoS 10*, 19-29 p.
- Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, México, evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography*, 16(2): 180-200.
- Brown E.T., Werne J.P., Lozano-García S, Caballero M., Ortega-Guerrero B., Cabral-Cano E., Valero-Garces B.L., Schwalb A., Arciniega-Ceballos A. 2012. Scientific Drilling in the Basin of Mexico to Evaluate climate history, Hydrological Resources, and Seismic and Volcanic Hazards. *Scientific drilling*. 14: 72-15.
- Buendia-Flores M.; R. Tavera y E. Novelo. 2015. Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de Xochimilco-Tláhuac, México. *Botanical Sciences*, 93(3): 531-558.
- Burns E., 2009. Repensar la Cuenca: La gestión de ciclos del agua en el Valle de México. México, Universidad Autónoma Metropolitana. <https://agua.org.mx> (Junio 2018).
- Caballero M. 1995. Late Quaternary Paleolimnology Lake Chalco, the Basin of Mexico. *Unpublished Phd thesis, University of Hull*.
- Caballero M., S. Lozano-García; L. Vázquez-Selem y B. Ortega. 2010. Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 62(3): 359-377.
- Caballero M. & Ortega Guerrero B. 1998. Lake levels since about 40, 000 years ago at Lake Chlaco, near Mexico City. *Quaternary research*, 50: 69-79.

- Caballero M.; A. Rodríguez; G. Vilaclara; B. Ortega; P. Roy & S. Lozano. 2013. Hydrochemistry, ostracods and diatoms in a Deep, tropical, cráter lake in Western Mexico, *J. Limnol.*, 72(3): 512-523.
- Caballero M.; G. Vázquez; S. Lozano-García; A. Rodríguez; S. Sosa-Nájera; A. C. Ruiz-Fernández & B. Ortega. 2006. Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) palaeolimnology of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, eastern Mexico. *Journal of Paleolimnology*, 35:83-97.
- Camarillo R., Maurer F. y Ulacia R. 2013. Lago Tláhuac-Xico, regeneración de un sistema hídrico urbano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 281 pp.
- Carmona, V. D. y T. V. Carmona. 2013. La diversidad de los análisis de diversidad. *Bioma*. 14(2): 20-28.
- Cejudo-Figueiras, C.; E. Morales; C. Wetzel; S. Blanco; L. Hoffmann & L. Ector. 2011. Analysis of the type of *Fragilaria construens* var. *subsalina* (Bacillariophyceae) and description of two morphologically related taxa from Europe and the United States. *Phycologia*. 50(1): 67-77.
- Céspedes-Vargas E.; G. Umaña-Villalobos & A. M. Silva-Benavides. 2016. Tolerancia de diez especies de diatomeas (Bacillariophyceae) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica, *Rev. Biol. Trop*, 64(1): 121-131.
- Chudaev A. D. & M. A. Gololobova. 2015. *Sellaphora smirnovii* (Bacillariophyta, Sellaphoraceae), a new small-celled species from Lake Glubokoe, European Russia, together with transfer of *Navicula pseudoventralis* to the genus *Sellaphora*. *Phytotaxa*, 226 (3): 253-260.
- Colwell R. K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Cotler H.; A. Garrido; V. Bunge; M. Cuevas. 2010. Las cuencas Hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones, En: Cotler H. (Ed.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnostico y priorización* (210-2015 pp). Instituto Nacional de Ecología, México,. <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/manejo-de-cuencas/46-cuencas->

hidrograficas/15440-las-cuencas-hidrograficas-de-mexico- diagnostico-y-priorizacion>
(noviembre 2016).

Davies, S.J.; S.E. Metcalfe; M.E. Caballero & S. Juggins. 2002. Developing diatom-based transfer functions for Central Mexican lakes, *Hydrobiologia*, 467: 199-213.

Diatoms of North America. 2018. <https://diatoms.org> (Enero 2018).

Fahrig L 2003. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 487-515.

Fischer J and D.B. Lindenmayer 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecol. Biogeogr.* 16: 265–280

Foged, N. 1984. Freshwater and Littoral Diatoms from Cuba. *Bibliotheca Diatomologica*, 243 pp.

García, D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas* 20 (2): 1-10.

García-Meza, J.V. 1999. Algas de desechos mineros 183 pp. Tesis de Maestría (M.Sc. Dissertation). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

García-Rodríguez, F.; G.C. Bate; P. Smailes; J. B. Adams & D. Metzeltin. 2007. Multivariate analysis of the dominant and sub-dominant epipellic diatoms and water quality data from South African rivers. *Water SA*, 33(5): 653-658.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2016, 2017. *AlgaBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Available from <http://www.algaebase.org>. (Junio 2016; Abril 2017).

Herrera Hernández, D. 2011. Estratigrafía y análisis de facies de los sedimentos lacustres del cuaternario tardío de la cuenca de Chalco, México. Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM.

Houk V. & R. Klee. 2004. The *stelligeroid* taxa of the genus *Cyclotella* (Kützing) Brébisson (Bacillariophyceae) and their transfer into the new genus *Discostella* Gen. Nov. *Diatom Research*, 19(2): 203-228.

Hu G & Zhang Q 2016. Seasonal variations in macrobenthic taxonomic diversity and the application of taxonomic distinctness indices in Bohai Bay, northern China. *Ecological Indicators* 71: 181-190.

- Jewson, D.H., Granin, N.G., Gnatovsky, R.Y., Lowry, S.F. & Teubner, K. 2015. Coexistence of two *Cyclotella* diatom species in the plankton of Lake Baikal. *Freshwater Biology*, 60: 2113-2126.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Iberica de Aracnología*, 8:151-161.
- Johnson R.K. & Angeler D.G. 2014. Effects of agricultural land use on stream assemblages: Taxon-specific responses of alpha and beta diversity. *Ecological Indicators* 45: 386-393.
- Krammer, K., 1997a. Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxones. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part: Berlin -Stuttgart, J. Cramer, 1-382.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1985. Naviculaceae. Neue und wenig bekannte Taxones, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen: Berlin-Stuttgart, J. Cramer, 230 pp.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1986. *Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae*. Band 2/1: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 876 pp., 206 Taff.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1988. *Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Band 2/2: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 576 pp. + 187 Taff.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991a. *Bacillariophyceae Teil. 4, Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 438 pp.+88 Taff.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991b. *Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*, Band 2/3: Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 576 pp.+166 Taff.
- Krammer, K. 2000. *The genus Pinnularia*: Ruggell, Gantner Verlag, 703 pp.
- Kumar N.S.V. & S.P. Hosmani. 2010. Assessment of algal biodiversity and pollution in santhe (Darga) Lake (Mysore District) Karnataka. *Wetlands, Biodiversity and Climate Change*, 1-20.
- Lampert W. & U. Sommer. 2007. *Limnoecology*, 2a. Ed. Oxford University Press, New York, United States, 324 pp.
- Lange-Bertalot H. 1980. New Species, Combinations and Synonyms in the Genus *Nitzschia*, *Bacillaria*, 3:41-77.

- Lengyel E.; J. Padisák & C. Stenger-Kovács. 2015. Establishment of equilibrium states and effect of disturbances on benthic diatom assemblages of the Torna-stream, Hungary, *Hydrobiologia*, 750: 43-56.
- Levkow Z.; S. Tofilovska & D. Mitic-Kopanja. 2016. Species of the diatoms genus *Craticula* Grunow (Bacillariophyceae) from Macedonia, *Contributions, Sec. Nat. Math Biotech. Sci., MASA*, 37(2): 129-165.
- Libes S. 2009. Introduction to Marine Biogeochemistry. 2a. ed. Elsevier Inc. 909 pp.
- Likens G. E. 2010. Biochemistry of inland waters. 1a ed. Elsevier Inc. 728 pp.
- López-Fuerte F. O. 2010. Diversidad alfa y beta de diatomeas epilíticas en oasis de Baja California Sur. Tesis Doctorado. Instituto Politécnico Nacional, México, 146 p.
- López-Fuerte F.O. & D. A. Siqueiros-Beltrones. 2006. Structure and distribution of diatoms communities in sediments of a mangrove system, *Hidrobiológica*, 6(1): 23-33.
- López-Fuerte, F.O. & D.A. Siqueiros-Beltrones, 2016. A checklist of marine benthic diatoms (Bacillariohyta) from México. *Phytotaxa* 282(3): 201-258.
- Lowe R. L. 1974 Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. EPA-670/4-74-005.
- Lylis J.C. & F.R. Trainor. 1973. The heterotrophic capabilities of *Cyclotella meneghiniana*. *Journal of Phycology*, 9(4): 365-369.
- Malik, H.I. & Saros, J.E. 2016. Effects of temperature, light and nutrients on five *Cyclotella* sensu lato taxa assessed with in situ experiments in arctic lakes. *Journal of Plankton Research*, 38(3), 431-442.
- Medlin, K. L. & I. Kaczmarek. 2004. Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia*, 43(3): 245-270.
- Montoya-Moreno, Y., Sala, S., Vouilloud, A., Aguirre, N. & Plata, Y. 2013. Lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2): 13-78.
- Mora, D.; J. Carmona y E. A. Cantoral-Uriza. 2015. Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(4): 1024-1040.
- Morales E. A. 2005. Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms

- (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research*, 53: 113-133.
- Morales, E. & K. Manoylov. 2006. Morphological studies on selected taxa in the genus *Staurosirella* Williams et Round (Bacillariophyceae) from rivers in North America. *Diatoms Research*. 21(2): 343-364.
- Morales E. A.; C. E. Wetzel, B. Van de Vijver & L. Ector. 2015. Morphological studies on type material of widely cited araphid diatoms (Bacillariophyta), *Phycologia*, 54(5): 455-470.
- Morley D. W.; M. J. Leng; A. W. Mackay; H. J. Sloane; P. Rioual & R. W. Battarbee. 2004. Cleaning of lake sediment samples for diatom oxygen isotope analysis. *Journal of Paleolimnology*, 31: 391-401.
- Novais, M.E., C.E. Wetzel, B. Van De Vijver, M. M. Morais, L. Hoffmann & L. Ector. 2013. New species and combinations in the genus *Geissleria* (Bacillariophyceae). *Cryptogamie, Algologie*, 34(2): 117-148.
- Novelo E. 2012. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Bacillariophyta Hustedt. Fascículo 102. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Novelo E.; R. Tavera & C. Ibarra. 2007. Bacillariophyceae from Karstic Wetlands in México, *Bibliotheca Diatomologica* Band 54. J. Crammer. Berlin Stuttgart. 136 p.
- Novelo, E. y R. Tavera. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológica*, 21(3): 333-341.
- Novelo, E. y Tavera, R. 2018. bdLACET. Bases de datos de Algas Continentales (antes Taxfich). URL: <https://lacet.meridion.mx/bd.html>.
- Ortega Guerrero B. M.S. Lozano García; M. Caballero; y D. A. Herrera Hernández. 2015. Historia de la evolución deposicional del lago de Chalco, México, desde el MIS 3. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67(2): 185-201.
- Ortiz-Zamora D. y Ortega-Guerrero A. 2007. Origen y evolución de un nuevo lago en la planicie de Chalco: implicaciones de peligro por subsidencia e inundación de áreas urbanas en Valle de Chalco (Estado de México) y Tláhuac (Distrito Federal). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 64: 26-42 p.

- Pan Y.; B. H. Hill; P. Husby; R. K. Hall & P. R. Kaufmann. 2006. Relationships between environmental variables and benthic diatom assemblages in California Central Valley streams (USA). *Hydrobiologia*, 561: 119-130 p.
- Patrick, R. & Reimer, C. 1966. The Diatoms of the United States. Vol. 1 Part1. Monograph No. 13, 688 pp. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia.
- Patrick, R. & Reimer, C. 1975. The Diatoms of the United States, Vol. 2 Part 1. Monograph No. 13, 213 pp. Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia.
- Pérez, L. J. Lorenschat¹, J. Massaferrero, C. Pailles⁴, F. Sylvestre, W. Hollwedel⁵, G.-O. Brandorff, M. Brenner, G. Islebe, M. S. Lozano, B. Scharf¹ & A. Schwalb. 2013. Bioindicators of climate and trophic state in lowland and highland aquatic ecosystems of the Northern Neotropics. *Rev. Biol. Trop.* 61(2): 603-644.
- Pienaar C. & A. J. H. Pieterse. 1990. *Thalassiosira duostra* sp. nov. a new freshwater centric diatom from the vaal river, South Africa, *Diatom Research*, 5(1): 105-111.
- Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos. Tláhuac, Distrito Federal. 2018. <http://www3.inegi.org.mx> (Enero 2018).
- Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos. Valle de Chalco Solidaridad, México. 2018. <http://www3.inegi.org.mx> (Enero 2018).
- Qingmin Y.; J. P. Kociolek & Q. Wang. 2015. Taxonomic studies of the diatom genus *Halamphora* (Bacillariophyceae) from the mountainous regions of southwest China, including the description of two new species. *Phytotaxa*, 205(2): 75-89.
- Qingmin, Y.; Y. Liu & Q. Wang. 2009. Taxonomy and distribution of diatoms in the genera *Epithemia* and *Rhopalodia* from the Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Nova Hedwigia*. 89: 397-430.
- Rodríguez Ramírez A. 2002. Aspectos Paleolimnológicos de la Historia Reciente del Lago La Preciosa, Puebla. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.
- Rosén P., R. Hall; T. Korsman & I. Renberg. 2000. Diatom transfer-functions for quantifying past air temperature, pH and total organic carbon concentration from lakes in northern Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 24:109-123.

- Rott, E.; H. C. Duthie & E. Pipp. 1998. Monitoring organic pollution and eutrophication in the Grand River, Ontario by means of diatoms. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 55: 1443-1453.
- Round, F.E., R.M. Crawford & D.G. Mann. 1990. The diatoms Biology and morphology of the genera, 747 pp. Cambridge University Press. Cambridge.
- Saros, J. E. & Anderson, N. J. 2015. The ecology of the planktonic diatom *Cyclotella* and its implications for global environmental change studies. *Biological Reviews*, 90, 522–541.
- Scherer, R. P. 1994. A new method for the determination of absolute abundance of diatoms and other silt-sized sedimentary particles. *Journal of Paleolimnology*, 12: 171-179.
- SEDESOL. 2011. Atlas de riesgo Municipio de Valle de Chalco Solidaridad, 108 pp.
http://www.normateca.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/2612/Atlas_Estados/15122_VALLE_CHALCO/0_Atlas_Valle_de_Chalco_2011.pdf > (noviembre 2016).
- Segura-García V. 2011. Taxonomía y ecología de las diatomeas epilíticas de la Cuenca del Alto Lerma, México. Tesis doctoral. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Segura-García, V.; E. A. Cantoral-Uriza; I. Israde y N. Maidana. 2012. Diatomeas epilíticas como indicadores de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lerma, México, *Hidrobiológica*, 22(1): 16-27.
- SMN. 2018. <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=27> (Marzo 2018).
- Soininen J. 2007. Environmental and spatial control of freshwater diatoms a review, *Diatom Research*, 22(2): 473-490.
- Sokal, R. R. & F. J. Rohlf. Biometry. 1995. The principles and practice of Statistics in biological research. 3a. ed. New York. W. H. Freeman and Company, 300 pp.
- Stenger-Kovács C.; E. Lengye; K. Buczkó; F. M. Tóth; L. O. Crossetti; A. Pellingier; Z. Zábóné Doma & J. Padisák. 2014. Vanishing world: alkaline, saline lakes in Central Europe and their diatom assemblages, *Inland Waters*, 4:4, 383-396.
- Stevenson R. J. 1984. Epilithic and epipellic diatoms in the Sandusky River, with emphasis on species diversity and water pollution. *Hidrobiologia*, 114: 161-175.
- Stoermer E.F.; M.B. Edlund; C.H. Pilskaln & C.L. Schelske. 1995. Siliceous microfossil distribution in the surficial sediments of Lake Baikal. *Journal of Paleolimnology*, 14: 96-82.

- Szabó, K., Kiss, K.T., Ector, L., Kecskés, M. & Ács, É. 2004. Benthic diatom flora in a small Hungarian tributary of River Danube (Rákos-stream). *Algological Studies*, 111, 79-94.
- Tang T.; T. Tang; L. Tan; Y. Gu; W. Jiang & Q. Cai. 2017. Identifying community thresholds for lotic benthic diatoms in response to human disturbance. *Scientific reports*, 7: 4134.
- Trobajo R.; L. Rovira; L. Ector; C. E. Wetzel; M. Kelly & D. G. Mann. 2013. Morphology and identity of some ecologically important small *Nitzschia* species. *Diatom Research*, 28(1): 37-59.
- Van Dam, H.; A. M. & J. Sinkeldam. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28(1): 117-133.
- Vázquez, G. & M. Caballero. 2013. The structure and species compositions of the diatom communities in tropical volcanic lakes of eastern Mexico. *Diatom Research*, 28(1):77-91.
- Vilmi, A., Karjalainen, S.M., Landeiro, V.L. & Heino, J. 2015. Freshwater diatoms as environmental indicators: evaluating the effects of eutrophication using species morphology and biological indices. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 243-252.
- Wehr J. D. & R. G. Sheath. 2003. *Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification*, 935 pp. Academic Press.
- Wetzel C. E.; L. Ector; B. Van de Vijver; P. Compère & D. G. Mann. 2015. Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta), *Fottea, Olomouc*, 15(2): 203-234.
- Williams D. M. & D. A. Chudaev. 2009. *Punctastriata glunokoensis* spec. nov., A new species of “Fragilarioid” Diatom from lake Glubokoe, Russia, *Diatom Research*, 24:2, 479-485.
- Wojtal A. 2003. Diatoms of the genus *Gomphonema* EHR. (Bacillariophyceae) from a karstic stream in the Krakowsko-Częstochowska upland, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 72(3): 213-220.
- Worms Editorial Board. 2018. World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> (Enero 2018).
- Wu Y, Wen Y, Zhou J & Wu Y 2014. Phosphorus release from lake sediments: Effects of pH, temperature and dissolved oxygen. *Civil Engineering* 18(1): 323–329

Yanin E. P.; L. I. Kashina & Y. E. Sayet. 1986. Hydrochemistry of Lake Glubokoe. *Hydrobiologia*, 141: 11-23.

Zorzal-Almeida S, Bini LM & Campos-Bicudo D 2017 Beta diversity of diatoms is driven by environmental heterogeneity, spatial extent and productivity. *Hydrobiologia* 800: 7–16.

Anexo 1

Dentro de la zona de muestreo en el Lago de Chalco se determinaron dos épocas climáticas, secas (octubre-mayo) y lluvias (junio-septiembre), tomando en cuenta a mayo y octubre como meses de transición. La división se realizó de acuerdo con la precipitación (mm) y temperatura (°C) durante el periodo de muestreo. Se realizó un climograma con datos de la estación metereologica San Rafael, contenidos en el Servicio Metereológico Nacional (SMN).

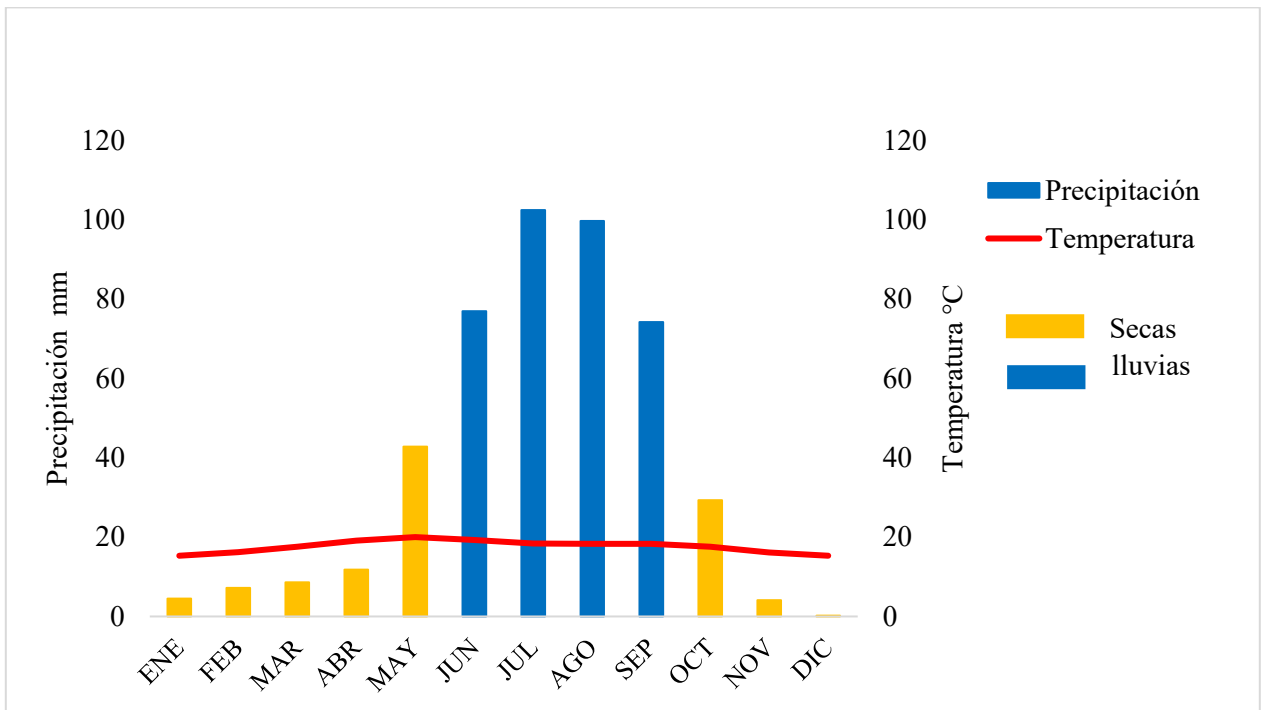


Figura I. Climograma con la representación de secas y lluvias en el lago de Chalco durante el periodo de muestreo. Estación San Rafael (SMN, 2018).

Anexo 2

Microscopía de epifluorescencia

Se determinó mediante microscopía de epifluorescencia (Nikon Optiphot-2 con lámpara de mercurio y con un filtro de paso de banda de 365 nm, un espejo dicróico de 420 nm, y un filtro de barrera de corte de 418 nm para fluorescencia de clorofila a. La respuesta del material observado en sedimento mostrando un color rojo-naranja correspondió con la autofluorescencia de la clorofila a. Se asumió integridad biológica de los organismos y, por tanto, su pertenencia a la comunidad bentónica viva del Lago de Chalco (Figura B).



Figura II. Observación de muestras de sedimento bajo microscopía de epifluorescencia. Puntos rojos nos indican contenido de clorofila-a.

Anexo 3

Tabla A. Composición de especies del lago de Chalco. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2015. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2015
<i>Achnanthydium exiguum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	22	87	0	0	29	0	29	0	29	0	66	29	291
<i>Amphora copulata</i>	0	0	58	0	29	0	0	58	0	0	44	58	247
<i>Anomoeoneis costata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	29
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	0	29	29	0	0	0	0	29	0	0	0	0	87
<i>Cocconeis placentula</i>	240	146	408	87	495	262	146	204	291	153	219	554	3205
<i>Craticula halophila</i>	0	0	87	58	29	58	0	58	29	0	22	15	356
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	56472	128154	88729	133865	102162	186578	249285	255375	101608	114801	158291	4823	1580143
<i>Cymbella aspera</i>	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
<i>Cymbella mexicana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	29
<i>Denticula valida</i>	22	117	87	58	58	29	117	58	117	0	87	0	750
<i>Diadlesmis confervacea</i>	0	0	0	0	29	29	0	29	0	22	0	0	109
<i>Diploneis pseudovalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Discostella pseudostelligera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Encyonema mesianum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Encyonema silesiacum</i>	0	0	0	29	58	0	0	29	29	0	0	15	160
<i>Eolimna subminuscula</i>	240	58	641	1020	262	87	146	29	233	219	437	408	3780
<i>Epithemia adnata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	15	37
<i>Epithemia sorex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia turgida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia turgida v. granulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia. argus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia. argus v. alpestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fallacia pygmaea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria capucina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilariforma virescens</i>	22	146	0	0	29	175	0	87	58	0	0	29	546
<i>Geissleria tagensis</i>	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	29	87

Continuación Tabla A. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2015. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2015
<i>Gomphonema affine</i>	22	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	51
<i>Gomphonema angustatum</i>	0	0	0	0	0	0	29	29	29	0	22	0	109
<i>Gomphonema clavatum</i>	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	29
<i>Gomphonema gracile</i>	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	15	44
<i>Gomphonema parvulum</i>	328	495	321	291	495	262	262	758	495	197	284	0	4188
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Halamphora coffeaeformis</i>	219	233	146	466	903	291	233	1107	408	393	66	44	4509
<i>Halamphora veneta</i>	0	0	29	0	29	29	58	87	58	22	22	29	363
<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hippodonta hungarica</i>	0	0	29	0	58	0	0	0	0	0	0	0	87
<i>Lemnicola hungarica</i>	0	0	0	0	29	0	0	0	29	0	0	0	58
<i>Luticola goeppertiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	22	0	80
<i>L. mutica</i>	0	0	58	0	58	0	0	0	0	0	0	0	116
<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N. veneta</i>	22	0	58	0	87	29	58	0	29	66	44	0	393
<i>Navicymbula pusilla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia gandersheimiensis</i> v. <i>tenuirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	22
<i>N. amphibia</i>	66	0	29	29	87	29	0	0	58	44	22	15	379
<i>N. communis</i>	0	408	58	58	0	29	0	29	0	44	0	0	626
<i>N. frustulum</i>	459	1544	670	903	932	845	787	3176	175	1289	677	87	11544
<i>N. graciliformis</i>	0	146	0	29	58	58	0	233	0	0	0	0	524
<i>N. hantzschiana</i>	197	204	466	1253	379	495	583	874	641	459	634	58	6243
<i>Nitzschia palea</i>	44	175	117	2389	379	525	612	758	117	328	240	58	5742
<i>N. umbonata</i>	0	29	58	0	58	0	0	0	29	22	0	0	196
<i>Pinnularia abaujensis</i> v. <i>linearis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	284	379	437	262	816	437	146	379	728	415	240	423	4946
<i>P. subsalina</i>	240	554	175	117	58	0	0	0	0	262	0	73	1479

Continuación Tabla A. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2015. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2015
<i>Punctastriata mimetica</i>	940	903	117	0	408	932	146	321	117	721	940	1034	6579
<i>Rhoicosphenia abreviata</i>	0	0	0	29	58	0	0	0	0	44	22	0	153
<i>Rhopalodia gibba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	29	51
<i>R. operculata</i>	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
<i>Sellaphora laevissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	29
<i>S. pseudoventralis</i>	0	0	0	58	29	0	29	0	58	66	66	29	335
<i>Sellaphora pupula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurosira confusa</i>	87	0	0	0	117	350	117	204	408	131	87	291	1792
<i>S. construens</i>	175	87	1719	495	1370	291	787	699	1020	1005	393	73	8114
<i>S. neoproducta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	29	51
<i>S. venter</i>	634	117	146	845	1865	670	787	583	1107	1683	852	772	10061
<i>Tabularia fasciculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66	0	66
<i>Thalassiosira aff. duostra</i>	2338	14686	8276	38172	20048	11889	11947	25293	10053	5748	3672	160	152282
<i>Triblyonella apiculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15

Tabla B. Composición de especies del lago de Chalco. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2016. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2016
<i>Achnanthydium exiguum</i>	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	29
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	131	0	44	44	29	0	117	131	58	29	58	0	641
<i>Amphora copulata</i>	219	219	175	131	87	175	117	175	29	583	87	393	2390
<i>Anomoeoneis costata</i>	0	44	44	0	29	0	29	0	0	29	0	0	175
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i>	0	0	0	0	0	44	0	44	0	0	29	44	161
<i>Cocconeis placentula</i>	1792	2185	1093	1574	1166	1574	408	1180	1078	1748	554	2535	16887
<i>Craticula halophila</i>	131	87	131	44	29	44	58	0	0	58	58	0	640
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	254385	321128	984232	787150	72615	320734	56996	80380	38784	3963	225741	29372	3175480
<i>Cymbella aspera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	0	87
<i>Cymbella mexicana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	44
<i>Denticula valida</i>	44	87	131	87	87	0	29	44	29	117	58	44	757
<i>Diadsmis confervacea</i>	0	44	0	0	0	44	0	0	0	29	0	0	117
<i>Diploneis pseudovalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Discostella pseudostelligera</i>	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
<i>Encyonema mesianum</i>	0	0	44	44	0	0	0	0	0	0	0	0	88
<i>Encyonema silesiacum</i>	0	0	0	0	29	0	29	0	0	0	0	0	58
<i>Eolimna subminuscula</i>	1355	525	219	393	991	1311	1253	4065	1894	408	1020	2273	15707
<i>Epithemia adnata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia sorex</i>	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	44
<i>Epithemia turgida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	29
<i>Epithemia turgida v. granulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epithemia. argus</i>	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	44
<i>Epithemia. argus v. alpestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fallacia pygmaea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria capucina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilariforma virescens</i>	87	87	0	87	29	131	58	44	0	0	29	219	771
<i>Geissleria tagensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	29	0	58

Continuación Tabla B. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2016. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2016
<i>Gomphonema affine</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema angustatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema clavatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema gracile</i>	87	87	87	0	29	44	117	131	58	0	0	0	640
<i>Gomphonema parvulum</i>	656	612	918	568	204	568	466	219	87	175	670	175	5318
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Halamphora coffeaeformis</i>	437	393	830	743	117	393	87	87	29	87	58	131	3392
<i>Halamphora veneta</i>	131	131	87	87	87	262	117	175	29	175	58	175	1514
<i>Hantzschia amphioxys</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hippodonta hungarica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lemnicola hungarica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Luticola goeppertiana</i>	44	0	0	0	29	0	0	0	0	0	29	0	102
<i>L. mutica</i>	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	29	0	58
<i>Navicula cryptocephala</i>	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
<i>N. veneta</i>	44	0	87	131	29	131	87	0	0	87	58	0	654
<i>Navicymbula pusilla</i>	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	29
<i>Nitzschia gandersheimiensis</i> v. <i>tenuirostris</i>	0	0	0	0	0	0	233	481	350	525	204	962	2755
<i>N. amphibia</i>	0	0	0	0	0	0	29	44	0	29	29	0	131
<i>N. communis</i>	44	131	0	131	0	0	0	306	87	0	0	44	743
<i>N. frustulum</i>	1705	1311	1748	2142	466	1224	525	830	146	204	554	350	11205
<i>N. graciliformis</i>	44	0	262	219	0	0	0	219	0	0	0	0	744
<i>N. hantzschiana</i>	1311	699	1355	1661	117	612	758	2360	262	146	1166	1311	11758
<i>Nitzschia palea</i>	699	262	1005	1049	204	219	845	2317	58	58	204	262	7182
<i>N. umbonata</i>	0	44	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	88
<i>Pinnularia abaujensis</i> v. <i>linearis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	58
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	525	568	437	699	612	787	262	830	641	641	641	1005	7648
<i>P. subsalina</i>	0	87	44	87	29	87	0	0	0	58	87	175	654

Continuación Tabla B. Abundancia absoluta de frustulas en gramos de sedimento seco (f/gss) 2016. Abril (AB), Mayo (MY), Junio (JN), Agosto (AG).

Época climática/sitio	AB1	AB2	AB3	MY1	MY2	MY3	JN1	JN2	JN3	AG1	AG2	AG3	Total 2016
<i>Punctastriata mimetica</i>	2229	2273	1268	1093	1399	1311	1078	1399	1020	2506	962	2317	18855
<i>Rhoicosphenia abreviata</i>	44	87	44	0	29	0	0	44	29	0	0	0	277
<i>Rhopalodia gibba</i>	0	0	44	0	0	0	29	0	0	29	0	44	146
<i>R. operculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	58	0	87
<i>Sellaphora laevissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	87	116
<i>S. pseudoventralis</i>	87	0	0	44	0	44	29	0	29	29	29	44	335
<i>Sellaphora pupula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Staurosira confusa</i>	393	437	306	131	379	568	0	44	87	408	262	437	3452
<i>S. construens</i>	612	830	830	743	583	1399	379	830	758	932	437	1530	9863
<i>S. neoproducta</i>	0	0	0	0	29	44	58	0	0	0	29	0	160
<i>S. venter</i>	1836	2142	1486	1224	1107	1748	728	1486	1544	1661	845	1923	17730
<i>Tabularia fasciculata</i>	175	175	87	44	58	131	0	44	0	204	0	0	918
<i>Thalassiosira</i> aff. <i>duostra</i>	9179	7562	12763	9223	1166	4458	3264	3540	1340	350	5740	2054	60639
<i>Triblyonella apiculata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 4

Especie	Número de Herbario
<i>Achnanthydium minutissimum</i>	CDMXChl 6, 20, 34, 43, 44, 48, 58, 63, 73, 79, 80, 84, 85, 94, 95, 101, 103.
<i>A. exiguum</i>	CDMXChl 64, 77, 85.
<i>Amphora copulata</i>	CDMXChl 6, 14, 20, 27, 34, 35, 42, 44, 47, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 94, 95, 96, 99, 100, 101, 103, 104, 105.
<i>Anomoeoneis costata</i>	CDMXChl 6, 7, 8, 12, 27, 28, 43, 58, 63, 74, 75, 77, 79, 85, 94, 99, 103, 104, 105.
<i>A. sphaerophora</i>	CDMXChl 6, 8, 13, 14, 21, 27, 43, 63, 78, 80, 95, 96, 99, 101, 103, 104.
<i>Cocconeis placentula</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52-54, 58-60, 63-65, 73-74, 75-77, 78-80, 81, 83, 84, 85, 94-96, 99, 100, 101, 103, 104, 105.
<i>C. halophila</i>	CDMXChl 6, 7, 12, 14, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 34, 35, 43, 44, 48, 49, 58, 59, 60, 65, 73, 74, 75-77, 78, 79, 83, 85, 94, 95, 99, 100, 101, 103, 104, 105.
<i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>Nitzschia frustulum</i> <i>N. palea</i>	
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> <i>Staurosira construens</i> <i>S. venter</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52-54, 58-60, 63-65, 73-75, 76-78, 79-81, 83-85, 94-96, 99-101, 103-105.
<i>Punctastriata mimetica</i> <i>Thalassiosira visurgis</i>	
<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	CDMXChl 52, 58, 73.
<i>Cymbella aspera</i>	CDMXChl 13, 94, 101, 103.
<i>C. mexicana</i>	CDMXChl 28, 43, 96.
<i>Denticula valida</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 34, 42, 43, 49, 52, 59, 63, 73, 74, 75-77, 79-81, 84, 85, 94-96, 100, 101, 103, 104, 105.
<i>Diademsis confervacea</i>	CDMXChl 6, 12, 20, 21, 27, 28, 33, 42, 54, 74, 78, 94, 100.
<i>Diploneis pseudovalis</i>	CDMXChl 84.
<i>Encyonema mesianum</i>	CDMXChl 35, 44, 47, 49, 52, 53, 58, 65, 75, 76, 84.
<i>E. silesiacum</i>	CDMXChl 6, 7, 19, 20, 27, 28, 35, 44, 47, 49, 52, 53, 58, 65, 76, 77, 79, 84, 100, 103.
<i>Eolimna subminuscula</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52-54, 58-60, 63-65, 73-75, 76-78, 79-81, 83-85, 94-96, 99-101, 103-105.
<i>Eptihemia adnata</i>	CDMXChl 6, 7, 12-14, 20, 21, 28.
<i>E. argus</i>	CDMXChl 19, 28.
<i>E. argus var alpestris</i>	CDMXChl 95.
<i>E. sorex</i>	CDMXChl 47.
<i>E. turgida</i>	CDMXChl 42, 48, 80.
<i>E. turgida var granulata</i>	CDMXChl 54.
<i>Fallacia pygmaea</i>	CDMXChl 84.
<i>Fragilaria capucina</i>	CDMXChl 60
<i>F. dzonotocola</i>	CDMXChl 53, 54.
<i>Fragilariforma virescens</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19, 20, 26-28, 35, 43, 44, 49, 52, 58, 59, 60, 63-65, 73, 74, 76, 77-79, 80, 83, 95, 96, 101, 103.
<i>Geissleria tagensis</i>	CDMXChl 94, 95, 101, 104, 105.
<i>Gomphonema affine</i>	CDMXChl 12, 73, 84, 94, 95.
<i>G. clavatum</i>	CDMXChl 26, 27, 28.

<i>G. gracile</i>	CDMXChl 20, 58, 60, 63, 65, 73, 74, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 99, 100, 101, 103, 105.
<i>G. hebridense</i>	CDMXChl 19, 103, 104.
<i>G. parvulum</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 33 34, 42-44, 47-49, 52, 54, 58-60, 63-65, 73-81, 83-85, 94-96, 99, 100, 101, 103-105.
<i>G. angustum</i>	CDMXChl 26-28.
<i>G. truncatum</i>	CDMXChl 104.
<i>Halamphora coffeaeformis</i>	CDMXChl 6, 7, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52-54, 58-60, 63-65, 73-75, 76-78, 79-81, 83-85, 94-96, 99, 100, 101, 103-105.
<i>H. veneta</i>	CDMXChl 6-8, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52, 53, 58-60, 63-65, 73-75, 76-78, 79-81, 83-85, 94-96, 99-101, 103-105.
<i>Hantzschia amphioxys</i>	CDMXChl 33, 35.
<i>Hippodonta hungarica</i>	CDMXChl 14, 20, 65, 79, 95, 101, 103, 105.
<i>Lemnicola hungarica</i>	CDMXChl 20, 28, 76, 77, 79, 83.
<i>Luticola goeppertiana</i>	CDMXChl 14, 28, 34, 48, 49, 73, 83, 85, 95, 99, 100.
<i>Luticola mutica</i>	CDMXChl 6, 14, 20, 79, 84, 95.
<i>Navicymbula pusilla</i>	CDMXChl 54, CDMXChl 77
<i>Navicula veneta</i>	CDMXChl 6, 12, 14, 20, 21, 26, 28, 33, 34, 42, 43, 47, 49, 52, 58, 59, 60, 64, 65, 73, 75, 76-79, 83, 84, 94, 95, 99, 100.
<i>N. cryptocephala</i>	CDMXChl 14, 28, 75.
<i>Nitzschia amphibia</i>	CDMXChl 6, 8, 12, 14, 19, 20, 21, 28, 33, 34, 35, 42, 43, 47, 48, 52, 79, 80, 94, 95, 99.
<i>N. communis</i>	CDMXChl 6, 7, 12, 13, 14, 19, 21, 26, 27, 33, 42, 44, 48, 49, 59, 60, 63, 64, 73, 74, 76, 80, 81, 83, 84, 96, 99, 100, 103, 104, 105.
<i>N. graciliformis</i>	CDMXChl 19-21, 26, 27, 59, 73, 75, 76, 83, 100.
<i>N. hantzschiana</i>	CDMXChl 6, 8, 12-14, 19-21, 26-28, 33-35, 42-44, 47-49, 52-54, 58-60, 63-65, 73-75, 76-79, 80, 81, 83-85, 94-96, 99, 100, 101, 103-105.
<i>N. gandersheimiensis</i> var. <i>tenuirostris</i>	CDMXChl 79-81, 94-96, 99-101, 103-105.
<i>N. umbonata</i>	CDMXChl 6, 13, 14, 19, 20, 26, 28, 42, 48, 54, 58, 65, 74, 76, 83, 84, 105.
<i>Pinnularia gibba</i> var. <i>linnearis</i>	CDMXChl 94.
<i>Pseudostaurosira subsalina</i>	CDMXChl 6, 12-14, 19, 20, 33, 35, 42, 44, 47-49, 52, 60, 74, 76, 78, 84, 85, 96, 103, 105.
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	CDMXChl 6-8, 12, 19, 20, 21, 33, 34, 42, 44, 47, 52, 53, 54, 58, 63, 73, 74, 77, 80, 81, 84, 85, 99, 100, 103-105.
<i>Rhopalodia gibba</i>	CDMXChl 34, 35, 47, 60, 79, 94, 96, 103, 104.
<i>R. operculata</i>	CDMXChl 12, 34, 35, 47, 49, 60, 65, 79, 94, 95, 103, 104.
<i>Sellaphora laevisissima</i>	CDMXChl 27, 28, 94, 96, 101
<i>S. pseudoventralis</i>	
<i>S. pupula</i>	CDMXChl 12, 49, 63, 83, 101, 104
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>	CDMXChl 42.
<i>Staurosira neoproducta</i>	CDMXChl 35, 43, 63, 77-79, 84, 85, 95, 101, 103-105.
<i>Tabularia fasciculata</i>	CDMXChl 34, 43, 44, 49, 52, 53, 59, 60, 64, 73-80.
<i>Tryblionella apiculata</i>	CDMXChl 99