



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

BO 1292/97

Ej. 2

ESTUDIO COMPARADO DE LAS
METODOLOGIAS PARA EL ANALISIS
DE DIATOMITAS APLICADAS A UNA
FRACCION DEL PALEOLAGO
TLAXCALA
(MINA EL LUCERO, TLAX.)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A :

CUNA PEREZ ESTELA



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Dedicatoria

Con profundo cariño

A DIOS: por permitirme estar aquí.

A mi madre: por haberme dado la vida, permitirme ser lo que soy, apoyarme en todo y compartir conmigo los sueños, que poco a poco voy realizando.

A mi padre: por la libertad, la mejor herencia que pudo legarnos.

A mis hermanos: con cariño y por saber que en cualquier momento cuento con su apoyo incondicional.

A mis sobrinos: deseando que este trabajo los motive a luchar para lograr todas sus metas.

A mis AMIGOS: por compartir conmigo los días soleados y los días nublados, pero sobre todo por resguardarme durante las tempestades.

A mi Angel de la Guarda: por siempre estar a mi lado y protegerme en los momentos difíciles.

A Estela por ser el espíritu más hermoso que ha cruzado en mi vida.

Agradecimientos

A la Biól. Gloria Vilaclara Fatjó, quien más que una directora de tesis, representa para mí un ejemplo de superación.

A los sinodales: Biól. Guadalupe Oliva Martínez, Biól. Gloria Garduño Solorzano, Biól. Arnulfo Reyes Mata y Biól. Martha Gaytan Herrera; sus aportaciones hicieron que mejorara el contenido y la presentación de este trabajo.

A la Fundación UNAM por la beca otorgada para la terminación de este trabajo (Proyecto: " Efecto de perturbaciones en sistemas naturales: El caso vulcanismo y clima ". Laboratorio de Ecología Acuática del Proyecto CyMA, UIICSE, ENEP-Iztacala).

A la Téc. Acad. Jacqueline Cañetas, por el tiempo y orientación (así como algunos valiosos consejos) otorgados en cada sesión de microscopía electrónica en el Instituto de Física de la UNAM.

Al Téc. Acad. Edilberto Hernández Juárez, por su orientación sobre el uso del Difractómetro de Rayos X, del Instituto de Física de la UNAM.

Al Téc. Acad. Ernesto Santillana Orozco, por su orientación sobre el uso del Acelerador de electrones, del Instituto de Física de la UNAM.

A la Dra. Nora Irene Maidana quien, sin darse cuenta, me permitió valorar y obtener confianza en mi trabajo.

A la ENEP- Iztacala y a sus profesores, de quienes recibí mucho más que una formación académica.

A todas aquellas personas que aportaron su conocimiento y tiempo para mi formación académica y que confiaron en mí.

El presente estudio fue apoyado con fondos del financiamiento de la DGAPA al proyecto " 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 " (clave IN203094).

GRACIAS

CONTENIDO

Indice de Figuras.....	II
Indice de Tablas.....	III
Resumen.....	IV
Introducción.....	I
Area de Estudio.....	4
Material y Metodos.....	9
Resultados y Discusión.....	14
Conclusiones.....	32
Apendice I.....	34
Apendice II.....	39
Glosario.....	55
Bibliografía.....	60

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONTENIDO

Indice de Figuras.....	II
Indice de Tablas.....	III
Resumen.....	IV
Introducción.....	1
Area de Estudio.....	4
Material y Metodos.....	9
Resultados y Discusión.....	14
Conclusiones.....	32
Apendice I.....	34
Apendice II.....	39
Glosario.....	55
Bibliografia.....	60

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Provincias fisiográficas de México. Principales elementos tectónicos y localización del yacimiento de diatomita de Tlaxcala (modificada de Rico <i>et al.</i> 1995).....	7
Fig. 2 Curvas de la variación del clima (indirectamente deducidas de datos geomorfológicos) (tomada de Heine, K. 1973).....	8
Fig. 3 Laminaciones directamente visibles en el bloquecito estudiado mina El Lucero, Paleolago Tlaxcala.....	13
Fig. 4 Porcentaje (más del 2%) de especies alcalinófilas más abundantes en la sección estudiada.....	21
Fig. 5 Porcentaje (más del 2%) de especies alcalinófilas-alcalinobióticas, alcalinófilas-indiferentes e indiferentes más abundantes en la sección estudiada.....	22
Fig. 6 Porcentaje (5) de especies clasificadas de acuerdo a su intervalo de adaptación al pH.....	23
Fig. 7 Relación entre los porcentajes de diatomeas centrales, araphideas y pennales.....	24
Fig. 8 Variación de la función del porcentaje (%) de diatomeas planctónicas y béntonicas-epifitas.....	25
Fig. 9 Composición atómica (% ponderal) en la diatomita, obtenida con PIXE (tomada de Miranda <i>et al.</i> 1994).....	34
Fig. 10 Difracción de rayos X de 3 muestras obtenidas en las diferentes laminaciones (gris, blanca y oscura) de diatomita (tomada de Miranda <i>et al.</i> 1994).....	35
Fig. 11 Variación de la densidad de rayos X (en unidades relativas Houndsman) con la posición en la muestra de diatomita, obtenida con el Tomografo de Rayos X. Tres diferentes barridos (en tres líneas de barrido T-230, T-256 y T-289 (tomada de Miranda <i>et al.</i> 1994).....	36
Fig. 12 Correlaciones entre los transectos cada 0.25 mm de densidad de rayos X (T289) y de porcentaje ponderal de los átomos presentes (tomada de Miranda <i>et al.</i> 1994).....	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Relación de estomatoquistes aff 116 A + 46, con la posición en el bloque estudiado.....	26
Tabla 2 Correlación del conjunto de especies planctónicas, bentónicas-epífitas y las especies abundantes (>40 %) con el transecto de densidad de rayos X. c/f = valor transformado con la función "abundancia/%" ³ ; s/f = valores de abundancia relativa, sin la transformación mencionada.....	27
Tabla 3 Correlación entre valores de transectos y % ponderales de los átomos determinados.....	38

RESUMEN

Los sedimentos del paleolago Tlaxcala presentan una sucesión de laminaciones (compuestas principalmente por frústulos de diatomeas), las que resumen los procesos que operaron en tiempo y espacio en el paleolago. Entre ellos destacan la superimposición de fenómenos de intensidad y escala diferente: erupciones volcánicas episódicas y de diferente magnitud (fenómenos alogénicos), que perturbaron fenómenos recurrentes (autogénicos, dependientes a su vez de las oscilaciones climáticas) del lago.

El presente trabajo tiene como objetivos caracterizar las asociaciones de organismos fósiles de las diferentes laminaciones de un bloquecito del yacimiento, con base en las diatomeas y quistes de crisofíceas (estomatoquistes), y relacionar los datos obtenidos en el punto anterior con la composición atómica en porcentaje gravimétrico (PIXE), con los resultados de difracción de rayos X y con los de densidad de rayos X (TAC) obtenidos en el mismo bloquecito.

El estudio se realizó en un bloquecito labrado con un tamaño aproximado de 25 x 20 x 15 mm, con una obtención de datos cada 0.25 mm para PIXE y TAC, y en cada laminación visible para los microfósiles.

Los análisis aplicados fueron: microscopia electrónica de barrido (MEB) y de luz transmitida (MO), emisión de rayos X inducida por protones (PIXE), difracción de rayos X (DRX) y tomografía axial computarizada (TAC).

Todas estas técnicas resultaron adecuadas para caracterizar los tres tipos de laminaciones (blancas, grises y oscuras). También se pudo concluir que durante el lapso de tiempo estudiado -probablemente entre 15 y 100 años-, el paleolago Tlaxcala fue de agua dulce (pH probablemente entre 7 y 8), condiciones mesotróficas y oligosaprobias. Fue perturbado por una erupción volcánica que, por una parte, eliminó de su seno la mayor parte de las especies de diatomeas y, por otro, varió la abundancia relativa de las especies, de manera que permitió la aparición de especies nuevas, lo cual incrementó la biodiversidad de la sección (total de 121 taxa determinados). La perturbación se insertó en un conjunto de variaciones intrínsecas del paleolago en las que se alternaban diatomeas predominantemente planctónicas (*Fragilaria* y *Stephanodiscus*) y epífita-bentónicas (*Cymbella*, *Cocconeis*, *Gomphonema* y *Nitzschia*).

INTRODUCCION

México cuenta con numerosos depósitos de diatomita, principalmente en la Faja Volcánica Mexicana. Estos depósitos han sido estudiados desde hace más de un siglo (Ehrenberg 1846, 1854, 1866 y 1869) hasta el presente (Bradbury 1971, 1974, 1982a y b; Hernández-Velasco 1955; Lozano-García 1946; Metcalfe 1988; Miranda *et al.* 1994; Ontiveros-Hernández 1964; Rico *et al.* 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 y en prensa, Vilaclara *et al.* en prensa y Watts & Bradbury 1982). Entre dichos depósitos sobresalen los del estado de Tlaxcala (Minas El Lucero y Santa Bárbara), ya que tienen una gran pureza (aproximadamente 70-86 %) de diatomita (Hernández-Velasco 1955), lo que las coloca como uno de los yacimientos más importantes del país desde el punto de vista económico (Ontiveros-Hernández 1964). Según los estudios de las asociaciones de diatomeas fósiles y la relación del depósito con el hallazgo de unos restos de gliptodonte en la cercana barranca Huexoyucan, este depósito lacustre se originó en el Plio-Pleistoceno (Rico *et al.* 1991). Estos sedimentos son laminados; presentan una alternancia de capas oscuras y claras, que en algunos de los depósitos se alternan con capas más gruesas de cenizas volcánicas (Rico *et al.* 1991 y en prensa). La observación de cómo se ordenan las capas hace pensar en la existencia de una interacción resultado de los cambios a que estuvo sometido el antiguo lago. Dicha sucesión de laminaciones resume los procesos que operaron en tiempo y espacio en el paleolago. Entre ellos destacan fundamentalmente la superimposición de fenómenos de intensidad y escala diferente: erupciones volcánicas episódicas y de diferente magnitud (fenómenos alogénicos), que perturbaron fenómenos recurrentes (autogénicos, dependientes a su vez de las oscilaciones climáticas) del lago, incluyendo el caso intermedio de las inundaciones (Rico *et al.* en prensa, Vilaclara *et al.* en prensa).

La diatomita es una variedad de ópalo, coloidal, amorfa, constituida por la acumulación de restos silíceos de diatomeas (Hernández Velasco 1955), los cuales poseen suficientes características para su identificación a nivel de especie e incluso de variedad. Las diatomeas son algas unicelulares pertenecientes a la División Crysophyta, Subdivisión Chrysophycophyta (algas doradas y verdes-amarillentas), clase Bacillariophyceae (Bourrelly 1981 y Simonsen 1972 en Werner 1977).

Las diatomeas son de interés creciente como microfósiles, con valor comparable al de los foraminíferos, tanto por su considerable significado como indicadores ecológicos, como por la ventaja que representa su elevada densidad numérica, que se presta a estudios biométricos y los hace adecuados para establecer estratigrafías a pequeña escala. Es posible reconocer incluso capas anuales por medio de la sucesión de organismos (Margalef 1957, 1962). Asimismo, hay indicios de que la distribución del tamaño de los frústulos puede resultar de interés en relación con la tasa de crecimiento, relacionado a su vez con la disponibilidad de nutrimentos (Paasche 1973 y Harris 1986). El grado de salinidad del agua y la temperatura de la misma son los factores más determinantes en el tamaño, por lo cual puede ser utilizado como un indicador de las condiciones ambientales del depósito (Margalef 1962, 1969 y Sabater 1991); por ejemplo, cuando la competencia con otra especie limita el desarrollo de un organismo a un periodo más breve dentro del año, su variabilidad en el tamaño resulta disminuida (Margalef 1962, 1969 y 1983; Man 1993).

Se han empleado las diatomeas para estimar: profundidad relativa del cuerpo de agua en el tiempo correspondiente al punto de colecta (conjuntamente con espículas de esponjas, Brugam 1980); paleotemperaturas (Delcourt & Delcourt 1991, Donahue 1970, Labeyrie & Duplessy 1973 y Margalef 1962); condiciones químicas, tróficas y saprobias (Battarbee 1986, Beadle 1981, Brugam 1980, Clark & Wasson 1986, Lipsey 1988, Lowe 1974, Margalef 1957 y Sládeček 1986).

Su aparición en el registro fósil dulceacuicola es reciente, apenas datan del Terciario (Abbott & Van Landingham 1972, Lohman 1961 y Round *et al.* 1991), por lo que la mayoría de los géneros y muchas de las especies fósiles se corresponden con las actuales (Andrews 1966 y Lohman 1960); ello permite utilizar los conocimientos sobre los requerimientos ecológicos de muchas especies y de la composición de las comunidades a partir de las diatomeas contemporáneas para conocer las condiciones del pasado y de las causas que motivaron sus cambios (concepto de "analogía" o "¿cuán cercanas son las comunidades pasadas y las presentes?" y principio del "uniformitarinismo" o "el presente es la clave para comprender el pasado", Delcourt & Delcourt 1991, Donahue 1970).

Dado que el potencial de las diatomeas como indicadores paleoecológicos es evidente, su correcta identificación resulta esencial. Aunque la sistemática "tradicional" está basada en observaciones con microscopía de luz transmitida, el desarrollo de la microscopía electrónica ha generado avances en este campo (Battarbee 1986), porque -gracias a su gran poder de resolución- se pueden analizar estructuras básicas para diferenciar un género de otro, como puede observarse en los trabajos realizados por Round *et al.* (1991), Håkansson & Kling (1989), Håkansson & Mayer (1994), Haworth (1983), Round & Håkansson (1992), Sieminska (1988) y Theriot & Kociolek (1986), entre otros.

En relación con las nuevas metodologías aplicadas a sedimentos, de las cuales se hace mención en el presente estudio -tomografía axial computarizada y PIXE-, no hay antecedentes publicados acerca de su uso en algún tipo de sedimentos (a excepción de los trabajos mexicanos ya mencionados de Rico *et al.* 1993, y Miranda *et al.* 1994 y en prensa). En el caso específico de la densidad de rayos X, si se ha aplicado el uso de radiografías para determinar visualmente secuencias de laminaciones (Soutar *et al.* 1982 y Tollner 1991), pero en ninguno de estos casos se obtuvieron valores numéricos, ni se empleó el recurso del tomógrafo axial computarizado. De esta manera, el estudio de las diferentes metodologías aplicadas a una pequeña fracción del depósito lacustre de la mina El Lucero nos proporcionará información acerca de la naturaleza de las microlaminaciones, tanto las que se formaron autogénicamente como las causadas por perturbaciones externas al mismo (erupciones volcánicas consideradas como fenómenos alogénicos). Además, el estudio detallado posiblemente permitirá obtener conclusiones sobre la salinidad del agua y el estado trófico, relacionado -a su vez- con la cantidad de nutrimentos.

OBJETIVOS

Con la realización de esta investigación se pretende:

1). Caracterizar las asociaciones de organismos fósiles de las diferentes laminaciones de un bloquecito del yacimiento con base en las diatomeas, y quistes de crisofíceas (estomatoquistes).

2). Relacionar los datos obtenidos en el punto anterior con la composición atómica en porcentaje gravimétrico (PIXE), con los resultados de difracción de Rayos X y con los de densidad de Rayos X (TAC) obtenidos en el mismo bloquecito.

AREA DE ESTUDIO

El Paleolago Tlaxcala forma parte de lo que se conoce como "Sedimentos Lacustres de Tlaxcala", y se localizan en la parte central del estado de Tlaxcala, a los 19°24' de latitud norte y a los 98°18' de longitud oeste (fig. 1). Se sitúa en las tierras altas de la Faja Volcánica Mexicana, por encima de los 2,300 m. s. n. m. Las barrancas y otros cortes naturales que presenta el terreno en dicha zona, descubren numerosos afloramientos blanquecinos de diatomita, más o menos ligados entre sí, los que se observan en una extensión superficial de más de 75 Km² (Lozano-García 1946). La zona de referencia puede considerarse limitada por una línea que toque los siguientes lugares: Apizaco, ciudad de Tlaxcala y San Martín Texmelucan (fig. 1).

Los "Sedimentos Lacustres de Tlaxcala" son designados sedimentos piroclásticos granulosos que fueron depositados en lagos. Se observan en los escalones bajo las tobas y capas de lava del Cuaternario; constan de material piroclástico redepositado y predominan los sedimentos arcillosos, éstos se han originado de cristales volcánicos descompuestos. Especialmente característicos son los estratos arcillosos verdes en los que se ha formado el mineral nontronita, por lo que la sedimentación tuvo lugar en aguas salobres. Como hasta ahora no se han determinado otros fósiles, sólo puede ser supuesta una edad Pliocénica partiendo de su posición estratigráfica (Von Erffa *et al.* 1976). Sin embargo, parece ser que las diatomitas estudiadas son más recientes (Rico *et al.* 1995).

Las unidades estratigráficas más antiguas del Estado son rocas sedimentarias; en particular, 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 Terciario Superior (Mioceno). Las riolitas y tobas ácidas, que aparecen restringidas a unos cuantos afloramientos dentro del estado, pertenecen al Terciario Superior (Plioceno) (Secretaría de Programación y Presupuesto-SPP- 1981).

La región se halla dominada al oeste por los edificios volcánicos del Iztaccihualt, Popocatepelt y al norte por la Malitzin (SPP 1981). La formación de estos volcanes se inició en el Plioceno, aunque su actividad de fomento duró hasta el Holoceno (Heine *et al.* 1973; Miehllich 1974; y Aeppli & Schönals 1973 en Von Erffa 1976). En la base de la Malinche y en el Bloque de Tlaxcala fueron halladas ignimbritas que pueden ser consideradas como continuación de la gran capa de ignimbrita de la "Provincia Central" (Gunn & Mooser 1971 en Weyl 1976), y cuya edad puede ser por ello situada en el Plioceno. Según el análisis químico, no son en todo caso tan ricas en SiO₂ como las ignimbritas alcaliriolíticas de la Provincia Central (SPP 1981).

En este mismo periodo, los agentes de denudación fluviales y fluvio-glaciares iniciaron una actividad intensa que condujo a la nivelación de un relieve activo. Así se formaron grandes cuerpos de depósitos fluvio-glaciares (brechas sedimentarias) en las faldas de volcanes andesíticos como la Malinche, entre otros. La actividad volcánica basáltica comenzó en el Terciario Superior y alcanzó una gran intensidad en el Cuaternario (Pleistoceno), dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas. Durante los últimos derrames basálticos que hubo en Tlaxcala, se cerraron algunos valles y se formaron cuencas endorreicas, algunas de las cuales siguen siendo rellenadas por productos de la denudación del relieve, esto es, por aluviones y depósitos lacustres. Además de los volcanes, con sus aparatos y derrames lávicos, se presentan otras estructuras, como fallas y fracturas, que han contribuido a modelar el relieve del estado y están asociadas íntimamente con la actividad volcánica y tectónica continental (SPP 1981). Probablemente todo ello contribuyó a que la antigua cuenca lacustre desapareciera como tal por sucesivas deformaciones, plegamientos y alzamientos, hasta que el agua contenida en ella desaguó. Actualmente, el paleolago se encuentra adyacente a los "Sedimentos Lacustres de Tlaxcala". La diatomita cubre una gran extensión y no está bien determinado si los depósitos se sedimentaron en uno o en varios lagos. Hernández-Velasco (1955) y Ontiveros-Hernández (1964) mencionan que estos depósitos son de gran pureza y de un grosor considerable de hasta 25 metros. Lozano-García (1946) mencionan que el grosor es de 40 a 50 m., según se comprobó mediante varios sondeos que se practicaron en dichos depósitos con fines de explotación. Por todo ello, suponen que la existencia de esta cuenca lacustre debe haberse prolongado durante un periodo de tiempo considerable y haber contenido un volumen de agua más o menos permanente, sin que su nivel se viera afectado de manera muy notable por las temporadas alternas de lluvias y sequías, a juzgar por las grandes acumulaciones de restos de microorganismos que se descubren en la zona descrita. lo que sugiere un amplísimo desarrollo de vida vegetal, que sólo pudo realizarse en el seno de aguas tranquilas y persistentes. (Lozano-García 1946, Rico *et al.* 1995).

La proximidad de las minas de Santa Bárbara y El Lucero, actualmente sin explotación económica, y su composición florística, permiten suponer un mismo origen lacustre, al que se le ha denominado como Paleolago Tlaxcala (Rico *et al.* 1995).

Actualmente el clima de esta zona es templado subhúmedo con precipitaciones en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm. El régimen pluvial medio anual tiene una variación de entre 600 y 1 000 mm y la temperatura media anual fluctúa entre 12° y 16°. Los meses de junio, julio y agosto registran la mayor precipitación, que va de 150 a 160 mm, en tanto que febrero presenta la mínima de 5 mm. La más alta temperatura media mensual corresponde a abril y mayo, con un valor que oscila entre 18 y 19° C, y la mínima se presenta en enero, con una media entre 13 y 14° C (SPP 1981).

Estudios geomorfológicos, polínicos y climatológicos en esta zona permiten conocer que en los últimos 40,000 años se alternaron fases frías y cálidas, húmedas y secas que formaron las más diversas combinaciones entre ellas. Como resultado de estos estudios se ha logrado caracterizar una secuencia climática en relación con el clima actual y elaborar curvas de la variación del clima (fig. 2), basada en avances glaciares, fases de formación de suelos y en análisis polínicos. Además, se apoya en dataciones absolutas ^{14}C (Heine 1973).

En relación con los periodos climáticos, Klaus (1973) menciona que los anteriores fueron más fríos y húmedos y que las actuales condiciones climáticas se pueden considerar como "cálidas-secas". Las épocas de las glaciaciones fueron más frías, pues las formas criopedológicas y las crioturbaciones se encuentran en alturas que presuponen una baja de temperatura, por otro lado, muchas formas testimonian que las precipitaciones debieron ser más intensas que actualmente y, sobre todo, antes del período seco invernal. Solo las fuertes glaciaciones, con los largos valles glaciares bajo el límite de las nieves perennes, indican mayores precipitaciones, pues dada la relativa pequeñez de la zona de alimentación de los glaciares en los volcanes, sería inimaginable la formación de glaciares de hasta más de 10 km. de longitud en la relativamente pequeña masa volcánica de la Malinche. También supone, basándose en investigaciones tefracronológicas y estratigráficas, una correlación entre estas glaciaciones y los sedimentos lacustres en la cuenca de Puebla, lo que corrobora la sospecha de que durante las glaciaciones existían en dichas cuencas extensos lagos (Jaeger 1926, De Terra, Romero and Stewart 1949, en Heine 1973).

Debemos por tanto tener en cuenta estas modificaciones climáticas, sobre todo las más recientes, que pueden explicar determinadas características, a veces muy aparentes, de los suelos y de la morfología de esta región y no generalizar las observaciones actuales a los periodos más antiguos. Nos encontramos con los límites de aplicación del principio del uniformitarismo (Aubouin 1980).

(TOMADA DE LA LECTURA 1980)

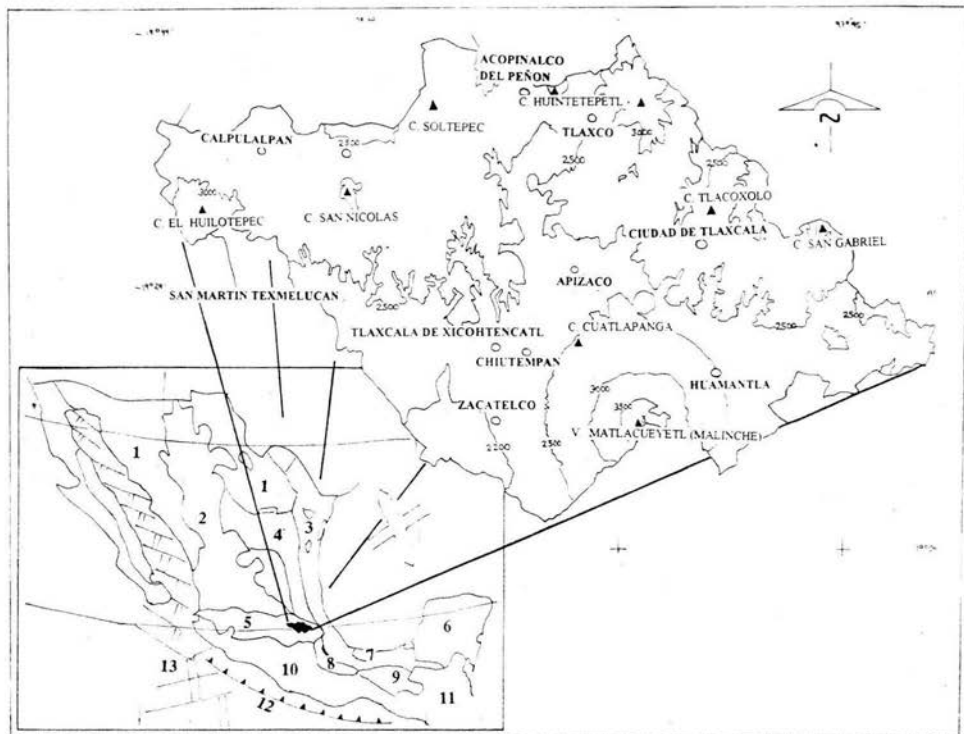
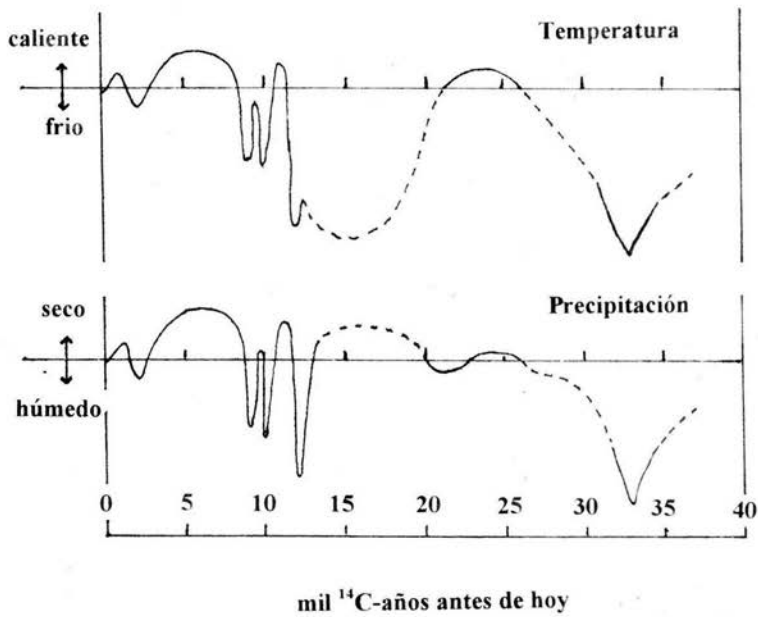


Fig. 1 Provincias fisiográficas de México. Principales elementos tectónicos y localización del yacimiento de diatomita de Tlaxcala: 1) Provincias de Cuencas y Sierras. 2) Sierra Madre Occidental. 3) Sierras y Valles de Coahuila. 4) Sierra Madre Oriental. 5) Cinturón Neovolcánico Mexicano. En proyección: Yacimiento de diatomita, mina el Lucero ($19^{\circ} 24'$ latitud N y $98^{\circ} 18'$ longitud O), Tlaxcala. 6) Plataforma de Yucatán. 7) Llanura Costera del Golfo. 8) Sierra de Juárez. 9) Sierra de Chiapas. 10) Sierra Madre del Sur. 11) Sistemas de Fallas Poloch-Motagua. 12) Trinchera de Acapulco. 13) Dorsal del Pacifico del Este (Modificado de Rico *et al.* 1991).

Fig. 2 Curvas de la variación del clima (indirectamente deducidas de datos geomorfológicos) (tomada de Heine, K. 1973).



MATERIAL Y METODOS

METODOLOGIA

El estudio se inició con la extracción directa de una muestra o bloquecito de diatomita en la sección inferior (a 158 cm del suelo) de la mina El Lucero del paleolago Tlaxcala. La muestra se tomó de manera que quedaran representadas en ella sucesos autóctonos (laminaciones blancas y grises) y alóctonos (por lo menos una laminación oscura, más gruesa, atribuida *a priori* a una erupción volcánica) (Fig. 3). El bloquecito se labró con un tamaño aproximado de 25 x 20 x 15 mm. Una longitud de alrededor de 25 mm corresponde a un lapso de más de 5 años (Edmonson y Allison 1970, Longmore 1986 y Margalef 1962); por ello, un estudio a microescala como éste (obtención de datos cada 0.25 mm para PIXE y TAC; y en cada laminación visible para los microfósiles) permitió un análisis exhaustivo necesario para la caracterización precisa de las laminaciones, trabajo previo fundamental para poder seguir con una investigación ulterior a gran escala.

Los análisis aplicados son:

- 1). Microscopia Electrónica de barrido (MEB) y de luz transmitida (MO)
- 2). Emisión de Rayos X inducida por protones (PIXE).
- 3). Difracción de Rayos X (DRX).
- 4). Tomografía Axial Computarizada (TAC).

1). El análisis mediante microscopia electronica de barrido (MEB) proporcionó informacion acerca de cuales fueron las especies que habitaron el lago y que dieron origen a los sedimentos. Este análisis se realizó con un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5300, ubicado en el Departamento de Física Experimental del Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM).

Las muestras se prepararon pegando con cinta de doble cara una alicuota de diatomita desmoronada sobre platinas metálicas (latón o aluminio). Se recubrió la muestra por medio de erosión iónica (sputtering) con una película delgada de metal (Ag) no mayor de 300 Å, se procedió a observar la muestra en el MEB.

La observación con microscopia de luz transmitida (MO), iluminación de Köhler y contraste de fases, permitió el conteo de paleorganismos, tanto en porcentaje de composición específica (abundancia relativa) como en número de organismos por especie.

Los microscopios utilizados fueron un fotomicroscopio marca ZEISS, modelo 111 y un microscopio estándar ZEISS, ubicados en el proyecto CyMA de la UNAM, Campus Iztacala.

Del bloquecito se tomaron muestras con alfileres (uno por cada muestra, para evitar la contaminación) en cada laminación distinguible. La técnica de montaje se basó en colocar una pequeña muestra encima de un cubre, se mezcló y esparció con agua destilada (puesto que la gran concentración de diatomeas hace que el mismo se amontone y sea imposible el conteo de las especies), se dejó evaporar sobre una parrilla a una temperatura relativamente baja, se agregó una gota del medio de alta refrigencia (Naphrax), evitando que burbujee, y se colocaron los cubreobjetos -de esta manera preparados- encima del portaobjetos (previamente marcado). Cada muestra se preparó con una réplica.

La determinación y el conteo de las especies de organismos, así como de su valor indicador de la ecología del lago donde vivieron se basó en la siguiente bibliografía: Abbot & Van Landingham 1972; Andrews 1966 y 1972, Bourrelly 1981; Bradbury 1988, Frenguelli 1941; Fryzell 1986; Genkal & Håkansson 1990; Germain 1981; Håkansson 1981, Håkansson *et al.* 1986; Håkansson & Kling 1989 y 1990; Harris 1986; Haworth 1983, Hustedt 1930, 1959 y 1961-1966; Kobayasi & Kobayashi 1987; Krammer & Lange-Bertalot 1986, 1988 y 1991; Lipsey 1988; Lowe 1974, Patrick & Reimer 1966 y 1975; Prescott 1973, Rivera *et al.* 1982; Round 1982; Round *et al.* 1991; Round & Håkansson 1992; Sabater 1991; Smith 1950, Stoermer *et al.* 1985, 1987 y 1989; Theriot & Stoermer 1982; Theriot *et al.* 1987; Theriot & Kociolek 1986; Van Heurk 1899; Weber 1971.

2). La emisión de rayos X inducida por protones (PIXE) permitió hacer un análisis elemental (composición atómica) de la diatomita, lo cual dio como resultado un mapeo unidimensional de las composiciones de los sedimentos; con esto se pueden identificar procesos alóctonos y autóctonos durante el desarrollo del lago en cuestión. Esta técnica se realizó mediante el acelerador Van de Graaf 0.7 MeV del Departamento de Física Experimental, Instituto de Física, UNAM (IFUNAM).

Para este estudio, el bloquecito se analizó directamente colocándolo en la cámara de PIXE. Se aplicó cada 0.25 mm en un transecto del bloquecito. Dentro del acelerador de protones hay una terminal de alto voltaje donde se bombea hidrógeno, el cual se disocia en electrones y protones; los electrones se mandan a tierra y quedan sólo protones, los cuales -mediante una banda- se transportan hasta la terminal, lo que provoca que ésta se cargue. Dentro de la terminal se encuentra una polla (botella de cuarzo), alrededor de la cual se da una radiofrecuencia (campo magnético); el gas es inyectado dentro de la polla, donde se ioniza en protones y neutrones; los protones se repelen debido a que dentro de la polla hay una carga positiva, los protones chocan con los anillos equipotenciales, los cuales aceleran la partícula (elevan su carga al doble). Mediante un deflector con imán se selecciona la carga y masa (0.7 MeV), se transportan las partículas por las líneas de vacío (para que las partículas no choquen con las moléculas de O₂). Las partículas llegan hasta la cámara de PIXE, en la cual se ha colocado la muestra en una posición que oscila de 35° a 45° del detector de silicio-litio. En esta cámara se les quita electrones a los núcleos de los átomos de

la muestra bombardeando la misma y produciendo un fotón (rayos X), cuyo conjunto da una energía definida característica de la muestra. Por medio de los detectores de silicio-litio, los cuales son sensibles a los rayos X, se convierten los rayos X en impulsos y se da una amplificación de éstos en el amplificador multicanal. Los impulsos amplificados llegan a la tarjeta multicanal, que separa y almacena los pulsos de determinada frecuencia (forma espectros) y los compara con los almacenados en la computadora, con lo cual sabemos a que elemento corresponde cada espectro (Miranda *et al* 1994, Rickards *et al.* 1990).

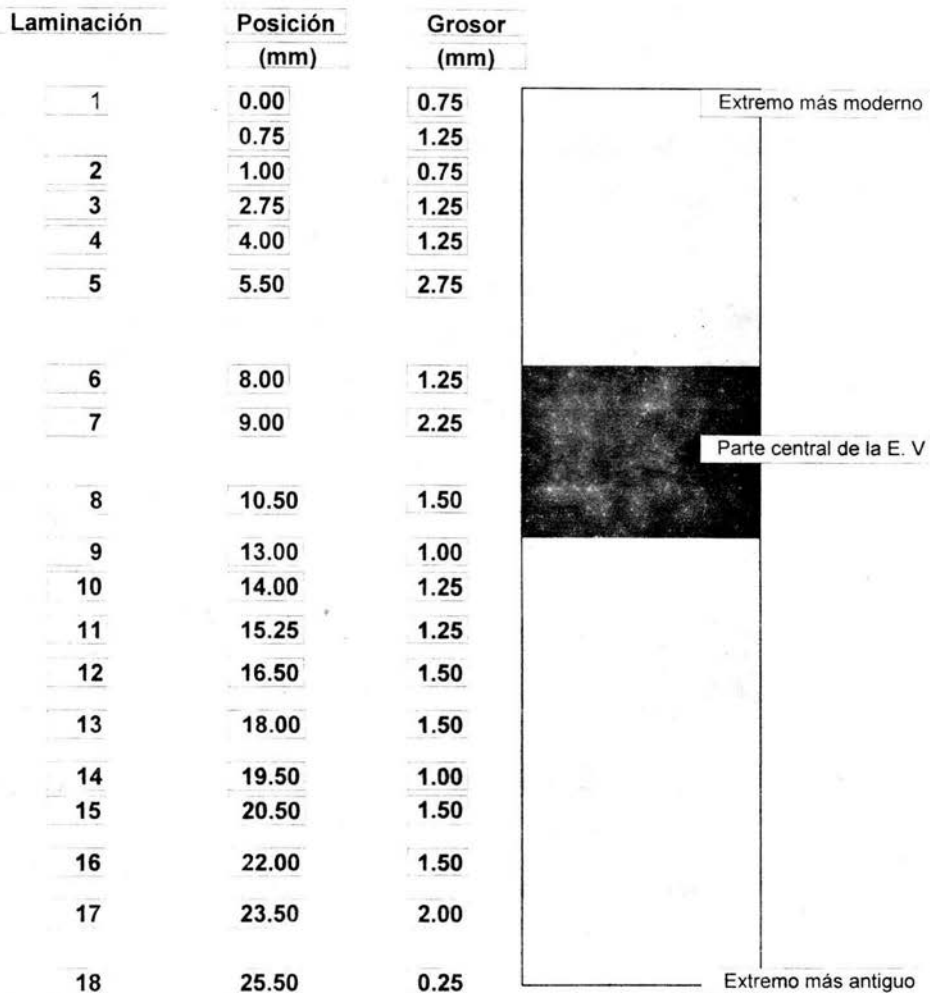
3). La difracción de Rayos X (DRX) auxilió mediante la identificación de especies minerales existentes en la diatomita. Esta técnica se realizó con un Difractómetro de Rayos X para polvos cristalinos, marca Siemens, modelo D 5000, ubicado en el IFUNAM. Se trabajó en condiciones de operación estándar 30 Kv, 20 mA,.

Se molieron alicuotas de las laminaciones identificadas visualmente como diferentes (blanca, gris y oscura) en un mortero de ágata. Se colocó la muestra (alrededor de 1 cm³) en la platina del difractómetro de rayos X, la cual gira para lograr un mayor número de planos de reflexión que cumplan con la ley de Bragg ('los rayos X que inciden en un plano cristalino a un ángulo theta (θ), son reflejados-en planos sucesivos ($2 d \sin \theta = n\lambda$ ')). La muestra se comporta como un espejo de rayos X, los cuales son captados por un detector. El difractómetro se conecta con una computadora, la cual grafica los fotones por segundo contra el ángulo de incidencia (difractograma). Cada pico del difractograma es el resultado de una reflexión por parte de una familia de planos, la cual es representativa de cada espécimen. La computadora posee una 'biblioteca' de más de 40,000 especímenes, contra los cuales compara cada pico del difractograma. El difractograma aparece en colores, un color por cada espécimen (Miranda *et al* 1994).

4). La tomografía axial computarizada (TAC) auxilió en la determinación de las diferentes capas que forman la diatomita, especialmente tratándose de muestras con ciertas dimensiones, que podrían estudiarse con PIXE o MEB. Esta técnica se realizó con un Tomógrafo marca TOSHIBA, modelo TCT-600XT. El equipo está ubicado en el Departamento de Neuroimagen del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía de la Secretaría de Salud. Para esta técnica, el bloquecito se analizó directamente colocándolo perpendicularmente en relación con el plano de emisión de rayos X. Se cambiaron las condiciones automáticas utilizadas para el análisis de cerebros humanos, con el fin de aumentar el tamaño de la imagen y disminuir el del pixel ('picture element': unidad básica para la que el tomógrafo hace las mediciones). Las condiciones de operación son: ventana de origen, 30-150; filtro para imagen 3 y para datos 2 (con el filtro² las imágenes no son de muy buena calidad, pero los datos son más discriminativos); velocidad de barrido, 6.0 sg; grosor de la capa analizada, 1 mm; corriente de cátodo, 200mA; voltaje, 120 kV; Tamaño ZOOM (ampliación de la imagen), 365 X 365. Una vez determinados los parámetros de operación, se eligieron tres transectos, según las laminaciones características (Miranda *et al.* 1994, Rico *et al.* 1993, Tollner 1991).

De todas las técnicas mencionadas, directamente me hice cargo de la observación en MEB y de la observación, determinación y conteo en MO los resultados de las demás técnicas me fueron facilitados para completar la información acerca de las laminaciones y para permitir correlacionar los datos biológicos con los químicos y de tomógrafo. Sin embargo, he participado en la obtención de datos posteriores a los utilizados en el presente trabajo, por lo cual se ha podido describir adecuadamente las técnicas implicadas. Se ha reportado que todas estas técnicas son complementarias entre sí en la caracterización de material de este tipo (Miranda *et al.* 1994 y en prensa).

Fig. 3 Laminaciones directamente visibles en el bloquecito estudiado mina El Lucero, Paleolago Tlaxcala.



RESULTADOS Y DISCUSION

En el bloquecito estudiado se determinaron un total de 121 taxa -entre géneros, especies y variedades- en una sección de aproximadamente 25 mm de altura (18 laminaciones detectadas), la cual podría asociarse con un lapso de tiempo transcurrido de aproximadamente 15 a 100 años (calculando un grosor promedio de deposición para lagos de 0.2 a 1.0 mm/año, Longmore 1986 y Margalef 1962, y restando el grosor de la capa prácticamente sin diatomeas, la cual se depositó por tal razón en menos de un año). A continuación se muestra la lista de especies agrupadas por su clasificación taxonómica con base en Bourrelly (1981) y Simonsen (1972) (en Werner 1977).

DIV. CRYSOPHYTA

SUBDIV. CRYSOPHYCOPHYTA

CLASE BACILLARIOPHYCEAE

SUBCLASE CENTROPHYCIDAE

ORDEN COSCINODISCALES (O EUPODISCALES)

Familia Thalassiosiraceae

Género *Stephanodiscus* Ehrenberg 1845

Especie *hantzschii* Grunow 1880

minutulus (Kützing) Cleve & Müller 1878

neoastraea Håkansson *et* Hickel 1986

parvus (Stoermer) Håkansson 1984

SUBCLASE PENNATOPHYCIDAE

ORDEN DIATOMALES (O ARAPHIDALES)

Familia Fragilariaceae

Género *Fragilaria* Lyngbye 1819

Especie *brevistriata* Grunow *in* Van Heurck 1885

capucina Desmazières 1925

cf. var. *mesolepta* (Rabenhorst) Rabenhorst 1864

var. 1

construens (Ehrenberg) Grunow 1862

aff. *construens* (Ehrenberg) Grunow 1862

var. *construens* (Ehrenberg) Hustedt 1957

var. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957
gourardii (Brébisson) Lange-Bertalot
leptostauron (Ehrenberg) Hustedt 1931
var. *leptostauron* (Ehrenberg) Hustedt 1931
pinnata Ehrenberg 1843
var. *pinnata* Ehrenberg 1843
var. 1
cf. *robusta* (Fusey) Manguin
sp. 1

Género *Synedra* Ehrenberg 1830
Especie *parasitica* (W. Smith) Hustedt 1930
pulchella (Ralfs) Kützing 1844
ulna (Nitzsch) Ehrenberg 1830
sp. 1

ORDEN ACHNANTHALES (O MONORAPHYDEAE)

Familia Achnanthaceae

Género *Achnanthes* Bory 1822
Especie cf. *affinis* Grunow in Cleve & Grunow 1880
conspicua A. Mayer 1919
exigua Grunow in Cleve & Grunow 1880
var. *exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880
cf. *flexella* (Kützing.) Brun 1880
cf. *inflata* (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880
lanceolata (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880
var. *lanceolata* (Brébisson) Grunow Grunow in
Cleve & Grunow 1880
var. *frequentissima* Lange-Bertalot 1991
var. *abbreviata* Reimer 1966
microcephala (Kützing) Grunow
var. *microcephala* (Kützing) Grunow
minutissima Kützing 1833
var. *minutissima* Kützing 1833
var. *gracillima* (Meister) Lange-Bertalot in
Krammer & Lange-Bertalot 1989
cf. *pseudoswazi* Carter 1963
ziegleri Lange-Bertalot 1991
sp. 1
sp. 2
sp. 3

Género *Cocconeis* Ehrenberg 1838
Especie *pediculus* Ehrenberg 1838 ?
placentula Ehrenberg 1838
var. *lineata* (Ehrenberg 1843) Van Heurck
1880-1885
pseudolineata Geitler 1927
tenistriata Geitler 1932

ORDEN NAVICULALES (O BIRAPHYDALES)

Familia Naviculaceae

Género *Amphora* Ehrenberg 1840
Especie *ovalis* (Kützing) Kützing 1844
var. *pediculus* (Kützing) Cleve 1985
veneta Kützing 1844
sp. 1

Género *Anomoeoneis* Pfitzer 1871
sphaerophora (Kützing) Pfitzner 1871
var. *sphaerophora* (Kützing) Pfitzner 1871
sp. 1

Género *Cymbella* C. Agardh 1830
Especie *cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878
cymbiformis Agardh 1830
var. *cymbiformis* Agardh 1830
mexicana (Ehrenberg) Cleve 1894
var. *mexicana* (Ehrenberg) Cleve 1894
microcephala Grunow in Van Heurck 1880
muellerii Hustedt 1938
var. *muellerii* Hustedt 1938
var. 1
schimanskii Krammer 1982
sp. 1
sp. 2

Género *Gomphonema* Ehrenberg 1831
affine Kützing 1844
angustatum (Kützing) Rabenhorst 1864
angustum Agardh 1831
gracile Ehrenberg 1838
aff. *insigne* Gregory 1856
lanceolatum (Ehrenberg) Kützing 1844
olivaceum (Hornemann) Brébisson 1838

parvulum Kützing 1849
saubclavatum (Grunow) Grunow 1880
 var. *mexicanum* (Grunow) Patrick 1961
sp. 1
sp. 2
sp. 3

Género *Navicula* Bory 1822

Especie *cary* Ehrenberg 1836
cuspidata (Kützing) Kützing 1844
cf. *declivis* Hustedt 1934
cf. *dolomitica* Bock 1970
exigua (Gregory) Grunow in Van Heurck 1880
grimmei Krasske 1925
hungarica Grunow 1962
aff. *hustedtii* Krasske 1923
laevissima Kützing 1844
 var. *laevissima* Kützing 1844
mutica Kützing 1844
 var. *mutica* Kützing 1844
 var. *ventricosa* (Kützing 1844) Cleve &
 Grunow 1880
nivalis Ehrenberg 1854
aff. *pseudolanceolata* Lange-Bertalot 1980
 aff var. *pseudolanceolata* Lange-Bertalot 1980
pseudonivalis Bock 1970
radiosa Kützing 1844
 var. *tenella* (Brébisson ex Kützing) Van Heurck
 1885
Porifera Hustedt 1944
 var. *opportuna* (Hustedt) Lange-Bertalot 1985
pupula Kützing 1844
sp. 1

Género *Neidium* Pfitzer 1871

sp. 1

Género *Pinnularia* Ehrenberg 1843 Ehrenberg, nom. cons.

Especie *borealis* Ehrenberg 1841
braunii (Grunow) Cleve 1895
viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1841
 var. 1

Género *Stauroneis* Ehrenberg 1843

sp. 1

Familia Epithemiaceae

Género *Denticula* Kützing 1844

Especie *elegans* Kützing 1844

kuetzingii Grunow 1862

sp. 1

Género *Epithemia* Brébisson 1838

Especie *argus* (Ehrenberg) Kützing 1844

turgida (Ehrenberg) Kützing 1844

zebra (Ehrenberg) Kützing 1844

var. *porcellus* (Kützing) Grunow 1862

zebra (Ehrenberg) Kützing 1844

sp. 1

Género *Rhopalodia* O. Müller 1895

Especie *gibba* (Ehrenberg) O. Müller 1895

gibberula (Ehrenberg) O. Müller 1900

var. 1

Familia Nitzschiaceae

Género *Cymbellonitzschia* Hustedt in A. Schmidtetal 1924

Especie *dihuviana* Hustedt 1950

Género *Hantzschia* Grunow 1877

Especie *amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow
1880

sp. 1

Género *Nitzschia* Hassall 1845

Especie *amphibia* Grunow 1862

var. *amphibia* Grunow 1862

f. *fraunfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot 1987

cf. *amphibioides* Hustedt 1942

angustata (W. Smith) Grunow in Cleve & Grunow 1880

aff. *angustata* (W. Smith) Grunow in Cleve & Grunow
1880

Frustulum (Kützing) Grunow in Van Heurck 1881

palea (Kützing) W. Smith 1856

cf. *inconspicua* Grunow 1862

intermedia Hantesch ex Cleve & Grunow 1880

linearis (Agardh) W. Smith 1853

var. *subtilis* (Grunow) Hustedt 1923

Tropica Hustedt 1949
sinuata (Thwaites? in W. Smith) Grunow in Cleve
& Grunow 1880
var. *delognei* (Grunow) Lange-Bertalot 1980
cf. *sublinearis* Hustedt 1930
cf. *supralitorea* Lange-Bertalot 1979
cf. *vermicularis* (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1860
sp. 1
sp. 2

Familia Surirellaceae

Género *Surirella* Turpin 1828
sp. 1

La lista de los taxa agrupados alfabéticamente por abundancia se muestra a continuación:

Menos del 2 %

Anomoeoneis sphaerophora var. *sphaerophora*, *Anomoeoneis* sp. 1; *Achnanthes exigua* var. *exigua*, *A. lanceolata* var. *frequentissima* (*A. lanceolata* ssp. *frequentissima* var. *frequentissima*¹), *A. lanceolata* var. *abbreviata* (*A. lanceolata* ssp. *robusta* var. *abbreviata*²), *A. lanceolata* var. *lanceolata*, *A. conspicua*, *A. cf. affinis*, *A. minutissima* var. *minutissima*, *A. minutissima* var. *gracillima*, *A. cf. pseudoswazi*, *A. ziegleri*, *Achnanthes* sp. 1, *Achnanthes* sp. 2, *Achnanthes* sp. 3; *Amphora veneta*, *Amphora* sp. 1; *Cymbella muellerii* var. *muellerii*, *C. microcephala*, *C. schimanskii*, *Cymbella* sp. 1 *Cymbella* sp. 2; *Cymbellonitzschia diluviana*; *Cocconeis pediculus* var. *pediculus*; *Denticula* cf. *tenuis*, *Denticula* sp. 1; *Epithemia turgida*, *Epithemia* sp. 1; *Fragilaria consruens* var. *construens*, *F. aff. construens*, *F. capucina* var. *mesolepta*, *F. brevistriata*, *F. pinnata* var. *pinnata*, *F. lepstostaurum* var. *lepstostaurum*, *F. cf. gourardii*, *F. cf. robusta*, *Fragilaria* sp. 1; *Gomphonema angustum*, *G. affine*, *G. subclavatum* var. *mexicanum*, *G. gracile*, *G. aff. insigne*, *G. lanceolatum*, *G. olivaceum*, *Gomphonema* sp. 1, *Gomphonema* sp. 2, *Gomphonema* sp. 3; *Hantzschia amphioxys*, *Hantzschia* sp. 1; *Navicula* cf. *cary*, *N. cuspidata*, *N. cf. dolomitica*, *N. exigua* var. *capitata*, *N. hungarica*, *N. aff. hustedtii*, *N. laevissima* var. *laevissima*³, *N. pupula*, *N. nivalis*³, *N. pseudonivalis*, *N. grimmei*, *N. mutica* var. *ventricosa*, *N. aff. pseudolanceolata* var. *pseudolanceolata*, *N. cf. declivis*, *N. porifera* var. *opportuna*, *N.* sp. 1; *Neidium* sp. 1; *Nitzschia angustata*, *Nitzschia* aff. *angustata*, *N. cf. amphibioides*, *N. frustulum*, *N. cf. inconspicua*, *N. intermedia*, *N. linearis* var. *subtilis*, *N. palea*, *N. cf. sublinearis*, *N. sinuata* var. *delognei*, *N. cf. supralitorea*, *N. tropica*, *N. cf. vermicularis*, *Nitzschia* sp. 1, *Nitzschia* sp. 2, *Nitzschia* sp. 3; *Pinnularia*

borealis, *P. braunii*, *Pinnularia viridis* var. 1; *Stauroneis* sp 1.; *Stephanodiscus hanzschii*, *S. neoastraea*; *Surirella* sp. 1; *Rhopalodia gibberula*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia* sp.1.

Del 2 al 9 %

Achnanthes microcephala var. *microcephala*; *Amphora ovalis* var. *pediculus*; *Cymbella cymbiformis* var. *cymbiformis*, *C. mexicana* var. *mexicana*, *C. muellerii* var 1; *Cocconeis placentula*, *C. placentula* var (var. *lineata* +³ var. *pseudolineata* +³ var. *temuistriata*); *Denticula elegans*, *Epithemia argus*, *E. zebra* var. *porcellus* +³ *E. zebra* var. *zebra*; *Fragilaria construens* var. *venter*; *Gomphonema parvulum*; *Navicula radiosa* var. *tenella*, *N. mutica* var. *mutica* +³ *N. mutica* var. *ventricosa*; *Nitzschia amphibia* var. *amphibia*.

Del 10 al 39 %

Cymbella cystula, *Gomphonema parvulum* +³ *G. angustatum*, *Nitzschia denticula*, *Pinnularia viridis*, *Stephanodiscus. minutulus*.

40 ó más

Fragilaria capucina var. 1, *Stephanodiscus minutulus* +³ *S. parvus*.

Los resultados de los conteos relativos se muestran en las figs. 4 y 5. En ellas se graficaron las especies que presentaron un mínimo del 2% (se consideró este porcentaje con base a los trabajos de Metcalfe 1991, 1992; Metcalfe *et al.* 1991 y Rico *et al.* en prensa) en alguna de las laminaciones, y su porcentaje se refirió a la posición de la muestra en el bloquecito. En dichas figuras, así como en la fig. 6, se clasificaron las especies con base en su intervalo de adaptación al pH (indiferentes al pH, alcalinófilas, con óptimo desarrollo en pH superiores a 7; alcalinobiontes, organismos que pueden estar presentes, pero no alcanzan su óptimo desarrollo en pH superior a 7) y a su hábitat (epífita, viven sobre plantas acuáticas; bentónicas, sobre el sustrato o rocas; planctónicas, formas suspendidas)

Tockner & Benson (1971, 1972 en Battarbee 1986) proponen un cociente de diatomeas araphideas (A) - centrales (C) como índice de eutrofización, el cual se ha aplicado a la interpretación de los restos conservados en el sedimento de lagos ingleses y del lago Washington (Margalef, 1983). La fig. 7 muestra la relación entre las diatomeas centrales, araphideas y pennales.

¹ Citado en Krammer & Lange-Bertalot 1991. pág. 78.

² Citado en Krammer & Lange-Bertalot 1991. pág. 79

³ Se contaron juntas estas especies debido a que son muy parecidos algunos de sus morfotipos.

Fig. 4 Porcentaje (más del 2%) de especies alcalinófilas más abundantes en la sección estudiada.

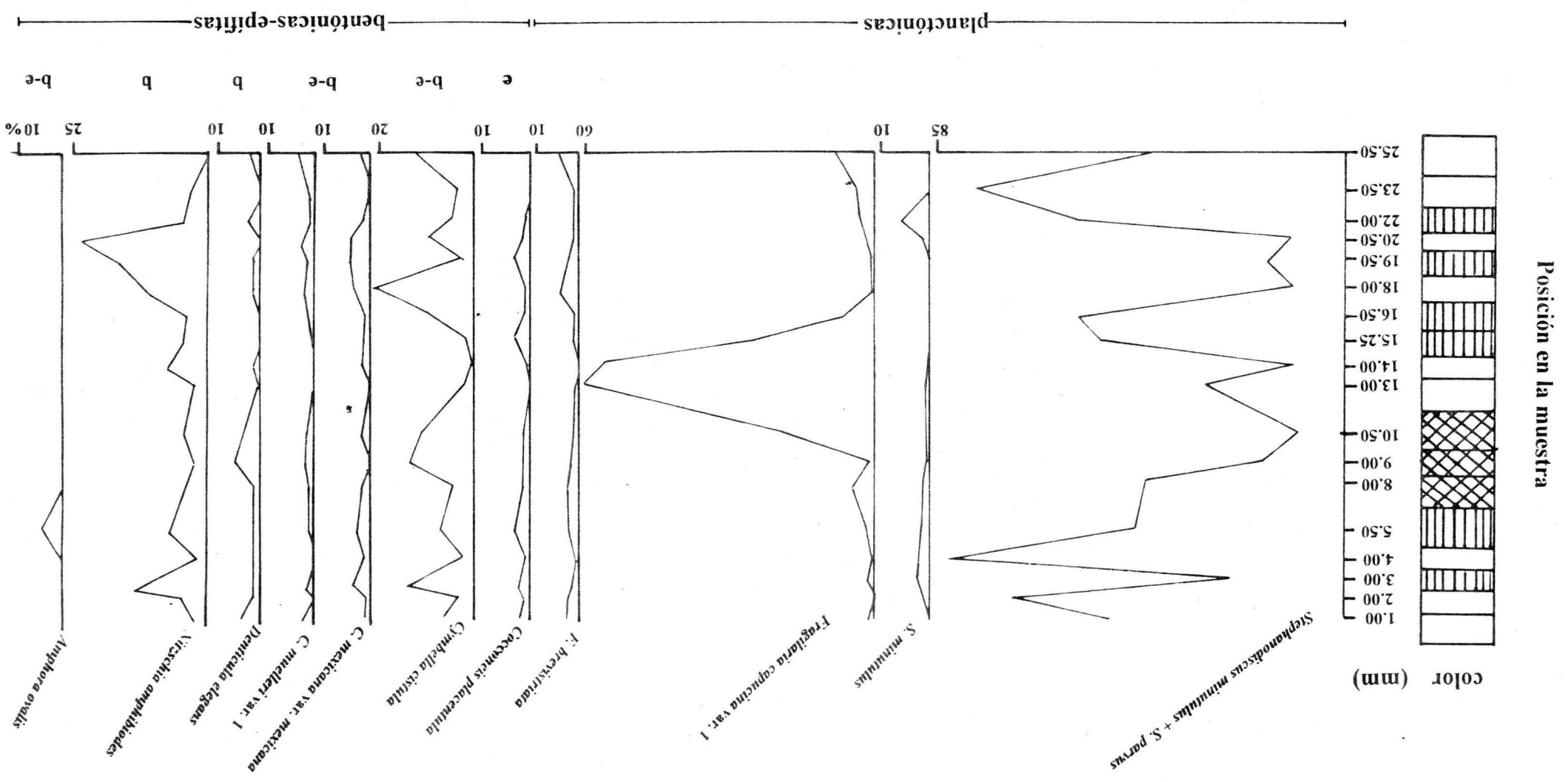


Fig. 5 Porcentaje (más del 2%) de especies alcalinófilas-alcalinobiónticas, alcalinófilas-indiferentes e indiferentes en la sección estudiada.

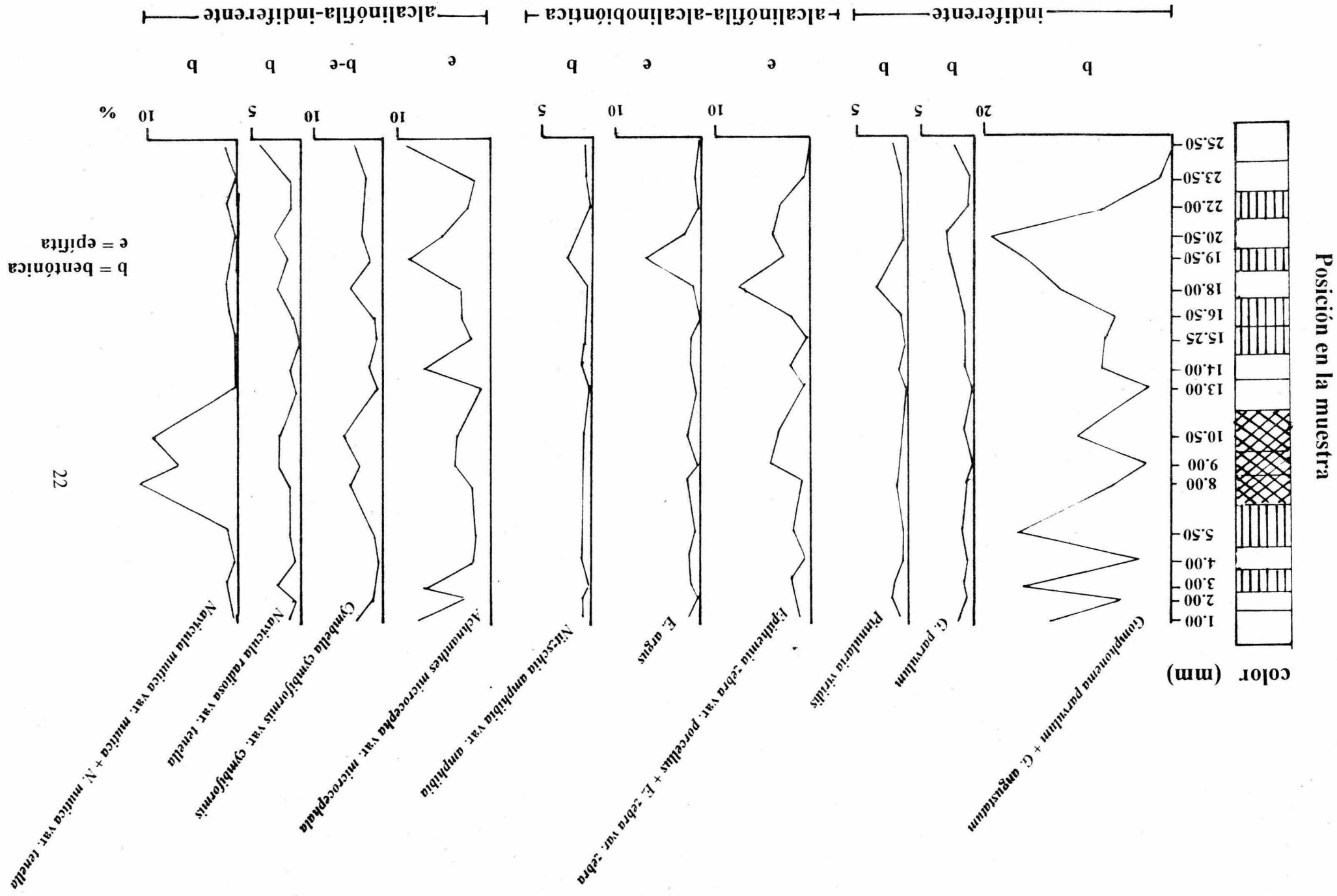


Fig. 6 Porcentajes (%) de especies clasificadas de acuerdo a su intervalo de adaptación al pH.

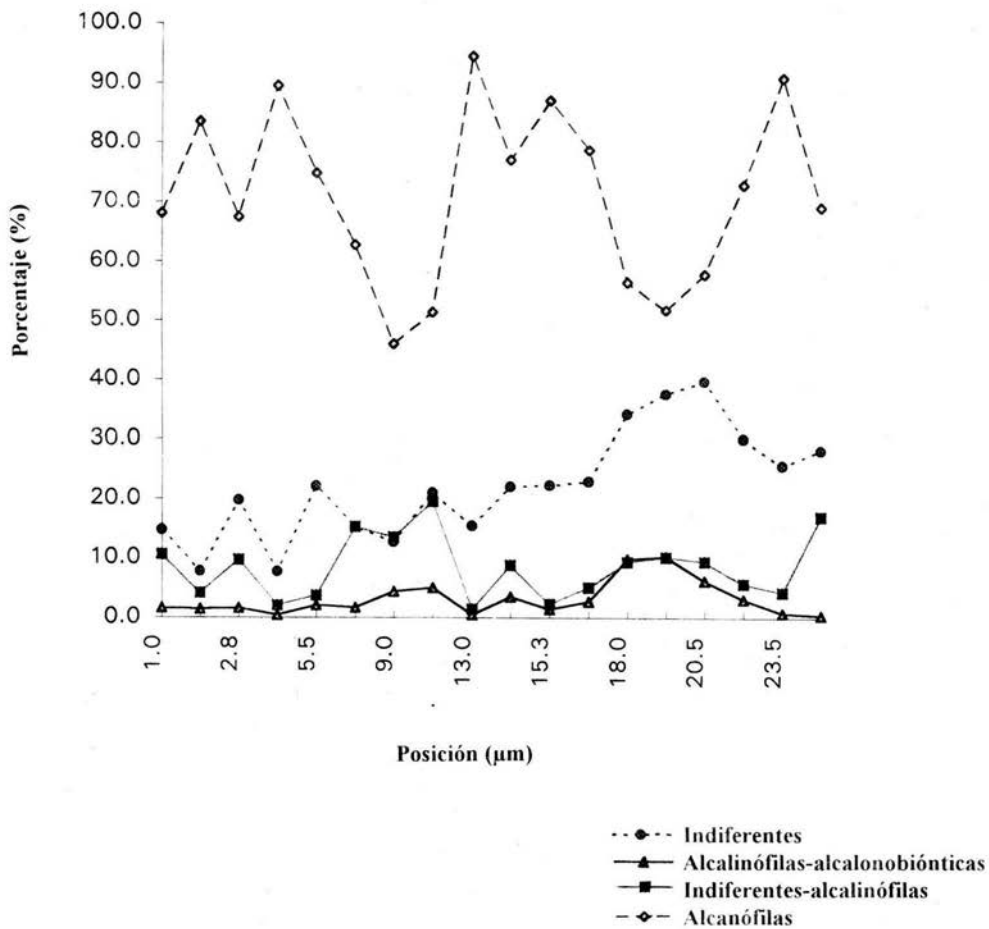
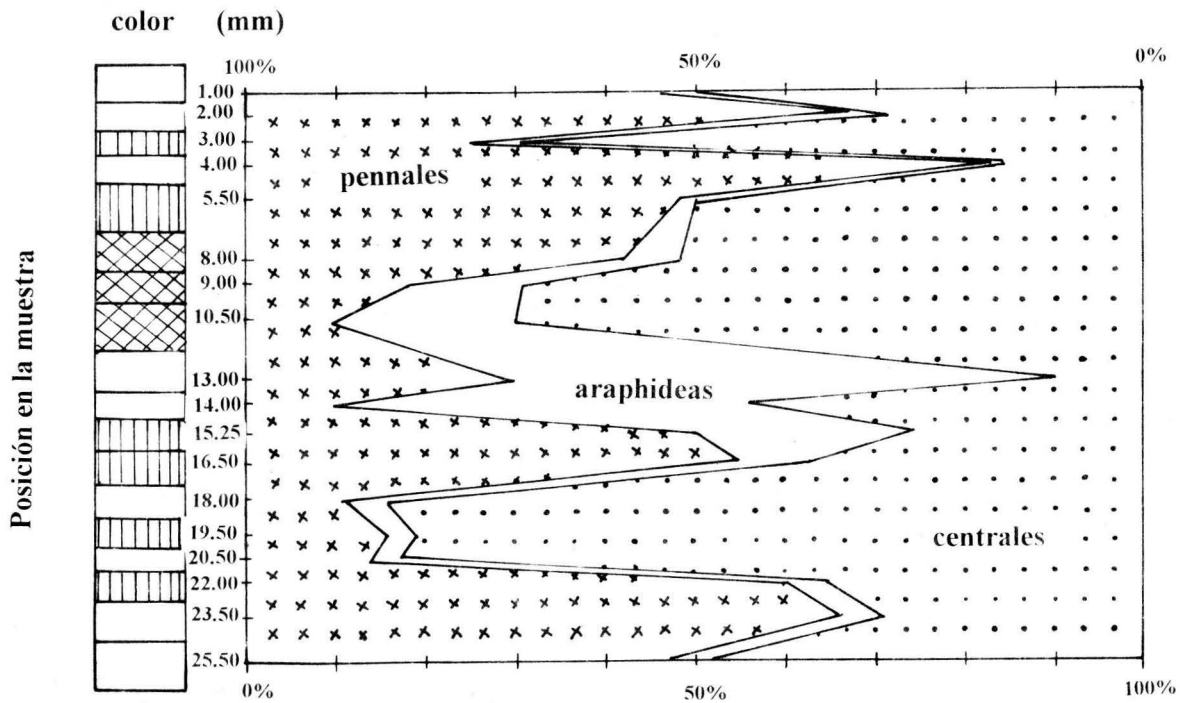
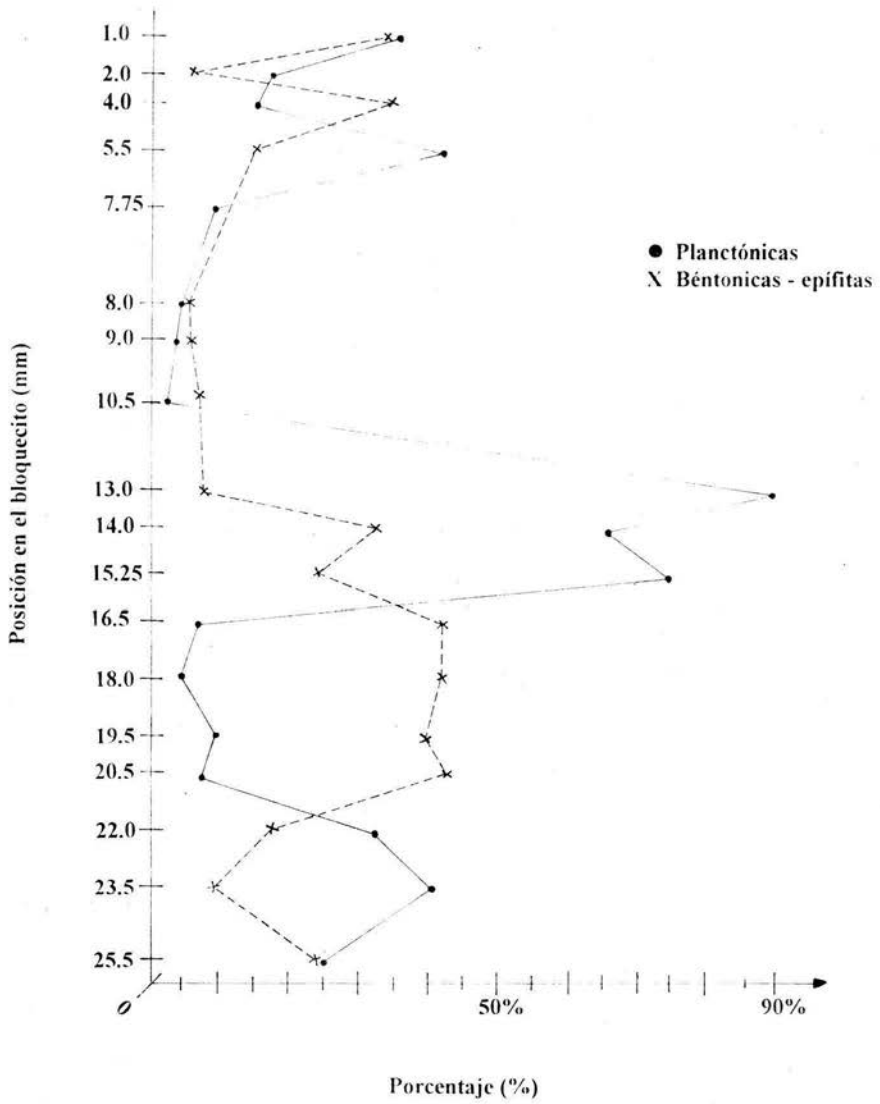


Fig. 7 Relación entre los porcentajes de diatomeas centrales, araphideas y pennales.



**Fig. 8 Variación de la función del porcentaje (%) de diatomeas
plactónicas y béntonicas-epífitas (ver texto para explicación).**



En el apéndice II se discute la determinación de las especies cuya abundancia permitió tomar datos suficientes de la morfología, en una lista comentada de las especies, con datos de distribución y ecológicos, cuando los hubo en la bibliografía consultada.

Otros restos de organismos fósiles observados fueron quistes de crisofíceas y espículas de esponjas. Tanto unos como otras aparecieron en bajas cantidades. En el caso particular de las espículas de esponjas, sólo se observaron macroescleras y la mayoría aparecieron rotas; por tal razón, fue imposible llegar siquiera a género. Los quistes de crisofíceas pertenecen a dos tipos diferentes, parecidos en morfología a los denominados estomatoquiste 46 (que también coincide en el tamaño) y 116A (que no coincide con el tamaño, pues el nuestro resultó más pequeño) (Duff *et al.* 1995). La distribución de medidas y el número observado de los mismos en cada preparación (cantidad relativa que siempre fue muy inferior al 2%) se muestra en la tabla 1. No se pudo diferenciar entre ambos quistes por que su tamaño era similar y la forma general redondeada también, diferenciándose únicamente por la presencia de un collar en el estoma en el estomatoquiste 116A, y careciendo de ella el 46.

Tabla 1 Relación de estomatoquistes aff.116 A+ 46, con la posición en el bloque estudiado

Posición	Diámetro promedio (µm)	No. de quistes por muestra
0.0	0	0
1.0	4	1
2.75	0	0
4.0	0	0
5.5	3.5	3
8.0	4.5	4
9.0	4	6
10.5	4.5	3
13.0	4.5	3
14.0	4	1
15.25	5.5	1
16.5	0	0
18.0	0	0
19.5	0	0
20.5	0	0
22.0	5	1
23.5	0	0
25.5	0	0

Se generó una función del % (función “% / abundancia”) mediante la observación directa de la cantidad de especies planctónicas y bentónicas-epifitas (fig. 8) con base en Andrews (1972, abundante = por lo menos un espécimen en cada campo óptico, común = por lo menos un espécimen cada 2 a 5 campos; frecuente = varios especímenes observados en toda la preparación; rara = sólo 1 ó 2 especímenes observados en toda la preparación), de la siguiente forma:

Especie	abundancia	El % calculado se divide por
rara	+	100
frecuente	++	20
común	+++	2
abundante	++++	1

Esto con el fin de que los datos obtenidos en los conteos para las diferentes laminaciones fueran representativos de las condiciones imperantes en cada una de ellas (estimá de la abundancia real).

Por último, se correlacionaron los porcentajes de especies planctónicas, de bentónicas-epifitas, de *Fragilaria capucina* var. 1 y *Stephanodiscus minutulus* + *S. parvus*, con los transectos de densidad de rayos X y de % ponderal de átomos; los resultados se muestran en la tabla No. 2:

Tabla 2 Correlación del conjunto de especies planctónicas , bentónicas-epifitas y las especies abundantes (>40%) con el transecto de densidad de rayos X. c/f, valor transformado con la función “abundancia/%”; s/f = valores de abundancia relativa, sin la transformación mencionada.

prueba estadística		Filas de correlación de coeficiente de Spearman			
no paramétrica					
Parejas de variables		Valor	Spearman		
		N	R	t (N-2)	nivel-p
Planctónicas c/f	U. H.	17	-0.543225	-2.50588	0.024223
<i>S. minutulus</i> + <i>S. parvus</i> c/f	U. H.	17	-0.511343	-2.30449	0.035911
<i>F. capucina</i> var. 1 c/f	U. H.	17	-0.746929	-4.35077	0.000571
<i>F. capucina</i> var. 1 s/f	U. H.	17	-0.486188	-2.15482	0.047836

En la fig. 9 (apéndice 1) se observa la composición atómica (% ponderal) cada 0.25 mm de la sección que va de la zona oscura a la base de la sección estudiada. En la fig. 10 (apéndice 1) se muestran los resultados de la aplicación de la difracción de rayos X a material molido del tipo blanco, gris y oscuro. En la fig. 11 (apéndice 1), la gráfica de los tres transectos obtenidos con la tomografía axial computarizada (unidades relativas Hounsfield, U. H.) cada 0.25 mm (Rico *et al.* 1993, Miranda *et al.* 1994).

Los valores del transecto que más se acercó a la medición de PIXE (T-289) se correlacionaron con los % ponderales de átomos determinados. Los resultados de dicha correlación se muestran en la tabla 3 y la figura 12 (ambas en el apéndice 1) (obtenidas mediante el programa CSS).

ANÁLISIS ATÓMICO, MINERALÓGICO Y DE DENSIDAD DE RAYOS X DE LAS LAMINACIONES REPRESENTATIVAS DE LA FRACCIÓN ESTUDIADA

En la capa más oscura se detecta el incremento de Ti y Mn, de Fe y -en menor medida- de Ca y K. Asimismo, en esta capa disminuye relativamente la cantidad de Si y aumenta la de Al (análisis PIXE, fig. 9). Las cantidades de dichos elementos son similares a las determinadas por Von Erffa *et al.* (1976) para materiales de origen volcánico en la zona de Puebla-Tlaxcala. Asimismo, el análisis de difracción de rayos X para la capa oscura (fig. 10) muestra una composición cristalina, con picos correspondientes a la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y ortoclasa (KAlSi_3O_8). La anortita se presenta comúnmente con la albita en rocas de origen ígneo, y la ortoclasa es un producto secundario de cristalización de las rocas ígneas. Dichos minerales son de origen volcánico (Hulbert & Klein 1990). Se detectaron también cristobalita -producto de la diagénesis de la diatomita-, tridimita -otra forma de SiO_2 usualmente asociada con la cristobalita- y montmorillonita, común en los sedimentos de lagos de naturaleza alcalina (Miranda *et al.* 1994).

Las capas blancas y grises presentan una menor cantidad de Fe, Ca y K. El Al desaparece totalmente en la capa blanca, y se encuentra en proporciones bajas pero variables en la zona con alternancia de capas blancas y grises (fig. 9). El difractograma (fig. 10) muestra una composición mineralógica amorfa, coincidente con el material que construye los frústulos: SiO_2 hidratado u ópalo (Miranda *et al.* 1994).

El análisis de densidad de rayos X mediante el Tomógrafo Axial Computarizado (fig. 11) señala una buena coincidencia visual entre los tres transectos repetidos, con un incremento considerable de la densidad en la capa oscura, una disminución en la capa blanca previa a la oscura, y una oscilación de valores en la zona de alternancia de capas blancas y grises.

Se correlacionó mediante una R de Spearman (no paramétrica) los valores del transecto de densidad de rayos X más cercano al transecto de PIXE, así como a los elementos detectados entre sí. Los resultados cuyo nivel de significación fue inferior a 0.05 se muestran en la tabla 3 y en la fig. 12. Destacan las correlaciones altas negativas entre el Al y el Si (-0.97), que indican una clara diferenciación entre las laminaciones oscuras y las

blancas/grises; la negativa entre el Ti y Fe con el Si (-0.81 y -0.82 respectivamente), diferenciando asimismo las laminaciones oscuras de las blancas/grises; la positiva entre Ti y Al (0.80), con la misma indicación que las anteriores.

CARACTERIZACIÓN DE LAS LAMINACIONES REPRESENTATIVAS DE LA FRACCIÓN ESTUDIADA CON BASE EN LAS ESPECIES INDICADORAS Y LOS DATOS PROPORCIONADOS POR LAS METODOLOGÍAS ANALIZADAS

En las figs. 4 y 5 se observa que las especies dominantes (*Fragilaria capucina* var 1 y *Stephanodiscus minutulus*+* *S. parvus*) y la mitad de las comunes (*Cymbella cistula* y *Nitzschia amphibioides*) son alcalinófilas, es decir, adaptadas a vivir en un pH superior a 7. *Gomphonema parvulum* + *G. angustatum* y *Pinnularia viridis* var. *viridis* son indiferentes al pH, es decir, pueden encontrarse indistintamente en cualquier ambiente desde ácido a alcalino. Ello indica que el paleolago Tlaxcala fue un lago de aguas dulces con valores elevados de alcalinidad, probablemente del tipo que actualmente encontramos en la Faja Volcánica Mexicana, con pH entre 7 y 8, los bicarbonatos como anión dominante y valores de sulfatos y cloruros superiores a 50 mg l⁻¹ (Vilaclara *et al.* 1993): aguas mineralizadas sin llegar a ser salobres, cuyo catión dominante es el sodio. La fig. 6 resume tales tendencias para el total de especies encontradas, donde se observa que a las especies alcalinófilas les siguen muy por debajo las indiferentes.

En la sección estudiada (figs. 4 y 5) dominaron las especies centrales (*Stephanodiscus minutulus* y *S. parvus*) y las arafideas (*Fragilaria* spp.), consideradas en ambos casos especies planctónicas (Hürlimann 1991, Patrick 1971 en Weber 1971). Menos abundantes resultaron las especies epífitas (*Achnanthes microcephala* var. *microcephala*, *Cocconeis placentula* y *Epithemia* spp.), epifito-bentónicas (*Gomphonema parvulum* y *G. angustatum*, *Cymbella cistula*, *C. muelleri* var. 1 y *C. mexicana* var. *mexicana*) y las bentónicas (*Navicula* spp., *Nitzschia* spp. y *Pinnularia viridis* var. *viridis*). En la fig. 6 se resumen dichas tendencias, aplicando -además- la función "abundancia/%" descrita en los resultados: las especies de diatomeas prácticamente desaparecen en la zona oscura, y se observa una tendencia a que se alternen planctónicas y bentónico-epífitas en las zonas blancas y grises.

Se esperaba encontrar una mayor abundancia de especies planctónicas en las laminaciones blancas, y su disminución en las grises. Visualmente se determinó el color por comparación con las laminaciones vecinas, lo cual da una baja precisión en la repetición de los colores: es decir, al lado de una lámina muy blanca, otra lámina blanca se determina como más oscura, mientras que sería simplemente blanca observada al lado de una oscura. Es más preciso el análisis de los valores de absorción de rayos X medidos con el TAC; sin embargo, la forma de muestrear para el TAC y para la observación biológica fueron muy disímiles, lo cual quedó plasmado en los resultados de las correlaciones de los valores en U. H. con los porcentajes de diatomeas planctónicas y bentónicas: las correlaciones significativas ($p < 0.05$, $N=18$, tabla 2) fueron negativas para *Stephanodiscus minutulus*+ *S. parvus* (-0.49) y para *Fragilaria capucina* var. 1 (-0.75) (ambas modificadas con la función "abundancia/%"), lo cual indica, *grosso modo*, que a mayor densidad de rayos X se da una

menor cantidad de diatomeas planctónicas. Tal relación no se repitió con las epifito-planctónicas.

Justo antes y después de la erupción volcánica (E.V.), se da un cambio cuali- y cuantitativo de especies en las laminaciones. Mientras en la blanca anterior a la E.V. domina *Fragilaria capucina* var. 1, inmediatamente después desaparece y aparecen *Navicula mutica* var. *mutica*, *N. mutica* var. *ventricosa*, *Hantzschia amphyois* y *Nitzschia amphibia* var. *amphibia*, reportadas las tres como tolerantes a la desecación (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Maidana com. pers., Patrick 1971 en Weber 1971). Vemos entonces que después de la E.V. aparecen nuevas especies, a la vez que decrecienta la cantidad de las especies observadas previo a la E.V. Sin embargo, las nuevas especies a su vez dejan de observarse a medida que nos alejamos de la E.V., recuperándose los porcentajes de las especies características de la zona anterior a la E.V.

La gran cantidad de especies observadas en una sección aparentemente pequeña del paleolago Tlaxcala se explica por la presencia de perturbaciones en el mismo, en este caso, una erupción volcánica que afectó masivamente el paleolago. Dichas perturbaciones modifican la distribución de las especies, disminuyendo la dominancia de algunas de ellas para favorecer el crecimiento de otras. Yacimientos de diatomita como los de Zacoalco, Jalisco, muy homogéneos y no perturbados, presentan un número significativamente menor de especies (inferior a 20, Rico *et al.* en preparación). Por último, después de la E.V., *Stephanodiscus minutulus*+ *S. parvus* presentó únicamente formas de pequeño tamaño (3-4 µm de diámetro), lo cual podría interpretarse como que las condiciones no favorecieron la reproducción sexual (Theriot & Stoermer 1981).

En toda la sección estudiada, cuando disminuyen las planctónicas y aumentan las epifito-planctónicas, correlativamente se detecta un incremento de las especies de *Cymbella*, reportadas como características de hábitats bien oxigenados (Maidana com. pers., Krammer & Lange-Bertalot 1986). También *Achnanthes microcephala* var. *microcephala* indica, con su presencia, ambientes oxigenados (Lowe 1974).

En relación con el estado saprotrofico, la mayoría de las especies determinadas son de aguas meso-eutróficas, es decir, adaptadas a cantidades considerables de nutrientes. Según Sládeček *et al.* (1981), son oligosaprobias, esto es, se han adaptado a cantidades pequeñas de materia orgánica en el medio, lo cual coincide con la presencia de especies indicadoras de condiciones de elevada oxigenación.

En la fig. 7 se observa que la relación centrales/pennales es mayor en prácticamente todas las laminaciones, disminuyendo sólo en casi todas las blancas, a excepción de las laminaciones muy blancas que se encuentran justo antes de la erupción volcánica (en donde domina *Fragilaria* spp.). Sin embargo esta relación no es muy confiable ya que Bruggam & Patterson (1983) demostraron que el incremento diferencial de arafideas o céntricas dependerá de la alcalinidad (en lagos con baja alcalinidad se obtienen valores altos en la relación A/C), por lo que su uso se ha limitado a indicador de eutrofización en lagos de baja alcalinidad.

COMPARACION ENTRE LAS METODOLOGIAS ANALIZADAS

Las metodologías de PIXE y de XRD se complementan, puesto que dan resultados de la composición atómica ponderal, así como de la composición mineralógica, y ambas son entonces necesarias para caracterizar -desde el punto de vista geológico- las diferentes laminaciones. La densidad de rayos X obtenidas con el TAC no da información directa de la composición de las laminaciones, sino que resulta de la función de la cantidad de aire que contienen (mayor cuanto más elevado sea el número de frústulos), de la densidad de los materiales acumulados y su grado de compactación. Las desventajas que presenta el PIXE es el consumo de tiempo que conlleva el análisis, lo complicado de los cálculos que se realizan en computadora y con programas sofisticados, así como los elevados costos de mantenimiento y operación del Acelerador Van der Graaf. Asimismo, la DRX requiere inversión de tiempo para la preparación de las muestras, su análisis en el difractor y la aplicación de sofisticados programas que permiten deducir los especímenes mineralógicos dominantes. La ventaja que presenta el TAC -una vez estandarizada la técnica- es la rapidez y facilidad con que se obtienen los datos de densidad de rayos X, por ejemplo, se invirtió aproximadamente dos horas -entre preparativos y aplicación de la técnica- para obtener los cerca de 300 datos de los tres transectos repetidos que se efectuaron en la sección estudiada (comparado con el más de un mes para un solo transecto de PIXE, 3 días para 3 muestras con DRX, y varios meses para el análisis biológico de 18 muestras). Claro está que la principal desventaja del TAC es su elevadísimo costo de adquisición, de mantenimiento y de operación, a tal grado que sólo instituciones, como grandes hospitales, pueden adquirirlos y operarlos (Miranda y Vilaclara, com. pers.).

En relación con la estandarización de los valores del TAC y de PIXE (no tiene caso correlacionarlos con DRX, pues sólo se analizaron las tres laminaciones características de la sección estudiada, blanca, gris y oscura), se observa una buena correlación con el Al, el K, el Ca, el Fe y el Ti (superiores a +0.8 para todos ellos), y el Si (inferiores a -0.8) (tabla 3, fig. 12). Es decir, que el TAC se correlaciona positivamente con los elementos que entran con la erupción volcánica (más densidad de TAC cuanto más Al, K, Ca, Fe y Ti se presenta) y negativamente con el Si (menor densidad cuando aumenta relativamente la cantidad de silicio)

El resultado del uso de diferentes metodologías empleadas en el material estudiado demuestra la existencia de dos tipos de sucesos claramente separados: 1) los de tipo alóctono o exógeno, erupción volcánica que se depositó velozmente y que -por ello- excluyó a las diatomeas (caracterizado por la presencia de Ti, Ca, Fe, K y Al, de naturaleza cristalina y elevada densidad de rayos X), y 2) los de tipo autóctono o endógeno, deposición de materiales ricos en frústulos de diatomeas (SiO_2 , naturaleza amorfa, baja densidad de rayos X y cantidades relativamente más elevadas de Si). En los sucesos autóctonos se puede entrever -aunque los análisis no son contundentes para separarlos- la existencia de una fase de color blanco muy puro, compuesta únicamente de frústulos, y otra donde asimismo dominan los frústulos, pero presentan una cierta cantidad de arcillas que hacen que aumente la densidad de rayos X, además del Al, Fe, etc. (Miranda *et al.* 1994).

CONCLUSIONES

Las técnicas aplicadas para el estudio de la sección muestreada resultaron adecuadas para caracterizar los tres tipos de laminaciones (blancas, grises y oscura) incluidas en la misma. Ofreciendo resultados comparables en su interpretación, de todas ellas, la densidad de rayos X con TAC se mostró como buen método para detectar los tipos de laminaciones, pues conjugó rapidez con sensibilidad numérica. Con base en dichas técnicas, se pueden distinguir tres tipos de sucesos en el paleolago Tlaxcala:

1.- Laminaciones blancas o muy blancas, compuestas por diatomita pura (frústulos de diatomeas, con fracción importante de diatomeas planctónicas, principalmente arafideas), amorfa, con valores de % ponderal de átomos de aproximadamente un 45% de Si, Fe < 2%. Ca y K < 1%, sin Ti, ni Mn, ni Al. La densidad de rayos X es inferior a -250 U.H. Son laminaciones que caracterizan periodos de deposición de materiales sin perturbaciones, es decir, sucesos autóctonos de florecimiento y deposición de diatomeas planctónicas y epifito-bentónicas.

2.- Laminaciones algo más oscuras que las anteriores, compuestas por diatomita (diatomeas epifito-bentónicas en mayor cantidad relativa a la planctónicas) mezclada con pequeñas fracciones de arcillas, amorfa, con valores de % ponderal de átomos variables, aproximadamente 45% de Si; Al < 5%, Fe, Ca y K en cantidades similares a la anterior; sin Mn y con cantidades traza de Ti. La densidad de rayos X es oscilante y varía entre -100 y -250 U.H. Son laminaciones que caracterizan periodos de deposición autóctonos del paleolago, pero conectados probablemente con épocas de lluvias intensas que arrastraron materiales a la cuenca y aumentaron diferencialmente la cantidad de diatomeas epifito-bentónicas.

3.- Laminación oscura, con trazas de frústulos rotos de diatomeas, compuesta por minerales cristalinos entre los que destacan la anortita, albita, ortoclasa y montmorillonita, con valores de % ponderal de átomos de alrededor de Si < 40%; Al entre un 6 y 9%; Fe entre 2 y 4%; Ca y K alrededor del 1%;, cantidades de Ti entre 0.1 y 1.3%, y de Mn entre 0 y 0.6%. La densidad de rayos X sube bruscamente cerca de 700 U.H. Es una laminación cuyos materiales son de origen volcánico, transformados por el contacto con el agua. Se trata de un suceso típicamente alóctono que modificó las condiciones previas del paleolago, disminuyendo la cantidad de diatomeas dominantes y permitiendo la aparición de especies nuevas.

Con base en los análisis geoquímicos, de densidad de rayos X y biológicos, aplicados a la sección bajo estudio, podemos decir que durante el lapso de tiempo estudiado - probablemente entre 15 y 100 años- el paleolago Tlaxcala fue de agua dulce (pH probablemente entre 7 y 8), condiciones mesotróficas, oligosaprobias. Fue perturbado por una erupción volcánica que, por una parte, eliminó en su seno la mayor parte de las especies de diatomeas y, por otro, varió la abundancia relativa de las especies, de manera que permitió la aparición de especies nuevas, lo cual incrementó la biodiversidad de la sección (total de 121 taxa determinados). La perturbación se insertó en un conjunto de variaciones intrínsecas del Paleolago en las que se alternaban diatomeas predominantemente planctónicas (*Fragilaria* y *Stephanodiscus*) y epífita-bentónicas (*Cymbella*, *Cocconeis*, *Gomphonema*, *Nitzschia*).

APENDICE I

Fig. 9 Composición atómica (% ponderal) en la diatomita, obtenida con PIXE (tomada de Miranda *et al.* 1994).

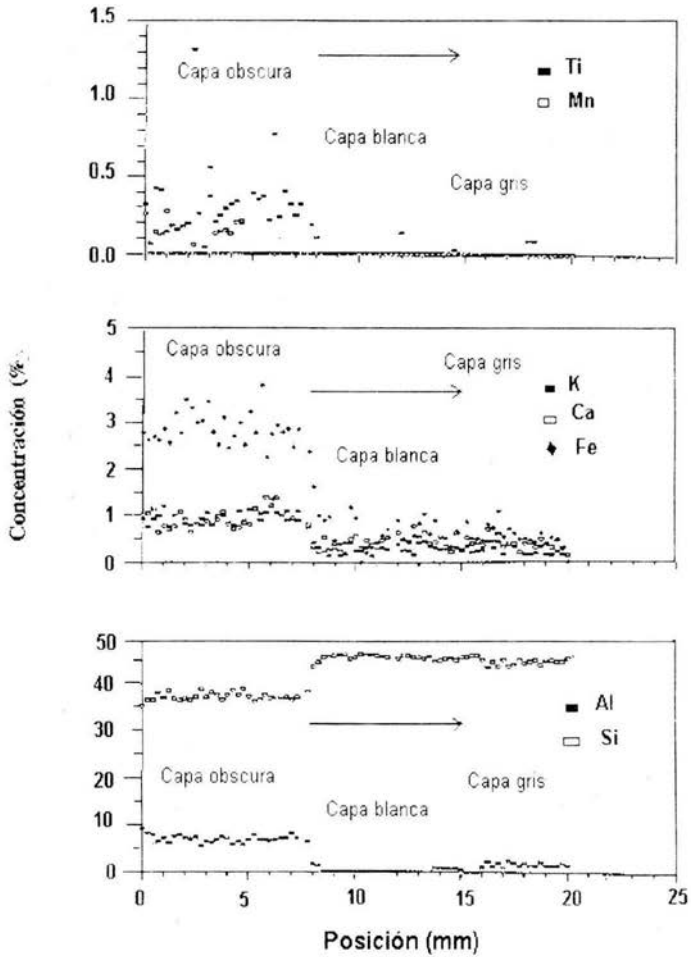


Fig. 10 Difracción de rayos X de 3 muestras obtenidas en las diferentes laminaciones (gris, blanca y oscura) de diatomita (tomada de Miranda *et al.* 1994)

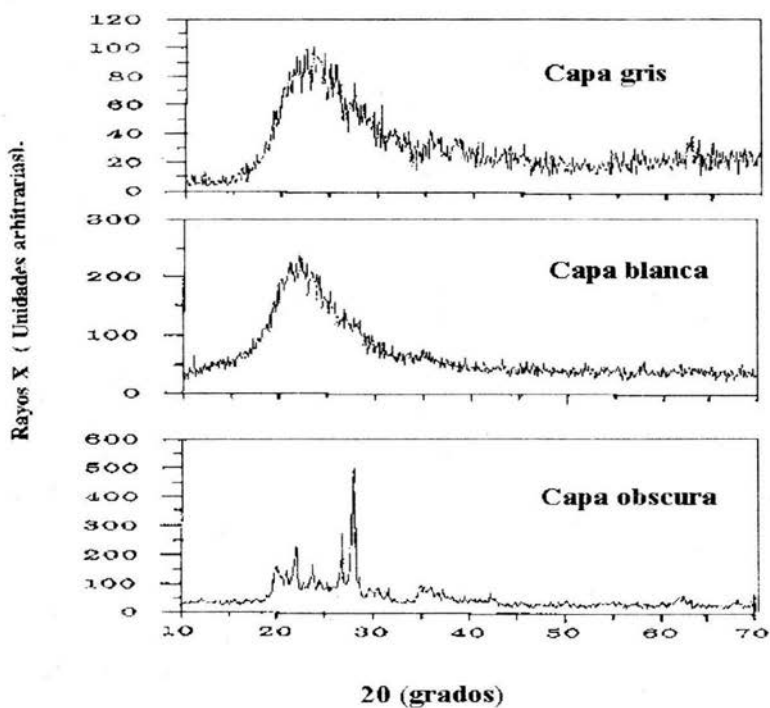


Fig. 11 Variación de la densidad de rayos X (en unidades relativas Houndsman) con la posición en la muestra de diatomita, obtenida con el Tomografo de Rayos X. Tres diferentes barridos (con tres líneas de barrido T-230, T-256 y T-289) (tomada de Miranda *et al.* 1994).

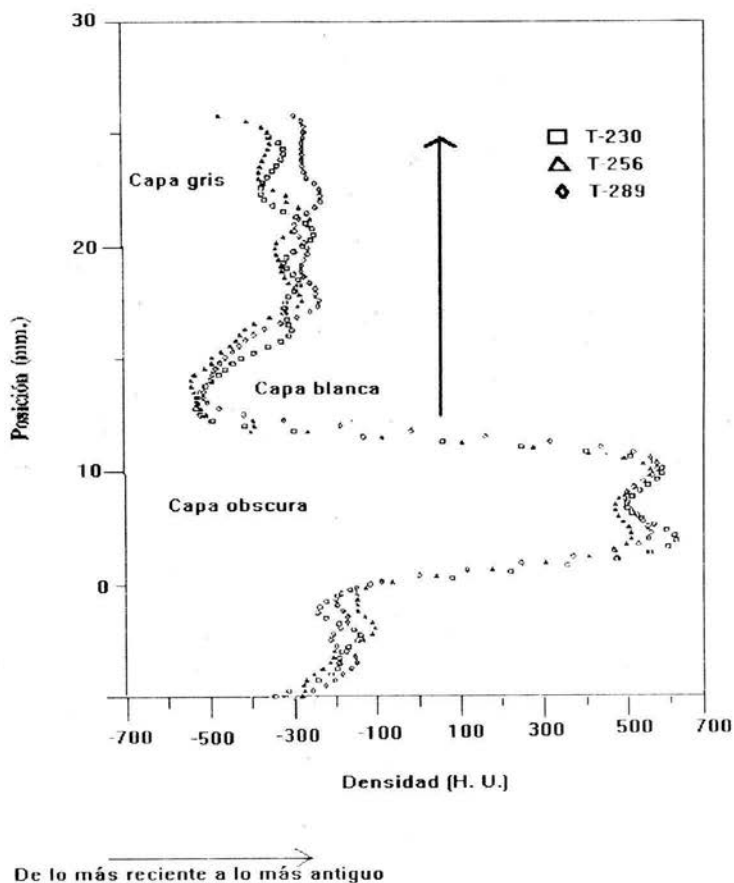


Fig. 12 Correlaciones entre los transectos cada 0.25 mm de densidad de rayos X (T289) y de porcentaje ponderal de los átomos presentes (obtenida mediante el programa CSS) (Tomada de Vilaclara et al. en prensa).

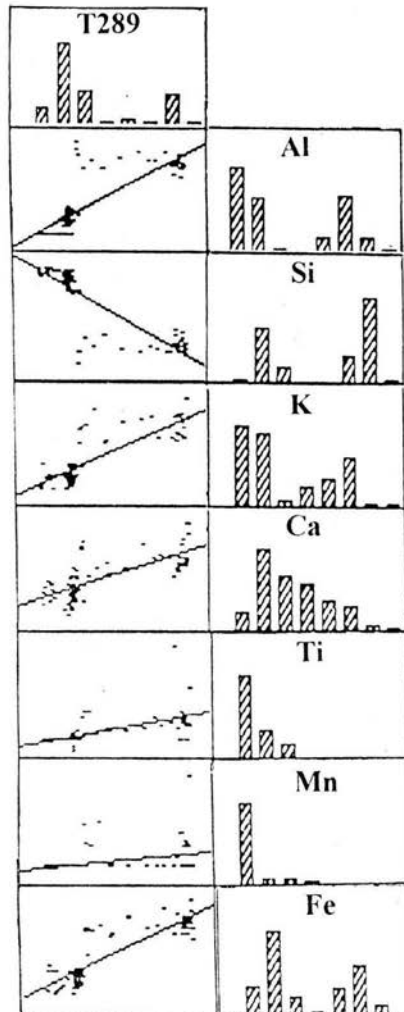


Tabla 3 Correlación entre valores de transecto y % ponderales de los átomos determinados

css/3:	Filas de correlación de coeficiente de Spearman			
Prueba estadística	Valor	Spearman	t (N-2)	nivel-p
no parametrica	N	R		
Parejas de variables				
T289 & Al	77	0.794843	11.3437	0
T289 & Si	76	-0.81429	-12.0677	0
T289 & K	76	0.78737	10.9869	0
T289 & Ca	76	0.751096	9.7868	0
T289 & Ti	76	0.795416	11.29	0
T289 & Mn	77	0.416509	3.9676	0.000165
T289 & Fe	76	0.760263	10.0675	0
Al & Si	79	-0.970993	-35.6342	0
Al & K	79	0.740926	9.681	0
Al & Ca	79	0.633865	8.4552	0
Al & Ti	79	0.798588	11.6429	0
Al & Mn	80	0.433831	4.2525	0.00058
Al & Fe	79	0.739045	9.6267	0
Si & Al	79	-0.970993	-35.6342	0
Si & K	79	-0.790093	-11.3102	0
Si & Ca	79	-0.742397	-9.7237	0
Si & Ti	79	-0.814116	-12.3021	0
Si & Mn	79	-0.445487	-4.3663	0.000039
Si & Fe	79	-0.82425	-12.7737	0
K & Al	79	0.740926	9.681	0
K & Si	79	-0.790093	-11.3102	0
K & Ca	79	0.842897	13.746	0
K & Ti	79	0.770438	10.6046	0
K & Mn	79	0.423931	4.1073	0.000099
K & Fe	79	0.868165	15.3506	0
Ca & Al	79	0.693865	8.4552	0
Ca & Si	79	-0.742397	-9.7237	0
Ca & K	79	0.842897	13.746	0
Ca & Ti	79	0.733569	9.4716	0
Ca & Mn	79	0.365661	3.4474	0.00092
Ca & Fe	79	0.806254	11.9595	0
Ti & Al	79	0.798588	11.6429	0
Ti & Si	79	-0.814116	-12.3021	0
Ti & K	79	0.770438	10.6046	0
Ti & Ca	79	0.733569	9.4716	0
Ti & Mn	79	0.542069	5.6604	0
Ti & Fe	79	0.77898	10.9011	0
Mn & Al	79	0.433831	4.2525	0.000058
Mn & Si	79	-0.445487	-4.3663	0.000039
Mn & K	79	0.423931	4.1073	0.000099
Mn & Ca	79	0.365661	3.4474	0.00092
Mn & Ti	79	0.542069	0.542069	0
Mn & Fe	79	0.450829	4	0.000031
Fe & Al	79	0.739045	10	0
Fe & Si	79	-0.82425	-12.7737	0
Fe & K	79	0.868165	15	0
Fe & Ca	79	0.806254	11.9595	0
Fe & Ti	79	0.77898	11	0
Fe & Mn	79	0.450829	4.432	0.000031

APENDICE II

ANALISIS TAXONOMICO

A continuación se presenta la lista comentada de las especies cuya abundancia permitió tomar datos suficientes de su morfología, con datos de distribución y ecológicos, cuando los hubo en la bibliografía consultada:

Achnanthes exigua var. *exigua* Grunow 1980

Sin: *Achnanthes exigua* var. *constricta* (Torka) Hustedt, *A. exigua* var. *heterovalva* Krasske (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas elípticas-lanceoladas, extremos desde fuertemente rostrados hasta ligeramente capitados, el borde de la valva es casi paralelo. La hipovalva presenta estrias muy finas, ligeramente radiales, interrumpidas en el centro donde se marca un estauo; la epivalva presenta estrias más fuertes, con estrias centrales cortas. Medidas obtenidas (n=5): 12-16.5 x 5.5-6 µm. Estrias 25-26/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figura dadas por Hustedt (1930, pág. 201; Fig. 286) para *Achnanthes exigua*.

Especie cosmopolita, frecuente en tanques de acuario, alcalinófila. Común en aguas corrientes y estancadas, perifítica (Lowe 1974).

Achnanthes lanceolata ssp. *frequentissima* Lange-Bertalot 1991 var. *frequentissima* Lange-Bertalot 1991

Sin.: *Achnanthes lanceolata* var. *dubia* f. *minuta* Grunow, *A. lanceolata* var. *dubia* Grunow (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas elíptico-lanceoladas, extremos desde redondeados hasta ligeramente rostrados. Epivalva con área axial más área central formando una zona lanceolada, estrecha; en el área central presenta una depresión en forma de herradura y una estria central opuesta más pequeña. Hipovalva con área axial más área central formando una zona lanceolada. Rafe recta, termina cuando empieza el área central, estrias todas de igual longitud. Medidas obtenidas (n=3): 12.5-13.0 x 7.0-8.0 µm. Estrias radiales, gruesas, 12-13/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 78; Figs. 44: 3, 18, 21, 23) para *Achnanthes lanceolata* ssp. *frequentissima* var. *frequentissima*.

***Achnanthes lanceolata* ssp. *robusta* (Hustedt) Lange-Bertalot 1991 var. *abbreviata* (Reimer) Lange-Bertalot 1991.**

Sin.: *Achnanthes lanceolata* sensu Hustedt, *A. pseudotanensis* Cleve-Euler, *A. lanceolata* var. *abbreviata* Reimmer, *A. plana* Carter (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas elíptico-lanceoladas, extremos ligeramente adelgazados. Epivalva con estrías gruesas, cortas, ligeramente radiales en los extremos, paralelas en el centro. Presenta una huella (depresión) circular pegada al margen valvar en el área central. Área axial más área central forman una zona lanceolada. Medidas obtenidas (n=5): 15.0-16.5 x 7.0-8.0 µm. Estrías 10-12/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y las figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 79; Fig. 46:4 -que corresponde a un ejemplar fósil-, 6) para *Achnanthes lanceolata* ssp. *robusta* var. *abbreviata*.

Especie cosmopolita, se ha recolectado en Europa, Norte y Sur de América, en aguas oligosaprobias con cantidades medias de electrolitos (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Achnanthes microcephala* (Kützing) Grunow var. *microcephala

Sin.: *Achnantheidium microcephalum* Kützing, *Achnanthes microcephala* (Kützing.) Grunow. (Krammer & Lange-Bertalot, 1991).

Valvas linear-lanceoladas, ligeramente ensanchadas en el centro, extremos ligeramente capitados. Hipovalva con área axial linear, estrecha, y área central ligeramente redondeada, pequeña. Epivalva con área axial linear estrecha, sin área central. Medidas obtenidas (n=10): 10.0- 19.5 x 2.5 x 3.5 µm. Estrías ligeramente radiales al centro, muy finas, difíciles de observar con microscopio óptico, 30-35/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Hustedt (1930b, pág. 198; Fig. 273) y Germain (1981, pág. 109; Figs. 41: 2, 4) para *Achnanthes microcephala* var. *microcephala*. Sin embargo, Krammer & Lange-Bertalot mencionan *Achnanthes microcephala* como sinónimo de *Achnanthes minutissima*.

Especie cosmopolita, es muy buen indicador de concentración permanente de oxígeno en aguas ligeramente ácidas. Tienen un buen desarrollo en aguas con un pH alrededor de 7 (muy buen desarrollo con pH > 7). Toleran pequeñas concentraciones de sal. Especie común en aguas corrientes y estancadas (Lowe 1974).

***Achnanthes minutissima* var. *minutissima* Kützing, 1833**

Sin.: *Achnantheidium microcephalum* Kützing, *A. lineare* W. Smith, *Achnanthes. minutissima* var. *cryptocephala* Grunow. (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas elíptico-lineares, extremos rostrados. En la hipovalva presenta un área axial linear, pequeña, y un área central asimétrica. Un lado de la hipovalva presenta un mayor número de estrías cortas en comparación con el lado contrario. La epivalva no presenta rafe; en un lado de la misma se observa un estauro y estrías cortas en el contrario. Rafe filiforme con extremos

terminales no conspicuos. Medidas obtenidas (n=10): 14.0-20.0 x 2.5-3.5. Estrías radiales muy finas, alrededor de 30/10 µm.

Los ejemplares observados coinciden con las medidas y las figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág.56-57; Figs. 33: 1-9) para *Achnanthes minutissima* var. *minutissima*. Se decidió diferenciar esta especie de *A. microcephala*, debido a que presentan diferencias en el contorno valvar y en el área central.

Cosmopolita, una de las diatomeas más conocidas. Tiene un buen desarrollo en aguas con un pH de 4.3-9.2, y un óptimo de 7.5-7.8. Tolera pequeñas concentraciones de sal. Se presenta en zonas con oxidación de desechos de origen orgánico o en zonas con una alta concentración de nutrientes inorgánicos. Común en aguas corrientes y estancadas. Perifítica. Euritermal (Lowe 1974).

Amphora ovalis var. *pediculus* Kützing

Sin.: *Frustulia ovalis* Kützing, *Amphora gracilis* Ehrenberg. (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas elípticas, arqueadas en sentido transapical, con extremos redondeados. Rafe arqueado hacia la parte ventral. Medidas obtenidas (n=10): 24.0-27.5 x 5.0-6.0 µm. Estrías ligeramente radiales, punteadas, 12/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figuras dadas por Hustedt (1930, pág. 343; Fig. 629) para *Amphora ovalis* var. *pediculus*.

Sus representantes viven solitarios o reunidos en grupos, comúnmente sobre algas, rocas, etc. (Germain 1981). Especie cosmopolita, calcífila, alcalífila (con un óptimo desarrollo en aguas con pH de 7.0 a 8.5). Tolera pequeñas concentraciones de sal. Característica de zonas con oxidación de componentes biodegradables. La concentración de nutrientes inorgánicos es considerablemente alta. Común en aguas corrientes y estancadas. Perifíticas (Lowe 1974). Foged (1993) considera esta especie como cosmopolita, oligohalobia y alcalífila.

Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 345) mencionan esta especie como sinónimo de *Amphora lybica* Ehrenberg. Asimismo, citan que rara vez habita en aguas con alta concentración de electrolitos.

Anomoeoneis sphaerophora (Kützing) (Ehrenberg)? Pfitzer

Sin.: *Navicula sphaerophora* Kützing, *N. biceps* Ehrenberg, *N. sphaerophora* var. *subcapitata* Grunow (Germain 1981).

Valvas elíptico-lanceoladas, con ápices capitados. Área axial estrecha, área central asimétrica, ya que en un lado de la valva, transversalmente, se forma un estauro completo, mientras que en el lado contrario no llega a formarse debido a la presencia de estrías cortas. Rafe recta. Medidas obtenidas (n=3): 55.0-75.0 x 16.5-23.0 µm. Estrías radiales punteadas, 16-18/10 µm. Los ejemplares obtenidos coinciden con las medidas y figuras dadas por Hustedt (1930, pág. 262-264; Fig: 422) para *Anomoeoneis sphaerophora*.

Especie cosmopolita, frecuente en aguas contaminadas con desechos humanos. Se encuentra en aguas alcalinas. Habitan aguas corrientes o estancadas (Lowe 1974).

***Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck 1880-1885**

Sin.: *Cocconeis lineata* Ehrenberg (Krammer & Lange Bertalot 1991).

Valvas ampliamente elípticas, extremos redondeados, doble anillo libre de estrias en el margen valvar. Rafe recta, estrecha. Área axial estrecha, linear, y área central pequeña, redondeada. Estrias constituidas por puntos muy alargados, que forman líneas con separaciones claras. La epivalva presenta un área axial muy estrecha, no tiene área central y no presenta el doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 15.5-25.0 x 7.5-13.0 μm . Estrias radiales, formadas por puntos muy alargados, 20/10 μm en la hipovalva, 18-20/10 μm en la epivalva. Los ejemplares analizados coinciden con las medidas y la figura dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 87; Figs. 49:1; 50:2) para *Cocconeis placentula* var. *lineata*.

Miembros de este género parecen ser epífitos, particularmente sobre otras algas y plantas vasculares acuáticas, y crecen individualmente adheridos al sustrato, sin formar cadenas ni tallos. A veces se encuentran en muestras de plancton, pero probablemente como resultado de haber sido separados físicamente de un sustrato (ticoplancton) (Germain 1981). Tienen un buen desarrollo en aguas con un pH alrededor de 7 (intervalo 4.9-9.0, más frecuentemente 7-9). Tolera pequeñas cantidades de sal. Oligosaprobios. Se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítico. Crecimiento máximo durante el otoño. (Lowe 1974). Patrick & Reimer (1966) mencionan esta especie como común y netamente eurihalina.

***Cocconeis placentula* Ehrenberg, 1838 var. *pseudolineata* Geitler 1927**

Valvas ampliamente elípticas, con extremos redondeados. Rafe estrecha, recta. Área axial estrecha, linear; área central pequeña, redondeada; el área central es asimétrica en algunos ejemplares, debido a que un lado de la valva carece de una hilera de estrias. Hipovalva con doble margen hialino y estrias finas. Epivalva con estrias más gruesas y más separadas, no tiene área central, tampoco presenta doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 13.0-18.0 x 7.5-10 μm . Estrias punteadas, 12-19/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 87.; Figs. 59: 3,4, 7 y 11) para *Cocconeis placentula* var. *pseudolineata*.

Variedad cosmopolita, alcalifila. Se encuentra en aguas con pH alrededor de 7, con un buen desarrollo en pH por debajo de 7 (intervalo 6.2-9.0). Característica de aguas con oxidación de compuestos biodegradables. La concentración de nutrientes inorgánicos es generalmente alta. Tolera pequeñas concentraciones de sal. Características de aguas corrientes, aunque pueden encontrarse en el fondo de cuerpos de agua estancada. Perifíticas y epífitas. (Lowe 1974).

Cocconeis placentula Ehrenberg. 1838 var. *tenuistriata* Geitler 1932

Valvas elípticas, extremos redondeados. Rafe estrecha, recta. Área axial lineal, área central pequeña, redondeada. Hipovalva con estriás ligeramente punteadas y doble anillo libre de estriás en el margen. Epivalva con estriás más gruesas, más separadas; no existe área central, no presenta doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 22.0-37.0 x 13.0-27.0 µm. Estriás ligeramente punteadas, 26-32/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y medidas dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 87) para *Cocconeis placentula* var. *tenuistriata*

Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878

Sin.: *Bacillaria cistula* Ehrenberg, *Cymbella maculata* (Kützing) Kützing (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas con simetría dorsoventral, dorso fuertemente convexo, vientre ligeramente convexo. Rafe reverso-lateral. Área axial estrecha, área central redondeada, presenta de 4 a 6 puntos ventrales en esta área. Medidas obtenidas (n=10): 7.0-133.0 x 13.0-23.0 µm. Estriás radiales, punteadas, 8-10/10 µm las centrales y 12-14/10 µm en los extremos; las estriás tienen 16-18 puntos/10 µm.

Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 316; Figs. 127: 8-10; 128: 5) para *Cymbella cistula*.

Especie cosmopolita, epífita, en aguas estancadas o corrientes, de oligo a eutróficas. Indicadoras de elevado contenido mineral (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Se encuentra en aguas con un pH alrededor de 7 (4.3-8.6), óptimo cercano a 8. Tolerancia a pequeñas concentraciones de sal. Oligosaprobia, perifítica. Característica de aguas con saturación de oxígeno óptima (Lowe 1974).

Cymbella cymbiformis var. *cymbiformis* (Agardh ? Kützing.) Van Heurck 1830

Sin.: *Cymbella cymbiformis* Ag., *Cocconema cymbiforme* (Agardh) Ehrenberg. (Patrick & Reimer 1975).

Valvas asimétricas, diferenciadas dorso-ventralmente, extremos adelgazados y redondeados; margen ventral cóncavo, exceptuando la zona central, ligeramente convexa. Área axial estrecha, lineal y arqueada; en el área central presenta un pequeño ensanchamiento en el espacio axial, de mayor tamaño en la parte ventral. Rafe reverso-lateral cerca de los extremos proximales. Medidas observadas (n=10): 43.0-45.0 x 11.0 µm. Estriás en disposición radial, punteadas, 8/10 µm en el centro y 12/10 µm en los extremos; a nivel de la estria ubicada en el centro de la zona ventral se encuentra un punto aislado.

Los especímenes observados coinciden con las medidas y las figuras de Husted (1930b, pág. 362; Fig. 672) y Patrick & Reimer (1975, pág. 54-55; Fig. 10: 5) para *Cymbella cymbiformis* var. *cymbiformis*.

Ecología insuficientemente conocida, principalmente aparece en lagos, aunque existen unos pocos registros de arroyos y manantiales (Patrick & Reimer 1966).

Cymbella mexicana (Ehrenberg) Cleve var. *mexicana*

Sin.: *Cocconema mexicanum* Ehrenberg, *Cymbella kamschatica* Grunow, *C. mexicana* (Ehrenberg) Cleve (Patrick & Reimer 1966)

Valvas con asimetría dorsoventral. Margen dorsal muy arqueado, margen ventral ligeramente abombado. Área axial arqueada, mediana, aproximadamente del mismo ancho a todo lo largo. Área central pequeña, circular, con estigma aislado central. Rafe lateral, llegando a ser filiforme cerca de los extremos proximal y distal. Extremos proximales de la rafe conspicuos, dirigidos hacia la parte ventral; extremos distales inclinados dorsalmente, alcanzando el margen dorsal. Medidas obtenidas (n=10): 96.0-145.0 x 25.0-33.0 μm . Estrías radiales, conspicuamente punteadas, de longitud variable en el centro, 6-7/10 μm en el centro y 8-10 / 10 μm en los extremos. La descripción obtenida para esta especie coincide con las medidas y las figuras dadas por Patrick & Reimer (1966, pág. 59-60; Fig. 12: 1-2).

Ecología insuficientemente conocida. Ampliamente distribuida, especialmente a través del norte y oeste de los Estados Unidos, frecuentemente reportada para aguas duras (alcalinófila) (Patrick & Reimer 1966).

Cymbella microcephala Grunow in Van Heurck 1880

Sin.: *Cymbella ruttnerii* Hustedt, *Navicula incompta* Krasske (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas dorsoventrales, linear-lanceoladas, con extremos ligeramente capitados. Área axial estrecha, área central redondeada. Rafe ligeramente inclinada hacia el dorso, arqueada. Medidas obtenidas (n= 5): 15.5-16.5 x 3.0-3.5 μm . Estrías muy finas, no es posible contarlas con el microscopio óptico. Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figura dada por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 327; Figs. 134: 25-29) para *Cymbella microcephala*.

Especie cosmopolita, se encuentra en aguas con pH alrededor de 7. Toleran pequeñas cantidades de sal. β -mesosaprobias. Se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítica (Lowe 1974).

Cymbella muellerii Hustedt 1938 var. 1

Sin.: *Cymbella grossestriata* var. *obtususcula* O Müller; *C. turgida sensu* Hustedt (Krammer & Lange-Bertalot, 1986). *C. muelleri* Hustedt, *C. muelleri* var. *jaramica* Hustedt (Patrick & Reimer 1975).

Valvas asimétricas, dorsoventrales. Extremos alargados, redondeados, curvos ventralmente. Margen dorsal muy convexo, margen ventral convexo en el centro. Área axial y área central formando una zona linear amplia. Rafe doble, con los extremos centrales

dirigidos hacia el dorso. Medidas obtenidas (n=10): 38.0-49.0 x 14.0-17.5 μm . Estriás paralelas en la parte media de la valva y ligeramente radiales hacia los extremos, punteadas, 8/10 μm en el centro y 10-12/10 μm en los extremos.

Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y las descripciones dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 311) y Patrick & Reimer (1975, pág. 43-44) para *Cymbella muellerii*. Sin embargo, las figuras dadas por estos autores no coinciden totalmente con nuestros ejemplares, se diferencian principalmente porque los nuestros son más abombados que las figuras de las distintas variedades. Dado que las variedades tienen las mismas medidas y varían entre sí solo por la forma valvar, probablemente la nuestra sea una nueva variedad, por lo que se menciona como var. 1.

***Denticula elegans* Kützing 1844**

Sim.: *Denticula ocellata* W. Smith (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Frústulos en vista conectiva lineares o rectangulares, costillas con finales redondeados. En vista valvar, valvas linear-elípticas hasta linear-lanceoladas, extremos ligeramente redondeados. En algunos ejemplares, el margen de la valva presenta la zona media ligeramente cóncava. Rafe excéntrica, desde totalmente pegada al margen de la valva hasta cercana al mismo. Las fibulas forman gruesas costillas, dentro de las cuales se observan hileras de estriás punteadas. Medidas obtenidas (n=10): 20-34 x 5-7 μm . Estriás, 15-18/10 μm . Costillas, 3-4/10 μm ; entre cada costilla se observan de 3 a 4 hileras de areolas. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 141; Figs. 94: 1, 2; 96: 10-13; 97: 1-5) para *Denticula elegans* var. *elegans*.

Frústulos formando largas cadenas o en una masa gelatinosa, típica de fondos en litoral de lagos y corrientes (Patrick 1975).

Probablemente es una especie cosmopolita. Aerófila, se presenta en aguas con contenido electrolítico de medio a alto. Se encuentra frecuentemente junto con *D. Kuetzingii*. Se ha recolectado en Europa, Estados Unidos, Brasil y Chile. Patrick (1975) la ha encontrado en aguas termales en Estados Unidos. A veces se ha mencionado como *D. tenuis* sp. (Krammer & Lange-Bertalot 1988). Especie circumneutral, con un buen desarrollo en aguas con pH alrededor de 7 (óptimo alrededor de 8) (Lowe 1974).

***Denticula kuetzingii* Grunow 1862**

Sim.: *Denticula obtusa* W. Smith, *Denticula inflata* W. Smith, *Denticula decipiens* Arnett, *Nitzschia denticula* Grunow in Cleve & Grunow (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

En vista valvar, valvas linear-elípticas hasta ligeramente rómbicas; extremos adelgazados, redondeados. Rafe excéntrica, totalmente pegada al margen de la valva. Las fibulas forman gruesas costillas, dentro de las cuales se observan hileras de estriás punteadas. Se diferencia de *Denticula elegans* por las costillas, las cuales son más delgadas y menos marcadas. Medidas obtenidas (n = 10): 15.0-23.5 x 4.5-7.0 μm . Estriás 16/10 μm , fibulas 6/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las figuras y descripción dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 143; Figs. 94: 3, 4; 99: 11-23) para *Denticula kuetzingii*.

Epithemia argus (Ehrenberg) Kützing, 1844

Sin.: *Eunotia ocellata* Ehr., *E. ocellata* (Ehrenberg.) Kützing., *Eunotia argus* Ehrenberg. *E. Longicornis* (Ehrenberg.) W. Smith, *E. intermedia* Hilsen, *E. persons* Pantocsele (Krammer & Lange-Bertalot 1988)

Valvas asimétricas dorso-ventralmente, más redondeadas dorsalmente, rectas ventralmente. Extremos redondeados. Canal de la rafe marginal, adentrado en el medio formando una V invertida. Fibulas largas formando costillas, con hileras de areolas, de 2 a 4 en cada costilla. Medidas obtenidas (n=10): 25.0-83.0 x 5.0-10.0 μm . Estrias areoladas, 10-15/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 147-148; Figs. 102: 2,3,5,9; 103:3) para *Epithemia argus*.

Especie cosmopolita. Alcalífila a alcalibióntica (intervalo de 4.6-9, con un óptimo alrededor de 8.2). Tolera pequeñas concentraciones de sal. Saproxena a β -Mesosaprobia. Limnófilo. Perifítico (Lowe 1974).

Epithemia zebra (Ehrenberg) Kützing, var. *porcellus* (Kützing) Grunow 1862

Valvas asimétricas dorso-ventralmente. Margen dorsal ligeramente convexo, margen ventral ligeramente cóncavo hasta recto. Extremos adelgazados, ligeramente rostrados. Canal de la rafe marginal, hacia el centro forma una V invertida. Fibulas largas formando gruesas costillas, radiales, con estrias en forma de areolas, de 3 a 4 hileras entre cada costilla. Medidas obtenidas (n=10): 30.0-60.0 x 10.0-12.0 μm . Estrias areoladas, 15/10 μm . Costillas de 3 a 4/10. Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figuras dadas por Hustedt (1930b, pág. 385; Fig. 31) y Germain (1981, Pág. 316; Fig. 116: 11-14) para *Epithemia zebra* var. *porcellus*.

Epithemia zebra (Ehrenberg) Kützing 1844 var. *zebra*

Sin.: *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson., *Frustulia adnata* Kützing., *Eunotia zebra* (Ehrenberg) Ehr., *Epithemia kurceana* Rabenhorst (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas asimétricas dorso-ventralmente, curvas, extremos más o menos rostrados. El ángulo de la rafe se mete en el interior de la superficie valvar, en el borde ventral, formando una V invertida. Fibulas formando gruesas costillas, radiales, con estrias en forma de areolas. Medidas obtenidas (n=10): 55.0-65.0 x 89.0-12.0 μm . Areolas, 12-15/10 μm . Fibulas, 2-4/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figuras dadas por Hustedt (1930b, pág. 384-385; Figs. 729-731) para *Epithemia zebra* var. *zebra*.

Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 108) mencionan esta especie como sinónimo de *Epithemia adnata*.

Habita en aguas con pH de 7, aunque tienen un buen desarrollo en aguas con un pH por debajo de 7, hasta alcalinas (intervalo 4.7-9.0, óptimo 8.2-8.5). Tolera pequeñas concentraciones de sal. Características de aguas limpias, aunque también se presentan en zonas con contaminación o β -mesosaprobias. Se localiza en aguas corrientes y estancadas. Perifíticas. Euritermal, mesotermal o eutermal (Lowe 1974).

***Ephitemia turgida* (Ehrenberg) Kützing 1844**

Sin.: *Navicula turgida* Ehrenberg, *Frustulia picta* Kützing, *Eunotia turgida* Ehrenberg, *Ephitemia pictum* (Kützing) Brébisson, *E. irregularis* Andrews, *E. emarginata* Andrews, *E. andrewsii* Stoermer & Yang. (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas asimétricas dorso-ventralmente. Margen ventral ligeramente cóncavo, extremos redondeados. Canal de la rafe lateral, pegado al margen valvar, hacia el centro forma una V invertida. Medidas obtenidas (n=10): 55.0-120.0 x 13.5-22.0 μm . Estrias radiales, punteadas, 7-9/10 μm . Fíbulas formando fuertes costillas, 3.5-5/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 148 ; Figs. 108: 4-8; 109: 1-7) para *Ephitemia turgida*.

***Fragilaria brevistriata* Grunow 1881**

Sin.: *Fragilaria acuta* Ehrenberg, *F. brevistriata* var. *subacuta* y var. *pusilla* Grunow, *F. brevistriata* var. *linearis* A. Mayer (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas linear-elípticas, con extremos alargados, redondeados, hasta ligeramente rostrados. Área axial más área central formando una zona lanceolada. Medidas obtenidas (n = 10): 7.0-10.5 x 3.0-4.5. Estrias radiales en los extremos, paralelas al centro muy punteadas, cortas (alrededor de 4 puntos por estria), 14-16/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden prácticamente en todo con la descripción y la figura dada por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 162-163; Fig. 130: 9-16), excepto en el largo, ya que estos autores mencionan una longitud de 12 a 28 μm , siendo nuestros ejemplares más pequeños.

***Fragilaria capucina* Desmazières 1925 var. 1**

Valvas muy alargadas, con la parte media abultada en forma aproximadamente rectangular. Apices capitados. Área axial estrecha; área central longitudinalmente asimétrica: en un lado presenta estrias y en el otro carece de ellas. Medidas observadas (n = 10): 22.0-41.0 x 2.0-4.0 μm . Estrias paralelas, muy finas, 24-29/10 μm .

Nuestros ejemplares coinciden con la figura dada por Krammer & Lange-Bertalot (1991; pág. 455; tabla 112, fig. 11). Dichos autores la consideran como perteneciente al grupo *F. capucina/vaucheriae*, cuyas características -muy generales- concuerdan con nuestras observaciones. Sin embargo, lo dividen a su vez en tres subgrupos, ninguno de los cuales coincide plenamente con lo observado en nuestros especímenes. Probablemente se trata de un nuevo grupo, por lo cual se menciona como *F. capucina* var. Aunque revisamos la literatura disponible (Hustedt 1930b, Patrick & Reimer 1966, Germain 1981) no encontramos ningún ejemplar que se pareciera totalmente a los nuestros.

Hürlimann (1991) menciona esta especie como altamente heteromórfica, incluso divide en 10 grupos muy distintos entre sí; el grupo que más se asemeja a nuestros ejemplares en forma y medidas es el número 6, sin embargo la densidad de estriación no coincide, ya que este grupo presenta de 13 a 21 estrias / 10 μm , por lo que consideramos que no pertenece totalmente a él.

Sládeček *et al.* (1981) reporta la especie tipo como oligo- a β -mesosaprobia, con un valor indicador intermedio ($I = 3$); es decir, que se trataría de una especie típicamente mesotrófica (Vilaclara, com. pers.). Especie cosmopolita, indiferente al Ca. Alcalifila (intervalo 6.2-9.0, óptimo alrededor de 6.8). Tolerancia pequeñas concentraciones de sal. Oligosaprobia. Se localiza en aguas corrientes y estancadas. Euritermal, oligotermal o mesotermal (Lowe 1974).

***Fragilaria contruens* var. *venter* (Ehrenberg) Hustedt 1957**

Sin.: *Fragilaria venter* Ehrenberg., *F. construens* var. *venter* (Ehrenberg.) Grunow, *F. construens* var. *pumila* Grunow (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas de forma lineal-lanceolada hasta redondeada, con ápices desde redondeados y ligeramente alargados, hasta totalmente redondeados. Área axial estrecha, área central inexistente. Pseudorafe recto. Medidas obtenidas ($n=10$): 4.5-8.5 x 2.5-3.0 μm . Estrias ligeramente radiales, 14/10 μm .

Las características observadas coinciden con la descripción de Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 153; Fig. 132: 9-16), excepto por la disposición de las estrias, paralelas según estos autores, ligeramente radiales en nuestros ejemplares. Sin embargo, Patrick & Reimer (1966) mencionan que las estrias son radiales. Round *et al.* (1990), basándose en observaciones morfológicas (tipo de espina, tipo de estria, ausencia de rimopórtulas, posición y presencia de campos porosos, tamaño del área axial) con M.E., forman el nuevo género *Staurosira* tomando a esta especie como la especie tipo. Sin embargo, para facilitar la interpretación de los resultados reportaremos nuestros ejemplares como *Fragilaria construens* var. *venter*.

Sládeček *et al.* (1981) considera la especie tipo oligosaprobia, con un valor indicador intermedio ($I = 3$), pudiéndose encontrar en condiciones β -mesosaprobias y, más raramente, xenosaprobias; es decir, es una especie de condiciones oligo-mesotróficas (Vilaclara com. pers.). Cosmopolita. Normalmente asociada con perifiton o hábitats terrestres, pero frecuentemente suspendidos en el agua. Alcalifila (intervalo 6.0-9.0). Oligotrófica a mesotrófica. Tolerancia pequeñas concentraciones de sal. Mesosaprobia. Crecimiento óptimo durante la primavera, frecuentemente se la encuentra suspendida en el agua (Lowe 1974).

***Fragilaria pinnata* var. *pinnata* Ehrenberg 1843**

Sin.: *Fragilaria striolata* Ehrenberg, *Odontidium pinnatum* Kützing, *O. Striolatu* Kützing, *O. mutable* W. Smith, *Fragilaria minutissima* Grunow, *f. pinnata* var. *elliptica* Carlson, *F. pinnata* var. *parallela* y var. *inflata* A. Mayer (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas lineal-elípticas, extremos adelgazados, redondeados. Área axial más área central formando una zona lanceolada. Medidas obtenidas ($n=10$): 8-11.5 x 3-5 μm . Estrias ligeramente radiales al centro, gruesas, 8-14/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y la figura dada por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 157; Figs. 19, 21) para *Fragilaria pinnata* var. *pinnata*.

Especie cosmopolita, de aguas alcalinas, tolerancia pequeñas cantidades de sal, se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítica (Lowe 1974).

***Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhort 1864**

Sim.: *Sphenella angustata* Kützing, *Gomphonema micropus* Kützing, *G. bohemicum* Hustedt, *G. instabilis* Hanh & Hellermann (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas linear-lanceoladas, asimétricas longitudinalmente -un lado de la valva más largo y adelgazado que el lado contrario-. Extremos redondeados. Área axial estrecha, área central longitudinalmente asimétrica en tamaño, debido a que un lado de la valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que en el lado contrario la estría central es más corta. Rafe moderadamente lateral con los extremos terminales dirigidos hacia el lado con el estigma. Tamaños observados (n=10): 19.5-25.0 x 5.0-6.3 μm . Estrias radiales, punteadas, 10/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 360; Figs. 155: 2, 13-14).

Especie alcalifila (intervalo de 6-9, con un óptimo de 7.5-7.7). Eutrófica. Tolera pequeñas concentraciones de sal. Oligosaprobia. Se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítica. Tiene un alto crecimiento durante el otoño y el invierno. Euritermal a metatermal, oligotermal o mesotermal (Lowe 1974).

***Gomphonema gracile* Ehrenberg 1838**

Sim.: *Gomphonema lanceolatum* Ehrenberg, *G. grunowii* Patrick (Krammer & Lange-Bertalot, 1986).

Valvas linear-lanceoladas, con ápices adelgazados. Área axial estrecha, área central longitudinalmente asimétrica en tamaño, debido a que un lado de la valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que en el lado contrario la estría central es más corta. Rafe central, con los extremos terminales dirigidos hacia el lado con el estigma. Tamaños observados (n=10): 49.0-61.0 x 6.0-7.5 μm . Estrias ligeramente radiales, poco visiblemente punteadas, 10-12/10 μm en el centro, 18/10 μm en los extremos. Se diferencia de la especie anterior por la forma, más alargado y delgado *G. gracile* que *G. angustatum*.

Los ejemplares observados coinciden con la descripción y las figuras de Krammer & Lange-Bertalot (1991; pág. 361-362; Figs. 156: 1-3, 8-9) para *Gomphonema gracile*.

Aparece en litorales y, ocasionalmente, en comunidades plantónicas de aguas dulces; también puede aparecer en lugares con mayor contenido electrolítico; tolera un amplio intervalo de pH y conductividad; prefiere aguas con bajo contenido de nutrientes (Patrick & Reimer 1966).

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849**

Sim.: *Sphenella parvula* Kützing 1844, *Gomphonema lagenula* Kützing, *G. micropus* Kützing (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas linear-lanceoladas, con ápices adelgazados. Área axial estrecha, área central longitudinalmente asimétrica en tamaño, debido a que un lado de la valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que en el lado contrario la estría central es más corta. Rafe ligeramente curva y lateral hacia el lado del estigma, sin extremos terminales conspicuos. Medidas obtenidas (n=10): 29.0-33.0 x 5.0-6.0 μm . Estrias poco radiales en el centro, más

radiales en los extremos, gruesas (no se observan muy claramente los puntos), 16/10 μm . Es difícil de distinguir de *G. angustatum* ya que algunos morfotipos de estas dos especies se solapan en forma y medidas, por lo que no logramos separar ambas especies en nuestros conteos.

Los ejemplares observados coinciden con las medidas y la figura dada por Krammer & Lange Bertalot (1986, pág. 358-359; Figs. 154: 7, 11-12) para *Gomphonema parvulum*.

Se desarrollan mejor en aguas ricas en nutrientes, particularmente con desechos sanitarios o de alguna granja (Patrick & Reimer 1966). Sládeček *et al.* (1981) la reporta distribuida en un amplio intervalo saprobio, desde aguas xeno- y oligosaprobias (rara) hasta aguas β - y α -mesosaprobias (más abundante); sólo no se ha reportado en aguas muy contaminadas (sin oxígeno, polisaprobias, Sládečková & Sládeček 1994). Los datos anteriores la señalan como una especie tolerante a diferentes condiciones ambientales y, por ello, con un bajo valor indicador. Especie cosmopolita. Tienen un buen desarrollo en aguas con un pH. alrededor de 7 (intervalo 4.2-9, óptimo 7.0-8.2). Tolera pequeñas concentraciones de sal. Mesosaprobia. Perifítica, mesotermal y estenotermal. Su gran adaptabilidad explica el por qué de su gran variabilidad morfológica (Lowe 1974).

***Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844**

Sin.: *Frustulia cuspidata* Kützing, *Navicula cuspidata* var. *ambigua* (Ehrenberg.) Cleve, *N. cuspidata* var. *heribaudii* Peragallo (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas grandes, lanceoladas, con extremos adelgazados, ligeramente redondeados. Área axial estrecha, linear, área central pequeña. Rafe recta, estrecha, con fisuras proximales en forma de gancho. Sólo se ha observado frústulos incompletos de medidas (n=3): > 100.0 x 28.0 μm . Estrias paralelas, punteadas, 12-14/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y las figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 126; Figs. 43: 2-4) para *Navicula cuspidata*.

Especie cosmopolita, alcalinófila; se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifíticas (Lowe 1974).

***Navicula gastrum* var. *gastrum* (Ehrenberg) Kützing 1844**

Sin: *Pinnularia gastrum* Ehrenberg, *Navicula gastrum* (Ehr.) Kützing (Patrick & Reimer 1966).

Valvas elíptico-lanceoladas, extremos rostrados. Área axial estrecha, área central redondeada, asimétrica. Estrias centrales irregulares en longitud (alternativamente largas y cortas), la estria mediana puede ser mucho más larga que las otras. Medidas obtenidas (n=3): 15.0-23.0 x 9.5-11.5 μm . Estrias radiales en toda la valva, levemente punteadas, 8/10 μm en el centro, 12/10 μm en los extremos. Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y la figura dada por Krammer & Lange-Betalot (1986, pág. 142; Fig. 49:4) para *Navicula gastrum*.

Especie cosmopolita, alcalinofila, perifítica (Lowe 1974).

Navicula nivalis Ehrenberg 1854

Sin.: *Navicula mutica* var. *nivalis* Hustedt, *N. mutica* var. *undulata* (Hilse) Grunow, *N. mutica* var. *quinquenodis* Grunow, *N. mutica* var. *nivalis* (Ehrenberg) Hustedt (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas con bordes triondulados, ápices rostrados. Área axial estrecha, área central formando un estauo con un punto aislado excéntrico. Rafe estrecha, con fisura terminal poco visible, dirigida hacia el lado de la valva carente de punto. Medidas obtenidas (n=5): 15.0-16.5 x 6.0-8.0 μm . Estrías fuertemente radiales, punteadas, 18-20/10 μm .

Los ejemplares analizados coinciden con las medidas y las figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 152; Figs. 61: 17-20). Patrick & Reimer (1966) describen *N. mutica* var. *undulata*, la cual coincide totalmente con nuestros especímenes y con la descripción y figuras de Krammer & Lange-Bertalot (*op. cit.*). Por lo tanto, nosotros la hemos considerado como sinonimia.

Navicula radiosa Kützing var. *tenella* (Brébisson) Grunow

Sin.: *Navicula leptostriaca* Jorgensen (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas lanceoladas, con extremos adelgazados, redondeados. Área axial estrecha, área central pequeña, asimétrica. Rafe filiforme. Medidas obtenidas (n=10): 29.0-42.0 x 5.5-8.0 μm . Estrías radiales y generalmente curvas en el centro, convergentes en los extremos, 13-15/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y la figuras dadas por Hustedt (1930b, pág. 299; Fig. 513) y Germain (1981, pág. 184; Figs. 30: 9-10) para *Navicula radiosa* var. *tenella*.

Especie cosmopolita, relativamente indiferente al pH y al contenido iónico, más sensible al contenido de materia orgánica, β -mesosaprobia. Especie con muchas formas, difícil de diferenciar (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Navicula mutica var. *mutica* Kützing 1844

Sin.: *Stauroneis rotæana* Rabenhorst, *Navicula imbrica* Bock, *Navicula paramutica* Bock (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Valvas lanceoladas con extremos de redondeados a ligeramente rostrados. Área axial estrecha, área central formando un amplio estauo, con un estigma excéntrico. Rafe recta, con extremos terminales poco visibles, en forma de gancho, dirigidos hacia el lado de la valva carente de estigma. Medidas obtenidas (n=10): 12.0-18.5 x 5.0-7.8 μm . Estrías muy radiales, punteadas, 16-20/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y las figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág. 149; Figs. 1-7) para *Navicula mutica* var. *mutica*.

Esta especie se encuentra junto con otras especies resistentes a la desecación (*N. contenta*, *N. galina*, *Melosira roeseana*), siendo todas ellas diatomeas de tipo "terrestre" (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Especie cosmopolita. Característica de aguas ricas en oxígeno. Tiene un buen desarrollo en aguas con pH alrededor de 7, aunque también pueden

ser alcalifilas (intervalo de 6.5-8.5, óptimo 7.5, 8.5). Oligohalobias a halofilas hasta tolerante a pequeñas concentraciones de sal. Se encuentran en aguas corrientes y estancadas (características de hábitats no sumergidos, pequeños cuerpos de agua estancada, frecuentemente en el suelo). Perifítica hasta ticolanctónica. Tiene un máximo crecimiento durante el otoño (Lowe 1974).

Nitzschia amphibia var. *amphibia* Grunow 1962

Sin.: *Nitzschia amphibia* var. *acutiuscula* Grunow (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas elíptico-lanceoladas, extremos de ligeramente redondeados a aguzados. Quilla del rafe marginal con fibulas cortas. Medidas obtenidas (n=10): 21.0-36.5 x 4.6-6.0 µm. Estrias punteadas, 16-20/10 µm. Fibulas, 6-9/10 µm. La descripción obtenida para esta especie coincide con las medidas y la figura dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 108; Fig. 20) para *Nitzschia amphibia* var. *amphibia*.

Especie que gusta de aguas con alto contenido electrolítico, en condiciones α-mesosaprobias? a oligosaprobias (Krammer & Lange-Bertalot, 1986). Especie alcalifila a alcalibióntica (intervalo 4.0-9.3, óptimo ligeramente sobre 8.5). Eutrófica. Tolera pequeñas concentraciones de sal. Se encuentran en aguas corrientes y estancada (lagos, pequeños cuerpos de agua estancada, rios y arroyos). Perifíticas. Euritermal, oligoterma o mesoterma (Lowe 1974).

N. amphibia f. *frauenfeldii*

Sin.: *Bacillaria frauenfeldii* Grunow, *Nitzschia amphibia* var. *elongata* Grunow in Cleve y Müller, *N. amphibia* var. *frauenfeldii* Grunow in Von (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas con contorno variable, de linear a linear-lanceolada. Extremos adelgazados en forma de cuña, redondeados. Rafe lateral, pegada al margen valvar. Fibulas cortas, no sobrepasan ni la tercera parte del ancho valvar. Medidas obtenidas (n=10): 20.0-110.0 x 4.5-5.5 µm. Estrias punteadas. 16-18/10 µm. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 108; Figs. 78: 25-26) para *N. amphibia* f. *frauenfeldii*.

Esta especie puede confundirse con *N. amphibioides*, de la cual difiere por el número de estrias en 10 µm y por las fibulas, las cuales en *N. amphibioides* pueden alcanzar o sobrepasar una tercera parte del ancho valvar. Según Krammer & Lange-Bertalot esta variedad puede tener una longitud de hasta 120 µm, lo que la distingue de la especie tipo.

Nitzschia amphibioides Hustedt 1942

Sin.: *Nitzschia robusta* Hustedt, *N. denticula* sensu auct. nertull. (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Valvas lanceoladas, con extremos no alargados, adelgazados, redondeados. Rafe lateral, pegada al margen valvar. Fibulas prolongadas en costillas, las cuales pueden alcanzar

hasta la mitad del ancho valvar. Medidas obtenidas (n=10): 10.0-42.0 x 4.5-5.5 μm . Estrias punteadas, 16-18/10 μm . Fíbulas 8-10/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988, pág. 109; Figs. 78: 27-28) para *Nitzschia amphibioides*. Sólo difiere en el número de estrias y fíbulas. Nuestros ejemplares coinciden asimismo con las medidas dadas por Hustedt (1930, pág. 407-408; Fig. 780) para *Nitzschia denticula*, pero difieren en la longitud de las fíbulas; en la figura dada por Hustedt alcanzan más de la mitad del ancho valvar y, en nuestros ejemplares, las fíbulas no sobrepasan la mitad de este ancho, por lo que sugerimos que nuestros ejemplares son una variedad entre *Nitzschia amphibioides* y la que se denominaba *Nitzschia denticula* (ahora *Denticula Kützingii*, según Krammer & Lange-Bertalot (1988).

Pinnularia viridis (Nitzsch.) Ehrenberg 1843

Sin.: *Bacillaria viridis* Nitzsch (Krammer & Lange-Bertalot, 1986).

Valvas amplias, lineares, borde valvar irregular, ligeramente abultado en los extremos y en el centro. Extremos redondeados. Área axial amplia, área central ligeramente redondeada. Rafe sinuosa, con las fisuras proximales conspicuas, fisuras distales divididas en dos secciones, una recta y la segunda enrollada formando una "lengua". Nódulo central reforzado. Estrias aparentemente gruesas, debido a la presencia de cámaras internas, visibles en microscopía electrónica; cerca del margen se refuerzan, observándose en el microscopio óptico como una banda oscura alrededor de todo el margen. Medidas obtenidas (n = 10): 150.0-210 μm . x 23.0-30.0 μm . Estrias 6-8/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág.428; Figs. 194: 1-4; 195: 1-5) para *Pinnularia viridis*.

Ecología variable, menos habituada a las turberas que otras especies del género, las pequeñas formas se encuentran frecuentemente sobre las rocas. Toleran bien la desecación del medio, un bajo grado de contaminación, igual que un bajo contenido de sal (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

Stephanodiscus minutulus (Kützing) Cleve & Müller 1878

Sin.: *Cyclotella minutula* Kützing, *Stephanodiscus astraea* var. *minutula* (Kützing) Grunow, *S. rotula* var. *minutulus* (Kützing) Ross & Sims, *S. minutulus* (Kützing) Round, *S. perforatus* Genkal & Kuzmin (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Valvas redondeadas, circulares, con pequeñas elevaciones o depresiones en el centro, difíciles de observar con M.O. Estrias de areolas radiales de una sola hilera en el centro y de 2 a 3 hileras en el margen valvar; las areolas centrales ligeramente desordenadas. Estrias radiales, interestrias finas en cuyo extremo hay una espina. Se encuentra una fultopórtula en el centro del plano valvar en vista interior. Manto valvar plano, fultopórtulas marginales debajo de cada tercera a quinta espina. Rimopórtula en el manto valvar. Medidas obtenidas (n=30): 2.9-12.0 μm .

Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 71; Figs. 7-10) para *Stephanodiscus minutulus*.

Especie cosmopolita, planctónica, presente también en aguas muy sucias, con alto contenido de electrolitos (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

La especie puede fácilmente confundirse con cualquier *Stephanodiscus* pequeño, por ejemplo, con *S. parvus*, del cual se diferencia porque éste último tiene las valvas planas; sin embargo, debido a su tamaño, dicha característica es difícil de observar en el M.O.

***Stephanodiscus parvus* Stoermer & Håkansson 1984**

Sin.: *Stephanodiscus hantzchii* f. *parva* Grunow ex Cleve & Müller, *S. hantzchii sensu* Haworth (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Formas totalmente redondeadas, sin pequeñas elevaciones o depresiones en el centro valvar. Estrias de areolas radiales, de 1 hilera en el centro hasta 2 hileras en el margen valvar. Entre las estrias hay interestrias finas en cuyo extremo se encuentra una espina. Fultopórtula excéntrica en el plano valvar. Manto valvar plano. Medidas obtenidas (n=30): 4.0-12.0 μm .

Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág. 71; Figs. 74: 1-4) para *Stephanodiscus parvus*.

Estomatoquiste 46

Forma esférica, de textura aparentemente lisa, con una abertura en forma de poro, sin el desarrollo de un collarín (diámetro 3-5.5 μm). La descripción de Duff *et al.* (1995) para el estomatoquiste 46 coincide en forma y tamaño con nuestros ejemplares.

Dicho estomatoquiste es producido por especies de crisofíceas tolerantes a alta salinidad (> 10 mg/l) (Duff *et al.* 1995). Es dudoso que el paleolago Tlaxcala tuviera salinidades tan elevadas; sin embargo, no queda claro si las especies productoras se encuentran también en salinidades más bajas.

Estomatoquiste 116 A

Forma esférica, de textura aparentemente lisa, con una abertura en forma de poro y collarín muy poco desarrollado. Diámetro 3-5.5 μm . Estos ejemplares se parecen a las figuras dadas por Duff *et al.* (1995, pág. 51; Fig. 36: A, D y F), a excepción del diámetro, que para estos autores es de 9.2-12.7 μm .

Tal estomatocisto es producido por especies de crisofíceas alcalifílas, en lagos de aguas dulces y oligotróficos. (Duff *et al.* 1995).

GLOSARIO

ALCALINOBIONTICA: Especie que se puede localizar en aguas con un pH por arriba de 7, con un buen desarrollo en aguas con un pH inferior a 7 (Lowe, 1974).

ALCALINOFILA: Especie con un buen desarrollo en aguas con un pH superior a 7 (Lowe, 1974).

ANILLO HIALINO: Estructura sin ornamentación que se presenta en la zona marginal de la valva con rafe del género *Cocconeis*, o en ambas valvas en la especie *C. scutellum*. Diferentes autores le han denominado asimismo "loculiferous annulus" (Cleve 1895), "Ring rudimentärer Kammern" (Hustedt 1933) y "fimbriate valvocopulae" (Holmes *et al.* 1981) (todos ellos citados por Krammer & Lange-Bertalot 1991).

APICES: Sinónimo de extremo valvar en las diatomeas pennaes (Round *et al.* 1991).

AXIAL (AREA, PSEUDORAFE, ESPACIO O ZONA): Zona central y alargada longitudinalmente, del frústulo de las diatomeas pennaes en vista valvar, en la cual no entran las estrias y en donde se ubica la rafe. Es sinónimo de AREA LONGITUDINAL (Round *et al.* 1991).

CANAL RAFIDIANO: Engrosamiento hueco debajo de la rafe (cara interna) que en el género *Nitzschia* se sitúa en el área marginal y se prolonga hacia el interior de la valva en forma de costillas (fibulas o quillas) (Round *et al.* 1991).

CAPITADO: Relativo a poseer una forma de cabeza, es decir, abultada y conectada con el resto de la estructura mediante un cuello más delgado (Round *et al.* 1991).

CENTRAL (AREA, ESPACIO O ZONA): Zona media de la valva donde no interrumpen las estrias, tanto en las diatomeas centrales como en las pennaes (Round *et al.* 1991)

CINGULO (SUTURA): Parte del frústulo, unión entre la epivalva y hipovalva, está formado por varios elementos o cinturas compuestos de sílice blando (Round *et al.* 1991)

CIRCUMNEUTRAL (INDIFERENTE AL pH): Relativas a aguas con un pH alrededor de 7, denotando un muy buen desarrollo de las diatomeas alrededor de este pH (Lowe, 1974).

DISTAL (EXTREMO): Extremo que termina en los ápices valvares de las diatomeas pennaes (Round *et al.* 1990).

EJE APICAL: Es el que transcurre entre los ápices del frústulo y se aplica en las diatomeas con simetría bilateral (arafidias y rafidiadas) (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

EJE PERVALVAR: Es el que cruza en forma perpendicular las hemivalvas (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

EJE TRANSAPICAL: Es el que cruza perpendicularmente el eje apical, es decir, va de lado a lado de la zona pleural (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

EPIPELICO: Relativo a organismos que viven sobre el lodo o sustrato (McIntre. 1971 en Weber 1971).

EPLITICO: Organismos que viven sobre rocas húmedas o en otras superficies sumergidas (plástico, metal, vidrio y madera) (McIntre 1971 en Weber 1971).

EPIFITICO: Relativo a organismos que viven sobre plantas acuáticas (McIntre 1971 en Weber 1971).

EPIVALVA (EPITECA): Valva superior del frústulo que cubre y embona por la parte exterior con la hipovalva (Round *et al.* 1991).

EPITECA: Ver EPIVALVA.

ESTAURO: Es una zona central ampliada hasta los bordes de la valva por carecer de estrias en el centro (Round *et al.* 1991).

ESTIGMA: Estructura pequeña y redonda que se encuentra en un lado del área central en especies de géneros como *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, etc. Es sinónimo de PUNTO. Perforación de la pared silicea cerca del nódulo central en el orden Pennales (Round *et al.* 1991).

ESTRIA: Líneas de areolas, de puntos o un alveolo (Round *et al.* 1991).

EUTERMAS: Propio de organismos que viven an aguas termales, usualmente con una temperatura superior a 30°C (Lowe, 1974).

EUTROFICA: Adjetivo que alude a aguas con alta concentración de nutrientes (Patrick 1971 en Weber 1971).

FIBULA: Elementos silíceos del rafe que dejan espacios entre sí (interespacios). Se les denominan PUNTOS CARENALES ó PUNTOS DE LA QUILLA (Round *et al.* 1991).

FISURA TERMINAL: Forma de terminación del rafe en su extremo terminal (Round *et al.* 1991).

FISURA CENTRAL (PROXIMAL): Forma de terminación del rafe en su extremo proximal (Round *et al.* 1991).

FRUSTULO (TECA): Parte silíceo de la pared celular, formado por dos valvas y el cíngulo (Round *et al.* 1991).

FULTOPORTULA (PROCESO REFORZADO): Estructura tubular que atraviesa la valva de lado a lado, con orificios en la parte interna; estos orificios están más reforzados con sílice, presentan poros satélites no visibles desde el exterior (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

HELICTOGLOSA: Estructura interna de las terminaciones de la rafe, característica del subgénero *Achnanthes* (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

HIPOVALVA (HIPOTECA): Valva inferior del frústulo, de menor tamaño que la Epivalva (Round *et al.* 1991).

HIPOTECA: Ver HIPOVALVA.

LONGITUDINAL (AREA, ESPACIO, ZONA): Sinónimo de AREA AXIAL (ver).

LONGITUDINAL (EJE): El eje que atraviesa el frústulo, pasando por los ápices en las diatomeas pennales (Round *et al.* 1991).

MESOTERMAS: Propio de organismos que viven en aguas templadas, usualmente entre 15°C y 30°C (Lowe 1974).

MESOTROFICO: Relativo a aguas con moderada concentración de nutrientes (Patrick 1971 en Weber 1971).

MESOSAPROBIO: Relativo a zonas con procesos medianamente intensos de putrefacción de desechos de origen orgánico (Patrick 1971 en Weber 1971, Lowe 1974).

(α -Mesosaprobio): Relativo a zonas con fuerte contaminación de materia orgánica (Lowe 1974).

(β -Mesosaprobio): Relativo a aguas menos contaminadas por materia orgánica que la anterior (Lowe 1974).

NODULO TERMINAL (DISTAL): Engrosamiento del rafe en los ápices, es donde se encuentra la fisura terminal (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

NODULO PROXIMAL (CENTRAL): Engrosamiento del rafe, interrumpiéndolo en el área central (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

OLIGOTERMAS: Propio de organismos que viven en aguas frías, usualmente entre 0°C y 15°C (Lowe 1974).

OLIGOTROFICO: Relativo a aguas con baja concentración de nutrientes (Patrick 1971 en Weber 1971).

OLIGOSAPROBIO: Relativo a zonas con oxidación completa de componentes biodegradables, los cuales se acumulan en baja cantidad (Patrick 1971 en Weber 1971).

PERIFITICO: Relativo a habitar sobre otros vegetales sumergidos (McIntre 1971 en Webe 1971).

PLEURAL: Relativo a la vista lateral del frústulo (Round *et al.* 1991).

POROIDE: Equivalente a areola (Round *et al.* 1991).

PROXIMAL (EXTREMO): Extremo que termina en el área central de la valva de las diatomeas pennales (Round *et al.* 1991).

PSEUDORAFE: Area axial sin rafe, sólo se encuentra una huella , en donde debería de estar el rafe (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

PUNTO: Ver ESTIGMA.

QUILLA: ver FIBULA.

RAFE: Fisura longitudinal que se ubica en el ÁREA AXIAL. Una fisura o un par de fisuras a través de la valva (Round *et al.* 1991).

RAFE REVERSO-LATERAL: Rafe que forma un pequeño zig-zag en su parte media-proximal (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

RIMOPORTULA (PROCESO LABIADO): Un tubo o abertura a través de la pared de la valva, provisto hacia el interior de un tubo aplanado rodeado a menudo de dos labios (Nora Maidana comp. pers., Round *et al.* 1991).

ROSTRADO: Relativo al engrosamiento de un ápice sin la presencia de un cuello adelgazado que lo una con el resto del frústulo (Nora Maidana com. pers., Round *et al.* 1991).

SAPROBIEDAD (SAPROBIO): Término que alude al acúmulo de materia orgánica en un cuerpo de agua (Patrick 1971 en Weber 1971).

SAPROFILO: Característico de organismos que se localizan en aguas contaminadas aunque también pueden localizarse en otras condiciones, se les considera a estos organismos como indiferentes (Patrick 1971 en Weber 1971).

SAPROXENO: Organismos característicos de aguas limpias, aunque también pueden sobrevivir en presencia de contaminación (Patrick 1971 en Weber 1971).

SAPROFOBICO: Organismos característicos de aguas que no han sido expuestas a la contaminación orgánica (Patrick 1977 en Weber 1971).

SEMITECA. Cada una de las valvas que forman el frústulo (Round *et al.* 1991).

SUTURA: Ver cíngulo.

TECA: Ver frústulo.

TICOPLANCTON: Organismos béntonicos o epífitos que, por resuspensión turbulenta, aparecen como elementos planctónicos (Lowe, 1974).

TRANSAPICAL: Relativo al eje transversal en vista valvar (Round *et al.* 1991).

TRIONDULADO: Relativo a la presencia de 3 ondulaciones en los márgenes valvares (Round *et al.* 1991).

VALVAR: Relativo a la vista superior o inferior del frústulo (Round *et al.* 1991).

VISTA CONECTIVA: Observación de un frústulo por el lado del cíngulo (Round *et al.* 1991).

BIBLIOGRAFIA

- Abbot, W.H. & S. Van Landingham. 1972. Micropaleontology and paleoecology of Miocene non-marine diatoms from the Harper District, Malheur County, Oregon. *Nova Hedwigia* 23: 847-906.
- Andrews, G.W. 1966. *Late Pleistocene diatoms from the Trempeleau Valley, Wisconsin*. Geol. Surv. Prof. Paper 523-A
- Andrews, G.W. 1972. Some fallacies of quantitative diatom paleontology. *Nova Hedwigia, Beih.* 39: 285-295.
- Auboun, J., Browsee, R. & Lehmon, J. 1980. *Tratado de Geología: Tectónica. Tectonofísica y morfología*. Omega, Barcelona, 640 pp.
- Battarbee, R.W. 1986. Diatom analysis. Pp. 527-570 en B.E. Berglund (Ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 869 pp.
- Beadle, L.C. 1981. *The inland waters of tropical Africa. An introduction to tropical limnology*. 2nd. ed., Longman, London, 475 pp.
- Bourelly, P. 1981. Les algues d'eau douce. Tome II. Les algues jaunes et brunes. Société Nouvelle des Éditions Boubée, Paris, 517 pp.
- 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. 1982a. Holocene chronostratigraphy of Mexico and Central America. pp. 46-48 en J. Mangerund, H.J.B. Birks & K.-D. Jaeger (Eds.): *Chronostratigraphic subdivision of the Holocene Striae*. Vol. 16, Uppsala.
- Bradbury, J.P. 1982b. Paleoecological 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.
- Brugam, R.B. 1980. Postglacial diatom stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. *Quat. Res.* 13: 133-146.
- Brugam, R. & Patterson, C. 1983. The A/C (Araphidineae / Centrales) ratio in high and low alkalinity lakes in eastern Minnesota. *Freshwater Biology*. 13: 47-55.
- Clark, R.L. & R. J. Wasson. 1986. Reservoir sediments. pp. 497-507 in P. De Deckker & W.D. Williams (Eds.): *Limnology in Australia*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 671 pp.
- Delcourt, H.R. & P.A. Delcourt. 1991. *Quaternary ecology. A paleoecological perspective*. Chapman & Hall, London, 242 pp.
- Donahue, J.G. 1970. Pleistocene diatoms as climate indicators in North Pacific sediments. *The Geological Society of America, Inc. Memoir* 126: 121-138.
- Duff, K. E., B. A. Zeeb & Jonh P. Smol. 1995. *Atlas of Chrysophycean cysts*. Kluwer Academic, Londres, 188 pp.

- Edmonson, W.T. & D.E. Allison. 1970. Recording densitometry of X-radiographs for the study of cryptic laminations in the sediment of lake Washington. *Limnol. & Oceanogr.* 15: 138-144.
- Ehrenberg, C.G. 1846. On the remains of infusoria animalcula in volcanic rocks. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*: 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 Taffeln.
- 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 Taffel.
- Ehrenberg, C.G. 1869. Über mächtige Gebirgs-Schichten vorherrschend aus mikroskopischen Bacillarien unter und bei der Stadt Mexiko. *Abh. d.k.k. Akad. d. Wiss. z. Berlin*, 66 pp., 3 Taffeln.
- Foged, N. 1993: Some diatoms from Siberia especially from lake Baikal. *Diatom Research* 8 (2): 231-279
- Freguelli, J. 1941. Diatomeas del río de La Plata. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Tomo III, Sección Botánica*: 213-334.
- Fryzell, G. A. 1986: Polymorphism in relation to enviromental condions as exemplified by clonal cultures of *Thalassiosira tumida* (Janisch) Hasle. 9 th *Diatom-Symposium* 61: 73.
- Genkal, S. & Håkansson, H. 1990. The problem of distinguishing the newly described diatom genus *Pseudostephanodiscus*. *Diatom Research* 5 (1): 15-23.
- Germain, H. 1981. *Flore des diatomées. Diatomophycées*. Societé Nouvelle des Editions Boubée, Paris, 443 pp.
- Håkansson, H. 1981. A taxonomic reappraisal of some *Stephanodiscus* species (Bacillariophyta). *Bt. Phycol. J.* 21: 25-288.
- Håkansson, H. & H. Kling, 1989. A light and electron microscope study of previously described and new *Stephanodiscus* species (Bacillariophyceae) from Central & Northern Canadian lakes, with ecological notes on the species. *Diatom Research* 4(2): 269-288.
- Håkansson, H. & H. Kling 1990: The current status of some very small fresh diatom of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. *Diatom Research Vol. 5(2)*: 273-287.
- Håkansson, H. & Mayer 1994: A comparative study of species in the *Stephanodiscus niagarae*-complex and a description of *S. heterotylus* sp. nov. *Diatom Research* 9 (1): 65-85
- Håkansson, H., E. C. Theriot & E. F. Stoermer. 1986: Morphology and taxonomy of *Stephanodiscus vestibulis* sp. nov. (Bacillariophyta). *Nord J. Bot.* 6(4): 501-505
- Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton ecology. Structure, function and fluctuation*. Chapman & Hall, London. 384 pp.
- Haworth, E. Y., 1983. A scanning electron microscope study of *Cyclotella stelligera* and related taxa. *Bot. Mus. Rapp.* 33: 15-25.

- Heine, K. 1973. Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 51-58.
- Hernández-Velasco, A. 1955. Minerales no metálicos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana XVIII*. (1): 34-53
- Hurlburt C. S. & C. Klein. 1990. *Manual of Mineralogy*. J. D. Dana, New York.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (ed.): *Die Suesswasser-Flora Mitteleuropas*. 2nd. ed. Gustav Fischer Verlag, Jena, 466 pp.
- Hustedt, 1959. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 816 pp.
- Hustedt 1961-1966. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora, Band VII Die Kieselalgen. 3 Teil: Gattung Navicula*. Otto Koeltz Science Publishers (1977), Koenigstein. 816 pp.
- Hürlimann J., 1991. Morphologische und ökologische charakterisierung von Sippen um den *Fragilaria capucina* Komplex *sensu* Lange-Bertalot, 1980. *Diatom Research* 6 (1), 21-47.
- Klaus, D. 1973. Las fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 59-62.
- Kling, H.J. 1992. Valve development in *Stephanodiscus Hantzschii* Grunow (Bacillariophyceae) and its implications on species identification. *Diatom Research* 7(2): 241-257.
- Kobayasi, H & Kobayashi, H. 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. *Journal of Phycology* 35 (4): 268-276.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1986. *Suesswasserflora von mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 440 pp.
- Krammer, k. & H. Lange-Bertalot. 1988. *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 2 Teil: Epithemiaceae, Surerillaceae, Band 2/2*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 437 pp.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991: *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 pp.
- Labeyrie, L. et J.-C. Duplessy. 1973. Géochimie isotopique de la silice biogénique. Détermination d'une nouvelle échelle de paléotempératures. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique* (2), vol. XV, fasc. 5: 511-522.
- Lauer, W. 1976. Medio ambiente y desarrollo cultural en la región de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 16: 69-73.
- 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. 1960. The ubiquitous diatom. - A brief survey of the present state of knowledge. *Am. J. of Science, Bradley*, 258-A: 180-191.

- Lohman, K.E. 1961. Geological ranges of Cenozoic non-marine diatoms. *Geological Survey Research D*, 373: 234-236.
- Longmore, M.E. 1986. Modern and ancient sediments—data base for management of aquatic ecosystems and their catchments. Pp. 509-522 en P. De Deckker & W.D. Williams: *Limnology in Australia*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 671 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-García, R. 1946. *El tízar y su distribución en México*. Estudios Geológicos-Económicos, Serie de minerales no-metálicos. Ito. de Geología, UNAM, México.
- Mann, D.G. 1993. Patterns of sexual reproduction in diatoms. *Hydrobiologia* 269/270: 11-20.
- 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 periodo en el área pirenaica y en época miocénica. *Actas del Tercer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*: 217-226.
- Margalef, R. 1969. Size of centric diatoms as an ecological indicator. *Mitt. Internat. Verein Limnol.* 17: 202-210.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, 1010 pp.
- Metcalfe, S. 1988. Modern diatom assemblages in Central México: the role of water chemistry and other environmental factor as indicated by TWINSPAN & DECORANA. *Freshwater Biology* 19: 217-233.
- Metcalfe, S., Street-Perrot, A., Perrot, A & Harkness, D. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma Basin, Central Mexico: a record of climatic change and antropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology* 5: 197-218.
- Metcalfe, S. 1991. Diatoms in a core from Laguna Zacapu, Michoacán, México. *9th Diatom Symposium*: 251-264.
- Metcalfe, S. 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.
- Miranda, J., A. Oliver, G. Vilaclara, R. Rico-Montiel, V.M. Macías, J.L. Ruvalcaba & 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. Vilaclara, R. Rico-Montiel, J. Cañetas, M. Lugo, E. Hernández-Juárez y M.A. Zenteno. Caracterización de sedimentos diatomíferos por medio de PIXE, difracción de rayos X, Tomografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *Memorias de la Reunión Latinoamericana de Métodos Físicos, Chile*. In Press.

- Ontiveros-Hernández, 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.
- Paasche, E. 1973. The influence of cell size on growth rate, silica content and some other properties of four diatom species. *Norw. J. Bot.* 20: 197-204.
- Patrick, R. & C. W. Reimer. 1966. *The diatoms of the United States. Volume I.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia # 13, NAS, Philadelphia, 688 pp.
- Patrick, R. & C. W. Reimer. 1975. *The Diatom of the United States. Exclusive of Alaska And States Volume II.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia · 13, NAS, Philadelphia, 213 pp.
- Prescott, G.W. 1973. *Algae of the Western Great Lakes Area.* Otto Koeltz Science Publishers (1982), W-Germany, 978 pp.
- Richads, J, Oliver, A., Miranda, J. & Zironi, E. 1990. Uses of PIXE at low proton energies. *Applied Surface Science* 45: 155-166.
- Rico, R. *Paleoecología de un depósito lacustre de diatomita, Tlaxcala.* Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. Ciencias, UNAM, México. En proceso.
- Rico, R., L. Martínez, A. Reyes y J. Castillo. 1991. Fauna fósil de la Barranca Huexoyucan, Edo. Tlaxcala. *XI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*, resumen 254.
- Rico, R., L. Martínez, M.R. Fernández, J.L. Aragon. 1992. Esponjas fósiles de algunos depósitos lacustres del Cuaternario de México. *XII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*, resumen 144: 74.
- Rico, R., G. Vilaclara, R. Carrillo & M. A. Zenteno. 1993. Methodological proposal for lacustrine sediment analyses applied to Tlaxcala diatomite, Mexico. *Verh. Internat. Limnol.* 25 (2): 1072-1074.
- Rico, R., J. Cañetas, G. Vilaclara, J. Aragón, R. Fernández y L. Martínez. 1994. Análisis de las estructuras valvares de diatomeas fósiles del género *Stephanodiscus* Ehrenberg con microscopía electrónica de barrido. 2o. *Congreso Mexicano de Microscopia Electrónica.*
- Rico, R., et al. 1995. Los lagos muertos de México. 195-209 Pp en : de la Lanza, E. G., y J. L. García Calderón (compiladores): *Lagos y presas de México.* Centro de Ecología y Desarrollo, 319 pp.
- Rico, R., G. Vilaclara, J. Miranda & J. Cañetas. Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Verh. Internat. Verein Limnol.* 26. In press.
- Rivera, P., O.O. Parra, M. González, V. Dellarossa y M. Orellana. 1982. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae.* Universidad de Concepción, Chile, 90 pp.
- Round, F.E., R.M. Crawford & D.G. Mann. 1991. *The diatoms. Biology and morphology of the genera.* Cambridge University Press, Cambridge, 747 pp.
- Round, F. E., 1982: *Cyclostephanos*; a new genus within the Sceletonemaceae. *Arch. protistenk.* 125: 323-329.

- Round, F. E. & Håkansson, H. 1992: *Cyclotelloid* species from a diatomite in the Harz mountains, Germany, including *Pliocaenicus* gen. nov. *Diatom Research*, 7 (1): 109-125.
- Sabater, S. 1991. Size as a factor in centric diatoms distribution. The spanish reservoirs as an example. pp. 45-60 in J.D. Ros & N. Prat (Eds.): *Homage to Ramón Margalef; or why there is such pleasure in studying nature*. Publicacions de la Universitat de Barcelona, 439 pp.
- Sieminska, J., 1988; *Pseudostephanodiscus* gen. nov. (Bacillariophyceae). *Arch. Protistenk.* 135: 183-185
- Sládeček, V., Zelinka, M., Rothschein, J. & Moravcová, V. 1981. *Biologicky Rozbor Povrchové Vody: Komentár k CSN 83 0532-cásti 6: Stanovení sáprního indexu*. Vydavatelství Úradu pro normalizaci a měření. Praga, 186 pp.
- Sládeček, V. 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 14(5): 555-566.
- Sládeček, V. & Sládečková, A. 1994. Corixidae as indicators of organic pollution. *Freshwater Forum* 4 (3): 211-213.
- Smith, G.M. 1950. *The freshwater algae of the United States*. MacGraw-Hill Book Co., Inc., N.Y., 719 pp.
- Soutar, A., S. J. Johnson & E. Taylor. 1982. 58. X-Radiography of Hole 480: Procedures and Results. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project. Vol. LXIV, Part. 2:* 1183-1190
- Secretaría de Programación y Presupuestos. 1981. *Síntesis Geográfica de Tlaxcala*. México, D. F., 91 pp.
- Stoermer, E. F., J. A. Wolin, C. L. Scheleske & D. J. Conley. 1985. Variations in *Melosira islandica* valve morphology related to eutrophication and silica depletion. *Limnol & Oceanogr.* 30(2): 414-418.
- Stoermer, E. F., Håkansson, H. & Theriot, E. C. 1987. *Cyclostephanos* species newly reported from North America: *C. Tholiformis* sp. nov. and *C. costalimbus* comb. nov. *Bt. Phicol. J.* 22: 349-358.
- Stoermer, E. F., G. Emmert & C. Scheleske. 1989. Morphological variation of *Stephanodiscus niagarae* Ehr. (Bacillariophyta) in a lake Ontario sediment core. *Journal of Paleolimnology* 2:227-236.
- Theriot, E. & Stoermer, E. F. 1981. Some aspects of morphological variation in *Stephanodiscus niagarae* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 17: 64-72.
- Theriot, E. & Stoermer, E. F. 1982. Observations on North American populations of *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species attributed to Friedrich Hustedt. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 101(4): 368-374.
- Theriot, E. & P. Kociolek 1986. Two new pliocene species of *Cyclostephanos* (Bacillariophyceae) with comments on the classification of freshwater Thalassiosiraceae. *Journal of Phycology* 22: 121-128.
- Theriot, E., Stoermer, E. & Håkansson, H. 1987. Taxonomic interpretation of the rimoportula of freshwater genera in the centric diatom family Thalassiosiraceae. *Diatom Research* 2: 251-265.

- Toliner, E. W. 1991. X-ray computed tomography applications in soil ecology studies. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 34: 251-260.
- Van Heurck, H. 1899. *Traité des Diatomées*. J.-E. Buschmann. Reimpresión (1963), J.R. Hansen, Bruxelles, 574 pp., 35 pl.
- Vilaclara, G., R. Rico & J. Miranda. Effects of perturbations on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein. Limnol* 26. In Press.
- Vilaclara, G., M. Chavez., 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.
- Von Erfa, A. W. Hilger, K. Knoblic y R. Weyl. 1976. Geología de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 13: 99-118.
- Watts, W. A. & 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.
- Weber, C.I. 1971. *A guide to the common diatoms at Water Pollution Surveillance System stations*. US-EPA, Cincinnati, 108 pp.
- Werner, D. (ed.). 1977. *The biology of diatoms*. Botanical Monographs. Vol. B. University of California Press, 498 pp.
- Weyl, R. 1976. Determinación y clasificación de las rocas volcánicas en la región Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 10: 69-73.