



59
dej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

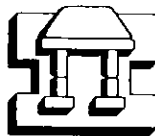
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA**

**ESTUDIO DE LAS DIATOMITAS DE LA SECCIÓN INFERIOR
DE LA MINA "EL LUCERO", TLAXCALA.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
DIANA JUÁREZ BUSTOS**

DIRECTOR DE TESIS: DRA. GLORIA VILA CLARA FATJÓ

1998



IZTACALA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

26/11/98



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por la dirección del presente trabajo, así como por todo el apoyo recibido a lo largo del tiempo que nos conocemos.

Al Biól. Mario Chávez Arteaga por la revisión y los consejos para la realización de esta tesis, así como por su amistad.

A los revisores de esta tesis: Biól. Gloria Garduño Solorzano, Biól. Guadalupe Oliva Martínez y M. en C. Saul Flores Maya, por sus sugerencias para la preparación de este trabajo.

Al Biól. Alejandro Rodríguez Ramírez por su ayuda en la identificación de las especies, así como por sus sugerencias y apoyo para la realización de esta tesis.

A la M. en C. Jaqueline Cañetas Ortega (Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido, Departamento de Física Experimental del IFUNAM) por su ayuda para obtener del material utilizado (microfotografías) en la identificación taxonómica.

A la Dra. Margarita Caballero Miranda por sus comentarios que contribuyeron en el mejoramiento de este trabajo.

Al profesor Roberto Rico Montiel por sus comentarios para la realización de este trabajo.

Al M. en C. Juan Manuel Mancilla Díaz y a la M.C. Pilar Castillo Nava por el apoyo brindado.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), por el apoyo económico a través de los proyectos: "Efecto de perturbaciones y catástrofes en sistemas naturales: El caso del vulcanismo y el clima en los sedimentos lacustres diatomíferos de la Faja Volcánica Mexicana" (DGAPA IN203094), "Dinámica lejos del equilibrio" (DGAPA IN103595) y "Dinámicas cifradas en sistemas biológicos: El tránsito de secuencias a mecanismos" (DGAPA IN116198).

A mis compañeros y amigos de la UIICSE, principalmente a los del Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente, por todo el apoyo y tiempo que me han brindado.

A la ENEP Iztacala y a sus profesores por la enseñanza recibida a lo largo de la carrera.

DEDICATORIA

A mi mamá Santa Bustos Delgado por su gran paciencia, tolerancia, apoyo, comprensión, dedicación, preocupación....y sobre todo por su amor. T.Q.M.

A mi papá Víctor M. Juárez Barcenas por dejarme estudiar esta carrera, y sobre todo por ayudarme, apoyarme, comprenderme y quererme. T.Q.M.

A Edgar (chochodotoco) por ser, además de mi hermano, mi amigo y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A Víctor (flaco) por ser mi hermano y compañero de infancia. Por ser como eres.

A Katía por compartir tu alegría, y a Elena y Ericka por ayudarme cuando es necesario.

A mis abuelos: Alicia Barcenas, Joaquín Juárez, Rafaela Delgado y Enrique Bustos por todos los momentos compartidos.

A mis tíos, primos y demás familia, pero en especial a: Cristina, Kristy, Jaime, Carmen, Mary, Laura, Laura Sofía, Martha, Memo, Marcela, Alejandro y Alberto.

A la familia Rodríguez por aceptarme.

A Mayra, Maritza, Luis, Araceli, Rodolfo y Yolotzin por todas las experiencias compartidas y por esas salidas al campo tan "tranquilas".

A mis amigos-hermanos: Karina, Sebastian, Liz, Virgilio, Nahiely, Gustavo, Mary y Carlos por ser tan especiales. Espero que sigamos siempre juntos.

A Edgar, Homero, Isidro, Gerardo, Olivia, Javier, Ana, Mary, Miguel, Fernando, Raul, Charlie, Alfonso y Paty por los cánticos de las diatomeas en el zoológico.

A Norma, Pris, Vero, Alma, Agueda, Julio, Fabian, Juan Carlos, Memo, Gaby y Blanca por compartir su amistad.

A los profesores Roberto y Raquel por ser uno de los pilares de mi educación.

A mis compañeros de la División de Investigación: Amalia, Mariel y Mariano, por su apoyo incondicional.

Y en especial, a la persona que más quiero: mi esposo Alejandro por su apoyo, comprensión y AMOR.

CONTENIDO

●ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
●ÍNDICE DE TABLAS.....	i
●RESUMEN.....	1
●INTRODUCCIÓN.....	2
●ANTECEDENTES.....	5
●OBJETIVOS.....	6
●ÁREA DE ESTUDIO.....	6
●MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
A) MUESTREO DE CAMPO.....	9
B) TRABAJO DE LABORATORIO.....	9
●RESULTADOS.....	10
1) CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	10
2) DESCRIPCIÓN DE LOS <i>TAXA</i> MÁS ABUNDANTES.....	14
3) ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS <i>TAXA</i>	31
4) CARACTERIZACIÓN DE LAS LAMINACIONES ANALIZADAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS GRANDES GRUPOS DE DIATOMEAS.....	33
5) ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	37
●ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
A) CLASIFICACIÓN Y ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS <i>TAXA</i> DE DIATOMEAS.....	38
B) CARACTERIZACIÓN PALEOLIMNOLÓGICA DE LA SECCIÓN ESTUDIADA E INTERPRETACIÓN DE CAMBIOS AMBIENTALES DEL ENTORNO.....	39
●CONCLUSIONES.....	46
●RECOMENDACIONES.....	47
●GLOSARIO.....	48
●LITERATURA CITADA.....	53
●APÉNDICE A.....	61
●APÉNDICE B.....	71
●APÉNDICE C.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Mapa de localización de la mina El Lucero, Tlaxcala, México.	8
Fig. 2: Gráficas del número de <i>taxa</i> (a) y el porcentaje (b) cuando se consideran los tres grupos ecológicos en las diatomeas observadas.	34
Fig. 3: Distribución de los <i>taxa</i> con abundancia relativa \geq al 2% a lo largo de la sección analizada.	35
Fig. 4: Análisis de Componentes Principales (ACP) de las especies con mayor presencia en las laminaciones analizadas.	37
Fig. 5: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I, IIa y IIb considerando <i>taxa</i> de centrales, arrafídeas y rafídeas.	40
Fig. 6: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico la salinidad.	42
Fig. 7: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico la alcalinidad.	43
Fig. 8: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico el grado de trofismo.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de <i>taxa</i> relacionados con su abundancia relativa.	31
Tabla 2: Listado de especies significativas, clasificadas según su abundancia relativa: \geq 40%, 10 - 39 % y 2 - 9 %.	31
Tabla 3: Columna que indica el color característico de cada uno de los puntos muestreados a lo largo de los 200 cm analizados, además del número de <i>taxa</i> para cada laminación y de organismos en 40 campos.	33
Tabla 4: Tasa de sedimentación en cuerpos de agua con distinto nivel de nutrimentos y diferente grado de depositación y compactación, indicadas en mm/año (tomado de Vilaclara 1997).	40
Tabla 5: Distribución porcentual de los <i>taxa</i> dominantes (\geq 2%) en relación con algunos parámetros limnológicos.	42

RESUMEN

La paleolimnología -estudio de los ambientes de aguas continentales que existieron en el pasado- se fundamenta en el análisis de los sedimentos lacustres -que en ocasiones se encuentran laminados- y en el estudio de los microfósiles, para obtener datos que permitan conocer las condiciones geológicas, biológicas, limnológicas, climatológicas, etc. en las que se desarrolló un cuerpo de agua y su entorno. Las diatomeas son uno de los microfósiles más valiosos para la bioestratigrafía diatomífera y para este tipo de investigaciones. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue determinar los cambios en las condiciones ambientales de la sección inferior (200 cm) de la mina "El Lucero", Tlaxcala, mediante el estudio de las diatomeas presentes.

El área de estudio se encuentra situada geográficamente a los 19° 24' 62" latitud Norte y 98° 17' 53" longitud Oeste, a una altitud de 2370 m s.n.m. Las muestras analizadas se tomaron *in situ* mediante alfileres -desde la base de la mina hasta 200 cm de alto- cada 5 cm y antes-durante-después de cada laminación de color café oscuro, por lo que el total de muestras fue de 44. Se realizaron preparaciones de cada muestra para -con ayuda de un microscopio de contraste de fases- tomar mediciones, realizar conteos relativos y observar características morfológicas que permitieron identificar cada *taxa*. Así mismo, para una identificación taxonómica fina, se duplicaron las muestras para ser analizadas con un microscopio electrónico de barrido.

Se reportaron los *taxa* observados y, se describieron los que presentaron una abundancia relativa $\geq 2\%$, por ser los más representativos. Se graficaron los datos obtenidos para comparar las abundancias relativas de los *taxa* y se realizó un Análisis de Componentes Principales para conocer el comportamiento asociativo de los *taxa*.

A lo largo de los 200 cm analizados se identificaron tres tipos de laminaciones, en las que se registraron 105 *taxa* de los cuales 39 son reportados como importantes. Se detectaron dos zonas en las que aparentemente no cambiaron las condiciones del lago, pues se da una dominancia de especies alcalífilas, así como la presencia de especies meso a meso-eutróficas.

La zona I (40 cm más antiguos) se caracteriza por la gran abundancia de especies rafídeas (bentónico-epífitas), como: *Cymbella cistula*, *Denticula elegans*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibioides*, etc.; dichas especies indican condiciones someras.

La zona II (160 cm más recientes) se dividió en dos subzonas (IIa y IIb). En la subzona IIa (160-65 cm) se da un auge repentino de especies planctónicas, en su gran mayoría *Stephanodiscus minutulus* y *S. parvus* (centrales), lo cual nos muestra que el lago aumento en profundidad, tal vez relacionado con etapas de alta precipitación pluvial; aunque -al parecer-, se presentan fluctuaciones, las cuales se reflejan por la alternancia entre estas especies y *taxa* del género *Fragilaria* (arrafídeas). En la subzona IIb (65-0 cm) se observa un aumento de *taxa* de rafídeas y disminución de arrafídeas -hasta el grado de casi desaparecer- y de centrales.

INTRODUCCIÓN

La paleontología es la ciencia que estudia los animales y las plantas que vivieron en otras épocas geológicas y cuyos restos, huellas u otros indicios han llegado hasta nosotros. A estos restos se les denomina fósiles, de los cuales algunos tienen representantes en la flora y fauna actuales (Black 1988). El estudio entre las relaciones mutuas de estos organismos y su medio ambiente se denomina paleoecología. El objetivo fundamental de la paleoecología es reconstruir los ambientes en que vivieron los organismos fósiles. Una disciplina de la paleoecología es la paleolimnología, o el estudio de los ambientes de aguas continentales que existieron en el pasado (Raup y Stanley 1978).

Uno de los principios básicos que gobiernan la geología y -por ende- la paleontología y la paleolimnología, es el "Uniformitarismo", o el principio por el cual se considera la existencia de leyes generales en la naturaleza que no han cambiado en el transcurso del tiempo. El uniformitarismo es un paradigma más amplio de lo que originalmente puede percibirse, porque se aplica no sólo en las disciplinas geológicas, sino también en el método científico -cuando se asume que los resultados de un experimento serán aplicables a futuro si los parámetros iniciales son los mismos-. En el caso de la paleontología, este principio es muy útil para interpretar -a la luz del conocimiento actual¹ de los organismos que existen hoy en día- el ambiente en el que vivieron los organismos del pasado (Judson *et al.* 1987, Krumbein y Sloss 1969, Stanley 1993). Adecuadamente modificado, este principio se usa ampliamente en depósitos fosilíferos geológicamente jóvenes, ya que es más probable que los organismos fósiles tengan representantes vivos con los cuales se puedan realizar inferencias (Dodd y Stanton 1990).

La paleolimnología se fundamenta en la sedimentología (análisis de los sedimentos lacustres) y en el estudio de los fósiles incluidos en dichos sedimentos; de esta manera se obtienen datos de las relaciones entre los organismos y el sustrato y de los agentes geológicos que afectaron a ambos (Reyment 1971 *in* Vilaclara 1997). Asimismo, registros de susceptibilidad magnética, mineralogía, contenido en organismos microfósiles y polen -conjuntamente con un registro cronológico adecuado- permite inferir el tipo de climas que imperaron en el pasado de la zona donde se ubican los sedimentos lacustres (Beget *et al.* 1990, Bloemendal y Menocal 1989, Caballero 1991 y 1995, Caballero *et al.* 1995 y en prensa, Grimm *et al.* 1998, Hilton y Lishman 1985, Lozano y Ortega 1994, Lozano *et al.* 1993, Metcalfe 1995, Thompson *et al.* 1975, Urrutia y Lozano 1991, Urrutia *et al.* 1995).

Algunos sedimentos laminados -anuales, tipo varves, por ejemplo- son muy útiles para conocer fluctuaciones climáticas de período corto (Simola *et al.* 1981) -como las de "El Niño-Southern Oscillation" (Enfield 1992, Ripepe *et al.* 1991)- y de período largo (Caballero 1995 y 1997, Caballero *et al.* 1995 y en prensa, Lozano *et al.* 1993, Metcalfe 1986, 1992, 1993, 1994 y 1995, Metcalfe *et al.* 1991, Vilaclara 1997, Vilaclara *et al.* 1996, 1997a y 1997b). En México, dadas las características geológicas y geomorfológicas, se han producido depósitos de sedimentos lacustres laminados en numerosas partes -un claro ejemplo son los yacimientos de diatomitas que se encuentran en la Faja Volcánica Mexicana² (Rico *et al.* 1995)-, en ellos puede observarse cómo los depósitos lacustres representan una integración de procesos limnológicos que se llevaron a cabo en el lago y procesos externos relacionados con el clima y con la propia cuenca. La integración de estos procesos

¹ Aquí se puede introducir otro principio, similar al uniformitarismo, pero que se basa en que "El presente es la clave del pasado". Se trata del "Actualismo", el cual sólo es cierto en parte, porque algunos de los procesos actuales de la tierra ciertamente son diferentes de los que se produjeron hace millones de años, cuando las mismas condiciones terrestres eran diferentes. No obstante, el actualismo es operativo cuando el tiempo geológico transcurrido es relativamente corto (Krumbein y Sloss 1969, Stanley 1993).

² Aunque las laminaciones no parecen ser de tipo anual, sino registros de variaciones cortas de periodicidad interanual, lo cual todavía ha de estudiarse con mayor detalle (Vilaclara 1997).

es de particular importancia en las interpretaciones paleolimnológicas y paleoecológicas (Gray 1988), siendo las secuencias sedimentarias una importante fuente de información sobre los diversos procesos ocurridos en la región (Caballero 1991 y 1997, Caballero *et al.* en prensa, Urrutia y Lozano 1991, Vilaclara 1997, Vilaclara *et al.* 1996, 1997a y 1997b).

La cantidad de información ecológica recuperable mediante el análisis de los sedimentos lacustres se ha incrementado con los recientes desarrollos en paleolimnología (Edmonson y Allison 1970). La información que pueden aportar los microfósiles -polen, esporas, espículas de esponjas, diatomeas, restos de crustáceos, etc.- y otros indicadores ecológicos -varves, inclusiones piritosas, etc.- es considerable (Margalef 1957). En particular, las diatomeas -algas café-doradas (División Cryspophyta, Clase Bacillariophyceae) cuyo contenido celular se encuentra encerrado entre dos valvas de óxido de sílice (Bradbury 1988, Stanley 1993)- se consideran microfósiles de valor comparable al de los foraminíferos, tanto por su considerable significado como indicadores ecológicos, como por la facilidad con que pueden estudiarse largas series de ejemplares debido a su gran abundancia (Margalef 1962).

Las diatomeas son útiles en las investigaciones paleolimnológicas y paleoambientales por las siguientes razones (Bradbury 1988):

a) Son organismos extraordinariamente abundantes. De la producción primaria de las plantas en la tierra -estimada en el orden de 1.4×10^{14} kg de peso seco al año-, aproximadamente el 20-25% se atribuye a las diatomeas (Werner 1977). En condiciones tróficas adecuadas, las comunidades planctónicas alcanzan concentraciones de 1,000 a 4,000 células/ml, mientras que las formas bentónicas o adheridas varían de miles a millones de células/cm² (Bradbury 1988).

b) Las diatomeas son ecológicamente diversas y ampliamente distribuidas. Comprenden alrededor de 175 géneros, con unas 12,000 a 16,000 especies, de las cuales el 70% son exclusivamente marinas, el 13% pueden ser de aguas tanto dulces como marinas y el 17% habita en aguas continentales (Barron 1993, Werner 1977). Muchas de estas especies son cosmopolitas, aunque las especies endémicas pueden llegar a alcanzar un 60% en lagos antiguos (Patrick y Reimer 1966).

c) La frústula de las diatomeas (unión de las valvas, formadas de sílice y que conforman parte de la pared celular de la mayoría de las diatomeas, Round *et al.* 1990) puede resistir la disolución, con lo cual es frecuente que se preserve en los sedimentos aun tiempo después de que otras algas o microfósiles hayan desaparecido.

d) La taxonomía de las diatomeas se basa en las características de la frústula; por lo tanto, las diatomeas fósiles pueden ser identificadas con base en las formas modernas. La frústula representa un solo organismo y su cuantificación puede darnos información acerca de la densidad poblacional de algunos individuos, así como la estructura de la comunidad de diatomeas.

e) Su clasificación se asocia estrechamente con las formas de vida, de manera que la gran mayoría de las diatomeas céntricas³ y algunas arrafídeas (sin rafe⁴) son planctónicas -es decir, se mantienen suspendidas en la región linnética del lago-, mientras que las diatomeas rafídeas (con rafe) viven en el fondo de los lagos o

³ Diatomeas con simetría radial (Orden Centrales).

⁴ Escisión longitudinal a lo largo de cada valva, llamada rafe, que le permite moverse sobre superficies fijas. Se sigue el criterio de Margalef para asignar el género femenino a la rafe (Vilaclara 1997).

sobre objetos o plantas que se encuentren dentro de la zona iluminada -formas bentónicas y epífitas, principalmente-.

f) La biogeografía de las diatomeas se encuentra mal entendida, pero -a pesar de ello- son útiles como indicadores ecológicos debido a que sus muchas especies, variedades y formas ocupan hábitats diversos y distintivos. Además, su aparición en el registro fósil de origen continental es reciente⁵ (Eoceno-Mioceno del Terciario, Abbot y Van Landingham 1972, Lohman 1961, Round *et al.* 1990), lo cual las convierte en un caso ideal de aplicación del mencionado principio del uniformitarismo (Andrews 1966, Bradbury 1988, Cholnoky 1968, Hustedt 1930a, 1930b, 1959 y 1961-1966, Judson *et al.* 1987, Lohman 1961, Patrick y Reimer 1966, Stanley 1993).

g) El estudio de las diatomeas puede darnos interpretaciones paleolimnológicas de parámetros con amplio intervalo de variación, como son: pH (Battarbee 1984 *in* Bradbury 1988, Flower y Battarbee 1983), salinidad (Kjemperud 1981 *in* Bradbury 1988), estado trófico (Bradbury 1975, Brugam 1980 *in* Bradbury 1988), saprobiedad y contaminación (Sládeček *et al.* 1981, Werner 1977) y condiciones físicas -como profundidad (Stager 1982 *in* Bradbury 1988), erosión (Haworth 1976 *in* Bradbury 1988), turbidez (Haworth 1977 *in* Bradbury 1988), grado de turbulencia o estratificación (Bradbury 1975, Dean *et al.* 1984 *in* Bradbury 1988)-.

Todos estos factores -aunados al hecho ya comentado de que su depositación y preservación va a depender directamente de las condiciones ambientales del momento- hace de las diatomeas una herramienta útil en la realización de una biocronología de depósitos lacustres dulceacuícolas y en la interpretación de paleoambientes, lo cual va a depender de la combinación de diferentes grupos de diatomeas como resultado de factores tectónicos, climáticos y limnológicos (Bradbury 1988). La situación ideal en este tipo de estudios se da cuando tiene lugar una sucesión en las agrupaciones de diatomeas. La sucesión se refiere a cambios temporales que se llevan a cabo cuando una comunidad comienza a establecerse en una área nueva abierta a la colonización. Esta situación puede presentarse -por ejemplo- cuando existe una perturbación natural que modifica o incluso elimina las comunidades establecidas (Rodríguez 1998) -como en el caso de una erupción volcánica que ofrece un nuevo sustrato a otro tipo de comunidad, tal vez con requerimientos diferentes a las preexistentes, Dodd y Stanton 1990-.

Por todo lo mencionado, las diatomeas se manifiestan como un grupo adecuado para determinar las condiciones autóctonas -e incluso alóctonas- en las que se desarrolló un lago y su entorno, a través de estudiar la evolución de sus formas y números en sedimentos de lagos actuales y extintos. Es por ello que el presente trabajo se ha enfocado en la determinación de los cambios en las condiciones ambientales lacustres -y, colateralmente, de algunas condiciones del entorno lacustre- en la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala, por medio del estudio de las diatomeas presentes en el depósito diatomífero.

⁵ Las diatomeas fósiles son frecuentes en registros desde el Cretácico temprano (aunque existen algunas formas desde el Jurásico). Las primeras diatomeas fueron marinas (Van Landingham 1967-1971 *in* Taylor y Taylor 1993). no se conocen diatomeas dulceacuícolas antes del Mioceno (Taylor y Taylor 1993).

ANTECEDENTES

México posee numerosos depósitos de sedimentos ricos en diatomeas que han sido intermitentemente investigados desde el siglo pasado (Ehrenberg 1846, 1854, 1866 y 1869) hasta el presente (Bradbury 1971, 1974, 1977, 1982a y 1982b, Caballero 1991, 1995 y 1997, Cuna 1997, Hutchinson *et al.* 1956, Lozano 1946, Metcalfe 1986, 1992, 1994 y 1995, Rico *et al.* 1993, Robledo 1997, Rodríguez 1998, Vilaclara 1997, Watts y Bradbury 1982).

Taliaferro (1933) menciona la existencia de depósitos de diatomita, así como de numerosos depósitos de tierra diatomácea, menos pura, en lo que antes se conocía como Mesa Central Mexicana⁶ (ahora Faja Volcánica Mexicana), todos ellos asociados con vulcanismo Terciario y Cuaternario. Dichos depósitos se originaron en sedimentos lacustres y presentaban toda la gradación entre la diatomita pura y las cenizas puras. Tras un análisis exhaustivo de las tierras diatomíferas estudiadas en todo el mundo hasta antes de 1933, Taliaferro concluyó que -con pocas excepciones- los depósitos gruesos y extensos de diatomita se asociaban estrechamente con productos volcánicos, particularmente con cenizas volcánicas. Estos productos aportaban cantidades considerables de sílice al agua, aprovechados para el crecimiento de las diatomeas que, al morir, dejaban sus esqueletos en el sedimento (Kurenkov 1966).

Desde la década de los 70, Urrutia *et al.* (del Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica y del Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, ambos en la UNAM) han trabajado sedimentos lacustres -especialmente en la zona de Chalco, Valle de México- en forma multidisciplinaria, pues se integran estudios paleomagnéticos, palinológicos, magnetoestratigráficos y paleolimnológicos, donde se ha observado que algunos de los segmentos de los núcleos extraídos están conformados por diatomitas (Caballero 1991, 1995, 1996 y 1997, Caballero *et al.* 1995 y en prensa, Lozano y Ortega 1994, Lozano *et al.* 1993, Urrutia y Lozano 1991, Urrutia *et al.* 1995).

En relación con los depósitos de diatomitas, a partir de 1990 se ha integrado un grupo en la ENEP-Iztacala que los estudia en forma interdisciplinaria con el Instituto de Física y el Instituto de Geofísica de la UNAM. Tales estudios han sido apoyados hasta la fecha por tres proyectos: "Efecto de perturbaciones y catástrofes en sistemas naturales: El caso del vulcanismo y el clima en los sedimentos lacustres diatomíferos de la Faja Volcánica Mexicana" (DGAPA IN203094), "Dinámica lejos del equilibrio" (DGAPA IN103595), y "Dinámicas cifradas en sistemas biológicos: El tránsito de secuencias a mecanismos" (DGAPA IN116198), los cuales han producido o están en proceso de generar varias presentaciones en congresos y publicaciones (Juárez *et al.* 1997 y 1998, Martínez-Mekler *et al.* 1998, Miranda *et al.* 1994 y 1996, Rico *et al.* 1993, 1995 y 1997, Robledo *et al.* 1996, Rodríguez *et al.* 1996 y 1997, Vilaclara *et al.* 1996, 1997a, 1997b y 1998).

⁶ Díaz (1917) define la Mesa Central Mexicana como un conjunto de cuencas lacustres separadas por sierras volcánicas, rellenas principalmente con materiales cineríticos.

OBJETIVOS

I) OBJETIVO GENERAL.

- Determinar los cambios en las condiciones ambientales de la sección inferior (200 cm) de la mina "El Lucero", Tlaxcala, mediante el estudio de las diatomeas presentes.

II) OBJETIVOS PARTICULARES.

- Conocer los *taxa* de diatomeas presentes en la sección estudiada.
- Conocer la abundancia relativa y la distribución de los *taxa* identificados.
- Establecer las condiciones ambientales en las que pudieron presentarse las especies más abundantes.
- Interpretar los cambios ocurridos en la sección estudiada con base en los datos obtenidos.

ÁREA DE ESTUDIO

En las regiones templadas, la mayoría de los lagos sólo tienen de 10,000 a 15,000 años de existencia; por ello, las investigaciones de la ontogenia lacustre se dan típicamente en secuencias sedimentarias holocénicas de lagos todavía vivos, mientras que los estudios del Pleistoceno temprano y medio se enfocan a menudo en cuestiones paleoclimáticas y geomórficas (Bradbury 1988). Este último es el caso de la mina de "El Lucero", Tlaxcala (Fig. 1), la cual se encuentra situada geográficamente a los 19° 24' 62" latitud Norte y a 98° 17' 53" longitud Oeste, a una altitud de 2370 m s.n.m.⁷; esta zona representa una antigua cuenca lacustre, la del paleolago Tlaxcala, ubicado en la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana. Al parecer, dicha cuenca tiene un origen volcánico-tectónico, siendo la actividad volcánica la causa probable de la desaparición del lago (Rico *et al.* 1997).

⁷ Coordenadas y altitud registrados mediante un geoposicionador GPS 45 marca Garmin Corp., software ver. 2.43 1994-1995, facilitado por el Dpto. de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica, C.U., UNAM.

OBJETIVOS

I) OBJETIVO GENERAL.

- Determinar los cambios en las condiciones ambientales de la sección inferior (200 cm) de la mina "El Lucero", Tlaxcala, mediante el estudio de las diatomeas presentes.

II) OBJETIVOS PARTICULARES.

- Conocer los *taxa* de diatomeas presentes en la sección estudiada.
- Conocer la abundancia relativa y la distribución de los *taxa* identificados.
- Establecer las condiciones ambientales en las que pudieron presentarse las especies más abundantes.
- Interpretar los cambios ocurridos en la sección estudiada con base en los datos obtenidos.

ÁREA DE ESTUDIO

En las regiones templadas, la mayoría de los lagos sólo tienen de 10,000 a 15,000 años de existencia; por ello, las investigaciones de la ontogenia lacustre se dan típicamente en secuencias sedimentarias holocénicas de lagos todavía vivos, mientras que los estudios del Pleistoceno temprano y medio se enfocan a menudo en cuestiones paleoclimáticas y geomórficas (Bradbury 1988). Este último es el caso de la mina de "El Lucero", Tlaxcala (Fig. 1), la cual se encuentra situada geográficamente a los 19° 24' 62" latitud Norte y a 98° 17' 53" longitud Oeste, a una altitud de 2370 m s.n.m.⁷; esta zona representa una antigua cuenca lacustre, la del paleolago Tlaxcala, ubicado en la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana. Al parecer, dicha cuenca tiene un origen volcánico-tectónico, siendo la actividad volcánica la causa probable de la desaparición del lago (Rico *et al.* 1997).

⁷ Coordenadas y altitud registrados mediante un geoposicionador GPS 45 marca Garmin Corp. software ver. 2.43 1994-1995, facilitado por el Dpto. de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica, C.U., UNAM.

Hilger y Von Erffa (1975 *in* Von Erffa *et al.* 1976) asignan a esta área una edad Pliocénica con base en la posición estratigráfica de los sedimentos, aunque la fechación indirecta del depósito otorga una edad Plio-Pleistocena para el lago, considerando tanto los agrupamientos de diatomeas fósiles como los restos de la fauna fósil encontrados en la cercana barranca de Huexoyucan (Rico *et al.* 1991). Estudios paleomagnéticos de los basaltos que se encuentran en estrecho contacto con parte del depósito superior del yacimiento indican una probable pertenencia al cron de polaridad denominado Brunhes, es decir, que se emitió en una fecha entre el presente y hace 780,000 años (Vilaclara *et al.* 1996, Vilaclara 1997), lo cual podría señalar una edad típicamente Pleistocena para este depósito (más reciente que hace 1.64 Ma., Harland *et al.* 1989)⁸.

En la región predominan los afloramientos de rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas, así como diversas asociaciones de éstas. Además, hay sedimentos lacustres, fluviales y fluvio-glaciares (brechas sedimentarias). Las unidades estratigráficas más antiguas son las rocas sedimentarias; en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que, de acuerdo con su litología, son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas, y de areniscas y calizas. Es posible que estas rocas pertenezcan al Terciario Inferior, ya que se encuentran cubiertas por derrames andesíticos y tobas intermedias del Mioceno. La actividad volcánica basáltica comenzó en el Terciario Superior y alcanzó una gran intensidad en el Pleistoceno, dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas y algunas de gran tamaño, como lo es el volcán Matlalcuéyatl (Malinche) (Lozano 1946). Díaz (1917) habla de la presencia de valles de gran extensión dentro de una cuenca endorreica, la cual se vio afectada por una intensa actividad volcánica que impermeabilizó el suelo de la zona provocando el acumulamiento de agua, lo cual -aunado a un bloqueo de las áreas de drenaje- transformó la zona en una cuenca tal que permitió la formación de grandes lagos. A juzgar por el espesor (entre 25 m -Ontiveros 1964- y 50 m -Lozano 1946-) de los sedimentos del paleolago Tlaxcala y sus características generales (continuidad de la diatomita), se considera que el lago fue permanente (Rico en proceso), extenso, profundo y probablemente mesotrófico (Vilaclara 1997)⁹.

⁸ La edad Pleistocena para el paleolago Tlaxcala vendría reforzada por el hecho de que las diatomeas que se encuentran en él son muy semejantes a las *taxa* actuales, lo cual ofrece indicios de que no ha pasado tanto tiempo como para que se haya producido especiaciones y extinciones (Vilaclara 1997).

⁹ Es difícil aventurar una profundidad en estos estudios (Caballero *et al.* en prensa); sin embargo, para el paleolago se aventuran profundidades superiores a 20 m cuando dominan grandes especies de diatomeas planctónicas (Vilaclara 1997). En relación con la extensión, no hay estudios acerca de la misma, por lo cual es un trabajo pendiente a realizar.

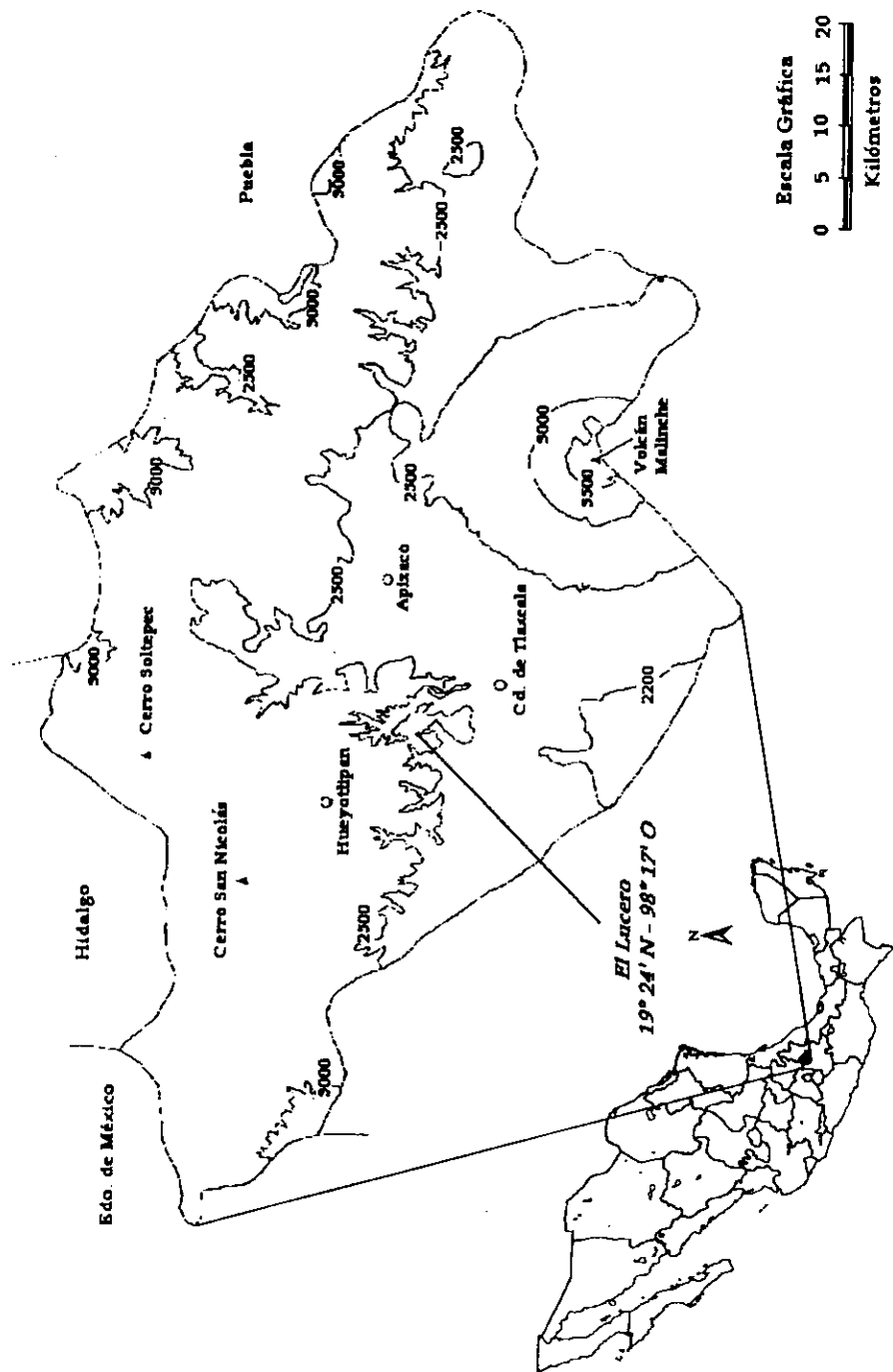


Fig. 1. Mapa de localización de la mina El Lucero, Tlaxcala, México.

MATERIAL Y MÉTODOS

A) MUESTREO DE CAMPO.

El muestreo se realizó en la sección inferior de la mina de diatomita "El Lucero", Tlaxcala; dicha sección se encuentra en el fondo de la galería principal, el cual está escalonado, y va desde el suelo hasta 200 cm por encima del mismo. Las muestras se tomaron *in situ* mediante alfileres¹⁰ cada 5 cm -que es el muestreo tradicional en estudios paleolimnológicos (Battarbee 1979 *in Metcalfe et al.* 1991, Caballero 1997, Hay y Waters 1985, Julià *et al.* en prensa)-, y antes-durante-después de cada laminación de color café muy oscuro (lo que permitiría inferir el tipo de cambios sucedidos en la flora diatomológica cuando se daba un cambio local de diatomita a otro tipo de material y viceversa). El total de las muestras fue de 44.

B) TRABAJO DE LABORATORIO.

Las muestras se montaron esparciendo con agua destilada una pequeña alícuota de material (en cantidad inferior a 0.5 mg) en un cubreobjetos de 22 x 22 mm. La dispersión acuosa se secaba en una parrilla (marca Lindberg, modelo 53100) a baja temperatura; cuando el agua de la muestra terminaba de evaporarse se colocaba encima una gota de Naphrax (N.B.S., índice de refracción de 1.73, Meller 1985) e inmediatamente se montaba el cubre sobre un portaobjetos de 76 x 26 mm, el cual se colocaba sobre la parrilla para evitar que quedaran burbujas de aire. Posteriormente se dejaba en posición plana hasta que el medio de montaje quedaba totalmente seco (1 a 2 semanas).

Dichas preparaciones se utilizaron para observar características morfológicas evidentes con microscopía óptica (M.O.), tomar mediciones¹¹ y realizar los conteos relativos (porcentajes sobre 800 valvas¹²). Para ello se empleó un microscopio de contraste de fases Zeiss estándar (100-1600 x). Para una determinación taxonómica fina, el Departamento de Física Experimental del IFUNAM apoyó -a través de la técnico académico, M. en C. Jaqueline Cañetas- con el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca JEOL, modelo JSM- 5300, con distancia de foco de 10 mm. Para ello, cada una de las muestras observadas en M.O. fue duplicada, montada con cinta de doble cara en bases de aluminio para el MEB y recubiertos de plata pura 0.999 (para evitar la acumulación de electrones en el blanco).

Como auxiliar en la identificación de cada uno de los *taxa* y en la obtención de la información ecológica, se utilizó el siguiente acervo bibliográfico: Blinn 1993, Brugam y Patterson 1983, Cantoral 1997, Chohnoky 1966 y 1968, Florin 1970, Foged 1993, Germain 1981, Håkansson H. 1982, Håkansson S. 1993, Håkansson y Kling 1990, Hecky y Kilham 1973, Hustedt 1930a, 1930b y 1959, Hustedt y Jensen 1985, Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a y 1991b, Lipsey 1988, Lowe 1974, Margalef 1983, Patrick y Reimer 1966 y 1975, Rawson 1956, Round *et al.* 1990, Sládeček *et al.* 1981, Squires y Sinnu 1982, Terao *et al.* 1993, Van Landingham 1970, Vos y de Wolf 1993a y 1993b, Whitmore 1989, Yang y Dickman 1993.

¹⁰ Se empleó un alfiler para cada muestra, rascando a una cierta profundidad (1 mm), para evitar la contaminación intermuestra.

¹¹ Se tomaron un mínimo de 10 mediciones -longitud, anchura, estrías, etc.- por cada una de los *taxa* más abundantes, según recomienda Margalef (1957).

¹² Los diferentes autores consideran los siguientes números: Bradbury (1991), 300 valvas; Charles y Smol (1988), 500 valvas; Haworth (1980), 500 valvas; Hecky y Kilham (1973), de 400-500 valvas; Kanaka y Koizumi (1966 *in* Andrews 1972), 200 valvas; Julià *et al.* (en prensa), 800 valvas; Metcalfe (1994), 200 valvas; Stockner y Benson (1967), 200 valvas; Vos y de Wolf (1993b), 200 valvas. Las 800 valvas se contaron en campos consecutivos. De esta forma se obtienen los porcentajes relativos de los *taxa* encontrados -usando el Programa Tilia (Grimm 1991-1992)-. El uso de abundancias relativas evita la falsa impresión de precisión numérica inferida de los conteos cuantitativos, además de que consume menos tiempo (Andrews 1972). Asimismo, se reportaron los *taxa* con abundancias $\geq 2\%$, con base en lo que se reporta en estudios semejantes (Caballero 1995, Caballero *et al.* en prensa, Metcalfe 1986, 1992, 1993 y 1994, Metcalfe *et al.* 1991, Rico *et al.* 1997, Vos y de Wolf 1993b (estos últimos consideran una abundancia relativa $\geq 5\%$)) y -con los datos obtenidos- se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para conocer la manera como se relacionan los *taxa*.

RESULTADOS

1) CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA¹³.

Los *taxa* registrados en las 44 laminaciones analizadas a lo largo de 200 cm de la parte inferior de la mina "El Lucero" se clasificaron tomando en cuenta el criterio de Simonsen 1979 (*in* Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a y 1991b). Se identificaron 105 *taxa*, que se enlistan a continuación:

División Crysophyta

Subdivisión Crysophycophyta

Clase Bacillariophyceae

Orden Centrales

Suborden Coscinodiscineae

Familia Thalassiosiraceae

Género *Cyclotella*

Cyclotella meneghiniana Kützing 1844

Género *Stephanodiscus*

Stephanodiscus hantzschii Grunow (*in* Cleve et Grunow) 1880

Stephanodiscus minutulus (Kützing) Cleve et Möller 1878

Stephanodiscus neoastraea Håkansson et Hickel 1986

Stephanodiscus parvus Stoermer et Håkansson 1984

Orden Pennales

Suborden Araphidineae

Familia Fragilariaceae

Género *Diatoma*

Diatoma sp1

Género *Fragilaria*

Fragilaria sp1

Fragilaria sp2

Subgénero *Fragilaria*

Fragilaria grupo¹⁴ *capucina/vaucheriae* Krammer et Lange-Bertalot 1986

Fragilaria parasitica var. *parasitica* (W. Smith) Grunow *in* Van Heurck 1881

Subgénero *Alterasynedra*

Fragilaria ulna var. *ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980

¹³ Actualmente existen dos tendencias muy marcadas en la clasificación de las diatomeas. La escuela inglesa -básicamente la de Frank Round (véase Round 1973 y Round et al. 1990)- y la escuela centroeuropea -principalmente Kurt Krammer y Horst Lange-Bertalot (véase Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a y 1991b). La escuela inglesa sigue el criterio maximalista de escindir *taxa*, mientras que la centroeuropea -fundamentalmente alemana, aunque es seguida por otros países europeos-, tiene la tendencia minimalista de agrupar morfologías semejantes. Resulta difícil escoger con criterios objetivos cualquiera de ambas escuelas; sin embargo, sin un entrenamiento exhaustivo en taxonomía consideramos más prudente decantarnos por el paradigma centroeuropeo.

¹⁴ Se hizo la traducción de la palabra alemana "Sippen" por grupo.

Subgénero *Staurosira*

- Fragilaria brevistriata* var. *brevistriata* Grunow in Van Heurck 1885
- Fragilaria brevistriata* var. *capitata* Hérib. 1903
- Fragilaria construens* f. *construens* (Ehrenberg) Hustedt 1957
- Fragilaria construens* f. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957
- Fragilaria leptostauron* var. *leptostauron* (Ehrenberg) Hustedt 1931
- Fragilaria pinnata* var. *pinnata* Ehrenberg 1843
- Fragilaria pseudoconstruens* Marciniak 1982

Género *Tabellaria*

- Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing 1844

Suborden Raphidineae

Familia Achnanthaceae

Género *Achnanthes*

Subgénero *Achnanthes*

- Achnanthes inflata* (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow 1880

Subgénero *Achnanthidium*

- Achnanthes exigua* Grunow in Cleve et Grunow 1880
- Achnanthes lanceolata* ssp. *dubia* (Grunow) Lange-Bertalot 1991
- Achnanthes lanceolata* ssp. *frequentissima* Lange-Bertalot 1991
- Achnanthes lanceolata* ssp. *lanceolata* var. *lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve et Grunow 1880
- Achnanthes lanceolata* ssp. *robusta* (Hustedt) Lange-Bertalot 1991
- Achnanthes minutissima* var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot 1980
- Achnanthes minutissima* var. *minutissima* Kützing 1833
- Achnanthes oblongella* Oestrup 1902
- Achnanthes* sp1
- Achnanthes* sp2
- Achnanthes* sp3

Género *Cocconeis*

- Cocconeis pediculus* Ehrenberg 1838
- Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg 1843) Van Heurck 1880-1885
- Cocconeis placentula* var. *placentula* Ehrenberg 1838
- Cocconeis placentula* var. *pseudolineata* Geitler 1927 Ehrenberg 1838

Familia Naviculaceae

Género *Amphora*

- Amphora libyca* Ehrenberg 1840
- Amphora veneta* Kützing 1844

Género *Anomoeoneis*

- Anomoeoneis sphaerophora* Pfitzer 1871

Género *Cymbella*

- Cymbella* sp1

Subgénero *Cymbella*

- Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878
- Cymbella cymbiformis* var. *cymbiformis* Agardh 1830
- Cymbella mexicana* Ehrenberg 1844
- Cymbella schimanskii* Krammer 1982

Subgénero *Encyonema*

- Cymbella muellerii* Hustedt 1938

Género *Gomphonema*

- Gomphonema affine* Kützing 1844
- Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst 1864
- Gomphonema gracile* Ehrenberg 1838
- Gomphonema* aff. *insigne* Gregory 1856
- Gomphonema* cf. *olivaceum* var. *olivaceum* (Hornemann) Brébisson 1838
- Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849
- Gomphonema* sp1

Género *Navicula*

- Navicula capitata* var. *capitata* Ehrenberg 1838
- Navicula capitata* var. *hungarica* (Grunow) Ross 1947
- Navicula cari* Ehrenberg 1836
- Navicula cohnii* (Hilse) Lange-Bertalot 1985
- Navicula constans* var. *constans* Hustedt 1944
- Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot 1985
- Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844
- Navicula declivis* Hustedt 1934
- Navicula gallica* var. *perpusilla* (Grunow) Lange-Bertalot 1985
- Navicula gregaria* Donkin 1861
- Navicula halophila* (Grunow) Cleve 1894
- Navicula* cf. *hustedtii* Krasske 1923
- Navicula kotschyi* Grunow 1860
- Navicula laevissima* var. *laevissima* Kützing 1844
- Navicula menisculus* var. *menisculus* Schumann 1867
- Navicula minima* Grunow in Van Heurck 1880
- Navicula mutica* var. *mutica* Kützing 1844
- Navicula nivalis* Ehrenberg 1854
- Navicula porifera* var. *opportuna* (Hustedt) Lange-Bertalot 1985
- Navicula pupula* var. *pupula* Kützing 1844
- Navicula seminulum* Grunow 1860
- Navicula* cf. *subminuscula* Manguin 1941
- Navicula* cf. *subocculata* Hustedt 1950
- Navicula* sp1
- Navicula* sp2
- Navicula* sp3
- Navicula* sp4
- Navicula* sp5

- Género *Neidium*
Neidium sp1
- Género *Pinnularia*
Pinnularia borealis Ehrenberg 1843
Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1843
- Familia Epithemiaceae
Género *Epithemia*
Epithemia adnata (Kützing) Brébisson 1838
Epithemia argus (Ehrenberg) Kützing 1844
Epithemia sp1
- Familia Bacillariaceae
Género *Cymbellonitzschia*
Cymbellonitzschia diluviana Hustedt 1950
- Género *Denticula*
Denticula elegans Kützing 1844
Denticula tenuis Kützing 1844
- Género *Hantzschia*
Hantzschia amphioxys (Ehrenberg) Grunow in Cleve et Grunow 1880
- Género *Nitzschia*
Nitzschia sp1
Nitzschia sp2
Nitzschia sp3
- Grupo Sigmoideae
Nitzschia aff. *vermicularis* (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1860
- Grupo Insignes y Sculares
Nitzschia aff. *scalaris* (Ehrenberg) W. Smith 1853
- Grupo Lineares
Nitzschia linearis (Agardh) W. Smith 1853
- Grupo Lanceolatae
Nitzschia amphibia f. *amphibia* Grunow 1862
Nitzschia amphibia f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot 1987
Nitzschia amphibioides Hustedt 1942
Nitzschia fonticola Grunow in Cleve et Möller 1879
Nitzschia frustulum var. *frustulum* (Kützing) Grunow in Cleve et Grunow 1880
Nitzschia inconspicua Grunow 1862
Nitzschia palea grupo *palea* (Kützing) W. Smith 1856
Nitzschia palea grupo *tenuirostris* Lange-Bertalot 1976
Nitzschia perminuta (Grunow) M. Peragallo 1903
Nitzschia tropica Hustedt 1949

En la descripción de cada *taxa* se mencionan: características, sinonimos y la referencia bibliográfica de cada una de las especies consideradas como importantes. Así mismo, se indica la fotografía -cuando se cuenta con ella- que representa a dicha especie.

2) DESCRIPCIÓN DE LOS TAXA MÁS ABUNDANTES (Fotografías en el apéndice A).

A continuación se ofrece una descripción donde se mencionan las características morfológicas¹⁵ y ecológicas propias de cada uno de los *taxa* considerados como importantes (abundancia relativa $\geq 2\%$). Tomando en cuenta la premisa de que las diatomeas han evolucionado poco a lo largo de su historia (Barron 1993, Round *et al.* 1990) y aplicando el actualismo ("el presente es la clave del pasado", Stanley 1993), es posible extrapolar las condiciones ambientales en que se desarrollaban aquellos organismos con base en las características descritas para las diatomeas actuales.

Achnanthes minutissima var. *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot 1980

Sin.: *Achnantheidium jackii* Rabenhorst 1861; *Achnanthes linearis* var. *jackii* (Rabenhorst) Grunow in Van Heurck 1880; *Achnanthes minutissima* var. *robusta* Hustedt 1937.

Ref.: Fig. 32: 31-34 de Krammer y Lange-Bertalot 1991b.

Medidas (n = 11): Longitud = 8-12 μm , anchura = 2-4 μm . 18-26 estrías/10 μm , con 2 estrías en la parte central de la hipovalva.

Descripción: Valvas muy pequeñas, lineares, ligeramente lanceoladas; extremos ligeramente rostrados y ampliamente redondeados. Estrías en posición radial. Hipovalva con rafe central y linear; área axial linear y estrecha; área central suele estar interrumpida por la presencia de dos pequeñas estrías muy marcadas en la parte media de la valva. Epivalva con un área central en forma de estauro que abarca hasta los márgenes.

Observaciones ecológicas: Su distribución no es muy conocida. Presente en aguas con contenido electrolítico medio a ligeramente elevado. Circumneutral; principalmente oligotrófica, aunque puede encontrarse en otros niveles tróficos; oligosaprobia. (Krammer y Lange-Bertalot 1991b).

Achnanthes minutissima var. *minutissima* Kützing 1833 (Foto 1)

Sin.: *Achnantheidium microcephalum* Kützing 1844; *Achnantheidium lineare* W. Smith 1855; *Achnanthes minutissima* var. *cryptocephala* Grunow in Van Heurck 1880.

Ref.: Fig. 32: 4, 11-14 de Krammer y Lange-Bertalot 1991b. Lárn. 16: 9 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n = 10): Longitud = 14-21 μm , anchura = 3 μm . Se observan aproximadamente 30-32 estrías/10 μm , con 1 estría en la parte central.

Descripción: Valvas muy pequeñas, lineares, ligeramente lanceoladas; extremos ampliamente redondeados y ligeramente rostrados. Las estrías se presentan de manera radial. Hipovalva con rafe central y linear; área axial linear y angosta; área central suele estar interrumpida por la presencia de una pequeña estría muy evidente en la parte media de la valva y flanqueada por una estría marcada a cada lado. Epivalva con un área central en forma de estauro que abarca hasta los márgenes.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, aunque su ecología es difícil de definir, dado que se encuentran poblaciones muy numerosas en condiciones hidrológicas variables. Se presenta indistintamente en medios lénticos o lóticos. Perifítica y euritermal. Es buena indicadora de altas concentraciones de oxígeno en aguas alcalinas. Indiferente a la presencia de calcio y hierro. Alcalífila, con un intervalo de pH 4.3-9.2 y un óptimo de 7.5-7.8, aunque Patrick y Reimer (1966) reportan una mayor presencia de organismos en pH de 6.5-9.0. Oligohalobia, probablemente indiferente; oligo a mesosaprobia, resistente a cargas de materia orgánica y aguas residuales -incluso de origen industrial-. (Foged 1993, Krammer y Lange-Bertalot 1991b, Lowe 1974, Patrick y Reimer *op. cit.*).

¹⁵ La morfología de las estructuras que conforman a las diatomeas se ilustra en los apéndices B y C.

Achnanthes oblongella Oestrup 1902

Sin.: *Achnanthes saxonica* Krasske ex Hustedt 1933.

Ref.: Fig. 16: 3-5, 9, 11 de Krammer y Lange-Bertalot 1991b. Lám. 17: 13 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=15): Longitud= 8-18 μm , anchura= 5-7 μm . 12-14 estrías/10 μm en la valva sin rafe y 22-24 estrías/10 μm en la valva con rafe.

Descripción: Valvas elípticas a linear-elípticas; extremos ampliamente redondeados. Hipovalva con rafe linear, de extremos proximales bulbosos y levemente reflectados hacia un lado; estrías muy densas pero bien visibles, formadas por lineolas bastante alargadas; área axial muy estrecha y linear; área central en forma de estauro debido a que las estrías adyacentes suelen presentarse de manera radial y aun más radiales en los extremos; dentro de esta área central existen estrías muy cortas, dos o tres dependiendo del margen de la valva, por lo cual se considera un área heterolateral. Epivalva con estriación menos densa y radial; área central pequeña y también heterolateral.

Observaciones ecológicas: Ecología insuficientemente conocida, aunque se tiende a considerar cosmopolita por los numerosos registros en todo el mundo. Es frecuente en zonas con valores de conductividad de 60 $\mu\text{S/cm}$, en aguas circumneutrales, con bajo contenido electrolítico. (Krammer y Lange-Bertalot 1991b, Patrick y Reimer 1966).

Amphora libyca Ehrenberg 1840 (Foto 2)

Sin.: *Amphora affinis* Kützing 1844; *Amphora ovalis* var. *affinis* (Kützing) Van Heurck 1880; *Amphora ovalis* var. *libyca* (Ehrenberg) Cleve 1985; *Amphora ovalis* var. *pediculus* (Kützing) Cleve 1895, non (Kützing) Van Heurck 1885.

Ref.: Fig. 149: 4-5, 10-11 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=19): Longitud= 25-88 μm , anchura= 13-37 μm . 10-12 estrías/10 μm , con 12-14 areolas/10 μm .

Descripción: Valvas semilanceoladas, con extremos ligeramente rostrados. Estrías dorsales interrumpidas por un área hialina central, las estrías ventrales se presentan de forma ininterrumpida desde los extremos de la valva hasta el nódulo central. Carece de estrías desde el área central hasta en margen ventral. Rafe filiforme, excéntrica, localizada en la parte ventral de la valva; extremos proximales dirigidos hacia la parte dorsal y extremos distales dirigidos hacia la parte ventral. Área axial estrecha de aproximadamente 1/4 el ancho de la valva.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, presente en lagos, ríos, arroyos y manantiales, aunque parece preferir zonas lénticas o de corrientes lentas. Es perifítica y epifítica. Prefiere aguas con bajo a mediano contenido electrolítico. Alcalífila, con un intervalo de pH 4.5-9 y un óptimo alrededor de 8. Oligohalobia indiferente; euritrófica; oligosaprobia. (Florin 1970, Foged 1993, Germain 1981, Håkansson H. 1982, Håkansson S. 1993, Hustedt 1959, Hustedt y Jensen 1985, Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lipsey 1988, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975, Sládeček *et al.* 1981, Squires y Sinnu 1982, Vos y de Wolf 1993a, Whitmore 1989).

Anomoeoneis sphaerophora Pfitzer 1871

Sin: *Navicula Sphaerophora* Ehrenberg 1843.

Ref.: Fig. 92: 3-4 de Krammer y Lange-Bertalot 1986. Lám. 32: 2 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=10): Longitud= 52-68 μm , anchura= 15-22 μm . 16-18 estrías/10 μm .

Descripción¹⁶: Valvas elíptico-lanceoladas con márgenes convexos; extremos capitados. Estrías punteadas formando líneas longitudinales y transversales de tamaño variable en el área central; la última areola de cada estría se separa ligeramente de las demás areolas, por lo cual se observa una línea que bordea el área axial. Rafe filiforme, recta; extremos proximales ligeramente distantes entre sí, bulbosos y curvados hacia el mismo lado, y extremos distales al parecer curvados también hacia el mismo lado, aunque en la mayoría de los ejemplares resultó indistinguible con M.O. Área axial linear, área central rectangular.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, generalmente se localiza en arroyos, pozas, lagos y cuerpos de agua intermitentes, por lo cual se considera una especie de agua dulce, aunque también se encuentra en cuerpos de agua con una ligera concentración salina e incluso en aguas salobres. Tiene preferencia por aguas duras, siendo probablemente alcalinobionte; además, es común encontrarla en aguas con alta carga de contaminantes (β - α mesosaprobia). (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).

Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878 (Foto 4)

Sin.: *Bacillaria cistula* Ehrenberg 1828; *Cymbella maculata* (Kützing 1833) Kützing 1844.

Ref.: Fig. 127: 8-11 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=27): Longitud= 43-125 μ m, anchura= 13-22 μ m. 6-10 estrías/10 μ m en el dorso y 12-14 estrías/10 μ m en el extremo, con 17-19 punteaduras/10 μ m. Presenta 3-5 estigmas.

Descripción: Valvas semilanceoladas, con margen dorsal convexo y margen ventral recto o ligeramente convexo que suele tener una giba en la parte media; extremos adelgazados y redondeados. Estrías paralelas que conforme se acercan a los extremos van adoptando una posición radial. Rafe central, filiforme, reversa-lateral, donde los extremos proximales de uno de los filamentos termina en dirección contraria al resto de la rafe. Área axial estrecha (1/5 del ancho de la valva), área central circular de aproximadamente 1/3 del ancho de la valva. Presentan hasta cinco estigmas de los cuales los que están en posición central pueden llegar a confundirse con alargamientos de las estrías centrales.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, se encuentra en aguas estancadas (lagos), en litorales y en ocasiones en corrientes de agua (ríos). Las áreas con oxígeno en saturación son óptimas para su desarrollo. Perifítica o epifítica. Es de zonas con moderado a alto contenido electrolítico; considerada indicadora de alto contenido mineral. Alcalífila, con un intervalo de pH 4.3-8.6 y un óptimo alrededor de 8. Oligohalobia indiferente; oligo a eutrófica; oligo a β -mesosaprobia. (Cholnoky 1968, Foged 1993, Håkansson 1993, Hustedt 1930b, Hustedt y Jensen 1985, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lipsey 1988, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975, Sládeček *et al.* 1981).

Cymbella cymbiformis var. *cymbiformis* Agardh 1830 (Foto 3)

Sin.: *Cymbella cymbiformis* Agardh 1830; *Cocconema cymbiforme* (Agardh) Ehrenberg 1838.

Ref.: Fig. 129: 2-4 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=16): Longitud= 43-66 μ m, anchura= 9-12 μ m. 8-10 estrías/10 μ m en el dorso y 10-14 estrías/10 μ m en el extremo, con 18-22 punteaduras/10 μ m. Presenta 1 estigma.

Descripción: Valvas semilanceoladas, con margen dorsal fuertemente convexo y margen ventral recto; extremos adelgazados y bien redondeados. Estrías paralelas en la parte central de la valva y en acomodo radial en los extremos de la misma, las areolas que las conforman están bien marcadas y son

¹⁶ Los especímenes encontrados fueron observados, en su mayoría, en forma fragmentada.

visibles con M.O. Rafe reversa-lateral, con extremos proximales bulbosos y extremos distales en forma de garfio hacia el margen dorsal. Área axial estrecha, linear y curvada, a lo largo del contorno dorsal de la valva; área central muy pequeña observada como un leve ensanchamiento del área axial. El estigma del área central puede confundirse con la última areola de la estría central, aunque se diferencia por su forma triangular.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, con ecología difícil de definir. Común en zonas templadas. Presente en lagos y con pocos registros en arroyos y manantiales; común en litorales de cuerpos de agua dulce. Epifítica y epilítica. De aguas con contenido electrolítico medio. Alcalífila; oligohalobia; oligo a eutrófica. (Foged 1993, Håkansson 1993, Hustedt 1930b, Hustedt y Jensen 1985, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1975, Vos y de Wolf 1993a).

Cymbella mexicana Ehrenberg 1844

Sin.: *Cocconema mexicanum* Ehrenberg 1844; *Cymbella kamtschatica* Grunow 1875; *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve 1894.

Ref.: Lám. 12: 1-2 de Patrick y Reimer 1975. Lám. 1: A de Terao *et al.* 1993.

Medidas (n = 16): Longitud = 102-127 μm , anchura = 23-29 μm . 6/10 estrias/10 μm en el dorso, 6-8 estrias/10 μm ventrales, 8/10 estrias/10 μm en el extremo; con 8-10 punteaduras/10 μm . Presenta 1 estigma.

Descripción: Valvas dorsoventrales, con margen dorsal convexo y margen ventral recto y -en algunos casos- ligeramente convexo; extremos adelgazados, redondeados, nunca afilados. Estrias formadas por areolas muy marcadas y grandes. Las areolas llegan a presentarse un poco alargadas al final de la estría. Los extremos de la valva carecen de estrias. Rafe lateral, con extremos proximales terminados en un punto bien marcado y los distales curvados hacia el lado ventral en forma de guadaña. Área axial de aproximadamente 1/5 del ancho de la valva, área central que se ensancha hasta alcanzar 1/3 del ancho total debido al acortamiento de las estrias centrales de ambos lados. Estigma bien marcado en posición central entre los dos extremos proximales del rafe.

Observaciones ecológicas: Ecología insuficientemente conocida, aunque -al parecer- se reporta principalmente en aguas duras. Especie epifítica, probablemente alcalífila. (Patrick y Reimer 1975).

Cymbella muellerii Hustedt 1938 (Foto 5)

Sin.: *Cymbella grossestriata* var. *obtusiuscula* O. Müller 1905; *Cymbella turgida sensu* Hustedt 1930.

Ref.: Fig. 122: 11, 13-14 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 16): Longitud = 39-109 μm , anchura = 9-18 μm . 8-10 estrias/10 μm en el dorso y 10-12 estrias/10 μm en el extremo. No presenta estigmas.

Descripción: Valvas semilanceoladas, con margen dorsal fuertemente convexo y margen ventral ligeramente convexo; extremos adelgazados y bien redondeados. Las estrias en la parte ventral con arreglo radial en el centro y se vuelven paralelas conforme se aproximan a los ápices, algunas veces están convergentes en los extremos; en la parte dorsal muestran un arreglo radial a lo largo de toda la valva. Las areolas que conforman las estrias están bien marcadas y son visibles con M.O. Rafe doble en la cual los filamentos corren de manera paralela, con extremos proximales bulbosos, los cuales se hallan reflectados dorsalmente, y extremos distales en forma de guadaña reflectados hacia el margen ventral. Área axial lanceolada, de aproximadamente 1/4 el ancho de la valva; área central amplia, elíptico-lanceolada y heterolateral, siendo más amplia del lado ventral debido al acortamiento de las estrias centrales.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita; los ambientes con saturación de oxígeno son óptimos para su desarrollo. Es perifítica; se encuentra en manantiales y lagos alcalinos, principalmente en ambientes tropicales y raramente se presenta en lugares templados. Alcalífila, con un intervalo de pH 6-2-8.5 y un óptimo por debajo de 7.5. Oligohalobia indiferente; oligosaprobia. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

Cymbella schimanskii Krammer 1982 (Foto 6)

Ref.: Fig. 132: 1 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=10): Longitud= 106-135 μm , anchura= 19-32 μm . 6-10 estrías/10 μm , con 12-14 punteaduras/10 μm . Presenta 5-7 estigmas.

Descripción: Valvas semilanceoladas, con margen dorsal fuertemente convexo y margen ventral recto; extremos adelgazados y bien redondeados. Estrías paralelas a ligeramente radiales en la parte central de la valva y en acomodo paralelo en los extremos de la misma, las estrías se encuentran también rodeando los extremos distales de la rafe; las areolas que las conforman están bien marcadas y son visibles con M.O. Rafe reversa-lateral, con extremos proximales bulbosos, en donde uno de los filamentos termina en dirección contraria al resto de la rafe, y extremos distales en forma de guadaña y reflectados hacia el margen dorsal. Área axial amplia, lineal y curvada a lo largo del contorno dorsal de la valva; área central elíptica y amplia debido al acortamiento de las estrías centrales, suele ser heterolateral debido a la presencia de estigmas en el lado ventral. Estigmas del área central muy fuertemente marcados, grandes y circulares.

Observaciones ecológicas: Presente en manantiales pantanosos y en aguas oligotróficas con alto contenido en calcio. Epifítica o epipélica. (Krammer y Lange-Bertalot 1986).

Denticula elegans Kützing 1844 (Foto 7)

Sin.: *Denticula ocellata* W. Smith 1856.

Ref.: Fig. 96: 12, 19-21, 25-27 y Fig. 97: 2-5 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n=20): Longitud= 28-92 μm , anchura= 6-10 μm . 16-20 estrías/10 μm . 2-6 costillas/10 μm , con 3-6 areolas/costilla.

Descripción: Valvas linear-lanceoladas a linear-elípticas, con márgenes valvares de convexos a casi paralelos; extremos bien redondeados. Estrías visibles y con areolas más o menos evidentes. Canal rafidiano totalmente excéntrico, presenta costillas muy gruesas y perpendiculares al eje apical de la valva, a la cual atraviesan totalmente.

Observaciones ecológicas: Se tiende a considerar cosmopolita por los numerosos registros en todo el mundo; se ha encontrado en aguas templadas-cálidas, así como en aguas termales de Estados Unidos. Parece preferir aguas con alta conductividad. Aerófila; alcalífila, con un pH óptimo alrededor de 8. Se ha reportado como *Denticula tenuis* sp. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

Epithemia adnata (Kützing) Brébisson 1838 (Foto 8)

Sin.: *Epithemia zebra* (Ehrenberg) Kützing 1844; *Frustulia adnata* Kützing 1833; *Eunota zebra* (Ehrenberg 1838) Ehrenberg 1838; *Epithemia kurzeana* Rabenhorst 1848-1860.

Ref.: Fig. 107: 1-6 y Fig. 108: 3 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n=12): Longitud= 16-118 μm , anchura= 7-16 μm . 10-14 estrías/10 μm , con 4-7 areolas/10 μm . 3-6 costillas/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, dorsoventralmente asimétricas, con margen dorsal convexo y margen ventral suavemente cóncavo; extremos redondeados y -en algunos casos- ligeramente rostrados, costillas suavemente marcadas con 4-7 areolas grandes y bien marcadas entre cada dos costillas; en vista cingular, las costillas aparecen algo capitadas. Canal rafidiano biarqueado en forma de cuña a partir del nódulo proximal, el cual regularmente no sobrepasa la mitad del ancho de la valva.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita de ambientes lóticos y lénticos. Predominantemente perifítica, aunque se ha reportado como epifítica; se halla con más frecuencia en aguas salobres y marinas. Euritermal. Se puede presentar en medios alcalinos con temperaturas de hasta 40°C, parece preferir lugares con una moderada cantidad de calcio. De alcalífila a alcalinobiótica, con un intervalo de pH 4.7-9 y un óptimo de 8.2-8.5. Oligohalobia indiferente; de aguas limpias a β -mesosaprobias. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

Epithemia argus (Ehrenberg) Kützing 1844 (Foto 9)

Sin.: *Eunotia ocellata* Ehrenberg 1841; *Epithemia ocellata* (Ehrenberg) Kützing 1844; *Eunotia argus* Ehrenberg 1843; *Epithemia longicornis* (Ehrenberg 1845) W. Smith 1853; *Epithemia intermedia* Hilse 1860 non *Epithemia intermedia* Fricke 1904; *Epithemia peisonis* Pantocsek 1901.

Ref.: Fig. 102: 3, 5, 7 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n=17): Longitud= 24-102 μm , anchura= 7-20 μm . 8-14 estrías/10 μm , con 4-6 areolas/10 μm . 2-4 costillas/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, ligeramente arqueadas dorsoventralmente, con margen dorsal convexo y margen ventral poco cóncavo o -en algunos casos- recto; extremos suavemente adelgazados y bien redondeados. Costillas muy marcadas, formadas por areolas grandes y muy evidentes, aproximadamente 4-6 areolas entre cada dos costillas; en vista cingular, las costillas aparecen claramente capitadas. Canal rafidiano ancho, biarqueado en forma de cuña a partir del nódulo central, el cual regularmente sobrepasa la mitad del ancho de la valva casi hasta el margen dorsal.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, presente en lagos, estanques y corrientes. Perifítica. Prefiere aguas con moderada a muy alta cantidad de bicarbonatos, así como contenido electrolítico de medio a alto. Alcalífila a alcalinobiótica, con un intervalo de pH 4.6-9 y un óptimo alrededor de 8.2. Oligohalobia indiferente; de aguas limpias a β -mesosaprobias. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

Fragilaria brevistriata var. *brevistriata* Grunow in Van Heurck 1885 (Foto 10)

Sin.: *Fragilaria brevistriata* var. *subacuta* Grunow in Van Heurck 1881; *Fragilaria brevistriata* var. *pusilla* Grunow in Van Heurck 1881; *Fragilaria brevistriata* var. *subcapitata* Grunow in Van Heurck 1881.

Ref.: Fig. 130: 10-13, 16 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a. Lám. 4: 14 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=10): Longitud= 11-19 μm , anchura= 3-5 μm . 12-14 estrías/10 μm , con 1-2 areolas/estria.

Descripción: Valvas lanceoladas; extremos isopolares, adelgazados y -en algunos casos- bien redondeados. Esternón bastante ancho y lanceolado, principalmente debido a lo corto de las estrías, las cuales se presentan paralelas en la parte central de la valva y radiales en los extremos.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, se localiza en aguas lénticas como lagos, estanques y presas, no se ha reportado para grandes ríos. A veces en grandes cantidades en materiales fósiles. Perifítica. Tolerancia amplia de variaciones en el contenido electrolítico -es decir, presenta un intervalo

amplio de adaptación a la conductividad, e incluso se encuentra en aguas salobres. Alcalífila, con un intervalo de pH 6.5-9 y un óptimo de 7.5-7.8. Oligohalobia indiferente; euritrófica; oligosaprobia. (Germain 1981, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).

Fragilaria grupo *capucina/vaucheriae* Krammer et Lange-Bertalot 1986 (Foto 11)

Sin.: *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kützing) Lange-Bertalot 1980; *Exilaria vaucheriae* Kützing 1833; *Staurosira intermedia* Grunow 1862; *Fragilaria intermedia* Grunow in Van Heurck 1881; *Synedra rumpens* var. *meneghiniana* Grunow in Van Heurck 1881; *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) Petersen 1938.

Ref.: Fig. 108: 1, 14-15 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a. Lám. 3: 5 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=10): Longitud= 54-67(22-131) μm , anchura= 1-5(-7) μm . 9-11 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares; extremos afilados, redondeados y ligeramente rostrados. Estrías finas (no se aprecia su puntuación), paralelas; en los extremos de la valva son ligeramente radiales. Área axial muy estrecha que se ensancha ligeramente en la parte central debido a un abultamiento en los márgenes valvares; área central generalmente unilateral debido a la presencia de estrías; en algunos casos es bilateral (por ausencia de estrías).

Krammer y Lange-Bertalot (1991a) consideran que es un solo grupo, mientras que Patrick y Reimer (1966) la separan en *Fragilaria capucina* y *Fragilaria vaucheriae*.

Observaciones ecológicas: Ecología insuficientemente conocida, aunque se tiende a considerar cosmopolita por sus numerosos registros. Está presente en lagos, estanques, manantiales y arroyos, pero preferentemente en corrientes, es decir, aguas bien aereadas. Euritermal, aunque parece preferir aguas ligeramente frías y alcalinas, con distribución estacional en primavera. Es una especie perifítica y ticoplanctónica. Indiferente a la presencia de calcio y de cloruro de sodio. Alcalífila, con un intervalo de pH 6.2-9 y un óptimo de 6.5-9.0. Oligohalobia indiferente; meso-eutrófica; oligo a β -mesosaprobia. (Foged 1993, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Sládeček et al. 1981).

Fragilaria construens f. *construens* (Ehrenberg) Hustedt 1957

Sin.: *Staurosira construens* Ehrenberg 1843.

Ref.: Fig. 132: 1-8 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a. Lám. 4: 4 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=13): Longitud= 5-14 μm , anchura= 3-9 μm . 12-17 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas bipolares, cruciformes, debido a un abultamiento en ambos márgenes en la parte central de la valva; extremos adelgazados y redondeados. Estrías finas, las de un margen alternadas con las del otro lado, se presentan de forma radial y únicamente las de la parte central de la valva son paralelas. Área axial amplia y linear, área central presente debido al ensanchamiento central de la valva.

Suelen encontrarse formas diferentes a la referida en la descripción, pero tomando en cuenta los ejemplares y las características descritas por Krammer y Lange-Bertalot (1991a) se concluye que pertenecen al mismo grupo.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, se encuentra en lagos, estanques, manantiales y arroyos. Perifítica y ticoplanctónica. Euritermal, con distribución estacional en otoño. Indicadora de agua oxigenada e indiferente a la presencia de calcio. Se presenta en aguas levemente alcalinas, es alcalífila, con un intervalo de pH 6-9 y un óptimo de 7.7-7.8. Oligohalobia indiferente; eutrófica; oligo a α - β mesosaprobia, llegando -en ocasiones- a considerarse xenosaprobia. (Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Sládeček et al. 1981).

Fragilaria pinnata var. *pinnata* Ehrenberg 1843 (Foto 12)

Sin.: *Odontidium mutabile* W. Smith 1856; *Fragilaria mutabilis* var. *subsolaris* Grunow 1862; *Fragilaria pinnata* var. *lancetula* (Schumann 1867) Hustedt in A. Schmidt et al. 1913; *Fragilaria elliptica* Schumann 1867; *Fragilaria pinnata* var. *subrotunda* Mayer 1937; *Odontidium martyi* var. *polymorpha* (Jouravleva) Proschkina-Lavrenko 1950.

Ref.: Fig. 133: 2-4, 7-11, 13, 32 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a. Lám. 4: 10 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n = 10): Longitud = 7-14 μm , anchura = 3-7 μm . 10-12 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, elíptico-lanceoladas; extremos adelgazados, bien redondeados y ligeramente rostrados. Estrías gruesas con líneas transversales evidentes, presentándose en forma radial a lo largo de la valva. Área axial lanceolada, esternón amplio y lanceolado.¹⁷

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, común en aguas dulces (principalmente lagos y estanques), aunque puede hallarse en aguas de moderadamente distróficas a pantanos ácidos, hasta agua salobre de costas marinas, por lo cual su ecología es difícil de delimitar. Limnobiótica. Planctónica, perifítica; con mayor desarrollo en aguas ricas en oxígeno y con medio a alto contenido electrolítico. Alcalífila, con un intervalo de pH 5.7-9 y un óptimo de 7.6-7.8. Oligohalobia indiferente, puede encontrarse en aguas ligeramente salobres; meso-eutrófica; oligo a β -mesosaprobia. (Brugam y Patterson 1983, Florin 1970, Foged 1993, Håkansson 1993, Hecky y Kilham 1973, Hustedt 1959, Hustedt y Jensen 1985, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Van Landingham 1970, Vos y de Wolf 1993a, Whitmore 1989, Yang y Dickman 1993).

Fragilaria ulna var. *ulna* (Nitzsch) Lange-Bertalot 1980 (Foto 13)

Sin.: *Bacillaria ulna* Nitzsch 1817; *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832.

Ref.: Fig. 122: 3, 6-7 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a. Lám. 7: 1 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n = 11): Longitud = 38-80 μm , anchura = 2-4 μm . 10-12 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares; extremos adelgazados y bien redondeados, rostrados y a veces capitados. Estrías paralelas a lo largo de la valva, punteadas y en arreglo perpendicular y contrapuesto (no alternado) las del margen izquierdo respecto al derecho. Área axial muy estrecha y linear, área central rectangular.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita; por su amplia distribución en cuerpos de agua dulce (tanto corrientes como aguas estancadas) es un mal indicador biológico. Planctónica, de vida libre o epifítica. Euritermal, con distribución estacional de primavera a otoño. Parece preferir aguas contaminadas, es indiferente a la presencia de calcio. Circumneutral a alcalífila, con un intervalo de pH 5.7-9. Oligohalobia indiferente; eutrófica; oligo a β -mesosaprobia. (Foged 1993, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Round et al. 1990).

Gomphonema affine Kützing 1844

Sin.: *Gomphonema lanceolatum sensu* Hustedt (et al.) non Ehrenberg 1843 nec Agardh 1830; *Gomphonema magnificum* Gandhi 1960.

Ref.: Fig. 161: 1-3 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 10): Longitud = 50-57 μm , anchura = 8-10 μm . 10 estrías/10 μm . 1 estigma lateral en el área central.

¹⁷ Esta especie suele presentar variaciones morfológicas (Krammer y Lange-Bertalot 1991a).

Descripción: Valvas heteropolares, rómbico-lanceoladas; extremos adelgazados y redondeados, el extremo apical suele ser más ancho y corto que el extremo basal. Estrías paralelas en la parte central de la valva y en acomodo ligeramente radial en los extremos de la misma, las areolas que las conforman son bien marcadas y visibles con M.O. Rafe lateral, donde ambos filamentos corren paralelos, con extremos proximales bulbosos y extremos distales indistinguibles. Área axial estrecha, linear, de aproximadamente $1/4 - 1/5$ el ancho de la valva; área central muy pequeña o inexistente, presentándose de forma lateral y transversal como un leve ensanchamiento del área axial debido al acortamiento de la estría central en un lado. Estigma en el área central del lado contrario a la estría acortada y se observa como una areola más grande y separada del resto de la estría.

Observaciones ecológicas: Presente en arroyos de regiones tropicales y subtropicales. Tolera amplios intervalos de conductividad en agua dulce. Alcalífila; oligohalobia; mesotrófica; β -mesosaprobia. (Cantoral 1997, Patrick y Reimer 1975).

Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst 1864

Sin.: *Sphenella angustata* Kützing 1844; *Gomphonema micropus* Kützing 1844; *Gomphonema bohemicum sensu* Hustedt 1930; *Gomphonema instabilis* Hohn et Hellermann 1963.

Ref.: Fig. 155: 18-21 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 18): Longitud = 29.47 μm , anchura = 5.9 μm . 10-14 estrías/10 μm . 1 estigma lateral en el área central.

Descripción: Valvas heteropolares, rómbico-lanceolada; extremos adelgazados, redondeados, ligeramente rostrados. Estrías ligeramente radiales a lo largo de la valva. Las areolas son pequeñas, no bien visibles con M.O. Rafe ligeramente lateral, con extremos proximales bulbosos y extremos distales indistinguibles. Área axial angosta, linear de aproximadamente $1/4 - 1/5$ el ancho de la valva; área central muy pequeña presentándose de forma lateral debido al acortamiento de la estría central de un lado. El estigma del área central se encuentra del lado contrario a la estría acortada y se ve como una areola más grande y separada del resto de la estría, la cual aparece un poco más ancha y marcada que el resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita de agua dulce. Presente en estanques, manantiales y arroyos. Perifítica. Euritermal, con distribución estacional en otoño y su máxima presencia en invierno. Circumneutral a alcalífila, con un intervalo de pH 6-9 y un óptimo de 7.5-7.7. Oligohalobia indiferente; oligo a mesotróficas; oligosaprobia. (Foged 1993, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

Gomphonema gracile Ehrenberg 1838 (Foto 14)

Sin.: *Gomphonema lanceolatum* Ehrenberg 1841; *Gomphonema grunowii* Patrick 1975.

Ref.: Fig. 154: 27 y Fig. 156: 1-3, 8, 11 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 10): Longitud = 40-68 μm , anchura = 5-10 μm . 12 estrías/10 μm . 1 estigma lateral en el área central.

Descripción: Valvas heteropolares, rómbico-lanceolada; extremos afilados y redondeados, el extremo apical suele ser más ancho y corto que el extremo basal, el cual es más afilado. Estrías ligeramente radiales en la parte central de la valva y acomodadas de manera casi paralela en los extremos de la misma. Las areolas se distinguen con dificultad a M.O. Rafe ligeramente excéntrica, filiforme, con extremos proximales bulbosos y extremos distales indistinguibles. Área axial estrecha, linear de aproximadamente $1/5$ el ancho de la valva; área central muy pequeña y lateral debido al acortamiento de la estría central de un lado. El estigma del área central se ve como un alargamiento de la estría central y se encuentra del lado contrario a la estría acortada.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, localizada en litorales y en comunidades planctónicas de agua dulce. Perifítica. Puede encontrarse en zonas con alto contenido electrolítico hasta aguas negras. Indiferente a la presencia de calcio. Circumneutral a alcalífila, con un intervalo de pH 5.5-9 y un óptimo de 7.2-7.4, aunque Patrick y Reimer (1975) mencionan que tolera un amplio intervalo de pH y conductividad, prefiriendo áreas con bajo contenido de nutrimentos. Oligohalobia indiferente; oligo a β -mesosaprobia. (Foged 1993, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975).

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849 (Foto 15)**

Sin.: *Sphenella parvula* Kützing 1844; *Gomphonema lagenula* Kützing 1844; *Gomphonema micropus* Kützing 1844.

Ref.: Fig. 154: 4, 6-7, 23 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=10): Longitud= 25-37 μm , anchura= 5-7 μm . 8-12 estrías/10 μm . 1 estigma lateral en el área central.

Descripción: Valvas heteropolares, en forma de sarcófago; extremo apical ancho y fuertemente redondeado, el extremo basal es muy afilado y redondeado al final. Algunas veces con los extremos ligeramente rostrados. Estrías paralelas a lo largo de toda la valva y ligeramente radiales en los extremos de la misma. Rafe filiforme, linear; extremos proximales ligeramente ensanchados y extremos distales indistinguibles. Área axial linear y angosta aproximadamente 1/5 del ancho de la valva; área central muy pequeña o inexistente, presentándose de forma lateral como un leve ensanchamiento del área axial debido al acortamiento de la estría central en un lado. El estigma se ve como una areola más grande separada del resto de la estría y se encuentra al lado contrario de la estría acortada.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, con una gran adaptabilidad debida a su variabilidad. Se encuentran principalmente en aguas lóxicas, es perifítica. Mesotermal y estenotermal. Puede ser indicadora de contaminación, ya que comúnmente habita en aguas con elevado contenido en nutrimentos y materia orgánica, en especial con desechos sanitarios o de granja. Heterótrofa facultativa al nitrógeno e indiferente a la presencia de calcio y hierro. Circumneutral, con un intervalo de pH 4.2-9 y un óptimo de 7.8-8.2. Oligohalobia indiferente; es raro encontrar esta especie en aguas xeno a oligosaprobias y es más común hallarla en aguas β - α -mesosaprobias; no se ha reportado en aguas polisaprobias. (Foged 1993, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Margalef 1955 y 1983, Patrick y Reimer 1975, Sládeček *et al.* 1981).

***Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve y Grunow 1880**

Sin.: *Eumotia amphioxys* Ehrenberg 1843.

Ref.: Fig. 88: 3-6 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n=10): Longitud= 19-33 μm , anchura= 5-7 μm . 14-28 estrías/10 μm . 4-6 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas heterolaterales en vista valvar, rectangulares en vista cingular, la simetría respecto al eje apical es dorsoventral, tipo hantzschioide, gracias a una constricción central en un margen de la valva; extremos adelgazados, redondeados y rostrados a capitados. Estrías numerosas y visiblemente punteadas. Rafe totalmente excéntrica, con extremos proximales y distales no distinguibles en M.O. Fíbulas presentes del mismo lado en ambas valvas, las centrales se encuentran más distanciadas que el resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, con una extraordinaria adaptabilidad. Común en el epipelon de aguas marinas y dulces, aunque raramente es salobre; se extiende a hábitats subaéreos -casi

universalmente presente en suelos-, es decir, se considera aerófila, aunque su mayor desarrollo se lleva a cabo en el agua. Perifítica. Euritermal, con máxima distribución estacional en primavera. Alcalifila, con un intervalo de pH 5.4-9.2 y un óptimo de 7.8-8. Oligohalobia indiferente; mesosaprobia. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974, Round *et al.* 1990).

Navicula cryptotenella Lange-Bertalot 1985 (Foto 16)

Sin.: *Navicula tenella* Brébisson ex Kützing 1849 *sensu* Grunow 1880; *Navicula radiosa* var. *tenella* (Brébisson ex Kützing) Van Heurck 1885.

Ref.: Fig. 33: 9-11 de Krammer y Lange-Bertalot 1986. Lám. 48: 17 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=20): Longitud= 12-45 μm , anchura= 5-8 μm . 12-16 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lanceoladas, con márgenes valvares convexos; extremos adelgazados, en forma de cuña. Estrías compuestas por areolas visibles, radiales a lo largo de la valva y convergentes en los extremos, únicamente en la parte central se presentan pequeñas y grandes de manera alternada. Rafe filiforme, sencilla; extremos proximales bulbosos y extremos distales reflectados en forma de guadaña. Área axial estrecha y linear, área central rómbica. Sin estigmas.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita de ambientes lóticos y lénticos. Perifítica, bentónica. Indiferente al contenido iónico, aunque es muy sensible al incremento de contaminantes, dándose una relación indirecta con respecto a la descarga de materia orgánica. Circumneutral a alcalifila; oligohalobia indiferente; mesotrófica; frecuente en condiciones de xeno a oligosaprobiedad, aunque puede presentarse en β -mesosaprobiedad. (Florin 1970, Foged 1993, Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Sládeček *et al.* 1981, Vos y de Wolf 1993a, Whitmore 1989, Yang y Dickman 1993).

Navicula cf. bustedtii Krasske 1923

Ref.: Fig. 71: 22-24 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n=11): Longitud= 11-17 μm , anchura= 2-3 μm . Las estrías son muy finas y la distancia entre ellas es pequeña, por lo que no se pueden contar con M.O. No llegó a observarse con MEB.

Descripción: Valvas isopolares, lanceoladas, con márgenes valvares convexos únicamente en la porción central de la valva; extremos adelgazados, capitados y bien redondeados. Se observan 1-2 estrías centrales más marcadas, radiales y bastante cortas con relación al resto, a lo largo de la valva se presentan también de manera radial, pero en menor medida. Rafe filiforme, sencilla; extremos proximales bulbosos y extremos distales no distinguibles en M.O. Área axial muy estrecha, que adopta una forma lanceolada en el centro de la valva; área central transversal y angulada debido a que las estrías adyacentes al centro son bastante radiales. Sin estigmas.

Observaciones ecológicas: Presente en agua salobre. Reportada como aerófila. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1966).

Navicula laevisissima var. *laevisissima* Kützing 1844 (Foto 17)

Sin.: *Navicula wittrockii* (Lagerstedt 1873) Tempère et Peragallo 1909; *Navicula bacilliformis* Grunow in Cleve et Grunow 1880; *Navicula fusticulus* Østrup 1910.

Ref.: Fig. 67: 6-9 de Krammer y Lange-Bertalot 1986. Lám. 47: 13 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=10): Longitud= 27-36 μm , anchura= 8-11 μm . 14-16 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, isobilaterales, lineares, con márgenes paralelos a lo largo de toda la valva; extremos ampliamente redondeados. Las estriás adyacentes al centro están ligeramente arqueadas, lo cual da la impresión de verlas radiales, volviéndose paralelas o ligeramente radiales en el resto de la valva. Rafe filiforme, con extremos proximales bulbosos y ligeramente curvados hacia el mismo lado, y extremos distales curvados en forma de gancho. Área axial muy estrecha, área central transversal formada debido al acortamiento o ausencia de las estriás centrales y, ligeramente ovalada a lo largo. No presenta ningún tipo de estructura en el nódulo central.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita. Desde el punto de vista del ambiente mineral, puede hallarse desde áreas alcalinas de manantiales con alto contenido electrolítico hasta turberas, aunque se marca una amplia distribución en aguas circumneutrales. Se considera que, desde el punto de vista nutricional, tal vez sea estrictamente oligotrófica aunque su espectro ecológico es muy amplio. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1966).

Navicula mutica var. *mutica* Kützing 1844 (Foto 18)

Sin.: *Stauroneis rotaeana* Rabenhorst 1856; *Navicula imbricata* Bock 1963; *Navicula paramutica* Bock 1963.

Ref.: Fig. 61: 4-7 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 12): Longitud = 8-22 μm , anchura = (3-)-5-8 μm . 18-22 estriás/10 μm . Aprox. 16 punteaduras/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lanceoladas, con márgenes convexos y en algunos casos se observan tres ondulaciones (triondulada) a lo largo de ellos; extremos ampliamente redondeados y suelen presentarse ligeramente rostrados. Estriás radiales a lo largo de la valva, acentuándose más en los extremos de la misma, formadas por areolas muy visibles y evidentemente separadas una de otra. Rafe filiforme, linear; extremos proximales delgados y curvados hacia el mismo lado, al igual que los extremos distales. Área axial lanceolada, área central transversal formada por el acortamiento o ausencia de las estriás centrales por lo que, en algunos casos, puede alcanzar los márgenes valvares.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita. Presente en cuerpos de agua dulce y salobre, en manantiales, arroyos y frecuentemente en suelos. Por encontrarse con especies resistentes a la desecación, en conjunto, se consideran de tipo "terrestre". Aerófila, perifítica a ticoplanctónica. Máxima distribución estacional en otoño. Característica de aguas ricas en oxígeno. Circumneutral a alcalífila, con un intervalo de pH 6.5-8.5 y un óptimo de 7.5-8.5. Oligohalobia de halófila a indiferente. (Foged 1993, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).

Navicula nivalis Ehrenberg 1854

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

Ref.: Fig. 61: 17-19 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 10): Longitud = 16-35 μm , anchura = 8-13 μm . 18-22 estriás/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, de lanceoladas a rectangulares, con márgenes que presentan tres ondulaciones (triondulada) bien marcadas a lo largo de ellos; extremos ampliamente redondeados y capitados. Estriás radiales a lo largo de la valva, acentuándose más en el centro de la misma, formadas por areolas muy visibles y evidentemente separadas una de otra. Rafe filiforme, linear; extremos proximales bulbosos y reflectados hacia el mismo lado y los extremos distales también se curvan hacia el mismo lado que los proximales. Área axial linear, ensanchándose ligeramente en la parte central; área

central transversal formada debido al acortamiento de estriás centrales. Estigma excéntrico muy evidente en el área central.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, generalmente en poblaciones aisladas. Aerófila, en áreas húmedas sobre musgo, rocas y muros (Krammer y Lange-Bertalot 1986).

Navicula pupula var. *pupula* Kützing 1844 (Foto 19)

Ref.: Fig. 68: 1-5 de Krammer y Lange-Bertalot 1986. Lám. 47: 7 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n = 10): Longitud = 21-37 μm , anchura = 6-9 μm . 16-20 estriás/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares, con márgenes paralelos, ligeramente convexos; extremos ampliamente redondeados y, en algunos casos, un poco rostrados. Las estriás adyacentes al centro son ligeramente curvadas, lo cual da la impresión de verlas como radiales, manteniéndose de esta manera a lo largo de toda la valva. Rafe filiforme, linear; extremos proximales bulbosos y muy ligeramente curvados hacia el mismo lado y extremos distales curvados en forma de gancho. Área axial ligeramente lanceolada casi linear, área central transversal y angulada debido al acortamiento de las estriás centrales, que son pequeñas y grandes alternadas, y menores que las adyacentes.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, en regiones con amplia variación ecológica, aunque parece preferir aguas dulces, principalmente pequeños cuerpos de agua lénticos como estanques. También se ha reportado en lagos y ríos. Epipélica, aunque algunas veces se encuentra como perifítica. Común en aguas con alto contenido electrolítico. Circumneutral a alcalifila, con un intervalo de pH alrededor de 8. Oligohalobia, de halófila a indiferente; meso-eutrófica; α - β -mesosaprobia, es común en aguas muy contaminadas. (Cholnoky 1966, Florin 1970, Hecky y Kilham 1973, Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966, Sládeček *et al.* 1981, Vos y de Wolf 1993a, Whitmore 1989, Yang y Dickman 1993).

Navicula cf. *subminuscula* Manguin 1941

Sin.: *Navicula luzonensis* Hustedt 1942; *Navicula demissa* Hustedt 1945; *Navicula frugalis* Hustedt 1957; *Navicula vaucheriae* Petersen *sensu* Hustedt 1961; *Navicula perparva* Hustedt *sensu* Cholnoky 1968.

Ref.: Fig. 76: 21, 23 de Krammer y Lange-Bertalot 1986.

Medidas (n = 10): Longitud = 6-8 μm , anchura = (3)4-5 μm . 18-24 estriás/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, elíptico-lanceoladas; extremos redondeados o en forma de cuña. Estriás ligeramente radiales a lo largo de la valva, en la parte central se presenta una o dos estriás pequeñas en un solo lado de la valva. Rafe filiforme, sencilla; extremos proximales bulbosos y evidentemente separados entre sí y extremos distales indistinguibles. Área axial estrecha, linear a linear-lanceolada de aproximadamente 1/5 el ancho de la valva; área central asimétrica, muy angosta o inexistente.

Observaciones ecológicas: Al parecer prefiere aguas con alto contenido mineral (Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).

Nitzschia amphibia f. *amphibia* Grunow 1862 (Foto 20 y 21)

Sin.: *Nitzschia amphibia* var. *acutiuscula* Grunow *in* Cleve *et* Grunow 1880.

Ref.: Fig. 78: 17-20 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 16): Longitud = 17-60 μm , anchura = 4-7 μm . 14-18 estriás/10 μm . 6-8 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares a linear-lanceoladas o elíptico-lanceoladas; extremos adelgazados y redondeados en la punta, en forma de cuña. La densidad de estrías es mayor (sobre 10 μm) en comparación con *N. amphibioides*, son gruesas, con areolas grandes y visibles ordenadas como *quincunx*. Rafe totalmente excéntrica -soportada por la carina conformada por estructuras transversales unidas entre sí, llamadas fíbulas, las cuales son de forma afilada-triangular, no cruzan más de 1/3 del ancho de la valva y se presentan aproximadamente cada dos estrías-. Se observa un pseudonódulo central debido a una evidente separación de las dos fíbulas centrales con respecto al resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, resiste grandes variaciones ambientales. Presente tanto en ambientes lénticos -lagos, estanques- como en lóticos -arroyos, ríos-. Es heterótrofa facultativa para el nitrógeno. Perifítica, bentónica-epifítica en litorales. Euritermal. Se encuentra en aguas de medio hasta muy elevado contenido electrolítico, y en suelos húmedos. Alcalífila a alcalinobiótica, con un intervalo de pH 4-9.3 y un óptimo ligeramente por arriba de 8, donde el bicarbonato es el anión dominante. Oligohalobia indiferente; eutrófica; α -mesosaprobia, resistente a aguas negras. (Blinn 1993, Cholnoky 1966, Florin 1970, Foged 1993, Håkansson 1993, Hustedt 1930b, Hustedt y Jensen 1985, Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974, Vos y de Wolf 1993a, Whitmore 1989).

Nitzschia amphibia f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot 1987 (Foto 23 y 24)

Sin.: *Bacillaria frauenfeldii* Grunow 1862; *Nitzschia amphibia* var. *elongata* Grunow in Cleve et Möller 1879; *Nitzschia amphibia* var. *frauenfeldii* Grunow in Van Heurck 1881; *Nitzschia denticuloides* Hustedt 1942.

Ref.: Fig. 78: 25-26 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 10): Longitud = 62-127 μm , anchura = (2)-5-7(-8) μm . 16-20 estrías/10 μm . (6)-8-12 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas lineares; extremos adelgazados, en forma de cuña y redondeados en la punta. Las estrías son gruesas, con areolas grandes y visibles. Rafe totalmente excéntrica, con fíbulas en forma de espina, las cuales suelen ser un poco más largas que las de *Nitzschia amphibia* f. *amphibia*; sin embargo, no sobrepasan la mitad del ancho de la valva y se presentan aproximadamente cada dos estrías. Se observa un pseudonódulo central debido a la presencia de una separación evidente de las dos fíbulas centrales con respecto al resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, resiste amplias variaciones ambientales. Presente en lagos, estanques y arroyos. Bentónica. Se encuentra en aguas de escaso hasta muy elevado contenido electrolítico, y en suelos húmedos. Alcalífila a alcalinobiótica, con un intervalo de pH 4-9.3 y un óptimo de 8.5. Oligohalobia indiferente; eutrófica; α -mesosaprobia, resiste aguas negras tratadas. Con las mismas características ecológicas que *Nitzschia amphibia* f. *amphibia*. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974).

Nitzschia amphibioides Hustedt 1942 (Foto 22)

Sin.: *Nitzschia robusta* Hustedt 1949.

Ref.: Fig. 78: 28-29 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 14): Longitud = 13-43 μm , anchura = 5-7 μm . 12-14 estrías/10 μm . 6-8 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares a linear-lanceoladas; extremos adelgazados en forma de cuña. Estrías gruesas, con areolas grandes y visibles. Rafe totalmente excéntrica, con fíbulas de forma afilada, las cuales coinciden con las estrías y cruzan más de la mitad de la valva sin llegar al extremo

opuesto. Presenta un pseudonódulo central debido a la presencia de una separación evidente de las dos fíbulas centrales con respecto al resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, se encuentra en zonas cálidas. De ambientes lóticos y lénticos. En aguas con alta concentración de oxígeno. Bentónica. Común en aguas con alto contenido electrolítico. Alcalífila, con un intervalo de pH 6.4-8.5 y un óptimo de 8.2-8.5. Oligohalobia indiferente. (Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974).

Nitzschia linearis (Agardh) W. Smith 1853

Sin.: *Frustulia linearis* W. Smith 1853; *Surirella multifasciata* Kützing 1844.

Ref.: Fig. 55: 2-4, 10 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 10): Longitud = 8-30 μm , anchura = 2 μm . 16-18 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas heteropolares, lineares, ligeramente sigmoidales; extremos adelgazados, redondeados, ligeramente rostrados. Estrías muy finas y numerosas, en algunos casos difíciles de observar. Rafe totalmente excéntrica, con fíbulas muy cortas que alcanzan máximo 1/3 del ancho de la valva, aparentando forma rectangular. Presenta un pseudonódulo central, que se observa por la mayor separación de las dos fíbulas centrales.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, resiste amplias variaciones ecológicas. Especie bien adaptada a aguas ricas en oxígeno, principalmente en ambientes lóticos. Subaérea o perifítica. Euritermal, con distribución estacional en verano. De aguas con medio hasta moderadamente alto contenido electrolítico. Alcalífila, con un intervalo de pH 6.4-9 y un óptimo alrededor de 7.8; puede considerarse circumneutral. Oligohalobia indiferente; eutrófica; oligo a β - α -mesosaprobia. (Germain 1981, Krammer y Lange-Bertalot 1988, Lowe 1974).

Nitzschia aff. *scalaris* (Ehrenberg) W. Smith 1853

Sin.: *Synedra scalaris* Ehrenberg 1843; *Nitzschia scalaris* var. *minor* Grunow in Cleve et Grunow 1880.

Ref.: Fig. 25: 1, 4 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 10): Longitud = (80-)101-125 μm , anchura = (8-)15-17 μm . 10-12 estrías/10 μm . (5-)6-8 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas heteropolares, panduriformes; extremos adelgazados en forma de cuña y ligeramente sigmoidales. Estrías muy finas, con areolas muy pequeñas y poco visibles. Rafe totalmente excéntrica. Las fíbulas cruzan más de la mitad de la valva sin llegar al extremo opuesto y son coincidentes con las estrías, aproximadamente una fíbula cada 3-4 estrías, su longitud es variable a lo largo de toda la valva. No presenta nódulo central debido a la ausencia de una separación evidente de las dos fíbulas centrales con respecto al resto.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita. Se encuentra en zonas muy variadas pero, con frecuencia, en aguas salobres y litorales marinos. Es eurihalina, pues a pesar de ser una especie de aguas salobres puede vivir en aguas dulces. (Germain 1981, Krammer y Lange-Bertalot 1988).

Nitzschia aff. *vermicularis* (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1860

Sin.: *Frustulia vermicularis* Kützing 1833.

Ref.: Fig. 4: 4 y Fig. 7: 6-8 de Krammer y Lange-Bertalot 1988.

Medidas (n = 11): Longitud = 39-68 μm , anchura = 4-6 μm . Las estrías no se distinguen por ser muy finas. 7-8 fíbulas/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, lineares, ligeramente sigmoidales; extremos adelgazados, rostrados a capitados. Estrías muy finas, muy difíciles de observar con el M.O. Rafe totalmente excéntrica. Las fibulas son pequeñas, homogéneas en cuanto a tamaño y no alcanzan más de 1/4 del ancho de la valva. Carece de nódulo central.

Observaciones ecológicas: De ambientes lóticos y lénticos. Perifítica. Circumneutral a alcalífila, con un intervalo de pH 5.7-8.2. Oligohalobia indiferente a halófila; oligotrófica; oligosaprobia. A veces se encuentra mezclada con *Nitzschia sigmoidea*. (Germain 1981, Lowe 1974).

Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1843 (Foto 25)

Sin.: *Bacillaria viridis* Nitzsch 1817.

Ref.: Fig. 194: 4 y Fig. 195: 2-3 de Krammer y Lange-Bertalot 1986. Lám. 64: 5 de Patrick y Reimer 1966.

Medidas (n=10): Longitud= 65-157 μm , anchura= 11-26 μm . 7-10 estrías/10 μm .

Descripción: Valvas isopolares, isobilaterales, lineares, ligeramente ensanchadas en el centro, con márgenes paralelos a lo largo de toda la valva; extremos de ampliamente redondeados a ligeramente cuneados. Estrías casi paralelas a un poco radiales en el centro, se encuentran totalmente paralelas a aproximadamente 1/3 de la valva y convergentes hacia los extremos. Rafe compleja, bastante sinuosa; extremos proximales bulbosos y ligeramente curvados hacia el mismo lado y extremos distales curvados en forma de signo de interrogación. Área axial ancha de 1/4 - 1/5 el ancho de la valva, área central formada por el acortamiento de las estrías centrales y ligeramente ovalada.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita de ambientes lóticos y lénticos. Perifítica. Euritermal, con distribución estacional de primavera a otoño. Indiferente a la presencia de calcio. Numerosa en aguas con contenido electrolítico de bajo a mediano. Circumneutral, con un intervalo de pH 4.2-9 y un óptimo de 5.6-6. Oligohalobia indiferente; oligo a α -mesosaprobia. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).

Stephanodiscus minutulus (Kützing) Cleve et Möller 1878 (Foto 26)

Sin.: *Cyclotella minutula* Kützing 1844; *Stephanodiscus astraeta* var. *minutula* (Kützing) Grunow in Van Heurck 1882; *Stephanodiscus rotula* var. *minutulus* (Kützing) Ross et Sims 1978; *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Round 1981; *Stephanodiscus perforatus* Genkal et Kuzmin 1978.

Ref.: Fig. 74: 7 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a.

Medidas (n=23): Diámetro 3-12 μm . 9-14 interestrías/10 μm .

Descripción: Valvas circulares y onduladas debido a una depresión en la parte central. Estrías radiales multiseriadas, formadas por dos a tres hileras de areolas en la periferia y una sola de manera desordenada en el centro de la valva. Las areolas del manto valvar pueden ser circulares o amorfas y sin algún arreglo específico. En MEB las interestrías aparecen elevadas con relación con las estrías. En la periferia se ve una fultopórtula marginal cada 3 a 6 interestrías y solamente una en posición central (en la cara valvar interna). Con espinas marginales en cada interestría exterior además de una rimopórtula interna.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita, presente en aguas lénticas; planctónica. En aguas contaminadas, con alto contenido electrolítico. En aguas con valores altos de pH y conductividad. Alcalinobiótica a alcalífila, con un intervalo de pH 6.4-9, aunque Kobayasi y Kobayashi (1987) reportan una mayor presencia de organismos en pH de 7-9.6. Oligohalobia indiferente; muy eutrófica.

(Foged 1993, Håkansson 1993, Håkansson y Kling 1990, Hustedt 1930a, Hustedt y Jensen 1985, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974, Rawson 1956, Whitmore 1989).

Stephanodiscus parvus Stoermer et Håkansson 1984 (Foto 27)

Sin.: *Stephanodiscus hantzschii* f. *parva* Grunow ex Cleve et Möller 1879; *Stephanodiscus hantzschii sensu* Haworth 1981 (non Grunow in Cleve et Grunow 1880). *Stephanodiscus hantzschii* var. *hantzschii* Grun. *sensu* Lowe 1974.

Ref.: Fig. 74: 4 de Krammer y Lange-Bertalot 1991a.

Medidas (n=15): Diámetro 5-12 μm . 12-14 interestrías/10 μm .

Descripción: Valvas circulares y planas. Estrías radiales, multiseriadas, formadas por dos hileras de areolas en la parte marginal y una sola hacia el centro, donde finalmente las areolas adoptan un arreglo desordenado. Con MEB, las interestrías aparecen a la misma altura que las estrías, pero se ven más angostas. Se observa una espina en cada extremo interestrial externo de la valva, y una sola fultopórtula en el centro de la cara valvar interna, con posición ligeramente excéntrica.

Observaciones ecológicas: Cosmopolita. Se encuentran también en aguas lénticas; planctónica. Distribución estacional en primavera. Alcalinobióntica a alcalífila, con un intervalo de pH 6.6-9 y un óptimo de 8.2. Oligohalobia indiferente; eutrófica; β -mesosaprobia. Esta especie llega a confundirse, por su morfología, con *Stephanodiscus minutulus* y, además, se desarrollan en condiciones similares. (Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Lowe 1974).

3) ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS TAXA.

El total de 105 *taxa* identificados se agrupó, con base en su abundancia relativa¹⁸, como se muestra en la Tabla 1:

2	≥ 40
15	10 - 39
22	2 - 9
66	< 2

Tabla 1: Número de *taxa* relacionados con su abundancia relativa.

Del número total de *taxa* registrados, sólo aquellos con una abundancia relativa $\geq 2\%$ se consideraron representativos (Caballero 1995, Caballero *et al.* en prensa, Metcalfe 1986, 1992, 1993 y 1994, Metcalfe *et al.* 1991, Rico *et al.* 1997, Vos y de Wolf 1993b, aunque estos últimos toman en cuenta una abundancia relativa $\geq 5\%$) y son referidos enseguida (Tabla 2):

<i>Stephanodiscus minutulus</i>	<i>Amphora libyca</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i>
<i>Stephanodiscus parvus</i>	<i>Cymbella cistula</i>	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissim</i>
	<i>Cymbella cymbiformis</i> var. <i>cymbiformis</i>	<i>Achnanthes oblongella</i>
	<i>Denticula elegans</i>	<i>Anomooneis sphaerophora</i>
	<i>Epithemia adnata</i>	<i>Cymbella mexicana</i>
	<i>Epithemia argus</i>	<i>Cymbella muellerii</i>
	<i>Fragilaria brevistriata</i> var. <i>brevistriata</i>	<i>Cymbella schimanskii</i>
	<i>Fragilaria</i> grupo <i>capucina/vaucheriae</i>	<i>Gomphonema affine</i>
	<i>Fragilaria construens</i> f. <i>construens</i>	<i>Gomphonema angustatum</i>
	<i>Fragilaria pinnata</i> var. <i>pinnata</i>	<i>Gomphonema gracile</i>
	<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>ulna</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>
	<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>
	<i>Nitzschia amphibioides</i>	<i>Navicula</i> cf. <i>hustedtii</i>
	<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Navicula laevissima</i> var. <i>laevissima</i>
	<i>Pinnularia viridis</i>	<i>Navicula mutica</i> var. <i>mutica</i>
		<i>Navicula nivalis</i>
		<i>Navicula pupula</i> var. <i>pupula</i>
		<i>Navicula</i> cf. <i>subminuscula</i>
		<i>Nitzschia amphibia</i> f. <i>amphibia</i>
		<i>Nitzschia amphibia</i> f. <i>frauenfeldii</i>
		<i>Nitzschia</i> aff. <i>scalaris</i>
		<i>Nitzschia</i> aff. <i>vermicularis</i>

Tabla 2: Listado de especies significativas, clasificadas según su abundancia relativa: $\geq 40\%$, 10 - 39 % y 2 - 9 %.

¹⁸ Para esta clasificación, se tomó en cuenta que el *taxa* hubiera alcanzado el porcentaje indicado por lo menos en una muestra.

En relación con otros trabajos realizados en el paleolago (Cuna 1997, Rico *et al.* 1997, Robledo 1997, Rodríguez 1998, Vilaclara 1997, Vilaclara *et al.* 1997a y 1997b), observamos la ausencia del *Stephanodiscus* de mayor tamaño (*Stephanodiscus* aff. *niagarae*) y de *Aulacoseira* spp. (la cual presenta un pico muy importante después de la perturbación más intensa en la mina "Santa Bárbara", Rodríguez 1998). Por el contrario, se da una abundancia considerable de *Fragilaria* grupo *capucina/vaucheriae* (que no se presenta en la sección superior mencionada del paleolago). Otras diferencias se refieren a los *taxa* muy poco abundantes, por lo cual tienen un menor peso en la interpretación de resultados.

4) CARACTERIZACIÓN DE LAS LAMINACIONES ANALIZADAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS GRANDES GRUPOS DE DIATOMEAS.

A lo largo de los 200 cm analizados, se identificaron tres tipos de laminaciones, que se clasificaron de acuerdo al color aparente *in situ* (blanco, ocre y café oscuro). Dichas laminaciones contienen en mayor o menor medida diatomeas, como se observa en la Tabla 3:

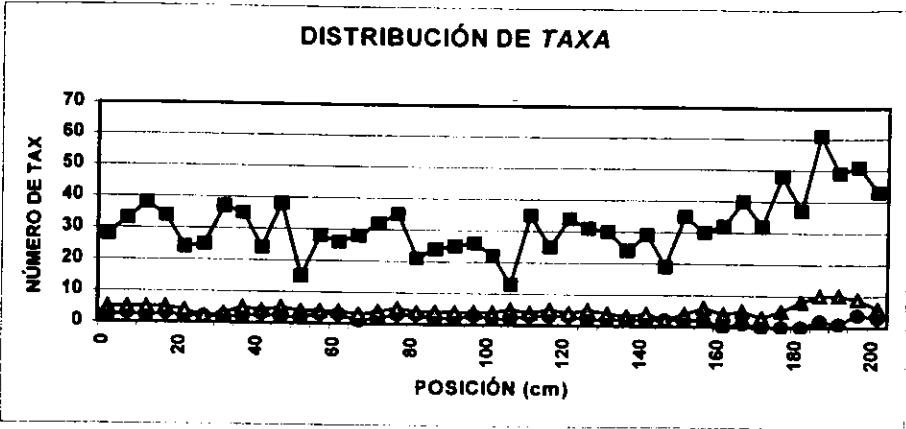
POSICIÓN (cm)	COLOR DE LAMINACIÓN	NÚMERO DE TAXA	ORGANISMOS EN 40 CAMPOS ¹⁹
0	OCRE	35	805
5	OCRE	41	668
10	OCRE	45	241
15	OCRE	42	225
20	BLANCO	30	541
25	BLANCO	29	1310
30	BLANCO	42	216
35	CAFÉ	42	144
37	BLANCO	45	168
40	OCRE	31	61
43	BLANCO	36	350
45	CAFÉ	45	33
50	OCRE	21	427
55	BLANCO	35	342
60	BLANCO	33	321
65	CAFÉ	32	5
70	OCRE	38	24
75	OCRE	43	38
80	OCRE	28	698
85	OCRE	30	179
90	BLANCO	31	357
95	BLANCO	33	337
100	BLANCO	28	330
102	CAFÉ	46	29
105	OCRE	20	124
110	OCRE	42	45
115	BLANCO	33	94
120	BLANCO	41	121
125	OCRE	38	84
130	OCRE	36	12
135	BLANCO	29	93
140	OCRE	35	101
145	CAFÉ	23	7
150	BLANCO	41	17
155	OCRE	38	35
160	OCRE	36	8
165	OCRE	46	8
170	BLANCO	35	8
175	OCRE	53	23
180	OCRE	45	13
185	OCRE	73	41
190	OCRE	60	26
195	BLANCO	64	41
200	OCRE	52	20

Tabla 3: Columna que indica el color característico de cada uno de los puntos muestreados a lo largo de los 200 cm analizados, además del número de taxa para cada laminación y de organismos en 40 campos.

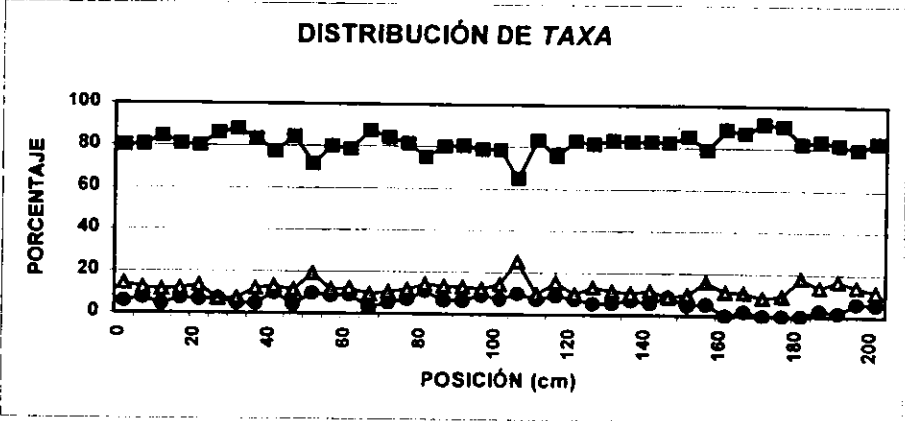
¹⁹ El menor número de campos en que se contaron las 800 valvas fue de 42, por esa razón, se consideró homogeneizar el número de valvas observadas en 40 campos para poder comparar la cantidad de diatomeas presentes entre laminaciones.

Cuando tomamos en cuenta el número de *taxa* (Tabla 3) y el porcentaje entre los tres grupos ecológicos que encontramos en las diatomeas, es decir: centrales (planctónicas), arrafideas (planctónicas en cuerpos de agua poco profundos) y rafideas (bentónico-epífitas, de aguas litorales y/o someras), se observan los siguientes resultados (Fig. 2a y 2b):

2a



2b



● Centrales ▲ Arrafideas ■ Rafideas

Fig. 2: Gráficas del número de *taxa* (a) y el porcentaje (b) cuando se consideran los tres grupos ecológicos en las diatomeas observadas.

Se observa que, de los 39 *taxa* con una abundancia relativa $\geq 2\%$ y con base en los grupos ecológicos determinados, se detectaron dos zonas bien delimitadas (Fig. 3). En su gran mayoría (Fig. 2b), los *taxa* de especies rafídeas son los más frecuentes (80%) y diversos a lo largo de ambas zonas, manteniéndose relativamente estables los porcentajes de distribución de *taxa* de centrales, arrafídeas y rafídeas. También se registra un aumento en la abundancia relativa de los estomatoquistes cuando hay una disminución de *taxa* centrales y arrafídeas.

La zona I (Fig. 2a y 2b) corresponde a los 40 cm más antiguos (200-160 cm), caracterizados por la elevada presencia de *taxa* de rafídeas -91% a los 170 y 175 cm; aunque se da el registro más alto, en cuanto a número de *taxa*, a los 185 cm (61 *taxa*)-. Los *taxa* más abundantes son *Cymbella cystula*, *Denticula elegans*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibioides*, *Nitzschia* cf. *linearis* y *Pinnularia viridis*, todos ellos indicadores de condiciones someras (bentónico-epifitas). Contrariamente, los *taxa* de centrales (planctónicos, como *Stephanodiscus* spp.) se ven disminuidos, incluso hasta desaparecer (0 *taxa*) en esta zona I.

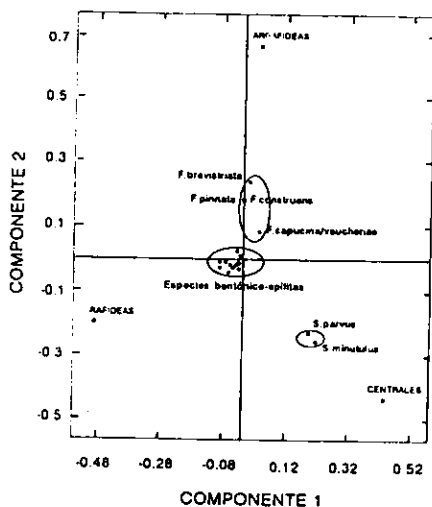
En los 160 cm más reciente -zona II-, se podrían marcar -aunque no se detecta una diferencia tan drástica como entre la I y la II- dos regiones: una subzona IIa inicial y otra IIb terminal.

En la subzona IIa (160 a 65 cm, Fig. 2a y 2b), los *taxa* de rafídeas -comparando con la zona I- disminuyen en gran medida (65% a los 105 cm) y se observa, a la vez, un aumento significativo en el porcentaje de especies arrafídeas, en especial del género *Fragilaria* (25% a los 105 cm); por otro lado, las centrales -en su gran mayoría de tamaño pequeño (*Stephanodiscus minutulus* y *Stephanodiscus parvus*)- también aumentan, pero en abundancia relativa (Fig. 3), no en número de *taxa* (Fig. 2a). Es por tal razón que se observa una presencia importante de este grupo. Cabe mencionar que la disminución de los *taxa* centrales se alterna con el aumento de *taxa* de arrafídeas (Fig. 3).

Finalmente, en la subzona IIb (de los 65 cm hasta la parte más reciente, ubicada a los 0 cm, Fig. 2b) nuevamente se observa un auge de *taxa* de rafídeas (88% a los 30 cm), disminuyendo paulatinamente las especies arrafídeas hasta el grado de casi desaparecer (7% a los 30 m), y de igual forma, se nota una disminución en la cantidad de organismos centrales (Fig. 3) y de su número de *taxa* (Fig. 2a).

5) ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) nos da indicios acerca del comportamiento asociativo de los *taxa*, es decir, la manera en que se relacionan los *taxa* en conjunto. Al aplicarlo en la sección estudiada, se obtuvo lo siguiente:



Componente	Porcentaje de Varianza	Cumulado
1	87	87
2	8	95
3	2	97

Fig. 4: Análisis de Componentes Principales (ACP) de las especies con mayor presencia en las laminaciones analizadas.

El componente 1 es el que absorbe un mayor porcentaje de la variación debida a las especies (87 %), y marca una clara separación entre especies planctónicas (centrales) y bentónico-epífitas (rafídeas). El componente 2 (que absorbe un 8% de la variación) alcanza un porcentaje acumulativo del 95 %, junto con el componente 1, y nos indica una separación entre las especies centrales y las arrafídeas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) CLASIFICACIÓN Y ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS TAXA DE DIATOMEAS.

En relación con la taxonomía de las diatomeas, la escuela inglesa genera los nuevos *taxa* -fundamentalmente nuevas especies y géneros, sin olvidar órdenes y familias-, de acuerdo con diferencias morfológicas que no siempre convencen al lector, en el sentido de que características indistinguibles al microscopio óptico y que no parecen justificarse ecológicamente, en dicha escuela las utilizan para separar *taxa* diferentes. Por el contrario, la escuela centroeuropea tiende a agrupar morfologías semejantes -sino en especies, sí en grupos (en alemán denominados "Sippen")-. Por ello, para escoger entre ambas escuelas es necesario tener un conocimiento taxonómico más profundo, lo cual implica estancias prolongadas con expertos de ambos grupos, así como discusiones a través del correo. Este trabajo se basa en el paradigma centroeuropeo, lo cual confiere la ventaja adicional de que cada descripción taxonómica se acompaña de su ecología (que a menudo brilla por su ausencia en la escuela inglesa), incluido el valor indicador según el sistema de saprobios. A pesar de ello, quizá un criterio intermedio entre ambos grupos sea la postura más correcta, pero -repetimos- ello implica profundizar considerablemente el entrenamiento taxonómico, lo cual no es el objeto de una tesis de licenciatura. Asimismo, sería necesario conocer los *taxa* actuales que viven en aguas continentales de México, y asociarlos con los ambientes donde se desarrollan abundantemente, con el fin de tener datos específicos que retroalimenten -con base en el uniformitarismo y el actualismo- estudios paleolimnológicos con diatomeas.

Es adecuado mencionar en este punto, que los 105 *taxa* determinados con base en la escuela centroeuropea hubieran aumentado considerablemente si hubieran sido identificados según los trabajos de la escuela inglesa²⁰. Comparando la cantidad de *taxa* encontrados en esta sección con los que se encuentran en yacimientos menos perturbados (Zacoalco de Torres, Jal.; El Arenal, Jal.; San Francisco de Los Reyes, Mich.; Charo, Mich.; Amatitán, Jal.; Rico *et al.* 1995), se observa que una mayor tasa de perturbación -como la que se observa en el paleolago Tlaxcala- permite el aumento del número de *taxa*, reforzándose de esta manera la "hipótesis de la perturbación intermedia" (Hutchinson 1961 y Jorgensen y Padisák 1996 *in* Vilaclara 1997), es decir, que sistemas lacustres que se ven perturbados por sucesos de intensidad intermedia, permiten la coexistencia de un mayor número de *taxa* que los sistemas poco o nada perturbados, mientras que perturbaciones muy fuertes pueden llegar a destruir el sistema. El paleolago Tlaxcala, pues, es un claro ejemplo del efecto de dichas perturbaciones. Debido a que incluso las laminaciones más oscuras llegan a presentar cantidades apreciables de frústulas (entre 5 y 144 valvas calculadas en 40 campos, Tabla 3), probablemente dichas laminaciones ricas en materiales volcánicos de la mina "El Lucero" sean resultado de lluvias más intensas en la cuenca que arrastraron dichos materiales hacia el lago (Cuna 1997, Rodríguez 1998, Vilaclara 1997, Vilaclara *et al.* 1997).

²⁰ Es difícil estimar a cuánto hubiera aumentado el número de *taxa*, puesto que la escuela inglesa todavía no realiza el esfuerzo de la centroeuropea para publicar un número suficiente de manuales taxonómicos de diatomeas, lo cual es comprensible, si tomamos en cuenta que la centroeuropea cuenta con una tradición más antigua (véanse las obras de Van Heurck 1899, Hustedt 1930a y 1930b, Schmidt 1874-1959).

Calcular la abundancia relativa de cada uno de los *taxa* determinados da una idea de la forma en que se distribuyen a lo largo de la sección estudiada y, al mismo tiempo, permite separar los *taxa* considerados como representativos (Tabla 2 y Fig. 3), que en este caso fueron los 39 que presentaron una abundancia relativa $\geq 2\%$ (Caballero 1995, Caballero *et al.* en prensa, Metcalfe 1986, 1992, 1993 y 1994, Metcalfe *et al.* 1991, Rico *et al.* 1997).

Al comparar los tres tipos de laminación con el número de *taxa* y con las grandes zonas observadas (Tabla 3 y Fig. 3), no se evidencia ninguna relación clara. Los tres tipos de laminaciones indicadas en los resultados se observan indistintamente en cualquiera de las zonas I, IIa y IIb. Un estudio estratigráfico típico como el presente -con muestras cada 5 cm- no es el adecuado para determinar las causas de la existencia de dichas laminaciones. Otros trabajos con muestreos a escala menor (Cuna 1997, Robledo 1997, Rodríguez 1998, Vilaclara 1997) sí pueden aportar información acerca de ellas. La interpretación dada es, básicamente, que los tres tipos de laminaciones se asocian con eventos alóctonos y autóctonos del lago: Las laminaciones blancas son etapas de depositación tranquila de diatomeas (autóctono); las ocreas resultan de la sedimentación de diatomeas junto con arrastres procedentes de la cuenca, probablemente durante las épocas de lluvias copiosas (autóctono/alóctono), y las café oscuro se formaron por eventos alóctonos, y son producto de, o bien erupciones volcánicas o bien de períodos de lluvias especialmente intensas (Vilaclara 1997).

B) CARACTERIZACIÓN PALEOLIMNOLÓGICA DE LA SECCIÓN ESTUDIADA E INTERPRETACIÓN DE CAMBIOS AMBIENTALES DEL ENTORNO.

Como se ha visto, el depósito se generó tanto por la producción autogénica de diatomeas -las cuales se acumulan en condiciones mesotróficas, cuando hay suficiente silíceo en el agua, en este caso, procedente de los materiales volcánicos de la cuenca o que cayeron directamente en el lago (Margalef 1983, Taliaferro 1933, Vilaclara 1997)- como por el arrastre de materiales de la cuenca -probablemente debido a lluvias intensas-. Dado que se calcula una tasa de sedimentación para lagos mesotróficos de alrededor de 0.5 mm/año (compactados bajarían a 0.2-0.5 mm/año, Vilaclara 1997), el muestreo cada 5 cm resulta insuficiente para detectar los cambios ambientales de período corto, encontrándose únicamente variaciones de escala grande como las observadas en los primeros 40 cm y los 160 cm posteriores, incluyendo las subzonas del mismo.

Por otra parte, la sección de 200 cm se estima que equivale a un lapso transcurrido de 2,000 a 10,000 años²¹, calculados con base en lo observado con la tomografía axial computarizada (mínimo grosor de una laminación, 0.2 mm, Vilaclara 1997) y en la Tabla 4:

²¹ Los 2,000 a 10,000 años se obtiene dividiendo la longitud muestreada en mm (2,000 mm), por la tasa de sedimentación mínimo calculada para el paleolago (0.2 mm/año) y el máximo para sedimentos comprimidos mesotrófico (1 mm/año) Aun cuando no se conoce con ciencia cierta la antigüedad del paleolago, los indicios permiten apuntar una edad Pleistocena para el mismo (Vilaclara *et al.* 1996, Vilaclara 1997), posiblemente entre 1.64 y -quizás- 0.5 Ma. antes del presente.

Lagos actuales. Sedimentos frescos no comprimidos	0.05 - 0.6	3 - 5	4 - 10
Océanos	0.001 - 0.1		
Lagos extintos y actuales. Sedimentos comprimidos	0.05 - 0.16	0.5 - 1	1.5

Tabla 4: Tasa de sedimentación en cuerpos de agua con distinto nivel de nutrientes y diferente grado de depositación y compactación, indicadas en mm/año (tomado de Vilaclara 1997).

Es curioso observar que aunque sí varía la abundancia relativa de *taxa* (Fig. 2b), los mismos se presentan a lo largo de la columna estudiada sin cambios importantes. Esta falta de cambio en la taxonomía de la sección estudiada se interpreta como que no hubo cambios ecológicos importantes durante el lapso que se corresponde con estos 200 cm, a excepción de las variaciones en la profundidad del antiguo lago, que se aprecian por los mínimos cambios en las abundancias relativas y número de *taxa* de centrales, arrafídeas y rafídeas (Tabla 3 y Fig. 3). Tomando en cuenta dicha situación y para interpretar la ecología del paleolago Tlaxcala en la sección estudiada, se clasificaron las grandes zonas encontradas con base en determinar las tendencias ecológicas de los *taxa* representativos (según la bibliografía mencionada en los resultados, específicamente en las observaciones ecológicas de las descripciones de cada *taxa*).

Como primer punto, se consideró unir los resultados de los grandes grupos ecológicos que se determinaron, es decir, centrales, arrafídeas y rafídeas, para poder comparar por zona (I, IIa y IIb), y se obtuvo lo siguiente:

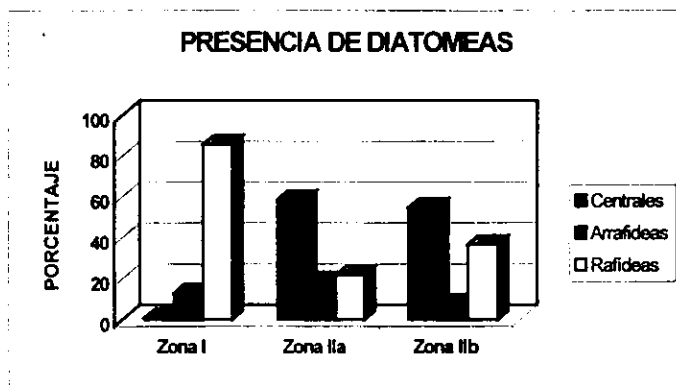


Fig. 5: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I, IIa y IIb considerando *taxa* de centrales, arrafídeas y rafídeas.

A grandes rasgos, se observa una sucesión de grupos de diatomeas a lo largo de los 200 cm muestreados (Fig. 3), iniciando con rafídeas (condiciones someras), aparición de centrales con alternancia de arrafídeas (aumento en el gradiente de profundidad) y una posterior aparición y, tal vez, dominancia de especies rafídeas (disminución en la profundidad). Tal comportamiento concuerda con los resultados del ACP (Fig. 4), donde el componente 1 (87 %) marca una clara separación entre especies planctónicas (centrales) y bentónico-epífitas (rafídeas), lo cual se asocia con el hecho de que cuando aumentan las centrales, disminuyen las bentónico-epífitas, comportamiento que se observa en toda la columna, pero específicamente entre las zonas I y II. Por otra parte, el componente 2 (8%) indica una separación entre las especies centrales y las arrafídeas; dicha separación apunta hacia una alternancia en el comportamiento de las especies planctónicas -puesto que ambos grupos, centrales y arrafídeas, lo son-. Aun cuando algunos autores que trabajan en aguas de baja conductividad (inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Brugam y Patterson 1983) señalan que se da una sustitución de las centrales por parte de las arrafídeas cuando aumenta relativamente la conductividad, difícilmente se puede aplicar dicha interpretación a aguas como las de México en zona volcánica, las cuales usualmente presentan alcalinidades mucho más elevadas (aguas dulces cercanas incluso a 1,000-1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Vilaclara *et al.* 1993). En el caso de aguas alcalinas, se podría interpretar dicha alternancia de centrales y arrafídeas como una adaptación a profundidades mayores o menores, dado que las arrafídeas se consideran planctónicas en tirantes de agua más cortos (Bradbury 1991, y Bradbury 1989 y Gasse 1986 *in* Metcalfe 1994).

En general y cotejando con el gráfico que muestra la abundancia relativa (Fig. 3), se puede observar que el ACP da una mayor información cuando se consideran los grandes grupos de diatomeas (centrales, rafídeas y arrafídeas), mientras que con los *taxa* de nivel jerárquico más bajo no proporciona información significativa.

El cambio observado entre los 40 cm más antiguos y los 160 cm más recientes hace suponer que el lago aumentó en profundidad, tal vez relacionado con etapas de alta precipitación pluvial y aumento en la temperatura en la zona de estudio, pues la dominancia de especies de tamaños pequeños (como los *Stephanodiscus*) indican temperaturas más altas, ya que la relación es: altas temperaturas = tamaños pequeños, bajas temperaturas = tamaños grandes²² (Margalef 1962 y 1969, Sabater 1992). Aunado a lo anterior se han relacionado temperaturas más altas con precipitaciones más intensas en la zona durante los últimos 40,000 años (Klaus 1973, Margalef 1969, Sabater 1992), lo cual -por el principio del actualismo- podría extrapolarse hacia tiempos más remotos.

Otra posible interpretación para este cambio es de tipo trófico, porque organismos con una relación S/V pequeña se adaptan a condiciones con mayor cantidad de nutrientes (Conley *et al.* 1993), lo cual coincide con los reportados para las dos especies de *Stephanodiscus*, ambas indicadoras de aguas con elevado contenido en nutrientes (Anderson 1990, Håkansson y Kling 1990, Hustedt 1930a, Hustedt y Jensen 1985, Kilham *et al.* 1986 *in* Metcalfe 1992, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Metcalfe *et al.* 1989, Rawson 1956 y Straub 1993). Probablemente, ambas interpretaciones son parcialmente ciertas y se combinan para explicar los cambios detectados en la sección.

²² Los tamaños más pequeños tienen una relación superficie/volumen (S/V) mayor, lo cual es una de las adaptaciones para mejorar la flotabilidad en condiciones de aguas más calientes y, por lo tanto, menos densas (Margalef 1983).

Ya en relación con los *taxa* reportados, se debe tener en cuenta que las especies de diatomeas regularmente poseen tolerancias específicas a la temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, nutrientes, saprobiedad, entre otros; por lo tanto, los cambios detectables en los depósitos diatomíferos son característicos de los cambios en el cuerpo de agua predecesor (Barron 1993 y Round 1973), aunado al hecho de que especies dominantes recurrentes podrían indicar condiciones ambientales que se repiten, con lo cual es posible establecer un patrón de fluctuaciones (Williams 1964).

De esta manera, se resume la distribución porcentual de los *taxa* en relación con el potencial indicador de condiciones limnológicas, el cual se observa en la Tabla 5:

PARÁMETROS LIMNOLÓGICOS	PRESENCIA DE TAXA INDICADORES (ABUNDANCIA RELATIVA EN %)									
	40 cm ZONA I					160 cm ZONA II (incluye las dos subzonas ²³)				
SALINIDAD	Oligohalobio		Mesohalobio		Desconocido	Oligohalobio		Mesohalobio		Desconocido
	78		18		4	90		9		2
ALCALINIDAD	Circumneutr.		Alcalífila		Desconocido	Circumneutr.		Alcalífila		Desconocido
	8		88		4	4		95		1
TROFISMO	Oligo- trófico	Meso- trófico	Meso- eutróf.	Eutró- fico	Desco- nocado	Oligo- trófico	Meso- trófico	Meso- eutróf.	Eutró- fico	Desco- nocado
	14	39	7	19	21	7	19	5	62	8

Tabla 5: Distribución porcentual de los *taxa* dominantes ($\geq 2\%$) en relación con algunos parámetros limnológicos.

Considerando la tabla anterior, se separó la información de acuerdo a cada parámetro limnológico y se obtuvo lo siguiente:

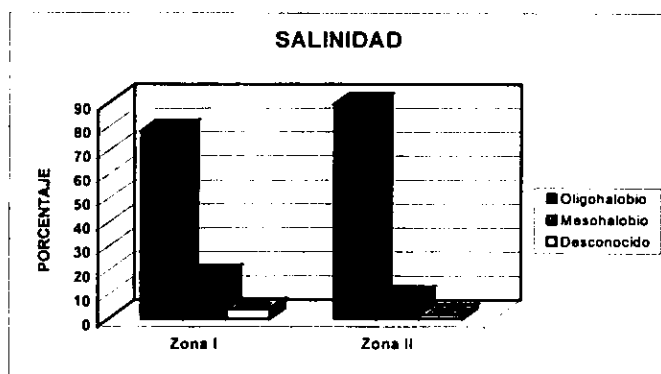


Fig. 6: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico la salinidad.

²³ No se consideraron las subzonas en la región II porque no se observan cambios que justifiquen un cambio ecológico en las mismas.

La salinidad (Fig. 6) está determinada en ambas zonas por la dominancia de especies oligohalobias; sin embargo, aumentan ligeramente en la zona II, mientras que las especies mesohalobias disminuyen. Este comportamiento puede ser indicador de un ligero decremento en la salinidad a través del tiempo, lo cual parece respaldado por la presencia intermitente en la zona II (subzona IIa), de *Fragilaria* spp. las cuales requieren de condiciones relativamente diluidas y ligeramente disminuidas en nutrimentos para poder presentarse (Metcalf *et al.* 1991).

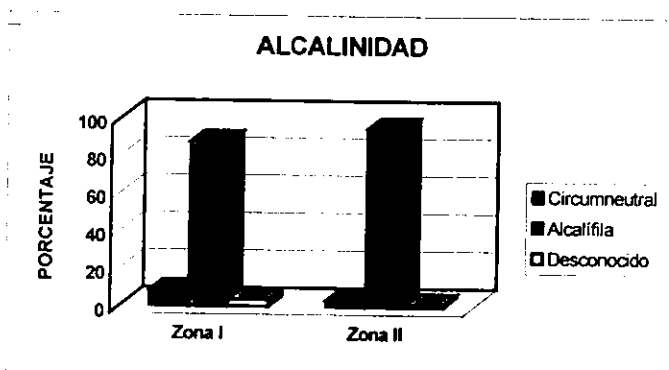


Fig. 7: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico la alcalinidad.

En cuanto a la alcalinidad (Fig. 7), en ambas zonas se observa una condición netamente alcalifila; pero considerando los porcentajes de especies alcalifilas se destaca que en la zona I existe una condición alcalina ligeramente menor que en la zona II, con base en los porcentajes de especies alcalifilas presentes (zona I= 88% y zona II= 95%), además de una mayor presencia de especies circumneutrales en la zona I (8% con relación al 4% de la zona II). Igualmente, este comportamiento se encuentra respaldado por la presencia de especies indicadoras de la condición alcalina respectiva. En la zona I se presentan especies circumneutrales, como lo son: *Gomphonema* spp., *Navicula mutica*, *N. pupula*, *N. cryptotenella* y *Pinnularia viridis* (Foged 1993), es decir, especies asociadas a condiciones de presencia de carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos y alcalino-térreos en menor proporción, lo cual directamente se asocia con valores de pH alrededor de 7 (Margalef 1955). En la zona II vemos la predominancia de especies totalmente alcalifilas, como lo son: *Stephanodiscus minutulus* y *S. parvus* (Foged 1993, Håkansson 1993, Håkansson y Kling 1990, Hustedt 1930a, Hustedt y Jensen 1985, Kobayasi y Kobayashi 1987, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Rawson 1956, Whitmore 1989), lo cual además de asociarse con una condición netamente alcalifila- también se asocia con una situación de gran cantidad de nutrimentos presentes en el cuerpo de agua (Anderson 1990, Metcalfe 1992, Metcalfe *et al.* 1989, Straub 1993).

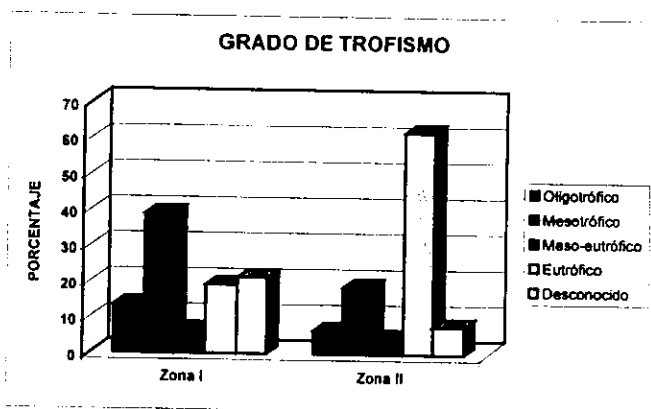


Fig. 8: Gráfica que muestra las diferencias que existen entre la zona I y II considerando como parámetro limnológico el grado de trofismo.

El aspecto trófico (Fig. 8) nos marca un aumento en la productividad, lo cual se sabe que promueve la rápida reproducción y por lo tanto mayor presencia de diatomeas de tamaño pequeño (Brugam y Patterson 1985, Margalef 1955), como son *Stephanodiscus minutulus* y *S. parvus*, ambas indicadoras de condiciones eutróficas (Anderson 1990, Håkansson y Kling 1990, Hustedt 1930a, Hustedt y Jensen 1985, Kilham *et al.* 1986 in Metcalfe 1992, Krammer y Lange-Bertalot 1991a, Metcalfe *et al.* 1989, Rawson 1956 y Straub 1993). Todo lo anterior se observa en la zona II, mientras que en la zona I tenemos mayor dominancia de especies mesotróficas, como son: *Cymbella* spp. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Sládeček *et al.* 1981 y Vos y de Wolf 1993a), *Gomphonema* spp. (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Lowe 1974, Patrick y Reimer 1975 y Sládeček *et al.* 1981) y *Navicula cryptotenella* (Kolbe 1927, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Vos y de Wolf 1993a y Yang y Dickman 1993).

En resumen, con base en la recopilación de información ecológica y la descripción de cada una de las especies representativas, es probable que las condiciones en el período de tiempo muestreado hayan sido de tipo oligohalobias, alcalífilas y meso-eutróficas (Fig. 6-8). Cabe mencionar que no se dan fluctuaciones importantes a lo largo de la zona II con respecto a los parámetros limnológicos (salinidad, alcalinidad y condición trófica), por lo que se consideró como una sola zona; sin embargo, al considerar el cambio en el nivel del agua llegan a marcarse algunas diferencias, por lo que se dividió en subzona IIa y IIb (Fig. 3 y 5).

Como ya se había mencionado, en la zona I (200 a 160 cm) existe un elevado número de *taxa* de rarrífideas, todas ellas indicadoras de condiciones someras (bentónico-epífitas); además, se presentan *taxa* de diatomeas oligohalobias, con presencia importante de *taxa* mesohalobios; asimismo, abundan los *taxa* alcalífilos, con algunos circumneutrales; la mayoría de las especies indicaron la prevaencia de condiciones mesotróficas. Con base en todo lo mencionado, se interpreta que el clima dominante en este período pudo ser seco y más bien frío.

En la zona II (IIa y IIb, de 160 a 0 cm) aumentan los *taxa* planctónicos (centrales y rarrífideas), lo cual provee de indicios para suponer un probable aumento en la temperatura concomitante con un incremento en las lluvias (Klaus 1973)²⁴, y -por ende- en el tirante de agua del lago, evidenciado por la dominancia de diatomeas planctónicas (*S. minutulus* y *S. parvus*). Asimismo, el lago se vio afectado por perturbaciones -¿volcánicas?, ¿arrastres?- que pudieron provocar fluctuaciones en la profundidad; lo cual viene marcado por la dominancia puntual de *taxa* de *Fragilaria*, que podrían indicar cambios estacionales o temporales de temperatura, luz y -por lo tanto- de nutrimentos (Barron 1993). En cuanto a los nutrimentos, el lago se encontraba en una etapa posiblemente mesotrófica avanzada (dominancia de especies meso-eutróficas, Straub 1993). Al parecer, el pH se mostró estable, pudiendo variar dentro del intervalo de (6.5-) 7 - 8.5, probablemente mostrándose dentro de los valores altos durante el florecimiento ("bloom") de diatomeas centrales y disminuyendo ligeramente cuando aparecían las rarrífideas (una disminución en el pH viene acompañada por un cambio en la abundancia relativa de las especies dominantes; además de un cambio en la diversidad fitoplanctónica, Kozitskaya 1992). Dichos cambios pueden observarse en la Fig. 7, en la que se denota una condición alcalina ligeramente mayor que en la zona I, pues se marca una dominancia -casi total- de *taxa* de alcalífilas, con disminución de circumneutrales.

²⁴ Las épocas en que se registro un aumento mundial en la temperatura están ligadas con una intensificación de las precipitaciones, mientras que las épocas de disminución o constancia de temperaturas en el mundo están asociadas con una disminución de la lluvia (Klaus, 1973).

CONCLUSIONES

- Se determinaron 105 *taxa* (19 géneros divididos en: 53 especies, 23 variedades, 4 formas, 4 subespecies, 3 grupos y 18 especies sin identificar), de los cuales se obtuvo la abundancia relativa. En general, resultaron representativos 39 *taxa*, tomando como parámetro aquellas que alcanzaban o sobrepasaban el 2% de abundancia relativa a lo largo de los 200 cm.
- El elevado número de *taxa* encontrados en la sección estudiada, cuando lo comparamos con otros yacimientos de diatomita de la Faja Volcánica Mexicana, aporta datos para reforzar la que se conoce como hipótesis de la perturbación intermedia, es decir, que condiciones ambientales fluctuantes permiten la aparición y manutención de un mayor número de *taxa* que condiciones de mayor estabilidad.
- Se detectaron dos zonas principales, la más antigua de 40 cm (zona I), donde dominan las especies bentónico-epífitas -presentándose principalmente *Navicula cryptotenella*, *Cymbella cistula*, *Nitzschia amphibioides* y *Denticula elegans*-. En la siguiente zona (II), de 160 cm de longitud, es evidente y mayoritaria la presencia de *Stephanodiscus minutulus* y *Stephanodiscus parvus*, las cuales alternan su aparición con especies del género *Fragilaria* -como son *Fragilaria brevistriata* var. *brevistriata*, *Fragilaria construens* f. *construens*, *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* y *Fragilaria* grupo *capucina/vaucheriae*-.
- En la zona I (más antigua), las condiciones aparentemente fueron más someras, apuntando por tal motivo a un clima más seco y posiblemente más frío.
- En la zona II (más reciente), la profundidad aumentó relativamente, aunque probablemente sufrió fluctuaciones marcadas por la alternancia entre *taxa* de centrales y arrafídeas. Por esta razón se detectaron dos subzonas -a y b-. Así mismo, el pequeño tamaño de las especies centrales dominantes apunta hacia condiciones de temperatura más cálida en el agua y, por lo tanto, en el clima.
- *Stephanodiscus minutulus* y *Stephanodiscus parvus* se manifiestan como las especies dominantes, pues llegan a contribuir hasta con el 90% de la abundancia relativa, por lo que son representativas de las condiciones ecológicas que prevalecieron en la mayor parte del período muestreado, es decir, condiciones relativamente profundas, alcalinas y mesotróficas con tendencia a la eutrofia. Sin embargo, dichas condiciones no son homogéneas en toda la columna, pues la composición taxonómica parece apuntar hacia condiciones más mesotróficas en la zona I y más hacia la eutrofia en la zona II.
- Las condiciones químicas del lago no parecieron cambiar en forma importante, pues en ambas zonas dominan las especies alcalífilas, aunque el porcentaje de las mismas es ligeramente mayor en la zona II.

RECOMENDACIONES

- Para los *taxa* en los que han surgido dudas en la clasificación taxonómica, es necesario realizar estudios más profundos con MEB y consultar con los expertos de cada género, así como observar el holotipo en el lugar donde se halle depositado.
- La abundancia relativa y la extrapolación ecológica con base en las diatomeas lacustres, así como el análisis estadístico aplicado, son herramientas confiables -cuando se aplican- a los sedimentos lacustres- en la determinación de grandes cambios en la ecología de lagos antiguos o del pasado de lagos actuales. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo estudios de tipo interdisciplinario que impliquen la obtención de datos complementarios a los biológicos (paleomagnetismo, fechación, composición química y mineralógica), así como la obtención de abundancias absolutas, todo lo cual permitiría generar interpretaciones con un mayor grado de confiabilidad.

GLOSARIO

- AERÓFILA:** Organismos característicos de hábitats húmedos pero no sumergidos (modificado de Lowe 1974).
- ALCALÍFILA:** Relativo a especies que aparecen en pH alrededor de 7, con un mejor desarrollo en agua con pH por arriba de 7 (Lowe 1974).
- ALCALINIDAD:** Contenido de carbonatos y bicarbonatos, así como aniones asociados con metales alcalinos (Na, K) y alcalino-térreos (Ca, Mg, Sr) en un cuerpo de agua (Margalef 1955).
- ALCALINOBIÓNTICA:** Relativo a especies que se encuentran sólo en aguas alcalinas (Lowe 1974).
- ALÓCTONO:** Aplícase a organismos, detritos, sales nutritivas, etc., que proceden del exterior del biotopo (Margalef 1955).
- ANDESITA:** Roca con textura afanítica (granos tan pequeños que sólo se les distingue con un lente de aumento o microscopio), compuesta por minerales de color claro, principalmente feldespatos, pero carece de cuarzo. Extremadamente abundante como roca volcánica. (Judson *et al.* 1987, Longwell y Flint 1983).
- ÁREA AXIAL:** Espacio entre la línea media (rafe, si está presente) y las estrías, libre de ornamentaciones y que corre transapicalmente; puede ser de varias formas. En el caso de la valva de diatomeas pennadas, en algunas ocasiones, se le denomina pseudorafe o esternón (Barber y Haworth 1981, Krammer y Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990).
- ÁREA CENTRAL:** Zona media de la valva libre de estrías, puede alcanzar o no los extremos de la valva (Barber y Haworth 1981, Round *et al.* 1990).
- ÁREA HIALINA:** Zona de la frústula en la cual existe ausencia de estrías u ornamentaciones, por ejemplo: el área axial, área central, el esternón o el estauro (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1966).
- AREOLA:** Se refiere al margen de sílice que rodea una perforación en la pared de las diatomeas que puede estar parcial o totalmente obstruida (Trainor 1978). Perforación regular cubierta por una delgada membrana de finos poros (multiperforada, velum) (Barber y Haworth 1981).
- AUTÓCTONO:** Originado en el propio biotopo; indígena (Margalef 1955).
- BASALTO:** Roca ígnea extrusiva, con textura afanítica (granos tan pequeños que sólo se les distingue con un lente de aumento), compuesta por minerales de color oscuro. (Judson *et al.* 1987, Longwell y Flint 1983, Stanley 1993).
- BENTÓNICA:** Relativo a las especies que habitan en o sobre el fondo de un cuerpo de agua (Margalef 1955, Trainor 1978).
- BRECHA:** Roca formada por partículas, granos o fragmentos de tamaño grande (Judson *et al.* 1987).
- CANAL RAFIDIANO:** Engrosamiento hueco debajo de la rafe (cara interna). En el género *Nitzschia* se sitúa en el área marginal y se prolonga hacia el interior de la valva en forma de costillas (fíbulas o quillas) (Round *et al.* 1990).
- CAPITADO:** Adelgazamiento del ápice de la valva que une un engrosamiento a manera de cabeza con el resto de la estructura (Round *et al.* 1990).
- CARA VALVAR:** Relativo a la vista externa o interna de la parte más extensa de la valva (Patrick y Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- CARINA:** Ver fíbula.
- CIRCUMNEUTRAL:** Relativo a aguas con un pH alrededor de 7 (Lowe 1974).
- CLÁSTICO:** Deriva de una palabra griega que significa "romper" o "fragmentar"; se refiere a la textura de algunas rocas formadas por partículas o fragmentos bien delimitados (Judson *et al.* 1987).

- CONDUCTIVIDAD:** Aptitud para conducir la electricidad desde una región de más alto potencial a otra de potencial más bajo. En el agua se estima la concentración iónica en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Margalef 1955 y 1983).
- COSMOPOLITA:** Aplícase a las especies que se encuentran en toda la superficie de la tierra donde encuentran condiciones propicias, sin restricciones biogeográficas (Margalef 1955).
- CRON:** Etapa de paleomagnetismo terrestre que indica la situación del polo norte magnético en el momento del enfriamiento de un material con minerales ferromagnéticos (Butler 1992).
- CRUCIFORME (VALVA):** Valva en forma de cruz -generalmente presente en diatomeas del género *Fragilaria*- (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B)
- CUNEADOS (EXTREMOS):** Extremos bien redondeados, presentando un muy ligero -casi imperceptible- adelgazamiento de los ápices (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B, Fig. 7 y 13)
- DIATOMITA:** Roca sedimentaria de origen bioquímico, formada por diatomeas que llegan a acumularse en gran número (Judson *et al.* 1987). Son sedimientos de origen tanto marino como lacustre, con utilidad industrial, compuestas fundamentalmente por un 86-92% de óxido de sílice y hasta un 4% de agua (Carr y Herz 1989 *in* Vilaclara 1997).
- DISTRÓFICO:** Condición de un cuerpo de agua rico en materiales húmicos en presencia de poco oxígeno y, por lo tanto, poca cantidad de nutrientes (Lowe 1974, Margalef 1955, Patrick y Reimer 1966).
- ENDORREICO:** Áreas que carecen de drenaje exterior; las aguas fluyen hacia una depresión interna, donde suelen formarse lagos (Margalef 1955).
- EPIFÍTICO:** Organismos que viven adheridos sobre plantas (Barber y Haworth 1981, Lowe 1974), sin llegar a formar una cubierta continua sobre las mismas (Margalef 1955).
- EPILÍTICO:** Organismos que viven adheridos sobre rocas o fragmentos de roca (Barber y Haworth 1981, Lowe 1974).
- EPIPÉLICO:** Referente a organismos que viven sobre el lodo (Lowe 1974).
- EPIPELON:** Comunidad formada por los organismos que viven sobre el limo sumergido o empapado de agua (Margalef 1955).
- EPIVALVA:** Es la valva más vieja de la frústula que cubre y embona con la hipovalva (Round *et al.* 1990); en el caso del género *Cocconeis*, es la valva con rafe (Patrick y Reimer 1966).
- ESPINA:** Proyección desde el margen de la valva (Barber y Haworth 1981).
- ESTAURO:** Es una zona central ampliada hasta los bordes de la valva por carecer de estrias en el centro (Round *et al.* 1990), se presenta en forma angular y generalmente el sílice se adelgaza en esta zona (Barber y Haworth 1981).
- ESTENOTERMAL:** Relativo a especies que se encuentran en temperaturas menores a 5°C (Lowe 1974).
- ESTERNÓN:** Ver área axial.
- ESTIGMA:** Estructura pequeña y redonda que se encuentra en un lado del área central en especies de géneros como *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, etc. Perforación de la pared silíceo cerca del nódulo central en el orden Pennales (Round *et al.* 1990).
- ESTRÍA:** Línea que corre a lo largo de la valva, formada por areolas, poros o alveolos que pueden ser muy amplios o muy finos y que corren en forma transversal en las diatomeas pennadas y en forma radial en las diatomeas centrales (Barber y Haworth 1981, Round *et al.* 1990, Trainor 1978).
- EURIHALINO (EURIHALOBIO):** Relativo a especies presentes en un amplio intervalo de concentración de sales, a veces abarcando dos o más designaciones dentro de las divisiones de salinidad (Lowe 1974).
- EURITERMAL:** Relativo a especies que se encuentran en temperaturas mayores a 15°C (Lowe 1974).
- EURITRÓFICA:** Referente a especies que soportan un amplio intervalo en la concentración de nutrientes (Lowe 1974).

- EUTRÓFICO:** Condición de un cuerpo de agua con alta concentración de nutrientes disueltos (Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966).
- EXTREMO DISTAL:** Relativo a la forma en que termina la rafe en la zona apical de la valva (Barber y Haworth 1981, Patrick y Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- EXTREMO PROXIMAL:** Relativo a la forma en que termina la rafe en la zona central de la valva (Barber y Haworth 1981, Patrick y Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- FÍBULA:** Engrosamientos silíceos de la rafe que dejan espacios entre sí y se proyectan hacia el centro de la valva, disminuyendo su engrosamiento paulatinamente. Generalmente presente en el género *Nitzschia* y *Hantzschia*. Al conjunto de fíbulas suele llamarse carina (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990).
- FRÚSTULA:** Es la unión de dos partes intrincadamente esculpidas llamadas valvas, formadas de sílice y que conforman parte de la pared celular de la mayoría de las diatomeas (Round *et al.* 1990).
- FULTOPÓRTULA:** Conocida también como proceso reforzado y presente únicamente en diatomeas centrales, específicamente en la familia *Thalassiosiraceae*. Estructura tubular que penetra en la valva y que está soportada internamente por estructuras de refuerzo. Este tubo puede o no proyectarse por encima de la superficie externa y regularmente tiene sólo una apertura. En la parte interna pueden verse de dos a cinco poros satélites que conectan el interior de la valva con el tubo (Round *et al.* 1990).
- HALÓFILA:** Relativo a especies presentes en cuerpos de agua con pequeñas cantidades de sales disueltas. Es una división dentro del grupo de las especies oligohalobias (Lowe 1974).
- HETEROLATERAL:** El contorno de la valva es diferente a cada lado del eje apical (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B, Fig. 3, 4)
- HETEROPOLAR:** Organismos con extremos de la valva diferentes en forma y tamaño (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B, Fig. 10)
- HIPOVALVA:** Es la valva más nueva de la frústula y un poco más pequeña, por lo cual embona por la parte interna de la epivalva (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990); en el caso del género *Cocconeis*, es la valva sin rafe (Patrick y Reimer 1966).
- HOLOTIPO:** Es aquel espécimen o elemento usado por el autor de un nombre o designado por él como un tipo nomenclatural (Stearn 1983).
- INTERESTRÍAS:** El espacio que queda entre las hileras de areolas (Round *et al.* 1990).
- ISOBILATERAL:** El contorno de la valva es similar a cada lado del eje apical (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B, Fig. 2, 5-14)
- ISOPOLAR:** Organismos con extremos de la valva iguales en forma y tamaño (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B, Fig. 2-9, 11-14)
- LANCEOLADO:** Valvas en forma de hoja, cuyos ápices se presentan en forma de cuña (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B)
- LIMNOBIÓNTICO:** Relativo a especies solo presentes en aguas lénticas (Lowe 1974).
- LINEOLA:** Perforación de la valva que semeja a una areola, pero difiere en su forma alargada o elíptica, cubierta por una fina membrana multiperforada (Barber y Haworth 1981).
- MANTO VALVAR:** Zona de la valva en el género *Stephanodiscus*, localizada entre las espinas y el extremo exterior de la valva (Kobayasi y Kobayashi 1987). Parte de la valva que va desde el margen de la cara valvar doblando en ángulo de 90° hasta el margen extremo de la valva (Patrick y Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- MESOSAPROBIO:** Que vive en medios que contienen moderada cantidad de materia orgánica (Margalef 1955).
- α-MESOSAPROBIO:** Relativo a aguas con carga elevada de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO₅ son de 6-13 mg O₂/litro (Krammer y Lange-Bertalot 1986).
- β-MESOSAPROBIO:** Relativo a aguas con una carga moderada de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO₅ son de 4-6 mg O₂/litro (Krammer y Lange-Bertalot 1986).

- MESOTERMAL:** Relativo a especies que se encuentran en temperaturas entre 15°C y 30°C (Lowe 1974).
- MESOTRÓFICO:** Condición de un cuerpo de agua con moderada concentración de nutrimentos (Lowe 1974, Patrick y Reimer 1966), es intermedio entre eutrófico y oligotrófico.
- NÓDULO CENTRAL (PROXIMAL):** Engrosamiento de la rafe en el área central (Round *et al.* 1990). (Apéndice C, Fig. 7-10)
- NÓDULO TERMINAL (DISTAL):** Engrosamiento de la rafe en los ápices (Round *et al.* 1990). (Apéndice C, Fig. 11-14)
- OLIGOHALOBIO:** Relativo a especies presentes en salinidades menores a 500 mg/l (Lowe 1974), es decir, con muy baja concentración electrolítica (Patrick y Reimer 1966).
- OLIGOSAPROBIO:** Relativo a organismos que viven en aguas con una muy pequeña carga de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO, son ≤ 2 mg O₂/litro (Krammer y Lange-Bertalot 1986).
- OLIGOTERMAL:** Relativo a especies que se encuentran en aguas frías, usualmente a temperaturas entre 0°C y 15°C (Lowe 1974).
- OLIGOTRÓFICO:** Condición de un cuerpo de agua con baja concentración de nutrimentos disueltos (Lowe 1974, Margalef 1955, Patrick y Reimer 1966).
- PANDURIFORME:** Valva en la cual la parte central se encuentra constreñida (Barber y Haworth 1981). (Apéndice B)
- PERIFÍTICA:** Comunidad formada por organismos vegetales microscópicos que viven fijos sobre un sustrato sólido (Margalef 1955).
- PLANCTÓNICA:** Relativo a las especies que habitan en suspensión en el seno de un cuerpo de agua (Margalef 1955 y Trainor 1978).
- POLISAPROBIO:** Relativo a aguas con una excesiva carga de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO, son ≥ 22 mg O₂/litro (Krammer y Lange-Bertalot 1986 y Margalef 1955).
- PSEUDONÓDULO:** Espacio presente en el género *Nitzschia*. Se encuentra entre los extremos proximales de la rafe y se forma por una evidente separación de las dos fíbulas centrales (Round *et al.* 1990).
- QUINCUNX:** Patrón característico de distribución de areolas en las valvas de las diatomeas; paralelas entre sí, o bien alternadas. Se observa en el manto valvar de algunas especies del género *Stephanodiscus*, o en la doble punteadura de las estriás de algunos otros géneros (Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a y 1991b).
- RAFE:** Fisura longitudinal que se ubica en el área axial (Round *et al.* 1990); generalmente se compone de dos partes separadas en el área central, aunque existen géneros en los cuales la rafe corre en toda la periferia de la valva. Posee dos partes terminales que se conocen como extremos o nódulos que se ubican en el centro o en los polos de la valva (Barber y Haworth 1981). (Apéndice C)
- RAFE COMPLEJA:** Rafe doble, en la cual una de sus fisuras lleva a cabo varios cambios de trayectoria en forma de zig-zag; característico del género *Pinnularia* (Barber y Haworth 1981). (Apéndice C)
- RAFE FILIFORME (LINEAR):** Posee una fisura angosta, simple y recta que atraviesa del centro al polo de la valva (Barber y Haworth 1981). (Apéndice C)
- RAFE LATERAL:** Posee un par de fisuras que corren paralelas en forma recta del centro al polo de la valva (Barber y Haworth 1981). (Apéndice C)
- RAFE REVERSA-LATERAL:** Rafe doble, en la cual una de sus fisuras forma un pequeño zig-zag en su parte media-proximal, terminando del lado contrario al resto de la rafe (Barber y Haworth 1981, Round *et al.* 1990). (Apéndice C)
- RIMOPÓRTULA:** Conocida también como proceso labiado; no está restringida a ciertas diatomeas, como en el caso de las fultopórtulas, ni tampoco posee poros satélites. Consiste en un tubo o abertura a través de la pared de la valva; en la parte interna se presenta en forma de ranura en relieve -raramente dos- y en la parte externa únicamente como una estructura tubular (Round *et al.* 1990).

- RIOLITA:** Roca ígnea de grano fino con composición de granito (Judson *et al.* 1987).
- ROSTRADO:** Pequeño engrosamiento de un ápice sin la presencia de un cuello adefgazado que lo una con el resto de la frústula (Round *et al.* 1990).
- SALINIDAD:** Se refiere al contenido de iones en un agua (Margalef 1955).
- SALOBRE:** Relativo al agua que resulta de la mezcla de agua marina con agua dulce, al agua marina diluida (Margalef 1955).
- SAPROBIO:** Aplica a cuerpos de agua que poseen materia orgánica en descomposición (Margalef 1955), existiendo un gradiente que va de oligosaprobio, β -mesosaprobio, α -mesosaprobio hasta polisaprobio (Krammer y Lange-Bertalot 1986).
- SUBAÉREA:** Se refiere a los organismos encontrados en suelo o rocas con humedad elevada (Round *et al.* 1990).
- TICOPLANCTÓNICO:** Relativo a las especies que se encuentran suspendidas en el plancton por arrastre y turbulencia, pero que son de origen epifítico o bentónico. Elemento accidental del plancton (Margalef 1955).
- VALVA:** Se refiere a cada una de las dos estructuras intrincadamente esculpidas que conforman la frústula (Round *et al.* 1990).
- VARVES:** Depósitos alternos de materiales de distinto grano u origen representados por sedimentos lacustres laminados y que generalmente denotan cambios climáticos a lo largo de un periodo (Margalef 1983). Este tipo de estructuras están asociadas con lagos periglaciares en los que los horizontes claros se refieren a épocas de secas en primavera, mientras que los horizontes oscuros denotan riqueza en arcillas ricas en materia orgánica acarreadas por las lluvias de otoño; se han interpretado como indicadores de ciclos anuales (Gall 1983, Judson *et al.* 1987).
- VISTA CINGULAR (CONECTIVA):** Observación de una frústula por el lado del manto valvar (Round *et al.* 1990).
- XENOSAPROBIO:** Relativo a aguas con ausencia total de materia orgánica (Sládeček *et al.* 1981).

LITERATURA CITADA

- ABBOTT, W.H. y S. VAN LANDINGHAM. 1972. Micropaleontology and paleoecology of Miocene non-marine diatoms from the Harper District, Malheur County, Oregon. *Nova Hedwigia* 23:847-906.
- ANDERSON, N.J. 1990. The biostratigraphy and taxonomy of small *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos* species (Bacillariophyceae) in a eutrophic lake and their ecological implications. *Br. Phycol. J.* 25:217-235.
- ANDREWS, G.W. 1966. Late Pleistocene diatoms from the Trempealeau Valley, Wisconsin. *Geol. Surv. Prof. Paper*. 523 pp.
- ANDREWS, G.W. 1972. Some fallacies of quantitative diatom paleontology. p.285-294 in Simonsen y Reimer (Eds.): *First symposium on recent and fossil marine diatoms*. *Nova Hedwigia*. Heft 39.
- BARBER, G.H. y E. HAWORTH. 1981. *A guide to the morphology of diatom frustule with a key to the british freshwater genera*. The freshwater biological association. Scientific Publication No. 14. Great Britain. 112 pp.
- BARRON, A.J. 1993. Diatoms. p.155-167 in Lipps, H.J. (Eds.): *Fossil Prokaryotes and Protists*. Blackwell Scientific Publications. U.S.A. 342 pp.
- BEGÉT, J.E., D.B. STONE y D.B. HAWKINS. 1990. Paleoclimatic forcing of magnetic susceptibility variations in Alaskan loess during the late Quaternary. *Geology* 18:40-43.
- BLACK, M.R. 1988. *The elements of palaeontology*. 2^d ed. Cambridge University. Great Britain. 404 pp.
- BLINN, W.D. 1993. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes. *Ecology* 74(4):1246-1263.
- BLOEMENDAL J. y P. de MENOCAL. 1989. Evidence for a change in the periodicity of tropical climate cycles at 2.4 Myr from whole-core magnetic susceptibility measurements. *Nature* 342:897-899.
- BRADBURY, J.P. 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnol. Oceanogr.* 16(2):180-200.
- BRADBURY, J.P. 1974. Correlation of Pleistocene and Holocene deposits in the Cuenca of Mexico. *Resúmenes del Segundo Encuentro de Paleobotánica y Palinología en México*. Ito. Geología, UNAM-ENCB-IPN. Sociedad Botánica de México. p.10.
- BRADBURY, J.P. 1975. Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota. *Spec. Pap. Geol. Soc. Am. U.S.A.* 171:1-74.
- BRADBURY, J.P. 1977. Holocene and late Pleistocene diatom stratigraphy in lake Chalco, México. *Resúmenes del Tercer Encuentro de Paleobotánica y Palinología en México*. INAH-SEP. México. p.22.
- BRADBURY, J.P. 1982a. Holocene chronostratigraphy of Mexico and Central America. p.46-48 in J. Mangerud, H.J.B. Birks y K.D. Jaeger (Eds.): *Chronostratigraphic subdivision of the Holocene Striae*. Vol. 16. Uppsala.
- BRADBURY, J.P. 1982b. Paleocological studies at lake Patzcuaro, Mexican Plateau and at Chalco in the basin of Mexico. *Quat. Res.* 17:56-70.
- BRADBURY, J.P. 1988. Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 62:299-316.
- BRADBURY, J.P. 1991. The late Cenozoic diatom stratigraphy and paleolimnology of Tule Lake, Siskiyou Co. California. *Journal of Paleolimnology* 6:205-255.
- BRUGAM, R.B. y C. PATTERSON. 1983. The A/C (Araphidineae/Centrales) ratio in high and low alkalinity lakes in eastern Minnesota. *Freshwater Biology* 13:47-55.

- BUTLER, R.F. 1992. *Paleomagnetism*. Blackwell Scientific Publications. Boston. 319 pp.
- CABALLERO, M. M. 1991. Resultados preliminares del análisis de diatomeas en sedimentos del lago de Chalco, México. p.21-30 in S. Lozano et al.: *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la cuenca de México*. Comunicaciones Técnicas del Ito. Geofísica, UNAM. Contribución IGF No. PN-1991-1.
- CABALLERO, M.M. 1995. *Late Quaternary Palaeolimnology of lake Chalco, the basin of Mexico: New evidence for palaeoenvironmental and palaeoclimatic change in Central Mexico during the last 45,000 years*. Tesis de Doctorado. The University of Hull. England. 286 pp.
- CABALLERO, M.M. 1996. The diatom flora of two acid lakes in Central Mexico. *Diatom Research* 11(2):227-240.
- CABALLERO, M.M. 1997. The last glacial maximum in the basin of Mexico: The diatom record between 34,000 and 15,000 years BP from lake Chalco. *Quaternary International* 43/44:125-136.
- CABALLERO, M.M., S. LOZANO, B. ORTEGA y J. URRUTIA. 1995. Historia ambiental del sistema lacustre del sureste de la Cuenca de México. p. 12-26 in Stephan E. (Coord.): *Memoria del Segundo Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco*. Tomo I.
- CABALLERO, M.M. J.L. MACÍAS, S. LOZANO y J. URRUTIA. Late Pleistocene-Holocene volcanic stratigraphy and palaeoenvironments of the upper Lerma basin, Mexico. *Journal of Sedimentology*. En prensa.
- CANTORAL, U.E.A. 1997. *Diatomeas (Bacillariophyceae) de ambientes lóticos en la cuenca baja de la Huasteca Potosina*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, UNAM, México. 201 pp.
- CHARLES, D.F. y J.P. SMOL. 1988. New methods for using diatoms and chrysophytes to infer past pH of low-alkalinity lakes. *Limnol. Oceanogr.* 33(6, part 2):1451-1462.
- CHOLNOKY, J.B. 1966. Diatomeenassoziationen aus einigen Quellen in Südwest-Afrika und Bechuanaland. p.163-250 in J.B. Cholnoky (Ed.): *Diatomaceae I*. Verlag Von J. Cramer, Stuttgart. 250 pp.
- CHOLNOKY, J.B. 1968. *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern*. Cramer, Lehre. 699 pp.
- CONLEY, J.D., C.L. SCHELSKE y E.F. STOERMER. 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 101: 179-192.
- CUNA, P.E. 1997. *Estudio comparado de las metodologías para el análisis de diatomitas, aplicadas a una fracción del paleolago Tlaxcala (mina "El Lucero, Tlaxcala")*. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México. 66 pp.
- DÍAZ, L.E. 1917. Diatomeas Fósiles Mexicanas. *Anales del Instituto Geológico de México*. Secretaría de Fomento, Colonización e Industria; Dirección de Minas y Petróleo. México. 31 pp.
- DODD, J.R. y R.J. STANTON. 1990. *Paleoecology. Concepts and applications*. 2a. ed. John Wiley & Sons Inc. U.S.A. 502 pp.
- EDMONSON, W.T. y D.E. ALLISON. 1970. Recording densitometry of X-radiographs for the study of cryptic laminations in the sediments of lake Washington. *Limnol. and Oceanogr.* 15:138-144.
- EHRENBERG, C.G. 1846. On the remains of infusoria animalcula in volcanic rocks. *Geol. Soc. London Quart. Jour.* p.73-91.
- EHRENBERG, C.G. 1854. Mikrogeologie das Erden und Felsen schaffende wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. *Leipzig XXVIII*, 374, 88 pp. mit tafeln.
- EHRENBERG, C.G. 1866. Mitteilung der einen Phytolitharien-Tuff als Gebirgsart im Toluca-Thale von Mexiko.- *Monatsb. d.k. Preuss Akad. d. Wiss. z. Berlin* 30-31. 158-169 und 324-345. 1 Tafel.
- EHRENBERG, C.G. 1869. Über mächtige Gebirgs-Schichten vorherrschend aus mikroskopischen Bacillarien unter und bei der Stadt Mexiko. *Abb. d.k.k. Aked. d. Wiss. z. Berlin*. 66 pp. 3 Tafeln.

- ENFIELD, D.B. 1992. Historical and prehistorical overview of El Niño/Southern Oscillation. p. 95-117 in H. Diaz y V. Markgraf (Eds.): *El Niño, historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. University Press Cambridge. 475 pp.
- FLORIN, M.B. 1970. Late-Glacial Diatoms of Kirchner Marsh, Southeastern Minnesota. p.667-756 in J. Gerloff y B.J. Choinoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.
- FLOWER, R.J. y R.W. BATTARBEE. 1983. Diatom evidence for recent acidification of two Scottish lochs. *Nature* 305(5930):130-133.
- FOGED, N. 1993. Some diatoms from Siberia especially from lake Baikal. *Diatom Research* 8(2):231-279.
- GALL, J.C. 1983. *Ancient sedimentary environments and the habitats of living organisms: Introduction to palaeoecology*. Springer-Verlag. Germany. 219 pp.
- GERMAIN, H. 1981. *Flore des diatomées. Diatomophycées*. Société Nouvelle des Editions Boubée. Paris. 443 pp.
- GRAY, J. 1988. *Paleolimnology, aspects of freshwater paleoecology and biogeography*. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 678 pp.
- GRIMM, E.C. 1991-1992. *Tilia Graph 1.18*. Illinois State Museum, Springfield.
- GRIMM, E.C., S. LOZANO, J.L. BETANCOURT y V. MARKGRAF. 1998. Regional trends in Holocene vegetation and climate in North and South America. *Reporte del Polo-Ecuador-Polo (PEP). Programa Pages*. p. 1-13.
- HÅKANSSON, H. 1982. The recent diatom succession of lake Hargårdssjön, South Sweden. *Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium*. Strauss & Cramer GmbH., Germany. p.411-429.
- HÅKANSSON, S. 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in Southern Sweden - a progress report. *Diatom Research* 8(2):349-370.
- HÅKANSSON, H y H. KLING 1990. The current status of some very small freshwater diatom of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. *Diatom Research* 5(2):273-287.
- HARLAND, W.B., R.L. ARMSTRONG, A.V. COX, L.E. CRAIG, A.G. SMITH y D.G. SMITH. 1989. *A geologic time scale*. Cambridge University Press. Cambridge. 263 pp.
- HAWORT, Y.E. 1980. Comparison of continuous phytoplankton records with the diatom stratigraphy in recent sediments of Blelham Tam. *Limnol. Oceanogr.* 25(6):1093-1103.
- HAY, A.E. y R. WATERS. 1985. A diatom chronology for sediments in a high accumulation rate environment: Rupert Inlet, British Columbia. *Limnol. Oceanogr.* 30(4):898-906.
- HECKY, R.E. y P. KILHAM. 1973. Diatoms in alkaline, saline lakes: Ecology and geochemical implications. *Limnol. Oceanogr.* 18 (1):53-71.
- HILTON, J. y J.P. LISHMAN. 1985. The effect of redox changes on the magnetic susceptibility of sediments from a seasonally anoxic lake. *Limnol. Oceanogr.* 30(4):907-909.
- HUSTEDT, F. 1930a. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 1 Teil: Einleitung und Centricae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977), Koenigstein. 920 pp.
- HUSTEDT, F. 1930b. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (Ed.): *Die Suesswasser-Flora Mitteleuropas* 10. 2nd. ed. Gustav Fischer Verlag, Jena. 466 pp.
- HUSTEDT, F. 1959. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 845 pp.
- HUSTEDT, F. 1961-1966. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 3 Teil: Gattung Navicula*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 816 pp.
- HUSTEDT, F. y N. G. JENSEN. 1985. *The pennate diatoms*. Koeltz Scientific Books. Koenigstein. 918 pp.

- HUTCHINSON, G.E., R. PATRICK y E.S. DEEVEY. 1956. Sediments of lake Patzcuaro, Michoacán, México. *Bulletin of the Geological Society of America* 67:1491-1504.
- JUÁREZ, B.D., G. VILA CLARA, A. RODRÍGUEZ, R. RICO, J. MIRANDA y J. CAÑETAS. 1997. Estudio de las comunidades de diatomeas fósiles de la mina El Lucero, Tlaxcala. *XVII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: Resumen* 257.
- JUÁREZ, B.D., G. VILA CLARA, A. RODRÍGUEZ y J. CAÑETAS. 1998. Fossil diatoms in Tlaxcala paleolake, mine "El Lucero". *Memoria del 15th Biennial AMQUA Meeting*: 123.
- JUDSON, S., M.E. KAUFFMAN y L.D. LEET. 1987. *Physical geology*. 7a. ed. Prentice-Hall, Inc. U.S.A. 484 pp.
- JULIÀ, R., F. BURJACHS, M.J. DASÍ, F. MEZQUITA, M.R. MIRACLE, J.R. ROCA, G. SERET y E. VICENTE. Meromixis origin and recent trophic evolution in the spanish mountain lake La Cruz. *Aquatic Sciences*. En prensa.
- KLAUS, D. 1973. Las fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7:59-62.
- KOBAYASHI, H. y H. KOBAYASHI. 1987. Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (*Bacillariophyceae*) species in Japan. 5. *S. delicatus* Genkel and the characters useful in identifying five small species. *The Japanese Journal of Phycology* XXXV (4):268-276.
- KOLBE, R.W. 1927. *Zür Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen*. Pflanzenforschung, Heft 7. Verlag von Gustav Fischer, Jena. 143 pp. 3 Tfln.
- KOZITSKAYA, N.V. 1992. Acidification of water bodies and its ecological consequences: a survey. *Hydrobiological Journal* 28(6):1-12.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1986. *Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 pp.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1988. *Bacillariophyceae. 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 596 pp.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1991a. *Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 575 pp.
- KRAMMER, K. y H. LANGE-BERTALOT. 1991b. *Bacillariophyceae. 4 Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolatae) und Gomphonema*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.
- KRUMBEIN, W.C. y L.L. SLOSS. 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. Unión tipográfica editorial Hispano-Americana y Centro Regional de Ayuda Técnica, AID. México. 777 pp.
- KURENKOV, I.I. 1966. The influence of volcanic ashfall on biological processes in a lake. *Limnol. Oceanogr.* 11(3):426-429.
- LIPSEY JR., L.L. 1988. Preliminary results of a classification of fifty-one selected northeastern Wisconsin lakes (USA) using indicator diatom species. *Hydrobiologia* 166:205-216.
- LOHMAN, K.E. 1961. Geological ranges of Cenozoic non-marine diatoms. *Geological Survey Research D*. 373:234-236.
- LONGWELL, Ch.R. y R.F. FLINT. 1983. *Geología Física*. Limusa. México. 547 pp.
- LOWE, R.L. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. EPA Report #EPA-670/4-74-005, Cincinnati OH. 333 pp.
- LOZANO, G.R. 1946. *El tizar y su distribución en México*. Estudios Geológicos-Económicos. Serie de minerales no metálicos. Instituto de Geología, UNAM. México. 8 pp.
- LOZANO, G.S. y B. ORTEGA. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of lake Chalco, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 109:177-191.

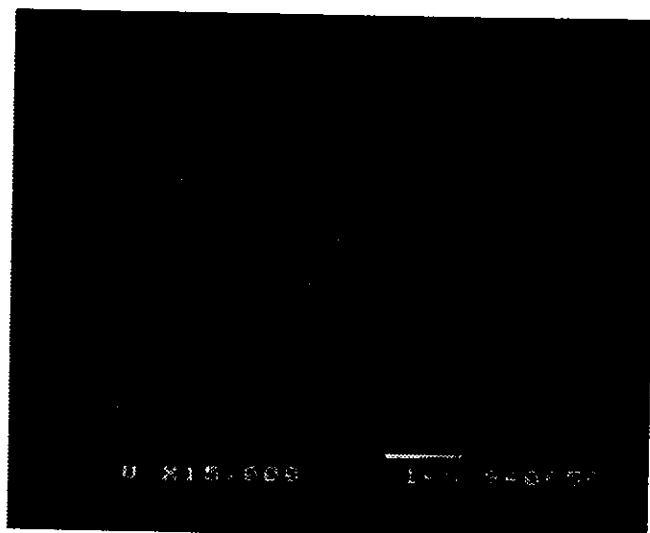
- LOZANO, G.S., B. ORTEGA, M. CABALLERO y J. URRUTIA. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco lake, Central Mexico. *Quat. Research* 40:332-342.
- MARGALEF, R. 1955. *Los organismos indicadores en la limnología*. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid. 300 pp.
- MARGALEF, R. 1957. Los microfósiles del lago Miocénico de la Cerdaña como indicadores ecológicos. *Cursillos y Conferencias del Ito. "Lucas Mallada", fasc. 4:13-17.*
- MARGALEF, R. 1962. Registro fósil de fluctuaciones climáticas de corto período en el área Pirenaica y en época Miocénica. *Actas del Tercer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*. p.217-226.
- MARGALEF, R. 1969. Size of centric diatoms as an ecological indicator. *Mitt. Internat. Verein Limnol.* 17: 202-210.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- MARTÍNEZ-MEKLER, G., E. UGALDE y G. VILA CLARA. 1998. Scale invariance in paleoecology: from turbulence to fossils. *Memoria del 15th. Biennial AMQUA Meeting: 129.*
- MELLER, A. 1985. High refractive index mounting medium for diatoms. *Mikrokosmos*. Northern Biological Supplies. p. 1-9.
- METCALFE, S.E. 1986. Diatoms in a core from Laguna Zacapu, Michoacan, Mexico. *9th Diatom-Symposium*. p.251-264.
- METCALFE, S.E. 1992. *Changing environments of the Zacapu Basin, Central Mexico: A diatom-based history spanning the last 30,000 years*. Research Paper 48. School of Geography. University of Oxford.
- METCALFE, S.E. 1993. Evolution of the Pretoria Saltpan -a diatom record spanning a full glacial-interglacial cycle. *Hydrobiologia* 269/270:159-166.
- METCALFE, S.E. 1994. Estudio de las diatomeas de la cuenca de Zacapu, Michoacán: punto 1 y punto 4. p.100-112 in Pierre Pétrequin (Ed.): *8000 años de la cuenca de Zacapu. Evolución de los paisajes y primeros desmontes*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 6. Centre d'études Mexicaines et Centraméricaines, México.
- METCALFE, S.E. 1995. Holocen environmental change in the Zacapu Basin, Mexico: a diatom-based record. p. 196-208 in Edward Arnold (Ed): *The Holocene* 5.
- METCALFE, S.E., F.A. STREET-PERROTT, R.B. BROWN, P.E. HALES, R.A. PERROT y F.M. STEININGER. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in central Mexico. *Geoarchaeology: An International Journal* 4(2):119-141.
- METCALFE, S.E., F.A. STREET-PERROTT, R.A. PERROT y D.D. HARKNESS. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma basin, central Mexico: a record of climatic change and anthropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology* 5:197-218.
- MIRANDA, J., A. OLIVER, G. VILA CLARA, R. RICO, V.M. MACÍAS, J.L. RUVALCABA y M.A. ZENTENO. 1994. Analysis of diatomite sediments from a paleolake in central Mexico using PIXE, X-ray tomography and X-ray diffraction. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 85: 886-889.
- MIRANDA, J., G. VILA CLARA, R. RICO, J. CAÑETAS, M. LUGO, E. HERNÁNDEZ y M.A. ZENTENO. 1996. Caracterización de sedimentos diatomíferos por medio de PIXE, difracción de rayos X, tomografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *IV Seminario Latinoamericano de Análisis por Técnicas de Rayos X*. Chile. 24 - 27-10-94.
- ONTIVEROS, H.A. 1964. *Estudio económico de un yacimiento de diatomita en la región central del Estado de Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura, ESIA-IPN. México. 60 pp.
- PATRICK, R. y C.W. REIMER. 1966. *The diatoms of the United States. Volume I*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 688 pp.

- PATRICK, R. y C.W. REIMER. 1975. *The diatoms of the United States. Volume II*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 213 pp.
- RAUP, D. y S.M. STANLEY. 1978. *Principios de paleontología*. Ariel. Barcelona. 481 pp.
- RAWSON, D.S. 1956. Algal indicators of trophic lake types. *Limnol. Oceanogr.* 1(1):18-25.
- RICO, R. Paleoecología de un depósito lacustre de diatomita, Tlaxcala. Tesis de licenciatura en Biología. Fac. de Ciencias, UNAM. México. En proceso.
- RICO, R., L. MARTINEZ, J. CASTILLO y A. REYES. 1991. Fauna fósil de la barranca de Huexoyucan, Tlaxcala. *XI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 254.
- RICO, R., G. VILA CLARA, R. CARRILLO y M.A. ZENTENO. 1993. Methodologic proposal for lacustrine sediment analysis applied to Tlaxcala diatomite. México. *Ver. Int. Ver. Limnol.* 25(2):1072-1074.
- RICO, R., L. MARTÍNEZ, M.R. FERNÁNDEZ y G. VILA CLARA. 1995. Los lagos muertos de México. p.195-209 in G. de la Lanza y J.L. García (Comp.): *Lagos y presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. México. 320 pp.
- RICO, R., G. VILA CLARA, J. MIRANDA y J. CAÑETAS. 1997. Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein Limnol.* 26(2):838-841.
- RIPEPE, M., L.T. ROBERTS y A.G. FISCHER. 1991. ENSO and sunspot cycles in varved eocene oil shales from image analysis. *Journal of Sedimentary Petrology* 61(7): 1155-1163.
- ROBLEDO, T.R. 1997. *Estudio paleolimnológico mediante un análisis comparado de diatomeas en una secuencia estratigráfica de la sección inferior del paleolago Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura, E.N.E.P. Iztacala, UNAM, México. 57 pp.
- ROBLEDO, T.R., G. VILA CLARA, R. RICO, M. GAYTÁN y J. MIRANDA. 1996. Estudio paleolimnológico de la sección inferior del yacimiento diatomífero de "El Lucero", paleolago Tlaxcala. *XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 299.
- RODRÍGUEZ, R.A. 1998. *Microanálisis de laminaciones en el depósito diatomífero de la mina de Santa Bárbara, Paleolago Tlaxcala, Tlax.* Tesis de Licenciatura, E.N.E.P. Iztacala, UNAM, México. 58 pp.
- RODRÍGUEZ, R.A., G. VILA CLARA, J. MIRANDA, J. CAÑETAS y R. RICO. 1996. Microanálisis de laminaciones en la sección del depósito diatomífero de "Santa Bárbara", paleolago Tlaxcala. *XVII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 300.
- RODRÍGUEZ, R.A., G. VILA CLARA, D. JUÁREZ, R. RICO, J. MIRANDA y J. CAÑETAS. 1997. Registro de condiciones paleoambientales locales en sedimentos lacustres. *XVII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 256.
- ROUND, F.E. 1973. *The biology of the algae*. 2a. ed. Cambridge University Press. London. 278 pp.
- ROUND, F.E., R.M. CRAWFORD y D.G. MANN. 1990. *The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera*. Cambridge University Press. London. 747 pp.
- SABATER, S. 1992. Size as a factor in centric diatoms distribution. The spanish reservoirs as an example. p.45-60 in J.D. Ros y N. Prat (Eds.): *Homage to Ramón Margalef; or why there is such pleasure in studying Nature*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona. 439 pp.
- SCHMIDT, A. 1874-1959. *Atlas der Diatomaceen-kunde. Band I, II, III, IV*. Reimpresión (1972). Otto Koeltz, Leipzig.
- SIMOLA, H.L.K., M.A. COARD y P.E. O'SULLIVAN. 1981. Annual laminations in the sediments of Loe Pool, Cornwall. *Nature* 290: 238-241.
- SLÁDECEK, V., M. ZELINKA, J. ROTHSCHHEIN y V. MORAVCOVÁ. 1981. *Análisis biológico de las aguas superficiales. Comentario a la Norma Estatal Checa 830532 -parte 6: Determinación del índice saprobio* (Traducción del título checo). Vydavatelství, Praga. 186 pp.

- SQUIRES, E.L. y N.A. SINNU. 1982. Seasonal changes in the diatom flora in the Estuary of the Damour River, Lebanon. *Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium*. Strauss y Cramer GmbH. Germany. p.359-372.
- STANLEY, S.M. 1993. *Exploring earth and life through time*. W.H. Freeman and Company, N.Y. 538 pp.
- STEARNS, W.T. 1983. *Botanical latin. History, grammar, syntax, terminology and vocabulary*. 3a ed. David & Charles. England. 566 pp.
- STOCKNER, G.J. Y W.W. BENSON. 1967. The succession of diatom assemblages in the recent sediment of lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 12(3):513-532.
- STRAUB, F. 1993. Diatoms and their preservation in the sediments of Lake Neuchâten (Switzerland) as evidence of past hydrological changes. *Hydrobiologia* 269:167-178.
- TALIAFERRO, N.L. 1933. The relation of vulcanism to diatomaceous and associated sediments. *Bull. Univ. Calif. (Dpt. Geol.Sci.)* 23(1):1-56.
- TAYLOR, N.T. y E.L. TAYLOR. 1993. *The biology and evolution of fossil plants*. Prentice Hall. U.S.A. 982 pp.
- TERAO, K., S. MAYAMA y H. KOBAYASI. 1993. Observations on *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Cleve var. *Mexicana* (Bacillariophyceae) with special reference to the band structure. *Hydrobiologia* 269/270:75-80.
- THOMPSON, R., R.W. BATTARBEE, P.E. O'SULLIVAN y F. OLDFIELD. 1975. Magnetic susceptibility of lake sediments. *Limnology and Oceanography* 20(5):687-698.
- TRAINOR, F.R. 1978. *Introductory Phycology*. John Wiley & Sons. U.S.A. 525 pp.
- URRUTIA, F.J. y S. LOZANO. 1991. Descripción del proyecto de investigaciones paleomagnéticas, palinológicas, magnetoestratigráficas y paleolimnológicas en sedimentos lacustres de la Cuenca de México. p.1-9 in S. Lozano et al.: *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la cuenca de México*. Comunicaciones Técnicas del Ito. Geofísica, UNAM. Contribución IGF No. PN-1991-1.
- URRUTIA, F.J., S. LOZANO, B. ORTEGA y M. CABALLERO. 1995. Palaeomagnetic and palaeoenvironmental studies in the southern basin of Mexico - II late Pleistocene-Holocene Chalco lacustrine record. *Geofísica Internacional* 34(1):33-53.
- VAN HEURCK, H. 1899. *Traité des Diatomées*. J.E. Buschmann. Reimpresión (1963), J.R. Hansen, Bruxelles. 574 pp.
- VAN LANDINGHAM, S.L. 1970. Origin of an early non-marine diatomaceous deposit in broadwater County, Montana U.S.A. p.449-484 in J. Gerloff und B.J. Chohnoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.
- VILA CLARA, G. 1997. *Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México*. Tesis Doctoral. Fac. de Biología, Universidad de Barcelona, España. 212 pp.
- VILA CLARA, G., M. CHÁVEZ, A. LUGO, H. GONZÁLEZ y M. GAYTÁN. 1993. Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25:435-440.
- VILA CLARA, G., A. RODRÍGUEZ, R. RICO, J. URRUTIA, P. SCHAAF y T. HERNÁNDEZ. 1996. Estudio estratigráfico del paleolago Tlaxcala. *XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 298.
- VILA CLARA, G., R. RICO y J. MIRANDA. 1997a. Effects of perturbation on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein. Limnol.* 26(2):846-851.
- VILA CLARA, G., A. RODRÍGUEZ, J. MIRANDA y D. JUÁREZ. 1997b. Effects of a temporal environmental change registered in a diatomite bed, Tlaxcala, Mexico. 5th. *International Conference on Aquatic Ecosystem Health: Linking Science, Education, Politics and Society*. Ajijic, Guadalajara, México. p. 116.

- VILA CLARA, G., J. MIRANDA, G. MARTÍNEZ-MEKLER, E. CUNA, A. RODRÍGUEZ y M.A. ZENTENO. 1998. Computerized axial tomography: standarization of a quick technique for lamination characterization in diatomaceous sediments. *Memoria del 15th Biennial AMQUA Meeting*: 175.
- VON ERFFA, A., W. HILGER, K. KNOBLICH y R. WEYL. 1976. Geología de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 13:99-116.
- VOS, C.P. y H. de WOLF. 1993a. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269/270:285-296.
- VOS, C.P. y H. de WOLF. 1993b. Reconstruction of sedimentary environments in holocene coastal deposit of the southwest Netherlands; the Poortvliet boring, a case study of palaeoenvironmental. *Hydrobiologia* 296/270:297-306.
- WATTS, W.A. y J.P. BRADBURY. 1982. Paleocological studies at lake Patzcuaro on the west-central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of México. *Quat. Res.* 17:56-70.
- WERNER, D. (Ed.). 1977. *The biology of diatoms*. Botanical Monographs Vol.13. Univ. of California Press. Berkeley-Blackwell Sc. Publ. 498 pp.
- WHITMORE, T.J. 1989. Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. *Limnol. Oceanogr.* 34 (5):882-895.
- WILLIAMS, G.L. 1964. Possible relationships between plankton-diatom species numbers and water-quality estimates. *Ecology* 45(4):809-823.
- YANG, J.R. y M. DICKMAN. 1993. Diatoms as indicators of lake trophic status in Central Ontario, Canada. *Diatom Research* 8(1):179-193.

APÉNDICE A



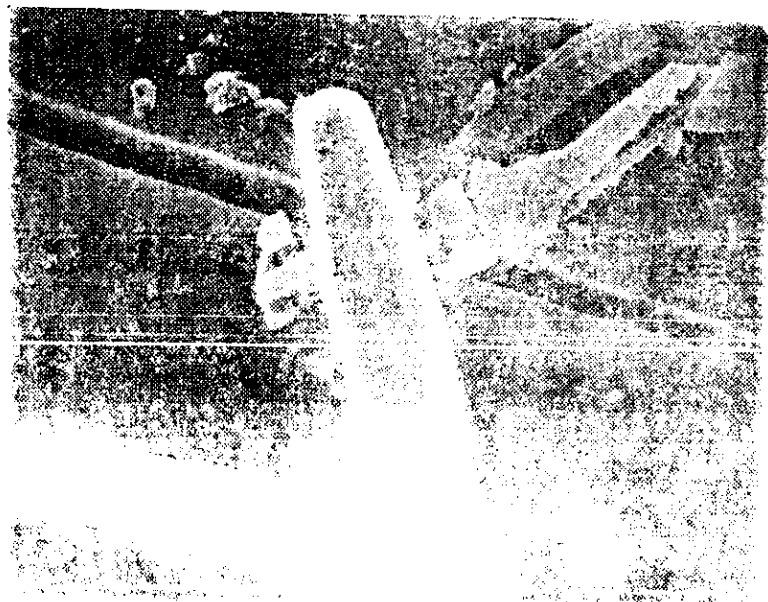


FOTO 1
Actinocyclus minutissimus
var. *minutissimus*
(5,000 X)

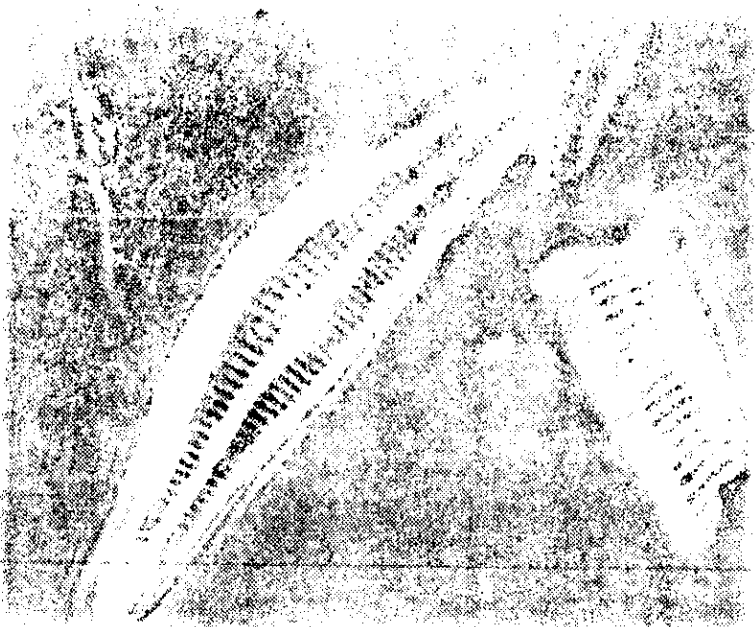


FOTO 2
Amphora libyca
(640 X)

FOTO 3
Cymbella cymbiformis
var. *cymbiformis*
(640 X)



FOTO 4
Cymbella cistula
(1,500 X)

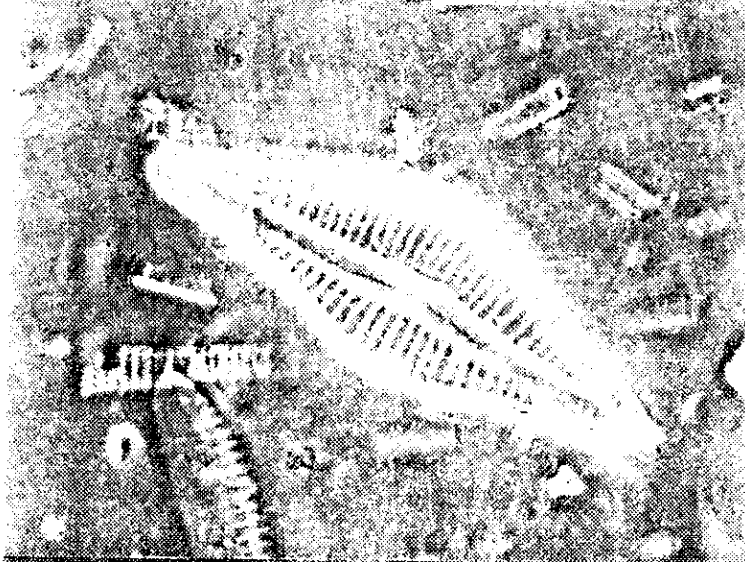


FOTO 5
Cymbella muellerii
(640 X)

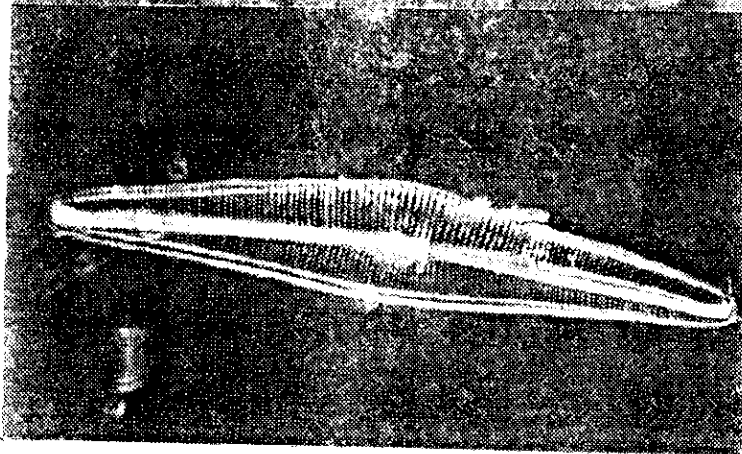


FOTO 6
Cymbella schimanskiii
(640 X)



FIGURE 7
Denticula elegans
(800 X)

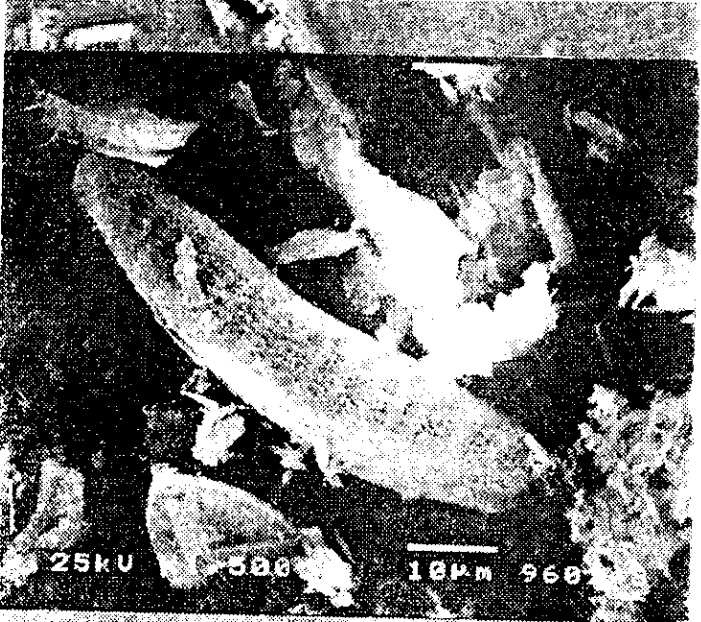


FIGURE 8
Epithemia adnata
(1,500 X)



FIGURE 9
Epithemia argus
(800 X)



FOTO 10
Fragilaria brevistriata
var. *brevistriata*
(1,600 y 10,000 X)

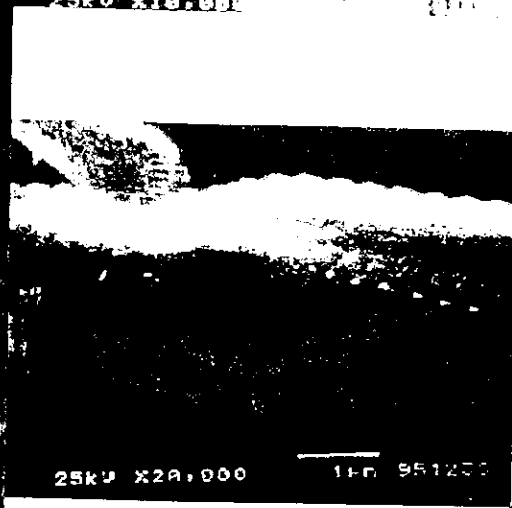


FOTO 11
Fragilaria grupo
capucina/yaucherize
(1,600 y 20,000 X)

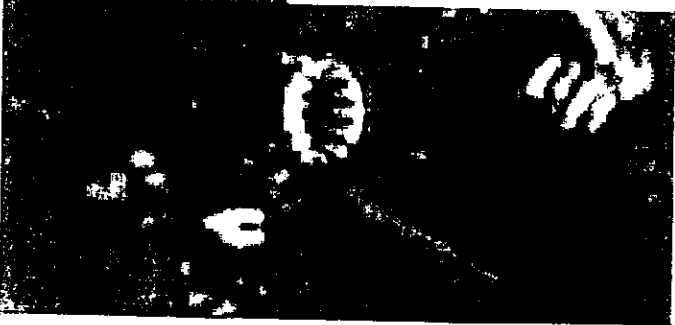


FOTO 12
Fragilaria pinnata
var. *pinnata*
(1,600 X)

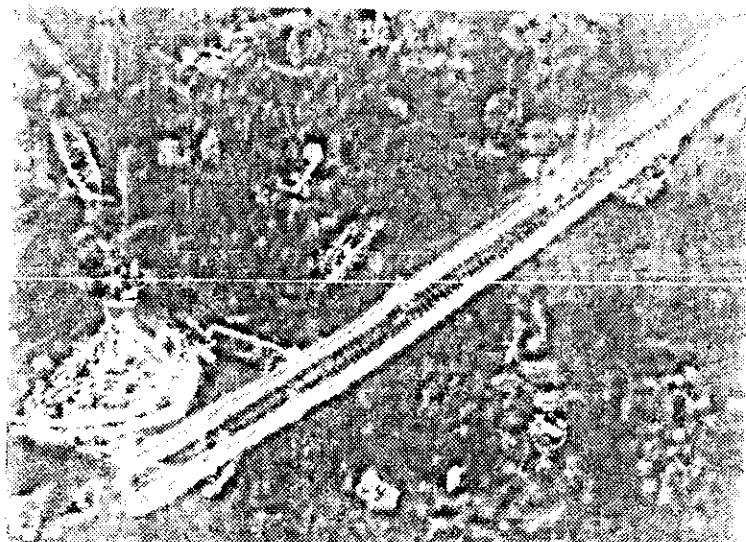


FOTO 13
Fragilaria ulna
var. *ulna*
(640 X)

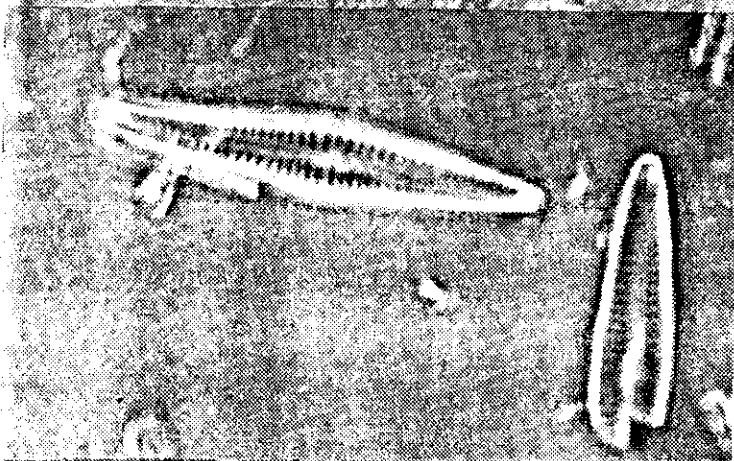


FOTO 14
Gomphonema gracile
(800 X)

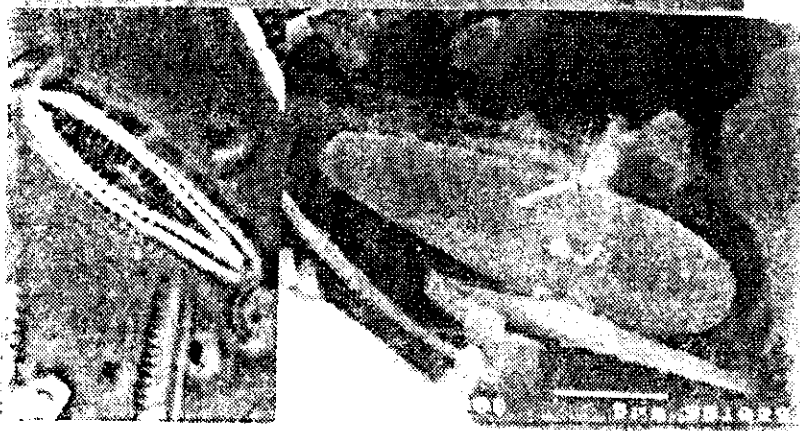


FOTO 15
Gomphonema
parvulum
(800 y 5,000 X)

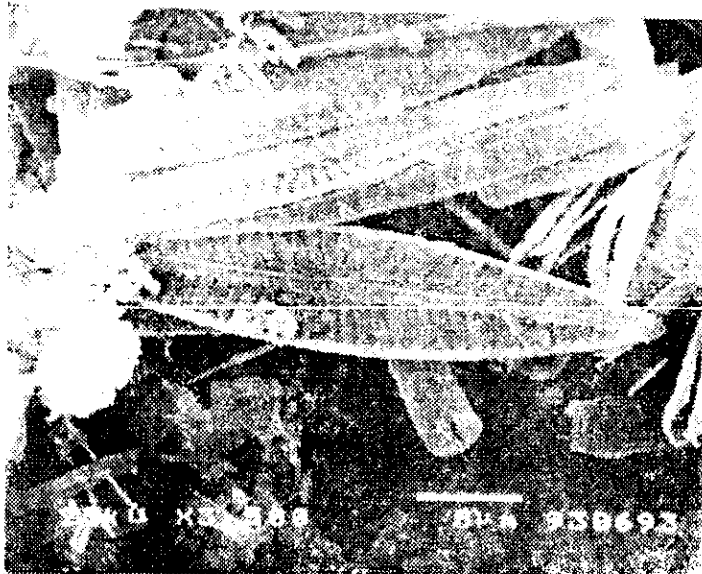


FOTO 16
Navicula cryptotenella
(3,500 X)



FOTO 17
Navicula laevisissima
var. *laevisissima*
(5,000 X)

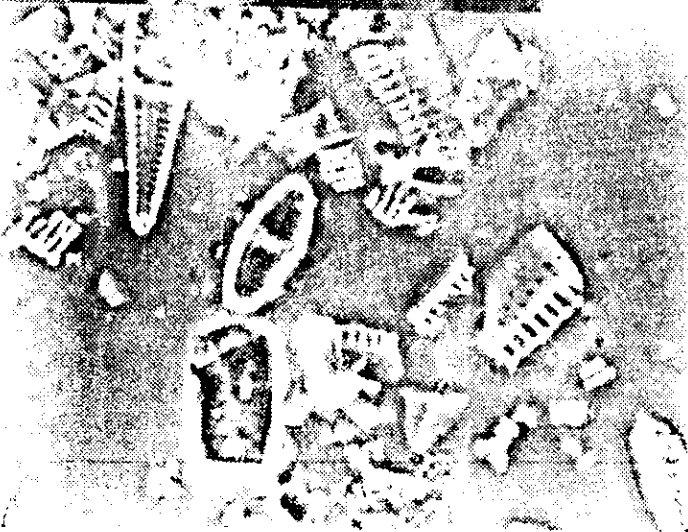


FOTO 18
Navicula mutica
var. *mutica*
(640 X)

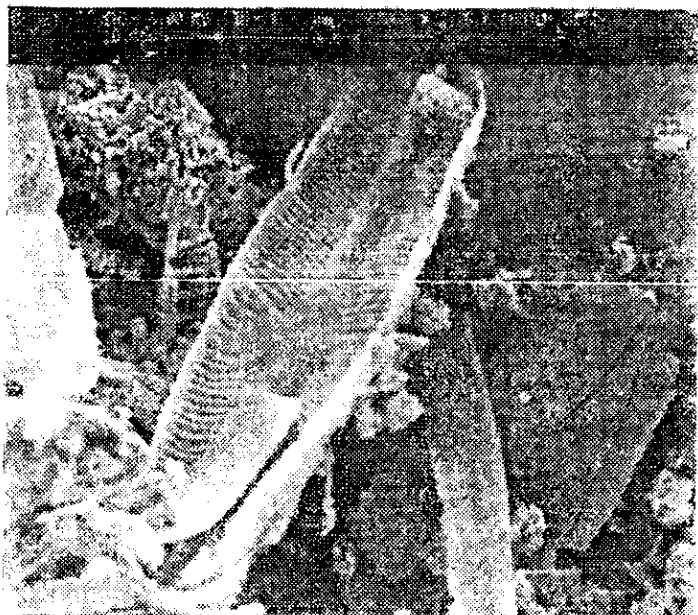


FOTO 19
Leucicula pupula
var. *pupula*
(2,760 X)

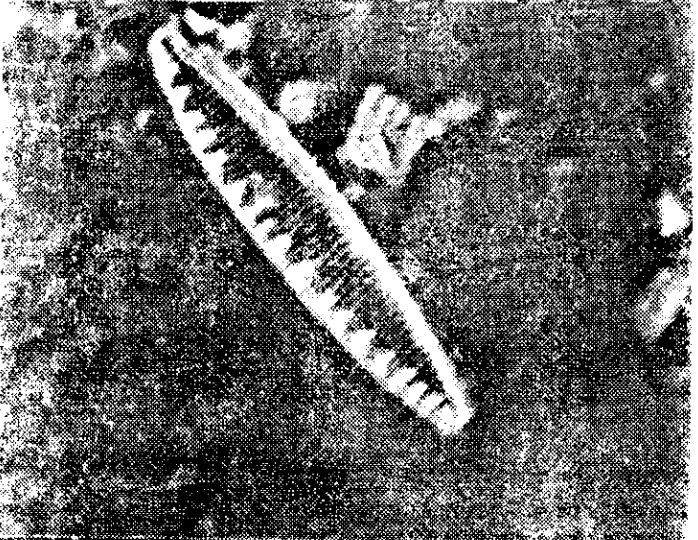


FOTO 20
Mitoscila amphibia
f. *amphibia*
(800 X)

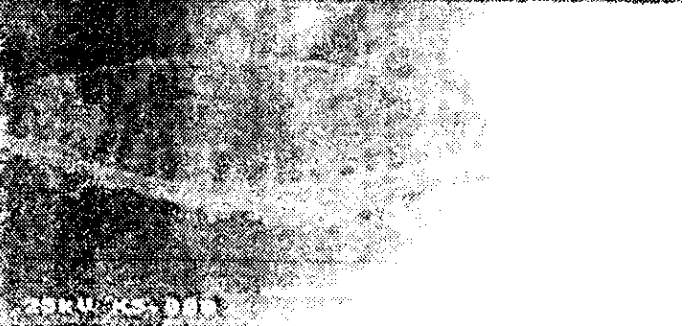


FOTO 21
Mitoscila amphibia
f. *amphibia*
(5,000 X)

CSRU 75-080

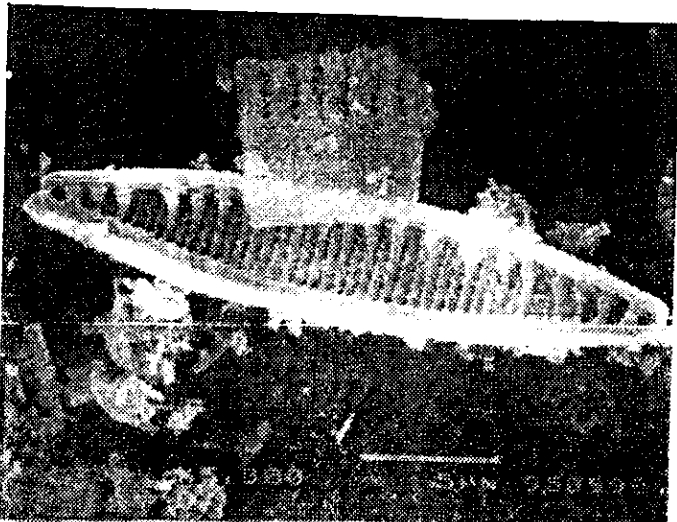


FIGURE 22
Nitzschia
amphibioides
(5,000 X)

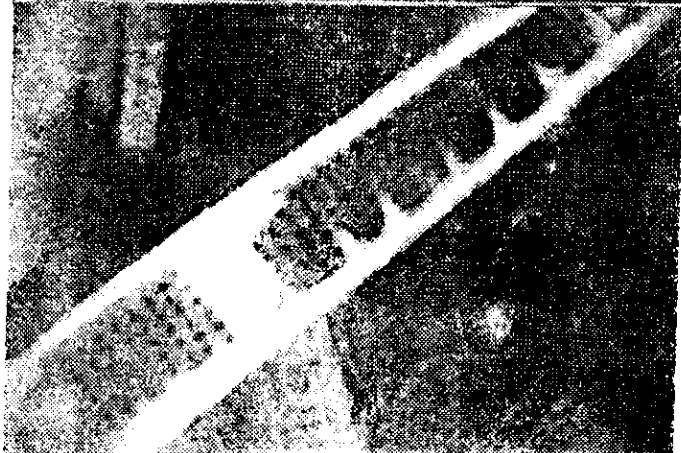


FIGURE 23
Nitzschia amphibia
f. frauenfeldii
(7,500 X)

25KV X7,500 1µm 930601

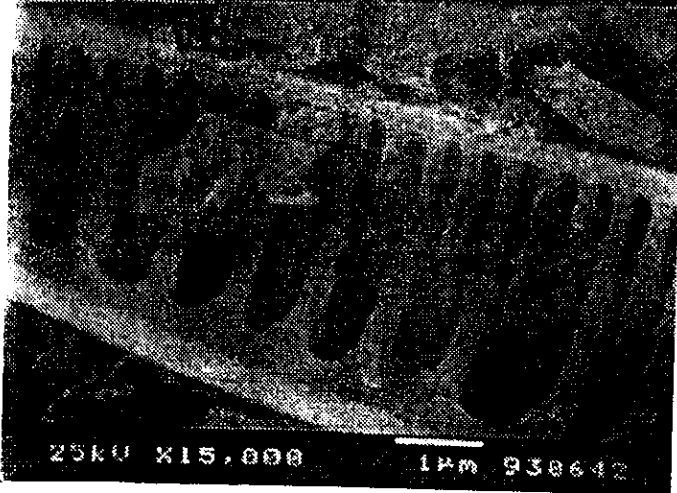


FIGURE 24
Nitzschia amphibia
f. frauenfeldii
(15,000 X)

25KV X15,000 1µm 930642



FOTO 25
Pinnularia viridis
(500 X)

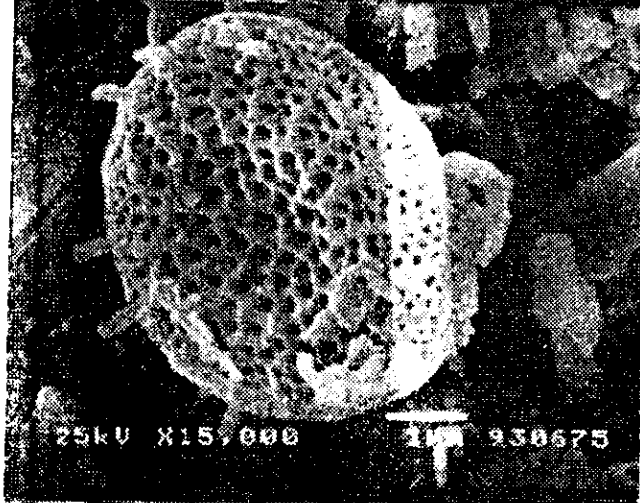


FOTO 26
Stephanodiscus
minutulus
(15,000 X)

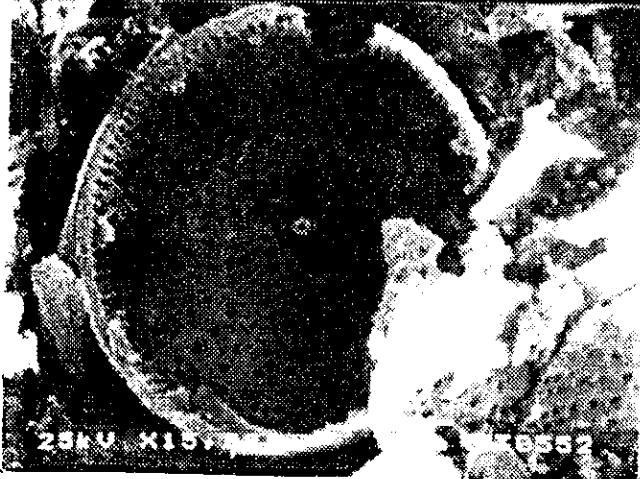


FOTO 27
Stephanodiscus parvus
(15,000 X)

APÉNDICE B

EJES VALVARES²⁵:

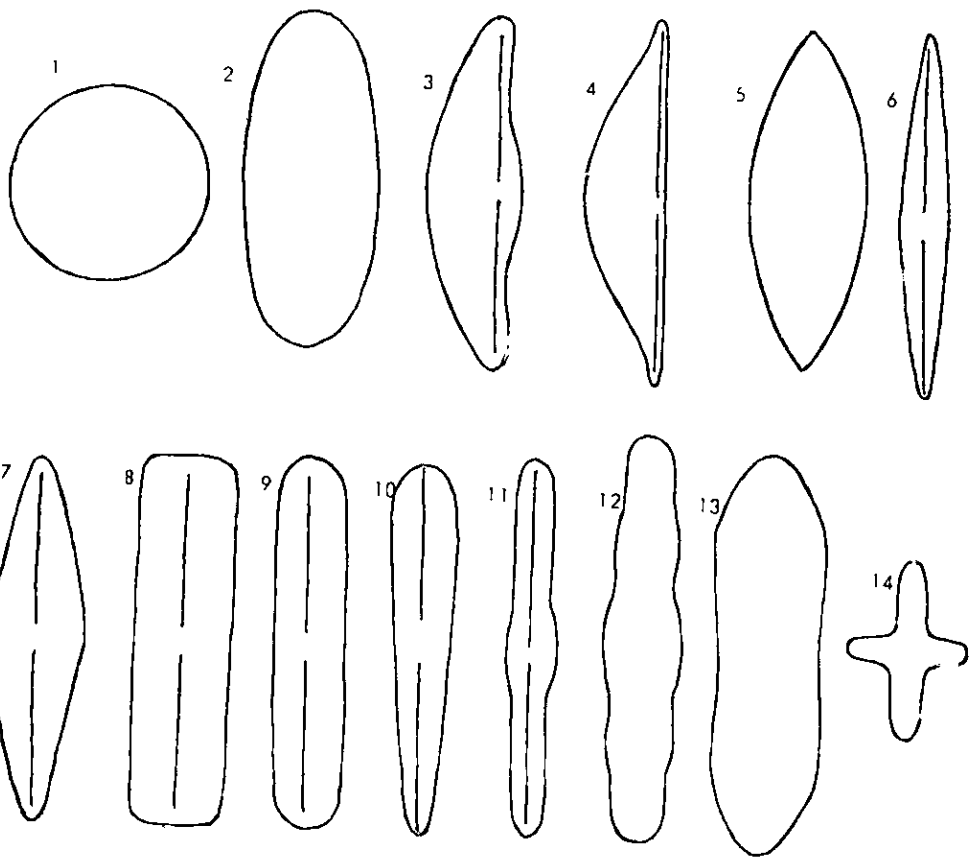
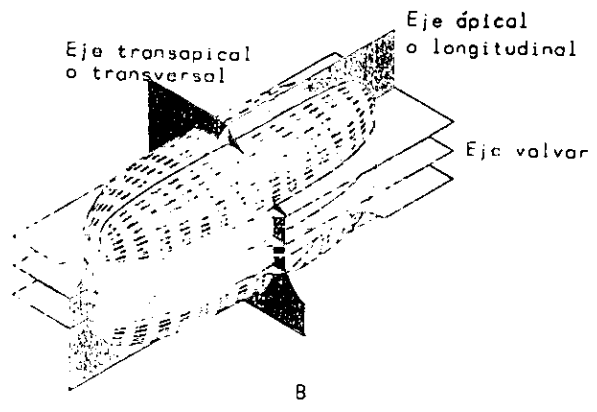
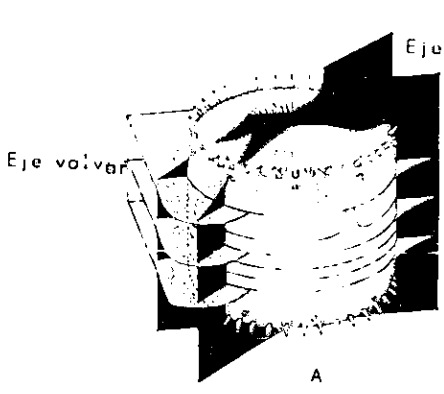
- A. VALVA CON SIMETRÍA RADIAL.
- B. VALVA CON SIMETRÍA BILATERAL.

FORMA DE LA VALVA²⁶:

- 1. CIRCULAR.
- 2. ELÍPTICA.
- 3. SEMILANCEOLADA CON MARGEN VENTRAL CONVEXO (HETEROLATERAL).
- 4. SEMILANCEOLADA CON MARGEN VENTRAL RECTO (HETEROLATERAL).
- 5. LANCEOLADA (ELÍPTICO-LANCEOLADA).
- 6. LANCEOLADA ESTRECHA (LINEAR-LANCEOLADA).
- 7. RÓMBICA.
- 8. RECTANGULAR.
- 9. LINEAR.
- 10. SARCOFAGO (CLAVADA, HETEROPOLAR).
- 11. LINEAR CON PARTE CENTRAL ENSANCHADA.
- 12. TRIONDULADA.
- 13. PANDURIFORME.
- 14. CRUCIFORME.

²⁵ Round *et al.* 1990.

²⁶ Barber y Harvorth 1981



APÉNDICE C

TIPOS DE RAJE²⁷:

1. DOBLE.
2. LATERAL.
3. BIARQUEADA EN FORMA DE CUÑA (CANAL RAFIDIANO).
4. REVERSA-LATERAL.
5. COMPLEJA.
6. SENCILLA.

EXTREMOS PROXIMALES²⁸:

7. SENCILLO.
8. BULBOSO.
9. REFLECTADO HACIA EL MISMO LADO.
10. REFLECTADO EN DIRECCIÓN OPUESTA.

EXTREMOS DISTALES²⁹:

11. REFLECTADO.
12. GUADAÑA.
13. GANCHO.
14. GARFIO.

²⁷ Krammer y Lange-Bertalot 1986

²⁸ Round *et al* 1989

²⁹ Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1988 y 1991b



1



2



3



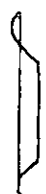
4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14