



77  
2-4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

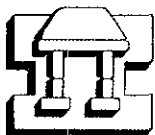
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
*Campus* IZTACALA

MICROANÁLISIS DE LAMINACIONES EN EL DEPÓSITO  
DIATOMÍFERO DE LA MINA DE SANTA BÁRBARA,  
PALEOLAGO TLAXCALA, TLAX.

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**B I Ó L O G O**  
P R E S E N T A :  
**ALEJANDRO RODRÍGUEZ RAMÍREZ**

DIRECTOR DE TESIS: DRA. GLORIA VILA CLARA FATJÓ

1998



IZTACALA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO

201413



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por su dirección en la realización del presente trabajo, así como por el aporte de conocimientos de diferente índole recibidos en mi continua formación académica y humana.

Al profesor Roberto Rico Montiel, que con su invaluable experiencia en el área ayudó en el discernimiento de múltiples dudas surgidas durante la realización de este trabajo.

A la M. en C. Jaqueline Cañetas Ortega, del Departamento de Física Experimental del IFUNAM y responsable del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, por su paciencia y tiempo invertido en la obtención de microfotografías indispensables para la determinación taxonómica.

A las profesoras y revisoras de esta tesis, Martha Gaytán Herrera, Gloria Garduño Solorzano, Guadalupe Oliva Martínez y M<sup>a</sup> de los Ángeles García Gómez, por sus acertados comentarios y sugerencias en la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier Miranda Martín del Campo, del IFUNAM, por la ayuda recibida en la aplicación de las técnicas de PIXE y DRX aplicadas en el material estudiado. Asimismo, a los técnicos académicos del IFUNAM, Karim López -por la operación del acelerador de protones Van der Graaff 0.7 MV-, Edilberto Hernández -por la operación del difractómetro de polvos Siemens D5000-, y a Ernesto Santillana por la preparación de las muestras.

Al Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía de la Secretaría de Salud, por las facilidades otorgadas en el uso del Tomógrafo Axial Computarizado.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, por el apoyo económico recibido a través de los proyectos "Efecto de perturbaciones y catástrofes en sistemas naturales: El caso del vulcanismo y el clima en los sedimentos lacustres diatomíferos de la Faja Volcánica Mexicana" (DGAPA IN-203094) y "Dinámicas cifradas en sistemas biológicos: El tránsito de secuencias a mecanismos" (DGAPA IN116198).

A la ENEP Iztacala y a sus profesores, por la infraestructura, tiempo y conocimientos otorgados durante mi formación como Biólogo.

A la M.C. Pilar Castillo Nava y al Biól. Mario Chavez Arteaga por su gran ayuda para la culminación de esta tesis.

A todos los integrantes del Proyecto CyMA, por su apoyo y las facilidades dadas para llevar a buen fin este trabajo; en especial a los Investigadores y compañeros del área de Limnología, con los cuales es un verdadero placer trabajar.

Por supuesto, no puedo dejar de agradecer las grandes experiencias y los buenos momentos vividos, gracias a la amistad que me han otorgado mis buenos amigos Luis, Maritza, Mayra, Rodolfo y Yolotzin.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó por su dirección en la realización del presente trabajo, así como por el aporte de conocimientos de diferente índole recibidos en mi continua formación académica y humana.

Al profesor Roberto Rico Montiel, que con su invaluable experiencia en el área ayudó en el discernimiento de múltiples dudas surgidas durante la realización de este trabajo.

A la M. en C. Jaqueline Cañetas Ortega, del Departamento de Física Experimental del IFUNAM y responsable del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, por su paciencia y tiempo invertido en la obtención de microfotografías indispensables para la determinación taxonómica.

A las profesoras y revisoras de esta tesis, Martha Gaytán Herrera, Gloria Garduño Solorzano, Guadalupe Oliva Martínez y M<sup>a</sup> de los Ángeles García Gómez, por sus acertados comentarios y sugerencias en la realización de este trabajo.

Al Dr. Javier Miranda Martín del Campo, del IFUNAM, por la ayuda recibida en la aplicación de las técnicas de PIXE y DRX aplicadas en el material estudiado. Asimismo, a los técnicos académicos del IFUNAM, Karim López -por la operación del acelerador de protones Van der Graaff 0.7 MeV-, Edilberto Hernández -por la operación del difractor de polvos Siemens D5000-, y a Ernesto Santillana por la preparación de las muestras.

Al Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía de la Secretaría de Salud, por las facilidades otorgadas en el uso del Tomógrafo Axial Computarizado.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, por el apoyo económico recibido a través del 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" (DGAPA IN-203094).

A la ENEP Iztacala y a sus profesores, por la infraestructura, tiempo y conocimientos otorgados durante mi formación como Biólogo.

A la M.C. Pilar Castillo Nava y al Biól. Mario Chavez Arteaga por su gran ayuda para la culminación de esta tesis.

A todos los integrantes del Proyecto CyMA, por su apoyo y las facilidades dadas para llevar a buen fin este trabajo; en especial a los Investigadores y compañeros del área de Limnología, con los cuales es un verdadero placer trabajar.

Por supuesto, no puedo dejar de agradecer las grandes experiencias y los buenos momentos vividos, gracias a la amistad que me han otorgado mis buenos amigos Luis, Maritza, Mayra, Rodolfo y Yolotzin.

## DEDICATORIA

A mi madre Enedina Ramírez Lora a quien debo absolutamente todo lo que soy y no existen palabras para agradecer los sacrificios realizados en pro de mi bienestar y el de mis hermanos. Te quiero mamá.

A mi padre Rafael Rodríguez Ledesma (†) por su inmenso apoyo en toda situación a lo largo de mi vida, además de ser un valuarte desafortunadamente intangible en mi formación como ser humano.

A mis hermanos Edith, Rafael, Rosalba, Ramón y sus respectivas familias por el apoyo y consejos recibidos en todo momento.

A Sebastian, Motts, Virgil, Toba, Mary, Karina y Nahiely por todo lo vivido y compartido los últimos 15 años y lo que nos queda por delante.

De forma muy especial, a mi esposa Diana por su apoyo y amor incondicional.

## I. RESUMEN

Las laminaciones son frecuentes en los sedimentos lacustres continentales y pueden reflejar tanto los cambios regulares del propio ecosistema como variaciones en la intensidad de la erosión y transporte de los materiales de la cuenca (asociadas usualmente con cambios estacionales), como perturbaciones. Los restos morfológicos de organismos preservados en sedimentos lacustres permiten interpretaciones sobre las condiciones pasadas. Las diatomeas son organismos usados en este tipo de interpretaciones debido a que poseen estructuras resistentes a la descomposición orgánica, así como a la disolución en el propio medio. Las diatomeas son organismos diploides, con cubierta silíceo, unicelulares o coloniales, comunes de encontrar en las aguas dulces, en el ambiente marino y sobre diferentes sustratos.

En el presente trabajo se recogió material de la mina diatomífera de Sta. Bárbara, Tlaxcala, la cual se encuentra ubicada en los 19° 23' de latitud Norte y 98° 17' de longitud Oeste, a una altitud de 2380 m.s.n.m.; dicha mina forma la parte superior de los sedimentos laminados de un lago antiguo localizado en la parte central de la Faja Volcánica Mexicana.

El objetivo de este estudio fue determinar las condiciones ecológicas que prevalecieron en el paleolago en el lapso en que se depositaron los sedimentos que conforman el bloquecito estudiado de 44 x 1.9 x 1.2 cm<sup>3</sup>, el cual incluye la perturbación más intensa observada en la mina (18 mm), además de asociar las comunidades de diatomeas fósiles con valores obtenidos mediante algunas técnicas físicas (PIXE, DRX, TAC). El estudio de la composición florística de las diatomeas, así como de la variación ponderal de elementos, permite generar interpretaciones sobre un intervalo de condiciones ambientales (estado trófico, pH, temperatura, profundidad, salinidad).

Las diatomeas dominantes fueron planctónicas: *Stephanodiscus aff. niagarae*, *S. minutulu*, *S. neoastraea*, *Aulacoseira solida*, *Fragilaria pinnata* var. *pinnata*. Menos comunes aunque representativas fueron algunas bentónico-epifitas como *Cocconeis placentula* var. *pseudolineata*, *Navicula cryptotenella*, *Cymbella cystula*, *Cymbella mexicana*, *Cymbella cymbiformis* var. *cymbiformis*, *Navicula laevissima* var. *laevissima*, *Navicula pupula* var. *pupula*, *Nitzschia amphibioides*, *Nitzschia amphibia* f. *amphibia*, *Nitzschia tropica*, *Pinnularia aff. maior*. El PIXE arrojó los siguientes resultados (mg/g): Al (36-154); Si (296-417); Ca, Mg y Fe < 40; K, P, Ti y Mn < 10. La TAC mostró valores de -100 a +100 para zonas no perturbadas y hasta +1381 para la zona perturbada, además de detectar laminaciones no visibles a simple vista, así como la posibilidad de estudiar este tipo de sedimentos de una manera rápida, cualitativa y no invasiva. La DRX detecta una fase amorfa para la zona no perturbada y una fase cristalina con anortita-albita y menor proporción de cristobalita y montmorillonita para la zona perturbada, así como una pequeña fase amorfa.

Se concluye que el lago fue alcalino, mesotrófico con tendencia a la eutrofia y profundo, lo cual se asocia a su vez con una gran extensión lacustre. Es posible asociar las técnicas físicas con características físico-químicas y estructurales de la diatomita. Los cambios que introduce una perturbación pueden afectar totalmente la composición florística, Permitiendo el crecimiento de algunas especies, disminuyendo la dominancia de algunas otras y, en general, permitiendo el aumento en la biodiversidad taxonómica.

## II. INTRODUCCIÓN

La ecología trata del estudio de las relaciones mutuas entre los organismos y su ambiente. La paleoecología es una de las disciplinas de la ecología y realiza el mismo tipo de estudio para las especies fósiles. Aunque los análisis paleoecológicos más detallados se limitan a cortos intervalos de tiempo geológico y áreas geográficas pequeñas (a lo sumo, decenas de kilómetros), la acumulación de información que se obtiene nos suministra una historia general de la vida y de los ambientes sobre la tierra (Raup & Stanley 1978).

En cualquier estudio paleoecológico debe quedar claro: (1) cuando un medio ambiente se reconstruye a partir de datos no paleontológicos y es usado como trama para interpretar las especies fósiles, o (2) si los organismos mismos son empleados en la reconstrucción del medio ambiente fósil (Raup & Stanley 1978). Aun así es posible trabajar con ambos aspectos, tomando en cuenta que los supuestos básicos de la paleoecología son muy parecidos a los de la paleontología, esto es, que "las leyes naturales" eran iguales en el pasado a lo que son en el presente y que los organismos de estructuras similares a las de organismos actualmente vivos conductas y características ecológicas similares (Odum 1972).

En los estudios paleoecológicos, una parte muy importante -por la cantidad de información que puede aportar- es la paleolimnología, que estudia los sedimentos lacustres provenientes de lagos. En relación con su uso paleoecológico, las biotas lacustres representan un tipo intermedio entre las marinas y las continentales no lacustres. Normalmente, dichas biotas no están sujetas a un considerable transporte post-mortem, aunque los lagos cubren sólo pequeñas áreas de la superficie terrestre y los depósitos lacustres presentan un riesgo importante de ser destruidos por la erosión (Raup & Stanley 1978).

Los sedimentos se consideran derivados estáticos de sistemas dinámicos. La paleolimnología centra su interés en los cambios sedimentarios y procesos diagenéticos que pueden alterar dicho registro, con el objetivo final de descubrir las condiciones pasadas. La mineralogía y estructura de los sedimentos, los constituyentes químicos orgánicos e inorgánicos y los restos morfológicos de organismos preservados en los sedimentos permiten interpretaciones sobre los estados pasados y las condiciones del sistema (Wetzel 1981).

Los sedimentos lacustres continentales presentan frecuentemente laminaciones. La presencia de dichas laminaciones puede reflejar tanto cambios regulares del propio ecosistema como variaciones en la intensidad de la erosión y transporte de los materiales de la cuenca. La causa principal de la laminaciones son las variaciones estacionales de las condiciones ambientales, particularmente el clima (Gall 1983).

Generalmente, los lagos con sedimentos laminados tienden a ser profundos, muestran una estratificación estacional fuerte y se hallan situados en áreas de clima continental, aunque se pueden dar en lagos polimícticos, poco profundos, eutróficos y en clima oceánico, en condiciones que también permitan la existencia de una secuencia no perturbada de sedimentos (Simola *et al.* 1981).

Los sedimentos acumulados en el fondo de los lagos pueden presentar una colección de restos de organismos que vivieron en algún momento en él y que poseen estructuras resistentes

a la descomposición orgánica, así como a la disolución en el propio medio. Los organismos más abundantes en los sistemas lacustres son las microalgas, las cuales van a presentar una gran diversidad biológica y fisiológica. Dentro de esta gran diversidad, las diatomeas juegan un papel muy importante en la interpretación paleoecológica de los sedimentos lacustres (Rodríguez *et al.* 1997).

Las diatomeas son organismos diploides, con cubierta silíceo, unicelulares o coloniales, comunes de encontrar en las aguas dulces, en el ambiente marino y sobre diferentes sustratos; generalmente son organismos autótrofos, aunque existen algunas especies heterótrofas. La característica diferencial de estas algas es su pared celular, considerablemente diferenciada y casi siempre fuertemente impregnada de SiO<sub>2</sub>, representando en promedio el 60% del peso seco de la célula. La pared celular consiste en dos unidades intrincadamente esculpidas llamadas valvas, que juntas conforman la frústula (Round *et al.* 1990). La taxonomía de estos organismos esta basada esencialmente en las características de dicha frústula silíceo (Barron 1993). Se ubican sistemáticamente dentro la clase *Bacillariophyceae*, que -junto con *Chrysophyceae* y *Xanthophyceae*- conforma la División *Chrysochyta*. Las diatomeas se dividen en dos Órdenes: Centrales, en el cual se agrupan aquéllas con simetría radial, y las Pennales, las cuales básicamente son de simetría bilateral. La clase comprende alrededor de 175 géneros de especies contemporáneas y fósiles, con unas 12000 a 16000 especies, de las cuales el 70% corresponde a géneros exclusivamente marinos y el 13% pueden ser de aguas dulces o marinas; sólo unas pocas especies son capaces de cruzar de un hábitat a otro. Únicamente el 17% habita las aguas dulces (Barron 1993), donde las diatomeas pueden constituirse en los organismos planctónicos dominantes y también encontrarse adheridas a las rocas o al fondo (Rivera *et al.* 1982).

Estos organismos son útiles para desarrollar una biocronología de diatomeas continentales (Lohman 1961). Regularmente, la estratigrafía de diatomeas ha sido muy utilizada para el conocimiento de las condiciones del pasado y de las causas que motivaron sus cambios. Con ayuda de los conocimientos sobre los requerimientos ecológicos de muchas especies, composición de las comunidades -a partir de diatomeas contemporáneas- y su relación en el registro estratigráfico, es posible la interpretación de la cronología de los cambios ocurridos en el sistema que permiten reconstruir las condiciones pasadas, así como la capacidad de predecir los cambios en el funcionamiento de los sistemas como respuesta a perturbaciones, lo cual resulta esencial en los trabajos limnológicos (Wetzel 1981) y se logra utilizando algunas herramientas propias del sistema. La información que pueden aportar los microfósiles -polen, esporas, espículas de esponjas, diatomeas, restos de crustáceos, etc.- y otros indicadores ecológicos -varves, inclusiones piritosas, etc.- es considerable (Gall 1983, Margalef 1957). En particular, las diatomeas se consideran microfósiles de valor comparable al de los foraminíferos, tanto por su considerable significado como indicadores ecológicos, como por la facilidad con que pueden estudiarse largas series de ejemplares debido a su gran abundancia (Margalef 1962).

En Norteamérica, el primer conjunto de diatomeas continentales parece ser de edad Eoceno, cuando las diatomeas presentaban una morfología moderna y muchos de los géneros actuales ya se hallaban presentes (Bradbury 1988). Posteriormente, las diatomeas continentales probablemente tuvieron una gran expansión desde la mitad del Mioceno hasta el Pleistoceno, lo cual pudiera deberse al aumento de la actividad volcánica (Kurenkov 1966) -a mediados del Mioceno- que incrementaron las aportaciones de sílice necesarias para el desarrollo y crecimiento de las diatomeas. A ello se suma el relativamente elevado nivel del mar, que



facilitó la inundación de los continentes y, en consecuencia, la invasión hacia ambientes no marinos (Barron 1993). Hay poca evidencia de géneros continentales extintos, lo cual indica que las diatomeas han evolucionado poco en los continentes, o bien lo han hecho solamente a nivel de especie, apareciendo y desapareciendo por circunstancias ambientales y genéticas más que por un cambio evolutivo; por lo tanto, se puede decir que, desde el Terciario, las diatomeas han sido un grupo ecológicamente bien adaptado a su ambiente (Bradbury 1988).

El incremento de la actividad volcánica a mediados del Mioceno creó ciertas condiciones que favorecieron la preservación de diatomeas dulceacuícolas en estratos formados por capas de diatomita suave protegidos por capas de roca volcánica relativamente resistente (Barron 1993); con ello, tenemos que las diatomeas están bien representadas en los sedimentos lacustres y son suficientemente abundantes para seguir sus progresivos cambios en estratigrafía (Korde 1966, Juse 1966 y Round 1964b *in* Wetzel 1981).

Cuando los sedimentos lacustres contienen una gran cantidad de frústulas de diatomeas (> 60 %, Díaz 1917) se consideran como tierra diatomácea o simplemente diatomita. Químicamente, la frústula de las diatomeas es básicamente una variedad de ópalo, constituido principalmente por silicatos de aluminio, de sodio y de fierro, por fosfatos de fierro, de magnesio y por cal; la cantidad relativa de estas sustancias varía según el tipo de agua donde habitan. Es común encontrar en la diatomita restos de diatomeas asociados con partículas de rocas, arcillas, espículas de esponjas y, a veces, con restos de ostrácodos (Díaz 1917).

Las diatomeas pueden ser usadas como excelentes indicadoras de condiciones paleoambientales y paleotemperaturas relativas. La distribución de las especies de diatomeas está influenciada por diferencias en la temperatura, nutrimentos, salinidad y cambios en algunos otros parámetros físico-químicos (Barron 1993). Actualmente, este tipo de características se han aprovechado en gran medida en estudios paleolimnológicos, donde las variaciones ambientales generan cambios en las comunidades de diatomeas, lo cual -a su vez- nos ofrece una evidencia muy precisa de los posibles cambios ocurridos en los lagos. La composición florística de las diatomeas permite generar interpretaciones sobre un amplio intervalo de condiciones ambientales: dimensiones del lago (tamaño y profundidad, tanto mayor cuanto mayor sea la proporción de diatomeas planctónicas que dominan la tanatocenosis, Margalef 1957), temperatura (a través del tamaño de los frústulas, Margalef 1957), pH (Flower & Battarbee 1983), salinidad (Margalef 1957), estado trófico (Bradbury 1975, Brugam 1980, Margalef 1957, Stockner & Benson 1967), tasas de recambio (Bradbury 1988), erosión e influjo clástico, turbiedad y grado de turbulencia y estratificación (Bradbury 1975, Haworth 1980, Margalef 1957).

La oportunidad de llevar a cabo investigaciones de este tipo es muy restringida, a causa de factores relativamente importantes como: 1) Generalmente, los depósitos lacustres tienden a ser áreas de extensión limitada, por lo tanto es difícil comparar patrones de sucesión. 2) Depósitos pequeños representan cortos intervalos de tiempo geológico. 3) El fechamiento de depósitos diatomíferos es muy pobre debido a que se hace con base en otro tipo de fósiles que no están directamente involucrados. 4) Existe realmente poca gente que se dedique a investigar fósiles de diatomeas dulceacuícolas y los conocimientos que se generan son todavía insuficientes (Barron 1993).

Debido a las facilidades que ofrece el depósito diatomífero de Sta. Bárbara en cuanto ubicación, facilidad de acceso, extensión del paleolago y a la gran cantidad de sedimentos, además de la falta de investigaciones de este tipo en nuestro país, es importante llevar a cabo estudios que generen información paleolimnológica novedosa.

Este trabajo ofrece un enfoque interactivo entre aspectos de tipo biológico y de otras disciplinas científicas que estudian la naturaleza, como son la física, limnología, geología, química, etc. En el presente estudio se sigue una tendencia procesual-integrativa, donde se realizarán análisis integrales y síntesis confrontativas para entender, explicar y reconstruir eventos y procesos (González-González 1991).

### III. OBJETIVOS

Los estudios paleolimnológicos de diatomeas se basan mayoritariamente en secciones expuestas de los depósitos lacustres. El análisis detallado de tales sedimentos diatomáceos lacustres puede ofrecer datos importantes acerca de la naturaleza de la evolución de las diatomeas. No debe de olvidarse el hecho de que tal evolución ocurrió en lagos que probablemente tuvieron características hidroquímicas y nutricionales distintivas, lo cual enfatiza la necesidad de estudiar tales sistemas lacustres desde todas las perspectivas posibles (Bradbury 1988).

Por tal motivo, los objetivos de este estudio fueron:

1- Determinar las condiciones ecológicas correspondientes al bloqucito estudiado con base en las comunidades de diatomeas fósiles encontradas.

2- Buscar el tipo de asociación de los grupos de diatomeas con valores obtenidos mediante técnicas físicas, (PIXE, TAC y DRX) en un bloqucito de diatomita (medidas: 43 x 19.5 x 12 mm).

#### IV. ANTECEDENTES

El estudio de diatomeas presentes en ambientes fósiles y actuales se remonta a los primeros años del siglo XIX. Inició con la publicación de pequeñas monografías que contenían ilustraciones dibujadas a mano, las cuales posteriormente fueron compiladas por algunos investigadores europeos como P.T. Cleve, C.G. Ehrenberg, A. Grunow (*in* Barron 1993), A. Schmidt (1874) y H. Van Heurck (1899) en la última mitad del siglo XIX. La utilización de diatomeas en estudios geológicos empezó en 1919 con G.D. Hanna (*in* Barron 1993); más tarde, K.E. Lohman (*in* Barron 1993) describe depósitos de diatomeas marinas del Cretácico al Plioceno presentes en estratos de Norteamérica. Al mismo tiempo, F. Hustedt (1927-66 *in* Barron 1993) empieza a compilar la información taxonómica y ecológica existente, obra que actualmente es material bibliográfico indispensable.

La observación más temprana de la conexión entre rocas volcánicas y depósitos diatomáceos la registró A. Von Humboldt (1839 *in* Taliaferro 1933), al encontrar "infusorios silíceos" que identificó C.G. Ehrenberg en los flujos de lodo de un volcán cerca de Quito y que Humboldt consideró procedentes del interior del volcán.

En la Patagonia y a mediados del siglo pasado, Darwin colectó una roca blanca tufácea que consistía principalmente en vidrio, piedra pómez, frústulas de diatomeas marinas, espículas de esponjas, feldspatos y cristales de augita, que Ehrenberg posteriormente revisó. Ehrenberg llamó "biolitas" a las rocas formadas en parte por el acúmulo de restos de microorganismos: las "hidrobiolitas" procedían de la simple sedimentación de los organismos, sin posterior alteración volcánica, mientras que las "pyrobiolitas" (como las colectadas por Darwin) además habían sufrido una fuerte alteración volcánica (Taliaferro 1933). Fue Whitney (1867 *in* Taliaferro 1933) el primero que asoció el aporte de sílice de los fenómenos volcánicos como agente causal de los grandes crecimientos de diatomeas que, a su vez, originaron los acúmulos de diatomitas.

México posee numerosos depósitos de sedimentos ricos en diatomeas que han sido intermitentemente investigados desde el siglo pasado (Ehrenberg 1846, 1854, 1866 y 1869) hasta el presente (Bradbury 1971, 1974, 1977, 1982 a & b; Caballero-Miranda 1991, Cuna 1997, Díaz 1917, Lozano-García 1946, Metcalfe 1986, 1988, 1992, Metcalfe *et al.* 1991; Rico *et al.* 1993, 1995, 1998, Robledo 1997, Rodríguez *et al.* 1996, 1997, Vilaclara 1997, Vilaclara *et al.* 1996, 1998, Watts & Bradbury 1982, entre otros).

Posterior a Ehrenberg y en este siglo, Díaz (1917) es de los primeros investigadores en llevar a cabo estudios paleolimnológicos en donde define la Mesa Central Mexicana como un conjunto de cuencas lacustres separadas por sierras volcánicas rellenas principalmente con materiales cineríticos y que, en algún momento estuvieron ocupadas por grandes lagos. En los periodos de calma en la actividad volcánica, dichos lagos permitían un máximo en el desarrollo de las diatomeas.

Díaz (1917) y Taliaferro (1933) hacen mención de la existencia de depósitos de diatomita, así como de numerosos depósitos de tierra diatomácea menos pura, en lo que entonces se conocía como Mesa Central Mexicana (ahora Faja Volcánica Mexicana), todos

ellos asociados con vulcanismo Terciario y Cuaternario, que se originaron en sedimentos lacustres y presentaban toda la gradación entre la diatomita pura y las cenizas puras.

Años más tarde, Hutchinson *et al.* (1958) llevaron a cabo análisis en sedimentos del lago de Pátzcuaro, del cual surgió una publicación con estudios palinológicos, químicos y de diatomeas presentes en dicho lago.

Urrutia y colaboradores (del laboratorio de Paleomagnetismo, Ito. de Geofísica y del Depto. de Paleontología, Ito. de Geología, ambos de la UNAM) llevan años trabajando sedimentos lacustres -especialmente de la zona de Chalco, Valle de México- en forma multidisciplinaria: integrando estudios paleomagnéticos, palinológicos, diatomológicos, magnetoestratigráficos y paleolimnológicos (Lozano *et al.* 1991).

Por último, el presente trabajo forma parte del proyecto de investigación entre la UNAM *Campus Iztacala*, el Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM) y el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN) intitulado "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", el cual, ya ha generado diferentes publicaciones (Rico *et al.* 1993, 1995, 1998; Miranda *et al.* 1994a, b; Vilaclara *et al.* 1998).

## V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el estado de Tlaxcala, el cual está en la parte centro-oriental del país, colindando al norte con los estados de México, Hidalgo y Puebla; al este y sur con Puebla, y al oeste con Puebla y México. Situado en las tierras altas de la Faja Volcánica Mexicana, se encuentra por arriba de los 2000 m de altitud. Su paisaje está compuesto de extensos llanos que se alternan con sierras y edificios volcánicos, y con lomeríos formados también por rocas ígneas extrusivas (S.P.P. 1986, INEGI 1995).

La mina de Santa Bárbara, Tlaxcala, se ubica en los 19° 23' de latitud Norte y 98° 17' de longitud Oeste, a una altitud de 2380 m.s.n.m.\* (fig. 1); representa una antigua cuenca lacustre, la del paleolago Tlaxcala, correspondiente a la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana.

En la región predominan los afloramientos de rocas volcánicas como las andesitas, las riolitas, los basaltos, las tobas y las brechas volcánicas, así como diversas asociaciones de éstas. Además, hay sedimentos lacustres, fluviales y fluvio-glaciares (brechas sedimentarias). Las unidades estratigráficas más antiguas del estado son las rocas sedimentarias; en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que, de acuerdo con su litología, son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas, y de areniscas y calizas. Es posible que estas rocas pertenezcan al Terciario Inferior, ya que se encuentran cubiertas por derrames andesíticos y tobas intermedias del Mioceno. La actividad volcánica basáltica comenzó en el Terciario Superior y alcanzó una gran intensidad en el Pleistoceno, dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas y algunas de gran tamaño, como lo es el volcán Matlalcuéytl (Malinche); dichas estructuras llevaron a cabo fuertes erupciones, probablemente de carácter explosivo, acompañadas de emisiones más o menos frecuentes de productos piroclásticos que -al acumularse en los lugares cercanos a la emisión- dieron lugar a la formación de una hondonada o pequeña cuenca abierta, cuyos probables límites deben haberse encontrado en las inmediaciones de la línea que forma la unión de las poblaciones Cuamatzingo, Tlaxcantitla, Ascensión, Tizatlán, Ciudad de Tlaxcala, Sta. Marta, Morozo, Cuaxomanca, Sta. Cruz y Hueyotlipán (lo cual también conforma, al parecer, los límites del paleolago Tlaxcala, según Lozano-García 1946). Esta configuración topográfica sufrió posteriores modificaciones, lo cual se debió probablemente a los productos disgregados procedentes de ulteriores eventos volcánicos y que vinieron a formar una serie de barreras que obstruyeron los desagües naturales preexistentes, transformando la región en una cuenca cerrada. Al suceder esto, el agua de ríos y arroyos de la zona no encontró salida y se fue acumulando en cantidades considerables, dando lugar a la formación de un lago, el cual debió contener un volumen de agua más o menos permanente, ya que la magnitud y naturaleza de los depósitos -acumulación de restos de microorganismos, en su mayoría diatomeas- que corresponden al fondo del mismo, sugieren un amplísimo desarrollo de vida, que sólo pudo realizarse en el seno de aguas tranquilas y persistentes, lo que lleva a pensar que

---

\* GPS 45 XL. 1994-1995. Geoposicionador. Garmin Corp. Software ver. 2.43, facilitado por el Dpto. de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica.

la existencia de esta cuenca debe haberse prolongado durante un periodo de tiempo muy largo (Lozano-García 1946).

En la actualidad, el clima de la zona corresponde al C(w<sub>1</sub>), templado subhúmedo - intermedio en cuanto humedad- con lluvias en verano (García 1981); la precipitación media anual es de 806.7 mm, dentro de un intervalo de 600 a 1000 mm, y la temperatura media anual fluctúa entre 12 y 18°C. El tipo de suelo predominante es Feozem háplico asociado con Fluvisol éutrico con textura media. La vegetación es escasa; es una zona erosionada, presentándose únicamente agricultura de temporal y matorral (S.P.P. 1986; INEGI 1995); en los alrededores del área de estudio, se presentan bosques de encino-pino y chaparral.

La mina de Santa Bárbara conforma la parte superior de los sedimentos del paleolago Tlaxcala. Hilger & Von Erffa (1975 in Von Erffa *et al.* 1976) asignan una edad Pliocénica con base a la posición estratigráfica de los sedimentos, aunque la fechación indirecta del depósito otorga una edad Plio-Pleistocénica para el lago, con base tanto en las asociaciones de diatomeas fósiles como en los restos de la fauna fósil encontrados en la cercana barranca de Huexoyucan (Rico *et al.* 1991).

La profundidad del depósito (4) a 50 m, Lozano-García 1946; 25 m, Ontiveros-Hernández 1964) y sus características generales (continuidad de la diatomita) manifiestan que el lago fue permanente (Rico en proceso) y probablemente mesotrófico durante el periodo principal de sedimentación de la diatomita (Vilaclara 1997, debido a la gran pureza de la misma, aproximadamente del 70-86%, Hernández-Velasco 1955). Los sedimentos presentan una laminación manifiesta (a veces parecida a varves) que refleja el efecto de la actividad volcánica sobre la cuenca y el lago. La mina de Sta. Bárbara (en la parte superior del paleolago) termina abruptamente con una gruesa capa de toba. Con base en esto, podemos mencionar que tanto el origen del paleolago (Lozano-García 1946) como la probable causa de la desaparición del mismo, fue la actividad volcánica a finales del Terciario y principios del Cuaternario (Rico *et al.* 1998).

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo de campo se llevó a cabo tomando un bloque de diatomita de 43 x 19.5 x 12 mm. de la mina de Santa Bárbara, Tlaxcala, que incluía la perturbación más intensa observada en la mina.

### 1. ANÁLISIS FLORÍSTICO

#### A) ELABORACIÓN DE MUESTRAS

Del bloqucito mencionado se realizaron 44 preparaciones -aproximadamente cada 1 a 2 mm-, las cuales se montaron de la siguiente manera: en cada uno de los puntos elegidos se extrajo una pequeña cantidad de diatomita utilizando la punta de un alfiler. Cada muestra así obtenida se situó sobre un cubreobjetos, se le agregó una gota de agua con el fin de desmoronar y distribuir homogéneamente el material sobre su área; enseguida se colocó sobre una parrilla térmica (marca Lindberg, modelo 53100, de 127 volts) con el objeto de evaporar el agua; una vez seca la muestra sobre el cubreobjetos, se le agregó una gota de Naphrax -medio de montaje para diátomeas de alta resolución en tolueno- y se invirtió, colocándolo sobre la superficie de un portaobjetos previamente etiquetado con los datos correspondientes -posición, textura y color de muestra, fecha de muestreo y realización-, el cual finalmente se expuso momentáneamente al calor para evitar que quedaran burbujas de aire infiltradas en la preparación entre el cubre y el portaobjetos.

#### B) ANÁLISIS MICROSCÓPICO

Se utilizó un microscopio de contraste de fases Zeiss estándar 100-1600 x, así como un fotomicroscopio Zeiss modelo III 100-2000 x. Ambos microscopios se encuentran en el Laboratorio de Conservación y Mejoramiento del Ambiente, en la Unidad de Investigación Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud y Educación de la ENEP-Iztacala, UNAM.

En las muestras se aplicó el conteo sobre un número determinado de valvas en campos consecutivos -alrededor de 800- para obtener los porcentajes relativos de *taxa* encontrados. Debido a la heterogeneidad del material, así como las desviaciones producidas por la colecta y preparación del mismo, se usó una técnica semicuantitativa, como lo es la abundancia cualitativa por categorías: muy abundante = más de cinco especímenes cada campo óptico; abundante = por lo menos un espécimen en cada campo óptico; común = por lo menos un espécimen cada 2 a 5 campos ópticos; frecuente = varios especímenes en toda la preparación; rara = sólo 1 ó 2 especímenes en toda la preparación. Tal cuantificación (modificación del método de Andrews 1972, tabla 1) nos evita la falsa impresión de precisión numérica inferida de los conteos cuantitativos y consume menos tiempo.



No. DE FRÚSTULAS POR CAMPO ÓPTICO	CANTIDAD CUALITATIVA DE DIATOMEAS	ÍNDICE CUALITATIVO
Observado	Observado	Asignado
> 5	muy abundante	+++++
1 - 5	abundantes	++++
0.2 - 0.99	comunes	+++
0.05 - 0.19	frecuentes	++
< 0.1	raras	+

Tabla 1. Índice de abundancia cualitativa de Andrews (1972, modificado).

Para las medidas de las valvas se calculó el promedio y la dispersión de los datos morfométricos de por lo menos diez individuos por muestra de las especies más abundantes (Margalef 1957).

Por lo que se refiere a la clasificación taxonómica, en las diatomeas existen especies y variedades que viven bajo condiciones ambientales diversas, por lo cual se recomienda determinarlas hasta el nivel taxonómico más bajo posible (Andrews 1972). Para las medidas e identificación se utilizó, como herramienta auxiliar, un microscopio electrónico de barrido JEOL modelo JSM-5300 con distancia de foco 10 mm, ubicado en el Departamento de Física Experimental del IFUNAM. Para ello se realizaron preparaciones, utilizando una mínima cantidad de muestra de cada una las distancias elegidas con anterioridad en el bloquecito, las cuales se adhirieron a un cilindro de aluminio, donde se recubrieron con una capa de plata pura (.999) para evitar la acumulación de electrones en el blanco.

### C) DETERMINACIÓN TAXONÓMICA

La determinación taxonómica y ecológica se llevó a cabo como se recomienda en la literatura (Andrews 1972), llegando al nivel taxonómico más bajo posible, para lo cual se utilizó la siguiente literatura: Blinn 1993, Bourrelly 1981, Bradbury 1991; Brugam & Patterson 1983, Choinoky 1966, Florin 1970, Foged 1993, Håkansson 1982, Håkansson 1993, Håkansson & Hickel 1986, Håkansson & Kling 1990, Håkansson & Meyer 1994, Hecky & Kilham 1973, Hustedt 1930a y b, 1959, 1961-1966; Hustedt & Jensen 1985, Khursevich 1988, Kobayasi & Kobayashi 1987, Kolbe 1927, Krammer & Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a y 1991b; Lange-Bertalot, H. & K. Krammer 1989, Lipsey 1988, Lowe 1974, Patrick 1970, Patrick & Reimer 1966, 1975; Rawson 1956, Round *et al.* 1990, Round & Håkansson 1992, Sládeček *et al.* 1981, Squires & Sinnu 1982, Terao *et al.* 1993, Theriot & Stoermer 1986; Van Landingham 1970, Vos & de Wolf 1993a, Whitmore 1989 y Yang & Dickman 1993.

## 2. TÉCNICAS FÍSICAS

### A) EMISIÓN DE RAYOS X POR INDUCCIÓN DE PROTONES (PIXE)

El propósito básico de la técnica PIXE (Proton Induced X Ray Emission) es el de determinar la concentración de cada uno de los elementos que componen la muestra bajo investigación (Rickards *et al.* 1990). La técnica PIXE se aplicó tanto en zonas de diatomita muy blanca (alto grado de pureza) como en la zona de la perturbación (interpretada inicialmente como erupción volcánica) cada 0.3 mm de distancia a lo largo de un transecto transversal a las capas de sedimentos. Para poder llevar a cabo este análisis, se ocupó un haz de protones de 0.7 MeV, proveniente del acelerador Van de Graaff de 0.7 MV. ubicado en el Departamento de Física Experimental del IFUNAM, con lo que se obtuvo el porcentaje gravimétrico de la composición atómica a partir de Si-Al ( $Z \geq 13$ ). Se usó un detector Ortec Si(Li) con resolución de 210 eV a 5.9 keV, situado a un ángulo de  $160^\circ$  respecto a la dirección de incidencia del haz; el amplificador fue un Ortec 671, y los espectros se grabaron por medio de una tarjeta multicanal ACE-Ortec conectada a una computadora, la cual obtuvo la concentración de cada uno de los elementos detectados mediante el programa de computación PIXEINT (Rickards *et al.* 1990) y mediante el programa AXIL. El haz de protones se colimó con un diafragma de 0.1 mm de diámetro. Las corrientes del haz fueron del orden de 2 nA y el movimiento de la muestra se llevó a cabo utilizando un microposicionador con precisión de  $\pm 0.005$  mm.

### B) TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC)

La tomografía axial computarizada se basa en la emisión de rayos X a bajas energías que atraviesa el objeto analizado, de manera que los rayos X no absorbidos ni reflejados son recapturados por un detector colocado en diagonal en relación con el emisor. Detector y emisor giran alrededor del plano axial analizado, y la computadora asociada con el sistema procesa los valores promedio de rayos X transmitidos por los volúmenes que han sido predeterminados en el sistema (Vilaclara 1997). Debido a que los rayos X ponen de manifiesto o resaltan estructuras que no se observan a simple vista -como varves, etc. (Edmonson y Allison 1970)-, se determinó la densidad de rayos X llevando a cabo transectos transversales a lo largo del bloque analizado. El instrumento que se utilizó en este caso fue un tomógrafo axial computarizado Toshiba TCT-600XT, versión V4.2H, equipado con una cámara Kodak Láser para la obtención de imágenes en película Kodak Ektascan HNC de  $35 \times 43$  cm; para su revelado se utilizó un equipo Kodak RP/X-OMAT. Se obtuvieron datos cada 0.3 mm, con los siguientes parámetros de estudio: velocidad de barrido de 6.0 s, corriente de cátodo de 200 mA, voltaje de 120 KV, espesor de las capas analizadas de 2 mm, el ZOOM utilizado fue de  $159 \times 159$ . Con base en esto, se determinó que cada valor de densidad de rayos X fue el promedio de un volumen rectangular de  $0.3 \times 0.3 \times 2.0$  mm<sup>3</sup>. Además, se determinó el grosor y la densidad promedio de cada una de las laminaciones observadas con rayos X con el mismo aparato.

### C) DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La DRX detecta los estados cristalino y amorfo, o los límites de una serie de estados intermedios en los cuales puede encontrarse un sólido (Castellanos 1990). El empleo de esta técnica nos permite conocer la composición mineralógica del objeto de estudio, ya que nos proporciona la estructura interna de la muestra, por lo tanto, el posible origen de la misma.

Esta técnica se basa en la Ley de Bragg, la cual representa a los cristales contruidos por familias de planos que actúan como espejos semitransparentes, donde -al incidir un haz monocromático de rayos X- ocurre el proceso de difracción. Esta radiación es detectada por un difractómetro acoplado a un sistema de conteo y circuitos electrónicos que transforman los pulsos electrónicos, que son amplificados y alimentados a diversos circuitos para su medición. Finalmente el proceso queda plasmado en un difractograma (Castellanos 1990).

Su aplicación se llevó a cabo extrayendo muestras de las laminaciones más evidentes del bloquecito muestreado, las cuales se molieron muy finamente en un mortero de ágata; posteriormente, el polvo resultante (aproximadamente 1 mg) se analizó en un difractómetro de polvos automático Siemens D500, que se halla en el Departamento de Física Experimental del IFUNAM. Se utilizaron los siguientes parámetros de operación: 40 kV en el tubo de rayos X, el cual consta básicamente de una fuente de electrones y dos electrodos que van a aplicar una corriente de haz de electrones de 30 mA sobre el ánodo de Cu; el ángulo  $2\theta$  se barrió desde  $2^\circ$  hasta  $70^\circ$ , en pasos de  $0.1^\circ$  durante 1 s cada uno. En la imagen del difractograma es posible identificar las fases cristalinas o amorfas y compararlas por sobreposición con un patrón ya establecido. La comparación y posterior identificación se lleva a cabo por medio del Archivo de difracción de Polvos JCPDS (1989).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. RIQUEZA TAXONÓMICA:

La lista taxonómica completa de especies registradas en las 44 muestras revisadas bajo microscopía óptica y electrónica de barrido consta de 66 *taxa* que a continuación se refieren.

LISTA DE ESPECIES PRESENTES EN UN BLOQUE DE DIATOMITA PERTENECIENTE AL YACIMIENTO DE STA. BÁRBARA, UBICADO EN EL PALEOLAGO TLAXCALA, TLAXCALA.  
(CLASIFICACIÓN SEGÚN SIMONSEN 1979 *in* KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1986)

División: *Bacillariophyta*

Clase: *Diatomatae*

Orden: *Centrales*

Suborden: *Coscinodiscineae*

Familia: *Thalassiosiraceae* Lebour 1930 *sensu* Hasle 1973

Género: *Aulacoseira* Thwaites 1848

Especie: *solida* Grunow *in* Van Heurck 1880-1885  
var.: ?

Género: *Stephanodiscus* Ehrenberg 1845

Especie: *minutulus* (Kützing) Cleve & Möller 1878  
*neoastraea* Håkansson & Hickel 1986  
*aff. niagarae* Ehrenberg 1846

Orden: *Pennales*

Suborden: *Araphidineae*

Familia: *Fragilariaceae* Hustedt 1930

Género: *Fragilaria* Lyngbye 1819

Especie: *capucina* Desmazières 1925  
*construens* (Ehrenberg) Grunow 1862  
f. *construens* (Ehrenberg) Hustedt 1957  
*intermedia* Grunow *in* Van Heurck 1881  
*pinnata* Ehrenberg 1843  
var.: *pinnata*

Género: *Diatoma* Bory 1824

Especie: *vulgaris* Bory 1824

Género: *Synedra* Ehrenberg (1830) 1832

Especie: sp. 1

Género: *Tabellaria* Ehrenberg 1840

Especie: sp. 1

Suborden: *Raphidineae*

Familia: *Achnanthaceae* Kützing 1844

Género: *Achnanthes* Bory 1822

Especie: *exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880

*hungarica* Grunow in Cleve & Grunow 1880

cf. *laevis* Oestrup 1910

*lanceolata* (Brébisson) Grunow in Cleve & Grunow 1880

ssp.: *frequentissima* Lange-Bertalot 1991

*robusta* (Hustedt) Lange-Bertalot 1991

var.: *abbreviata* Reimer 1966

ssp.: *lanceolata* Lange-Bertalot 1991.

var.: *lanceolata*

*minutissima* Kützing 1833

var.: *jackii* (Rabenhorst) Lange-Bertalot 1980

*minutissima* Kützing 1833

sp. 1

Género: *Cocconeis* Ehrenberg 1838

Especie: *pediculus* Ehrenberg 1838

*placentula* Ehrenberg 1838

var.: *luteata* (Ehrenberg 1843) Van Heurck 1880-1885

*placentula* Ehrenberg 1838

*pseudolineata* Geitler 1927

Familia: *Naviculaceae* Kützing 1844

Género: *Amphora* Ehrenberg in Kützing 1844

Especie: *libyca* Ehrenberg 1840

Género: *Anomoeoneis* Pfitzer 1871

Especie: *sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer 1871

f. *sphaerophora* (O. Müller) Krammer 1985

Género: *Cymbella* Agardh 1830

Especie: *cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878

*cymbiformis* Agardh 1830

var.: *cymbiformis* Agardh 1830

*mexicana* (Ehr) Cleve 1894

var.: ?

*microcephala* Grunow in Van Heurck 1880

*muellerii* Hustedt 1938

*schimanskii* Krammer 1982

var.: ?

Género: *Gomphonema* Ehrenberg 1832

Especie: *angustum* Agardh 1831

cf. *gracile* Ehrenberg 1838

aff. *insigne* Gregory 1856

cf. *olivaceum* (Hornemann) Brébisson 1838

*parvulum* (Kützing) Kützing 1849

var.: *parvulum* Kützing 1849

Género: *Navicula* Bory de St. Vincent 1822

Especie: *cuspidata* Kützing 1844

*constans* Hustedt 1944

var.: *symmetrica* Hustedt 1957

*cryptotenella* Lange-Bertalot 1985

*laevissima* Kützing 1844

var.: *laevissima*

*nivalis* Ehrenberg 1854

var.: ?

*porifera* Hustedt 1944

var.: *opportuna* (Hustedt) Lange-Bertalot 1985

*pupula* Kützing 1844

var.: *elliptica* Hustedt 1911

*pupula*

*subminuscule* Manguin 1941

sp. 1

Género: *Neidium* Pfitzer 1871

Especie: *ampliatum* (Ehrenberg) Krammer 1985

Género: *Pinnularia* Ehrenberg 1843

Especie: cf. *maior* (Kützing) Rabenhorst 1853

Familia: *Epithemiaceae* Grunow 1860

Género: *Epithemia* Brébisson ex Kützing 1844

Especie: *zebra* Ehrenberg 1838

sp. 1

Género: *Rhopalodia* O. Müller 1895

Especie: *brebissonii* Krammer 1987

Familia: *Bacillariaceae* Ehrenberg 1840

Género: *Denticula* Kützing 1844

Especie: *elegans* Kützing 1844

Género: *Hantzschia* Grunow 1877

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

sp. 1

sp. 2

sp. 3

Género: *Nitzschia* Hassall 1845

Especie: *amphibia* Grunow 1862

f. *amphibia*

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

*amphibioides* Hustedt 1942

*tropica* Hustedt 1949

sp. 1

sp. 2

Familia: Surirellaceae Kützing 1844

Género: *Cymatopleura* W. Smith 1851

Especie: *solea* (Brébisson) W. Smith 1851

Género: *Surirella* Turpin 1828

Especie: sp. 1

sp. 2

Del total de *taxa*, 22 resultaron abundantes, tomando como tal únicamente aquellos que alcanzaban o pasaban del 2% de abundancia relativa (Metcalf 1986, 1993, 1994; Vos & de Wolf 1993b).

A continuación se incluye la descripción de cada *taxa*, así como información ecológica y, en su caso, una pequeña discusión respecto a cuestiones taxonómicas o ecológicas que pudieran surgir a partir de nuestra descripción y la reportada en la literatura consultada.

## 2. DESCRIPCIÓN DE TAXA ABUNDANTES:

### *Amphora libyca* Ehrenberg 1840.

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

Valvas curvadas dorsoventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral recto o levemente cóncavo, extremos adelgazados, ligeramente arqueados ventralmente, levemente redondeados o a veces en forma de cuña. Largo 21-45  $\mu\text{m}$ , ancho 7-9  $\mu\text{m}$  valva y 14-21  $\mu\text{m}$  frústula; cuando se llega a encontrar la frústula completa, ésta tiene una forma elíptica con ápices planos. Área axial estrecha, de aproximadamente 1/4 el ancho de la valva, área central expandida ventralmente debido a la ausencia de estrias en esta zona. La parte dorsal de la valva con un área hialina bien delimitada por las estrias adyacentes. Estrias 10-14/10  $\mu\text{m}$  formadas por areolas bien marcadas. Rafe filiforme, arqueado dorsalmente, extremos proximales en forma de gota y dirigidos dorsalmente, extremos distales reflectados dorsalmente (n=16). Nuestros ejemplares coinciden con lo reportado por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 345, tabla 149: 4,5,7,8).

Cosmopolita, de muy amplia distribución y en todo tipo de regiones, prefiere aguas con contenido electrolítico medio y también se presenta en aguas con contenido electrolítico bajo (Hustedt 1959, Håkansson 1982, Hustedt & Jensen 1985, Krammer & Lange-Bertalot 1986). Alcalífila, en pH de 4.5-9 generalmente alrededor de 8; especie indiferente a la salinidad - oligohalobia-indiferente- (Kolbe 1927, Lowe 1974, Squires & Sinnu 1982, Lipsey 1988, Whitmore 1989, Foged 1993, Håkansson 1993, Vos & de Wolf 1993a); epífita, se halla tanto en lagos como en ríos, generalmente en arroyos y manantiales, su mayor abundancia se registra durante el otoño (Lowe 1974, Vos & de Wolf 1993a), oligosaprobia (Sládeček *et al.* 1981). Especie euritrófica, (Florin 1970), generalmente eutrófica (Håkansson 1982, Vos & de Wolf 1993a)

*Aulacoseira solida* Grunow in Van Heurck var. ?

Valvas cilíndricas, regularmente son más anchas que altas; diámetro 6-7  $\mu\text{m}$ , altura del manto 5-6  $\mu\text{m}$ . La cara valvar es lisa y presenta un orificio en el centro -aspecto de anillo- de 1/3 del diámetro de la valva. Presentan estriación en el manto valvar, existen aquellas que corren sobre una costilla que termina en una espina triangular de 1.5-3.0  $\mu\text{m}$  de largo, o están aquellas que corren sobre un surco o canal formado entre dos costillas. En general, la estriación siempre es recta, perpendicular al manto, presentándose de 15-20/10  $\mu\text{m}$ , con una densidad de 20-25 areolas cada 10  $\mu\text{m}$  a lo largo de la estria; (n= 16). Nuestros ejemplares coinciden con las características diagnósticas de la especie -organización y longitud de las estrias, forma y constitución de las espinas- así como con las figuras citadas por Bradbury (1991). En cuestión de medidas, nuestros ejemplares son un poco más reducidos, por lo que consideramos podría tratarse de una variedad de la especie. Podría llegar a confundirse con *A. subartica* pero difieren en que esta última tiene las estrias curvadas y su areolación es más fina (Bradbury 1991).

Especie planctónica con condiciones ecológicas insuficientemente conocidas (Bradbury 1991).

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

Sin: *Cocconeis lineata* Ehrenberg 1843.

Valvas elípticas o elíptico-lanceoladas. Extremos redondeados. Largo 17-24  $\mu\text{m}$ , ancho 8-12  $\mu\text{m}$ . En la hipovalva posee un par de anillos hialinos en el margen de la cara valvar. Rafe filiforme, recto, en los extremos proximales termina en forma bulbosa. Los extremos distales terminan justo antes del área libre de estrias, por lo tanto no llega hasta el ápice de la valva. Área axial estrecha y linear, área central redonda y pequeña; estrias 14-18/10  $\mu\text{m}$  formadas por pequeñas areolas. En la epivalva no hay anillos hialinos, área axial estrecha, linear, no hay área central; estrias 20-25/10  $\mu\text{m}$  formadas por líneas y longitudinalmente se forman líneas, alrededor de 10 a lo ancho de toda la valva (n=12). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991b: pág. 87, tabla 49: 1; 52: 1,2,5,7,8,10,11).

Cosmopolita, se encuentra tanto en aguas en reposo como en aguas corrientes, puede presentarse como epifítica o epilítica (Hustedt 1959, Lowe 1974, Hustedt & Jensen 1985, Krammer & Lange-Bertalot 1991b, Vos & de Wolf 1993a), alcalífila en pH 7-9, es más abundante durante el otoño (Lowe 1974, Whitmore 1989, Foged 1993, Håkansson 1993, Vos & de Wolf 1993a); aparentemente es "indiferente" a la concentración salina -oligohalobia-indiferente-, aunque no se observa en grandes números en aguas ligeramente salobres (Kolbe 1927, Patrick & Reimer 1966, Lowe 1974, Foged 1993, Vos & de Wolf 1993a). Presente en aguas oligosaprobias a  $\beta$ -mesosaprobias (Sládeček *et al.* 1981, Whitmore 1989). Especie típicamente eutrófica (Vos & de Wolf 1993a)

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

Valvas elípticas, extremos redondeados. Largo 16-23  $\mu\text{m}$ , ancho 11-14  $\mu\text{m}$ . Hipovalva con dos anillos hialinos en el margen de la cara valvar. Área axial estrecha, linear. Área central pequeña y redondeada. Estrias 16-20/10  $\mu\text{m}$  formadas por 8-12 pequeñas areolas. Rafe recto, extremos proximales bulbosos, los extremos distales terminan antes de llegar al primer anillo hialino.



Epivalva sin anillos hialinos, área axial estrecha, linear, área central inexistente. Estrías 12-16/10  $\mu\text{m}$  formadas por 3-5 lineolas muy marcadas; (n=14). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991b: pág. 87, tabla 54: 3-5, 7-11).

Cosmopolita, muy numeroso en todas partes. Viven tanto en aguas lénticas como lólicas. Epifítica y epilítica (Krammer & Lange-Bertalot 1991b). En general, misma ecología que la variedad *lineata*.

#### *Cymbella cistula* (Ehrenberg) Kirchner 1878.

Sin: *Bacillaria cistula* Ehrenberg 1828; *Cymbella maculata* (Kützing 1833) Kützing 1844; *Cocconema cistula* (Ehrenberg) Ehrenberg 1831; *Frustulia maculata* Kützing 1833; *Cymbella cistula* Kirchner 1878; *Cymbella cistula* var. *maculata* Kützing 1880; *Cymbella cistula* var. *crassa* Tempère & Peragallo 1910.

Valvas curvadas dorsoventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral recto o levemente convexo. Largo 82-124  $\mu\text{m}$ , ancho 16-21  $\mu\text{m}$ . Área axial estrecha de aproximadamente 1/5 el ancho de la valva. Área central redondeada de aproximadamente 1/3 el ancho de la valva. Rafe filiforme, lateral o reverso-lateral, extremos proximales terminan bulbosamente y curvados ventralmente, extremos distales reflectados dorsalmente y en forma de guadaña. Presenta de 3-5 estigmas en la zona central del lado ventral, aparentan ser alargamientos de la última areola de las estrías. Estrías 8-12/10  $\mu\text{m}$  en la mitad de la valva, 10-16/10  $\mu\text{m}$  en los extremos. Areolas de 12-22/10  $\mu\text{m}$ . La disposición de las estrías es paralela en el centro y levemente radiadas conforme se acercan a los extremos; (n=27). Nuestros ejemplares coinciden con las descripciones y figuras mostradas por Patrick & Reimer (1975: pág. 62; lámina 11: 3,4) y con Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 316, tabla 127: 8; 128: 1; 10: 5).

Cosmopolita, frecuente en todo tipo de regiones, aparece particularmente como epifítica en litorales y a veces en corrientes de agua, con contenido electrolítico de moderado a alto (Hustedt 1930b, Hustedt & Jensen 1985, Krammer & Lange-Bertalot 1986). Esta especie alcanza su óptimo desarrollo en aguas casi saturadas de oxígeno (Cholnoky 1968 in Lowe 1974 y Patrick & Reimer 1975). Alcalifila, pH 4.3-8.6, óptimo en 8.0; oligohalobia (Lowe 1974, Patrick & Reimer 1975, Lipsey 1988, Foged 1993, Håkansson 1993); oligosaprobia a  $\beta$ -mesosaprobia (Sládeček *et al.* 1981, Krammer & Lange-Bertalot 1986).

#### *Cymbella cymbiformis* Agardh 1830 var. *cymbiformis*.

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

Valvas fuertemente curvadas dorsoventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral recto. Extremos adelgazados pero bien redondeados. Largo 36-57  $\mu\text{m}$ , ancho 8-10  $\mu\text{m}$ . Rafe reverso-lateral, levemente excéntrico, de tipo "cymbella". Los extremos proximales terminan en forma bulbosa, los distales en forma de garfio, reflectados hacia el lado dorsal. Área axial linear, estrecha. Área central muy pequeña. Estrías 8-10/10  $\mu\text{m}$  en el centro y 12-16/10  $\mu\text{m}$  en los extremos; se presentan paralelas en el centro y levemente radiadas en los extremos. Estrías compuestas por areolas, 18-24/10  $\mu\text{m}$ , visibles al microscopio óptico. Posee un estigma en la zona central del lado ventral, el cual se presenta como una continuación de la estria central, pero, más marcada que las demás areolas de esa estria (n=10). Nuestros ejemplares concuerdan completamente con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange-Bertalot (1986:

pág. 317, tabla 129: 2-6; 12:5) y con Patrick & Reimer (1975: pág. 54, lámina 10: 3-4).

Cosmopolita, muy común en zonas templadas, aparece tanto en regiones de llanuras como en zonas montañosas, puede ser epilítica o epifítica, presente en aguas de oligotróficas hasta mesotróficas, por lo regular eutróficas con contenido electrolítico medio (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Vos & de Wolf 1993a), alcalifila, oligohalobia (Foged 1993, Håkansson 1993, Vos & de Wolf 1993a), común en litorales de cuerpos de agua dulce (Hustedt 1930b, Hustedt & Jensen 1985). Existen pocos registros de su presencia en arroyos y manantiales (Patrick & Reimer 1975).

#### *Cymbella mexicana* Ehrenberg 1844 var. ?

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

Valvas fuertemente dorsoventrales, margen dorsal convexo, margen ventral recto y en el centro puede estar levemente convexo. Largo 102-127  $\mu\text{m}$ , ancho 23-29  $\mu\text{m}$ . Extremos adelgazados, redondeados, nunca afilados. Rafe lateral, los extremos proximales terminan en un punto bien marcado, los distales están curvados hacia el lado ventral en forma de guadaña. Área axial de aproximadamente 1/5 del ancho de la valva, área central que se ensancha hasta alcanzar 1/3 del ancho total debido al acortamiento de las estrias centrales de ambos lados. Presenta un solo estigma bien marcado en posición central entre los dos extremos proximales del rafe. Estrias en la parte media de la valva, 6/10  $\mu\text{m}$  dorsales, 6-8/10  $\mu\text{m}$  ventrales y 8/10  $\mu\text{m}$  en los extremos, formadas por areolas muy marcadas, muy grandes; al final de la estria, las areolas llegan a presentarse un poco alargadas. Areolas, 8-10/10  $\mu\text{m}$ . Los extremos de la valva están libres de estrias y, en algunos casos, en el microscopio óptico es posible llegar a ver el campo poroso apical (n=16). Nuestros ejemplares coinciden con las figuras mostradas por Patrick & Reimer (1975: pág. 59, lámina 12:1-2) y por Terao *et al.* (1993: pág. 76, lámina 1:A). El número de estrias y número de areolas corresponderían a la variedad *janischii*, mientras que las dimensiones de las valvas corresponden a la variedad *mexicana* (Patrick & Reimer 1975), por lo cual decidimos dejarla como *C. mexicana* var. ?

Ecología insuficientemente conocida, aunque al parecer se reporta principalmente en aguas duras. Especie epifítica, probablemente alcalifila (Patrick & Reimer 1975).

#### *Cymbella schimanskii* Krammer 1982 var. ?

Valvas levemente curvadas dorsoventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral recto, rara vez se llega a presentar levemente convexo. Extremos adelgazados y bien redondeados. Largo 98-133  $\mu\text{m}$ , ancho 17-19  $\mu\text{m}$ . Rafe filiforme, reverso-lateral. Los extremos proximales se presentan en forma de gota y están reflectados ventralmente; los extremos distales se hallan curvados dorsalmente. Estrias, 6-10/10  $\mu\text{m}$  en medio de la valva y 10-12/10  $\mu\text{m}$  en los extremos. Las estrias ventrales son paralelas y las dorsales están levemente radiadas, formadas por areolas, 14-18/10  $\mu\text{m}$ . Área axial estrecha y lineal. Área central ovalada, más o menos amplia y de aproximadamente 1/2 - 1/3 el ancho de la valva. Presenta 6-7 estigmas del lado ventral del área central, los cuales se presentan muy marcados al final de las estrias centrales (n=12). Nuestros ejemplares coinciden con las características de número de estrias, tipo de rafe, número de areolas en 10  $\mu\text{m}$ , y número de estigmas dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 320, tabla 132: 1,1d; 10: 4), pero difieren en el tamaño de la valva, pues tanto

la longitud como la anchura son diferentes, por lo cual se considera que nuestros ejemplares son una variedad de la especie.

Esta especie es muy común en regiones con elevado contenido calcáreo, se presenta en forma epifítica o epipélica en manantiales, en aguas oligotróficas con alto contenido de calcio (Krammer & Lange-Bertalot 1986).

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

Sin: *Odontidion mutabile* W. Smith 1856; (?) *Fragilaria mutabilis* var. *subsolitaria* Grunow 1862; *Fragilaria pinnata* var. *lanceutula* (Schuman 1867) Hustedt in A. Schmidt et. al. 1913; *Fragilaria elliptica* Schuman 1867 sensu auct. nonnull; *Fragilaria pinnata* var. *subrotunda* Mayer 1937; *Odontidion martyi* var. *polymorpha* (Jouravleva) Prosehkina-Lavrenko 1950.

Valvas elípticas a elíptico-lanceoladas, extremos bien redondeados e isopolares. Largo 7-8  $\mu\text{m}$ , ancho 3-4  $\mu\text{m}$ . Esternón de mediano a estrecho; área central ligeramente ensanchada debido a la forma de la valva. Estrías 10/10  $\mu\text{m}$  levemente radiales y cruzadas por finas líneas apenas visibles en el microscopio óptico (n=10). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991a: pág. 156, tabla 133: 4,8,13,32).

Cosmopolita, planctónica, ecología muy difícil de definir debido a su amplitud, que va de aguas moderadamente distróficas y pantanos ácidos hasta agua salobre de costas marinas. Principalmente en aguas continentales oligosaprobias con contenido electrolítico de mediano a alto, aunque se llega a mantener por debajo de los 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en pH de hasta 9.3 (Krammer & Lange-Bertalot 1991a), presentando un desarrollo en un intervalo de 5.7-9.3, con un óptimo dentro de los valores de 7.6-7.8 de pH en aguas ricas en oxígeno (Lowe 1974); especie alcalifila y oligohalobia (Florin 1970, Van Landingham 1970, Hecky & Kilham 1973, Brugam & Patterson 1983, Whitmore 1989, Foged 1993, Håkansson 1993, Vos & de Wolf 1993a); puede hallarse en aguas ligeramente salobres (Florin 1970, Hustedt 1959, Hustedt & Jensen 1985). Especie típicamente mesotrófica-eutrófica (Vos & de Wolf 1993a, Yang & Dickman 1993).

#### *Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot 1985.

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

Valvas rómbico-lanceoladas, extremos adelgazados, afilados, en forma de cuña. Largo 25-42  $\mu\text{m}$ , ancho 5-7  $\mu\text{m}$ . Estrías 10-14/10  $\mu\text{m}$  en el centro y 14-16/10  $\mu\text{m}$  en el extremo de la valva, su disposición es radiada y levemente arqueadas en el centro de la valva; en los extremos se observan divergentes y rectas; en el centro de la valva se encuentran alternadas estrías cortas y estrías largas. Área axial estrecha, lineal. Área central rómbica, se agranda hacia los márgenes debido al mismo ensanchamiento de la valva. Rafe filiforme, recto, extremos proximales bulbosos, extremos distales curvados en forma de guadaña hacia uno de los lados (n=10). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 106, tabla 33: 9-11) y Patrick & Reimer (1966: pág. 510, lámina 48: 17).

Especie alcalifila (Lowe 1974, Whitmore 1989), oligohalobia-indiferente, mesotrófica (Kolbe 1927, Vos & de Wolf 1993a, Yang & Dickman 1993), ampliamente cosmopolita, bentónica, muy común en la mayoría de las aguas continentales, a excepción de aquellas con extremos bajos o altos de contenido electrolítico (Florin 1970, Vos & de Wolf 1993a, Lowe 1974, Krammer &

Lange-Bertalot 1986). Su ecología es particularmente interesante como indicador de condiciones  $\beta$ -mesosaprobias en la calidad del agua. Es muy sensible al aumento de contaminantes y es muy perceptible como empieza a disminuir su población al aumentar la carga (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Por otra parte, Sládeček *et al.* (1981) mencionan que es una especie frecuente en condiciones de xenosaprobiedad a oligosaprobiedad.

*Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844.

Sin: *Frustulia cuspidata* Kützing 1833; *Navicula cuspidata* var. *ambigua* (Ehrenberg 1843) Cleve 1894; *Navicula cuspidata* var. *heribaudii* M. Peragalo in Heribaud 1893; *Navicula accunata* Hustedt 1950.

Valvas rómbico-lanceoladas, extremos ligeramente rostrados, redondeados. Largo 94-98  $\mu\text{m}$ , ancho 24-29  $\mu\text{m}$ . Estrías 12-14/10  $\mu\text{m}$  muy levemente radiadas, con un arreglo particular ya que aparenta una cuadrícula. Área axial estrecha, linear. Área central ampliada levemente en el centro, adoptando una forma ovalada. Rafe filiforme, ligeramente lateral; los extremos proximales terminan en forma bulbosa y curvados hacia un extremo, los extremos distales bifurcados y en forma de garfio. Nuestros ejemplares se hallan en un mal estado de conservación, no se tiene un solo ejemplar completo y la descripción se llevó a cabo utilizando fracciones de valva; además no existen muchos ejemplares en nuestra muestra. A pesar de ello se logró identificar hasta el nivel de especie ( $n=3$ ). Nuestros ejemplares coinciden con las figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 126, lámina 43: 1,2).

Cosmopolita, en aguas con alto contenido electrolítico, incluso en aguas salobres. Regularmente epipélica, se ha llegado a encontrar en ríos contaminados con desechos industriales (Krammer & Lange-Bertalot 1986), resiste aguas contaminadas  $\beta$ -mesosaprobias hasta  $\alpha$ -mesosaprobias (Hustedt 1961-1966, Lowe 1974, Sládeček *et al.* 1981, Krammer & Lange-Bertalot 1986, Whitmore 1989), alcalífila, pH 6.3-9.0, óptimo de 8.3-8.6; generalmente se encuentra en lagos y estanques (Hustedt 1961-1966, Florin 1970, Lowe 1974, Håkansson 1993).

*Navicula laevissima* Kützing 1844 var. *laevissima*.

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

Valvas lineares, márgenes laterales rectos, extremos bien redondeados. Largo 27-37  $\mu\text{m}$ , ancho 7-10  $\mu\text{m}$ . Estrías 14-16/10  $\mu\text{m}$ , generalmente radiadas, ligeramente arqueadas, en el área central son más cortas. Areolación no visible en el microscopio óptico. Área axial estrecha, área central ensanchada en forma rectangular por el acortamiento de las estrías centrales. Rafe filiforme con extremos proximales bulbosos, curvados ambos hacia el mismo lado al igual que los extremos distales, los cuales terminan en forma de gancho ( $n=12$ ). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 189, tabla 67: 6,7,9). La variedad *laevissima* se distingue por la ausencia de dos pequeños puntos situados al lado de los nódulos centrales del rafe.

Cosmopolita, se llega a encontrar en grandes cantidades. Tal vez sea una especie estrictamente oligotrófica, aunque se ha encontrado en un amplio espectro ecológico, desde alcalino en manantiales con alto contenido electrolítico hasta turberas (Krammer & Lange-Bertalot 1986). Amplia distribución en aguas circumneutrales (Patrick & Reimer 1966).

*Navicula pupula* Kützing 1844 var. *pupula*

Valvas linear-lanceoladas, extremos ampliamente redondeados, ligeramente capitados. Largo 20-35  $\mu\text{m}$ , ancho 6-12  $\mu\text{m}$ . Estrías ligeramente arqueadas a lo largo de toda la valva, en el centro se acortan notablemente, alternándose con estrías poco más largas, 16-20/10  $\mu\text{m}$ . Área axial estrecha, área central ancha en forma de estauro debido al acortamiento de las estrías centrales y a la curvatura de las adyacentes. Rafe filiforme, recto, con extremos proximales bulbosos ( $n=13$ ). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986: pág. 189, tabla 68:1-5) y con Patrick & Reimer (1966: lámina 495).

Cosmopolita, en regiones con un amplio intervalo ecológico, predominantemente epipélica en aguas con alto contenido electrolítico (Florin 1970, Krammer & Lange-Bertalot 1986, Vos & de Wolf 1993a). La variedad *pupula* es muy tolerante a la contaminación, frecuente en aguas muy contaminadas en niveles de  $\alpha$ -mesosaprobiedad (Krammer & Lange-Bertalot 1986), aunque Sládeček *et al.* (1981) menciona su presencia en aguas con menor índice de saprobiedad ( $\beta$ -mesosaprobía). Lowe (1974) menciona que es una especie indiferente al pH y a la concentración de sales, eutrófica, presente en ríos y lagos, generalmente en pequeños cuerpos de agua lénticos. Yang & Dickman (1993), Vos & de Wolf (1993a) y Kolbe (1927) la reportan como mesoeutrófica y oligohalobia. Cholnoky (1966), Hecky & Kilham (1973) y Whitmore (1989) la citan como típicamente alcalífila regularmente en cuerpos de agua con pH alrededor de 8.

*Nitzchia amphibia* Grunow 1862 f. *amphibia*.

Valvas lineares a linear-lanceoladas, extremos estrechados y levemente redondeados en la punta, a veces un poco rostrados. Largo 18-36  $\mu\text{m}$  ancho 5-6  $\mu\text{m}$ . Carina en posición marginal, presentando fíbulas pequeñas que no sobrepasan en un tercio el ancho de la valva, presenta 6-8/10  $\mu\text{m}$ , las dos fíbulas centrales se hallan más separadas entre sí que el resto ( $n=12$ ). Nuestros ejemplares corresponden con la descripción y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988: pág. 373, tabla 78:13-15, 20, 24) y también con Bourrelly (1981: pág. 373, lámina 102:13-14).

Distribución cosmopolita, bentónica-epifítica, presente en litoral; en aguas alcalinas, pH 4.0-9.3, óptimo de 8-8.5, con bicarbonatos como anión dominante (Hustedt 1930b, Cholnoky 1966, Florin 1970, Patrick 1970, Lowe 1974, Krammer & Lange-Bertalot 1988, Whitmore 1989, Hustedt & Jensen 1985, Håkansson 1993, Vos & de Wolf 1993a). Resiste amplias condiciones ambientales, en aguas de contenido electrolítico medio hasta muy elevado, o en suelos húmedos; en condiciones  $\alpha$ -mesosaprobias, también en aguas negras (Krammer & Lange-Bertalot 1988, Blinn 1993); se considera típicamente oligohalobia (Kolbe 1927, Vos & de Wolf 1993a). Generalmente se encuentra en lagos y estanques en condiciones eutróficas (Lowe 1974, Whitmore 1989, Vos & de Wolf 1993a).

*Nitzchia amphibia* Grunow 1862 f. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot 1987

Sin: *Bacillaria frauenfeldii* Grunow 1862; *Nitzchia amphibia* var. *elongata* Grunow in Cleve & Möller 1879; *N. amphibia* var. *frauenfeldii* Grunow in Van Heurck 1881; (?) *N. denticuloides* Hust. 1942.

Valvas lineares, alargadas, extremos adelgazados en forma de cuña, redondeados en la

punta, rara vez llega a presentar una constricción en el centro de la valva. Largo 44-60  $\mu\text{m}$ , ancho 5-6  $\mu\text{m}$ . Estrías visibles, 18-22/10  $\mu\text{m}$ , con areolación muy marcada. Carina en posición marginal con fíbulas cortas, 6-8/10  $\mu\text{m}$ , en forma de espina que al enfocarse se llegan a alargar sin sobrepasar la mitad del ancho de la valva, las fíbulas centrales se encuentran ligeramente más separadas entre sí que el resto de ellas (n=10). Todos nuestros ejemplares coinciden con las figuras y descripción mostradas por Krammer & Lange-Bertalot (1988: pág. 373, tabla 78: 25,26).

Distribución cosmopolita, bentónica. Resiste amplias variaciones ambientales. Se localiza en aguas con contenido electrolítico medio hasta muy elevado. En suelos húmedos. En condiciones  $\alpha$ -mesosaprobias. Se encuentra en aguas negras tratadas (Krammer & Lange-Bertalot 1988). En general se localiza en las mismas condiciones que la forma nominada.

#### *Nitzschia amphibioides* Hustedt 1942.

Sin.: (?) *N. robusta* Husted 1949; *N. denticula sensu auct. nonnull.*

Valvas de contorno variable, de linear a linear-lanceoladas, extremos adelgazados en forma de cuña, a veces ligeramente rostrados. Largo 15-34  $\mu\text{m}$ , ancho 5-6  $\mu\text{m}$ . Carina en posición marginal, presenta de 6-10 fíbulas en 10  $\mu\text{m}$  en forma de espina triangular que llegan un poco más allá de la mitad de la valva. Estrías fuertemente punteadas, visibles con el microscopio óptico 16-22/10  $\mu\text{m}$ . Es posible llegar a confundirla con *N. denticula* (*D. kuetzingii*), pero la principal y más notoria diferencia, es que las fíbulas van de lado a lado de la valva en esta última especie (n=10). Nuestros ejemplares coinciden totalmente con la descripción y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1988: pág. 109, tabla 78: 27-28)

Especie bentónica, distribución cosmopolita, en regiones cálidas, al parecer inexistente en el centro de Europa. Típica en aguas con alto contenido electrolítico. (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

#### *Nitzschia tropica* Hustedt 1949

Valvas linear-lanceoladas, extremos en forma de cuña. Largo 12-45  $\mu\text{m}$ , ancho 3-4  $\mu\text{m}$ . Estrías 20-25/10  $\mu\text{m}$ , carina en posición marginal, con fíbulas cortas, 7-10/10  $\mu\text{m}$  que, al enfocarse, se alargan muy ligeramente (n=10). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange-Bertalot (1988: pág. 104, lámina 76:1-7).

Distribución no muy conocida, se ha encontrado en el centro y sur de África. Estos organismos se han observado en cuerpos de agua con alto contenido electrolítico (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

#### *Pinnularia cf. maior* (Kützing) Rabenhorst 1853.

Sin.: *Frustulia maior* Kützing 1833

Valvas lineares, extremos redondeados, llegan a presentar tres ondulaciones muy leves a lo largo del margen valvar. Área axial de aproximadamente un tercio de la anchura total de la valva, área central un poco más ensanchada y en forma ovalada. Largo 145-169  $\mu\text{m}$ , ancho 24-30  $\mu\text{m}$ . Rafe reversolateral, extremos distales en forma de gancho, extremos proximales un poco engrosadas y levemente curvadas hacia un lado. Estrías levemente radiadas en el centro de la valva, un poco convergentes en los extremos y paralelas en todo el resto de la valva, 6-8/10  $\mu\text{m}$

(n=10). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figura reportada por Patrick & Reimer (1966: pág.653 lámina 4), al igual que con la de Krammer & Lange-Bertalot (1986: pag. 429, tabla 196: 1-3). Se puede llegar a confundir con *Pinnularia viridis*, pero se diferencia principalmente por el tamaño de su área axial, área central, disposición de las estrias y contorno de los extremos de la valva. Tomando en cuenta estas características podemos decir que nuestros ejemplares son de *P. maior*; sin embargo, al revisar la ecología para esta especie, descubrimos que en su mayoría los reportes corresponden a cuerpos de agua de condiciones ácidas, pero nunca mencionan condiciones alcalífilas, aunque Patrick (1970) concluye que se puede encontrar en todo tipo de aguas debido a su indiferencia al pH y a la alcalinidad. Con base en esto último y a las características morfológicas de nuestros organismos, podemos decir que se trata de *P. maior* a pesar de la ecología reportada.

Forma cosmopolita con óptimo desarrollo en aguas distróficas con bajo contenido electrolítico (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Patrick & Reimer 1966, Håkansson 1993). Frecuente en regiones nórdicas, en cuerpos de agua con bajo contenido en sales –oligohalobia-indiferente– (Kolbe 1927, Krammer & Lange-Bertalot 1986, Vos & de Wolf 1993a). Especie bentónica indicadora de condiciones xenosaprobias hasta  $\beta$ -mesosaprobias (Sládeček *et al.* 1981). Indicadora de condiciones mesotróficas (Vos & de Wolf 1993a, Yang & Dickman 1993) aunque también la reportan como una especie oligotrófica (Whitmore 1989), incluso menciona que puede ocupar toda clase de aguas dulces. Indiferente al pH y a la alcalinidad (Hustedt 1930b, Florin 1970, Hustedt & Jensen 1985)

#### *Rophalodia brebissonii* Krammer 1987.

Sin.: *Rophalodia musculus* var. *succinata* sensu H. & M. Peragallo 1897-1908; *Rhopalodia gibberula* var. *succinata* sensu Fricke 1905.

Valvas fuertemente dorsoventrales, margen dorsal fuertemente convexo con una pequeña muesca en la parte media; margen ventral recto. Largo 21-23  $\mu\text{m}$ , ancho 6  $\mu\text{m}$ . Extremos capitados, arqueados ventralmente. Estrias 16-18/10  $\mu\text{m}$ . Costillas 40/100  $\mu\text{m}$ , muy robustas, por lo tanto muy notorias, presentan 4-5 estrias entre dos costillas. Las punteaduras no son visibles en el microscopio óptico (n=12). Los ejemplares examinados coinciden con las figuras y descripción dada por Krammer & Lange-Bertalot (1988: pág. 164, tabla 113:9, 113A:7-8).

Especie escasa, epifítica, presente en aguas con contenido electrolítico de mediano a muy alto; también se llega a encontrar en aguas salobres de costas (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

#### *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller 1878

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

Valvas siempre onduladas en forma concéntrica, con la parte central cóncava o bien convexa, de 3.5-12  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las estrias presentan 2 a 3 hileras de areolas en el margen, y hacia el centro se observan desordenadas. Con el MEB, las interestrias se observan elevadas en relación con las estrias. Las espinas terminan en forma puntiaguda y hay una en cada interestria. El manto valvar presenta areolas más o menos desordenadas, con una altitud de 2-3 areolas de forma redondeada a alargada. Posee una fultopórtula central, así como una

fultopórtula marginal cada 3 a 6 interestrias; también tiene una rimopórtula en posición marginal (n=20). No existe acuerdo entre los diferentes autores en la delimitación de esta especie, en relación con la especie más cercana, *S. delicatus*. Kobayasi & Kobayashi (1987) diferencian ambas especies principalmente por el número de estrias/10 µm, superior en *S. delicatus* (14-18) que en *S. minutulus* (10-13). Håkansson & Kling (1990) colocan *S. delicatus* dentro del género *Cyclostephanos* porque las rimopórtulas carecen de tubo y, por lo tanto, su abertura externa es muy inconspicua. Khursevich (1988) menciona que las estrias areoladas en toda la valva es característico de *Stephanodiscus*, *Cyclostephanos* las presenta areoladas en la cara valvar y alveoladas en el manto; además, esta misma autora menciona que la característica esencial para diferenciarlos es la formación de estrias constituidas por hileras de areolas en la cara valvar. Round & Håkansson (1992) mencionan que *Cyclostephanos* es un género que se diferencia de *Stephanodiscus* no por las rimopórtulas, sino por la presencia de costillas muy marcadas en la zona interna del manto valvar, y por la continuación de las estrias hacia el manto valvar. Por último, Krammer & Lange-Bertalot (1991a) amplían el intervalo de tamaños para *S. minutulus* y no mencionan la existencia de *S. delicatus*. En nuestro caso, contamos dos intervalos de tamaños (tabla 2), el más pequeño (3.5-6 µm) coincidiría con *S. minutulus*, mientras que el más grande (7-12 µm) en su momento dudamos que pudiera pertenecer a *S. delicatus*; en la tabla 2 se observa claramente que la única variación es el tamaño y que la forma mayor muestra un intervalo más amplio en el número de estrias/10 µm. Según Kobayasi & Kobayashi (1987), por el número de estrias deberían ser *S. delicatus* (forma pequeña) y *S. delicatus* + *S. minutulus* (la forma grande). Pero, tomando en cuenta la poca claridad y escaso -a nulo- consenso entre los especialistas, nos inclinamos a seguir el criterio de Krammer y Lange-Bertalot (1991a), asignando ambos intervalos de tamaño al género *Stephanodiscus* y a la especie *minutulus*.

Se trata de una especie planctónica de aguas muy eutróficas, elevado pH y conductividad (Hustedt 1930a, Rawson 1956, Hustedt & Jensen 1985, Håkansson & Kling 1990), cosmopolita y se localiza en aguas con contenido electrolítico muy alto (Krammer & Lange-Bertalot 1991a). Oligohalobia, alcalífila (Whitmore 1989, Foged 1993, Håkansson 1993); Kobayasi & Kobayashi (1987) mencionan algunos parámetros fisicoquímicos propios de esta especie en algunos lagos de Japón: pH= 7-9.6, salinidad= 0-18 ‰, temperatura= 12.8-26°C.

En las muestras observadas, aparece tanto antes como después de la perturbación, aunque en mucho mayor abundancia después de la misma. Se observa la alternancia con *S. niagarae* y *neoastraea*, de forma que cuando éstos son abundantes, *S. minutulus* decrece.

#### *Stephanodiscus neoastraea* Håkansson & Hickel 1986.

Valvas circulares, se presentan muy levemente cóncavas o convexas, diámetro 21-38 µm. En el centro de la valva, las areolas se hallan desordenadas o -en algunos casos- llegan a presentarse ordenadas conforme a las estrias. La estriación es monoseriada en el centro de la valva y en el margen llega a ser biseriada, muy raramente triseriada; el número de interestrias es de 5-8/10 µm. En el plano valvar se observa una fultopórtula, no hay rimopórtulas. En el margen de la valva existe una fultopórtula cada una o dos interestrias. Las estrias del manto valvar presentan un arreglo en quincunx (n=17). Con base en los ejemplares examinados, es evidente una gradación respecto al tamaño y grado de ondulación de la valva (tabla 2); en organismos más pequeños, las valvas tienden a ser más onduladas (cóncavas o convexas); mientras que en organismos más grandes, las valvas tienden a ser más planas. Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Håkansson & Hickel (1986: fig.



3-4) y Krammer & Lange-Bertalot (1991a: tabla 69:3; 71:3a-5a).

Forma planctónica, cosmopolita, en aguas eutróficas europeas (Rawson 1956, Krammer & Lange-Bertalot 1991a). Típicamente alcalífila (Håkansson 1993).

*Stephanodiscus aff. niagarae* Ehrenberg 1846.

Valvas circulares, se presentan cóncavas o convexas en el centro debido a que son concéntricamente onduladas. Diámetro 43-71  $\mu\text{m}$ . Regularmente presenta espinas en las interestrías a la altura del margen de la valva, interestrías 5-6/10  $\mu\text{m}$ . En centro de la valva se presenta una roseta (5)10-12(20) areolas. La estriación es radial, empezando monoseriada en el centro de la valva y aumentando hasta llegar al extremo donde llega a ser triseriada; en la orilla de la valva, la estriación se pierde y las areolas adoptan una estructura desordenada. En el margen valvar se presenta un anillo de fultopórtulas colocadas entre 1.4-1.6  $\mu\text{m}$  entre sí. Llega a presentar una o más rimopórtulas en posición marginal. No se presentan rimopórtulas ni fultopórtulas en el campo medio de la valva (no es posible ver este tipo de estructuras en microscopía óptica) (n=12). Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y las figuras reportadas por Kammer & Lange-Bertalot (1991a: pág. 67, tabla 68:1-3,5), así como con lo reportado por Theriot & Stoermer (1986: lámina 3). La presencia de fultopórtulas en la cara valvar es un carácter importante en *Stephanodiscus niagarae*; sin embargo, nuestros ejemplares no poseen fultopórtula alguna en esa área, aunque sí mantienen la posición de las furtopórtulas marginales, lo cual es de mayor importancia taxonómica dentro de las especies pertenecientes a este género (Håkansson & Meyer 1994) (tabla 2).

Forma planctónica, de Norteamérica, Java y probablemente en China. Esta especie es característica de aguas mesotróficas a hipereutróficas (Rawson 1956, Krammer & Lange-Bertalot 1991a), además de ser característica de lagos alcalinos (Brugam & Patterson 1983).

CARACTERES	Diámetro valva (µm)	Valva ondulada	Centro valva	Interestrias $\varphi$ 19 µm	Hileras (a)	Interestrias (b)	Espinas marginales	Fulcros centrales (c)	Fulcros marginales $\mu$ (c)	Manto valva (c)	Kimioportulas (c)
<i>S. minutulus</i> pequeño	3.5-6	Sí	Areolas desordenadas	14-20	2-3 (c)	Sí	Cada interestria	Sí 1	1 c/4-5 interestrias	Areolas desordenadas (altura 2-3 hileras, sin costae)	1 marginal
<i>S. minutulus</i> grande	7-12	Sí	Areolas desordenadas	10-15	2-3	Sí	Cada interestria	Sí 1	1 c/4-6 interestrias	Areolas desordenadas (altura 3 hileras)	1 marginal
<i>S. neoastrea</i> pequeño	13-19	Sí	Areolas desordenadas o estriadas	6-10	2(-3)	Ligeramente	Cada 2-3 interestrias	Sí	1 c/2 interestrias	Areolas ordenadas en quincunx	No
<i>S. neoastrea</i> grande 1	21-30	Ligeramente	Areolas desordenadas o estriadas	5-7	2(-3)	Ligeramente	Cada 2-3 interestrias	No ?	1 c/2 interestrias	Areolas ordenadas en quincunx	No
<i>S. aff. niagarae</i> grande 2	31-38	Sí	Areolas desordenadas o en roseta (5)10-12(20)	5-6	3	No	Cada 2-3 interestrias	No	1 c/1.4-1.6 $\mu$ mm	Areolas desordenadas	Marginal regularmente 1

Tabla 2: Características de las especies de *Stephanodiscus* observadas (siguiendo el criterio de Hákansson & Híckel 1986, Kobayasi & Kobayashi 1987, Hákansson & Kling 1990, Krammer & Lange-Bertalot 1991a y Hákansson & Meyer 1994). (a) # de hileras de areolas en la zona marginal de cada estria, (b) elevación de las interestrias en la parte exterior, (c) con microscopio electrónico de barrido, inapreciable con el óptico.

### 3. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

Se llevó a cabo tomando en cuenta las preferencias ecológicas de las especies más abundantes (>2%) mencionadas en las descripciones; sin embargo, en el caso del trofismo es necesario mencionar que eutrofia y oligotrofia han sido definidos de acuerdo a la producción y caracterizado posteriormente por especies indicadoras. Estos conceptos pueden funcionar muy bien en el norte de Europa, pero no funcionarían de igual manera en todos lados (Margalef *in* Rawson 1956). En este caso, la interpretación arrojaría como resultado un lago eutrófico, pero lo que en latitudes más al norte se considera eutrófico, en lagos situados en latitud neotropical correspondería a condiciones de mesotrofia (Vilaclara com. pers.). La mayoría de nuestras especies que presentan valores mayores o iguales al 2%, poseen características ecológicas que corresponden a condiciones de gran profundidad, mesotrofia, oligohalobias y alcalinas (pH  $\approx$  8.0) (fig. 2).

### 4. CÁLCULO DEL TIEMPO DE DEPOSICIÓN

Se determinó el lapso aproximado en que se llevó a cabo el depósito de los sedimentos, para lo cual se consideraron tasas de sedimentación en diferentes cuerpos agua (Modificado de Vilaclara 1997):

ESTADO TIPO DE CUERPO DE AGUA	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Afectado por minería intensiva
Sedimentos frescos (lagos actuales)	0.05 - 0.6	3 - 5	4 - 10	Hasta 114
Océanos	0.001 - 0.1			Hasta 1200
Sedimentos comprimidos (lagos extintos y actuales)	0.05 - 0.16	0.5 - 1	1.5	

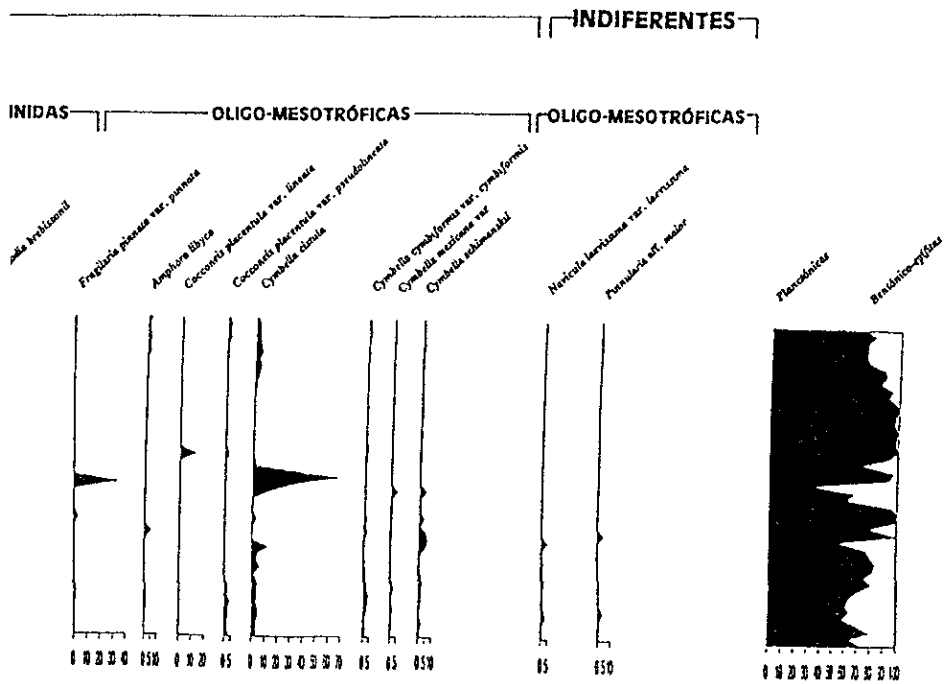
Tabla 3. Tasa de sedimentación en diferentes cuerpos de agua, indicadas en  $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$

Como estamos hablando de un lago extinto y de características mesotróficas, consideramos una tasa de sedimentación entre  $0.5\text{-}1\text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$  (Margalef 1962), lo cual -si se multiplica por el espesor del bloquecito muestreado (4.5 cm)- nos da una estima de un tiempo de deposición de 45-90 años para los sedimentos que conforman el bloquecito analizado

## 5. ABUNDANCIA RELATIVA:

Para estimar la abundancia relativa de cada una de las especies, se llevó a cabo un conteo de 800 valvas en campos consecutivos, con lo cual se obtuvo el porcentaje de presencia por especie en cada submuestra. Ello resultó en cierta distribución de estas especies a lo largo del bloquecito examinado (fig. 2). En la gráfica se ve que la composición taxonómica muestra una dominancia de especies del género *Stephanodiscus* en toda la sección y la aparición brusca de *Aulacoseira solida* después de la perturbación, alcanzando su máxima abundancia relativa justo al término de ésta (2.9 cm); posteriormente, va disminuyendo la abundancia de estas especies a medida que se restablecen las condiciones anteriores al suceso, en este caso, evidente por el aumento en la abundancia de las especies con mayor presencia antes de la perturbación: *Stephanodiscus aff. niagarae*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibia f. amphibia* y *Cymbella cistula*.

La preponderancia de *Stephanodiscus* y *Aulacoseira* evidencia la importancia de las especies planctónicas en este estudio (hablando en número de organismos, ya que la gran mayoría de las especies son bentónico-epífitas). Se podría pensar, al ver la gráfica de la figura 2, que existe una fuerte caída de este tipo de especies a los 2.3 cm (dentro de la perturbación), lo cual sería aprovechado por un crecimiento de las bentónico-epífitas, señalado por un "pico" de *Cymbella cistula* y de *Fragilaria pinnata* var. *pinnata*. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el aumento en la abundancia de estas especies es absolutamente relativo; retomando nuestros conteos, en la zona que corresponde a 2.3 cm únicamente se registraron 3 valvas, por lo cual se considera cualitativa y cuantitativamente insignificante.



meas con valores  $\geq 2\%$  de abundancia relativa. La columna 2.90 cm) que corresponde a la zona perturbada

## 6. ABUNDANCIA CUALITATIVA:

Es recomendable tomar en cuenta este tipo de abundancia. En este caso, el aplicar el índice cualitativo de Andrews (1972) nos impide formarnos una falsa impresión numérica. Retomando la situación del aumento repentino de especies bentónico-epífitas dentro de la perturbación, resulta que mediante esta técnica queda claro lo relativo del aumento, al darnos cuenta que la abundancia en general en este punto (2.3 cm) es realmente mínima (tabla 4). En términos generales, el número de individuos y especies disminuye durante la perturbación, provocando una disminución de la diversidad, reflejada en la dominancia casi absoluta de *A. solida* y *S. minutulus* después de la perturbación.

DISTANCIA (cm)	No. PREPARACIÓN	ABUNDANCIA CUALITATIVA
4.50	1 0	+++
4.39	1 1	+++
4.32	1 2	+++
4.21	1 3	++++
4.10	1 4	+++
3.96	1 5	++++
3.86	1 6	+++
3.76	1 7	+++
3.68	1 8	++++
3.60	1 9	++++
3.50	1 10	++++
3.38	1 11	++++
3.25	1 12	+++++
3.15	1 13	++++
3.04	1 14	+++++
2.96	1 15	++++
2.90	1 16	+++
2.80	1 17	++
2.70	1 18	++
2.60	1 19	+++
2.50	2 0	+
2.40	2 1	+
2.30	2 2	-
2.00	2 3	++
1.85	2 4	+++
1.80	2 5	+++
1.55	2 6	+
1.35	2 7	+
1.25	2 8	+
1.15	2 9	+
1.10	2 10	+
1.05	2 11	++
0.95	2 12	+++
0.85	2 13	+++
0.85	2 14	+++
0.75	2 15	++++
0.65	2 16	+++
0.55	2 17	+++
0.45	2 18	+++
0.35	2 19	+++
0.25	2 20	+++
0.15	2 21	+++
0.05	2 22	+++
0.00	2 23	+++

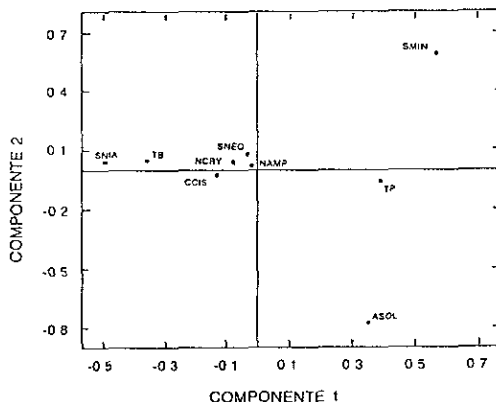
Tabla 4. Abundancia cualitativa (modificada de Andrews 1972) de los puntos de muestreo a lo largo del bloque examinado (sombra=zona perturbada), donde 4.5 cm es lo más reciente y 0.0 cm lo más antiguo.

## 7. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Este tipo de análisis nos permite observar tendencias en la distribución de nuestras especies, mediante indicadores que conjuntan la mayor parte de la información. Este tipo de indicadores reciben el nombre de componentes principales.

En la figura 3 se encuentra representado gráficamente el comportamiento de nuestras especies más abundantes, básicamente expresado en dos componentes principales. El componente 1 señala una clara separación entre las planctónicas dominantes *Stephanodiscus aff. niagarae* de *Aulacoseira solida* y *S. minutulus*, indicando probablemente una sucesión en el tiempo; es decir, *S. aff. niagarae* aparece en los sedimentos en un principio y posterior a la perturbación, es sustituido por especies planctónicas de menor tamaño, en este caso *S. minutulus* y *A. solida*; así mismo, se evidencia la separación entre planctónicas y bentónico-epífitas (ver fig. 2).

En el componente 2 observamos una marcada separación entre *S. minutulus* y *A. solida*, señalando el hecho de que en algún momento en la sucesión de especies aparece *S. minutulus*, convirtiéndose en la especie dominante justo después del decremento de *S. aff. niagarae*, sin que exista presencia alguna de *A. solida* en ese momento. Posteriormente, existió algún cambio repentino (en las condiciones ambientales) que provocó la disminución de *S. minutulus* y el surgimiento de *A. solida* -lo cual explica la distribución gráfica-; así mismo, es claro que cuando *S. aff. niagarae* está presente, generalmente es acompañado por especies bentónico-epífitas, como lo son *Cymbella cistula*, *Navicula cryptotenella* y *Nitzschia amphibia* f. *amphibia*. En forma general, se considera que este segundo componente nos señala posibles cambios en las condiciones ambientales.



NUMERO DE COMPONENTE	PORCENTAJE DE VARIANZA	PORCENTAJE ACUMULATIVO
1	65.6	65.6
2	18.4	84.0
3	10.4	94.4

Figura 3. Análisis de componentes principales de las especies planctónicas y bentónicas más abundantes. (SNIA= *S. aff. niagarae*, SMIN= *S. minutulus*, SNEO= *S. neoastraea*, ASOL= *A. solida*, NCRY= *N. cryptotenella*, CCIS= *C. cistula*, NAMP= *N. amphibia* f. *amphibia*, TP= Total planctónicas, TB= Total bentónico-epífitas).

## 8. CORRELACIÓN DE SPEARMAN

La alternancia registrada mediante ACP entre especies de *Stephanodiscus* grandes (*S. aff. niagarae*, 40-70  $\mu\text{m}$ ) y pequeños (*S. minutulus*, 3-12  $\mu\text{m}$ ), también se observa en los valores obtenidos al aplicar una correlación de Spearman a las especies más abundantes ( $r\text{-Spearman} = -0.73$ ,  $p = 0$ ) (fig. 4), probablemente debido a que las pequeñas se reproducen más deprisa y pueden aprovechar mejor los nutrientes (Conley *et al.* 1993), situación que se presenta en este caso justo después de una gran perturbación que afectó a la población en apogeo (*S. aff. niagarae*). Por otro lado, *S. aff. niagarae* se asocia con *Cymbella cystula* ( $r\text{-S} = 0.74$ ,  $p = 0$ ), esta última especie netamente bentónico-epífita, lo cual refuerza la hipótesis de asociación entre *Stephanodiscus* de gran talla y especies bentónico-epífitas ( $r\text{-S} = 0.62$ ,  $p = 0.00005$ ).

### CORRELACIÓN MÚLTIPLE ESPECIES MÁS ABUNDANTES

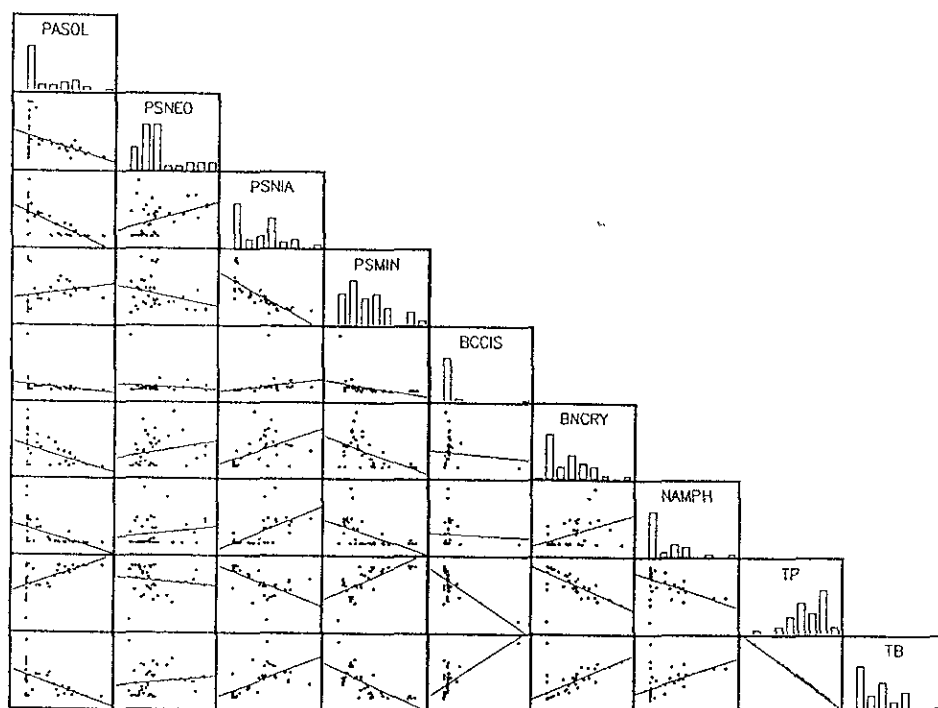


Figura 4. Correlación múltiple entre las especies planctónicas y bentónicas más abundantes, antes, durante y después de la perturbación. (PASOL= *Aulacoseira solida*, PSNEO= *Stephanodiscus neoastraea*, PSNIA= *S. aff. niagarae*, PSMIN= *S. minutulus*, BCCIS= *Cymbella cystula*, BNCRY= *Navicula cryptotenella*, NAMPH= *Nitzschia amphibia f. amphibia*, TP= Total planctónicas, TB= Total bentónicas).



## 9. EMISIÓN DE RAYOS X POR INDUCCIÓN DE PROTONES (PIXE)

La emisión de rayos-X por inducción de protones se ha convertido en una herramienta analítica muy importante y con muchas aplicaciones (Johansson & Johansson 1976 *in* Oliver *et al.* 1989, Rickards *et al.* 1990, Miranda 1996a, 1996b), siendo -en el caso de la diatomita- una herramienta tan importante para poder conocer la composición atómica del material en cuestión, ya que la principal virtud de esta técnica es la cuantificación mediante un análisis multielemental.

La información que podemos obtener de un análisis como el presente nos da una idea del tipo de suceso que pudo haberse ocurrido en su momento, con base en la composición de la muestra. La composición atómica de la sección estudiada evidencia que la cantidad de silicio es mayor en la zona de diatomita más pura (con mayor cantidad de frústulas) y disminuye en la zona de la perturbación (con pocas diatomeas), manteniéndose relativamente alto por la composición arcillosa y de tobas volcánicas (ricas en Si) de esta zona (fig 5). A su vez, observamos que la cantidad de aluminio varía en forma inversa a la del silicio, lo cual se refuerza al ver el tipo de correlación que se da entre ambos elementos (fig. 6).

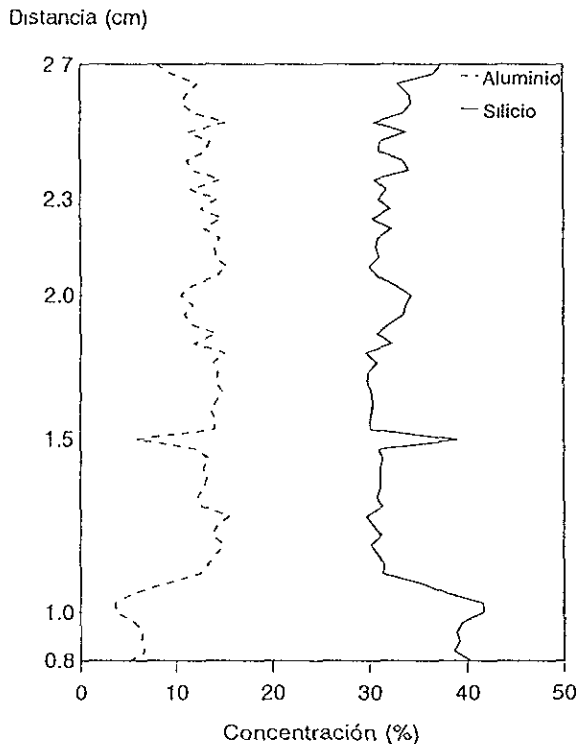


Figura 5. Porcentaje ponderal de aluminio y silicio en el transecto PIXE aplicado al bloque analizado, donde es clara la alternancia inversa entre ambos elementos, además de un evidente descenso del Si a partir de 1.1 cm (inicio de perturbación).

## CORRELACIÓN MÚLTIPLE COMPOSICIÓN ATÓMICA

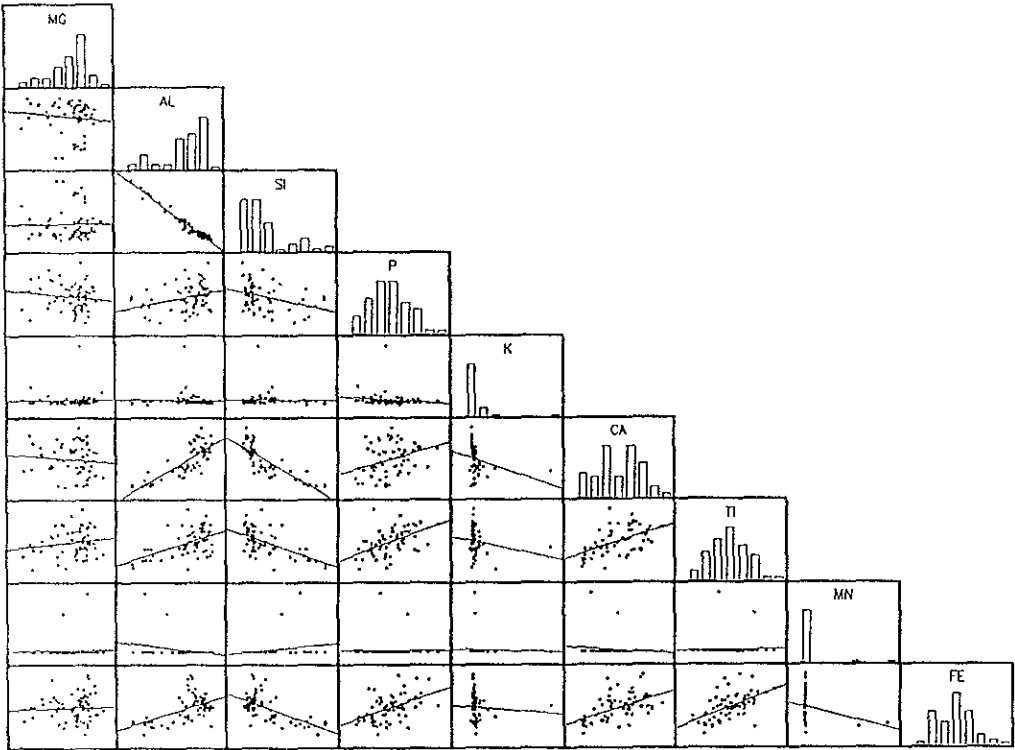
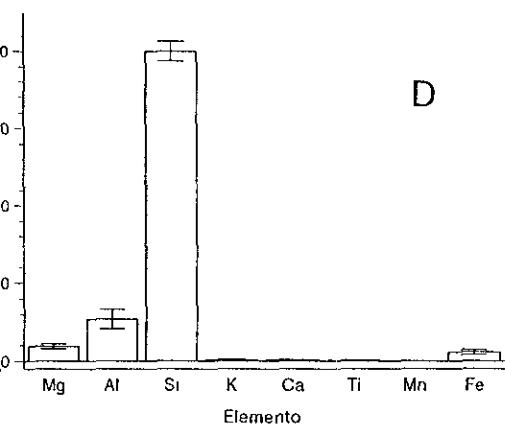


Figura 6. Correlación múltiple entre los diferentes elementos que componen el material que conforma el bloque de diatomita. (MG= magnesio, AL= aluminio, SI= silicio, P= fósforo, K= potasio, CA= calcio, TI= titanio, MN= manganeso, FE= fierro).

En general, en la zona perturbada tenemos que la concentración de aluminio aumenta a más del doble que en la zona de diatomita (fig. 7); además, podemos apreciar que la concentración de los otros elementos detectados realmente no es significativa en relación con el Si y el Al.

Concentración (% ponderal)



Concentración (% ponderal)

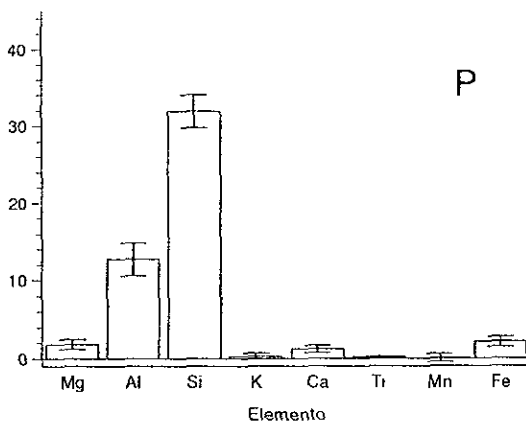


Figura 7. Porcentaje ponderal y desviación estándar de la composición atómica de la zona de diatomita (D) y la zona perturbada (P).

La capa que antecede a la perturbación muestra un color negro asociado con un aumento súbito de Mn (hasta un 3.3%), elemento que no aparece en las demás capas analizadas. Podría pensarse en una mezcla brusca de la columna de agua (probablemente provocada por grandes avenidas de material alóctono) que introdujo importantes cantidades de oxígeno en el fondo y precipitó el Mn (Margalef 1983). La perturbación se compone de otras capas cuya composición atómica varía, incluyendo una zona en la cual hay un aumento relativo de diatomeas. Dicha asociación indica que en esta perturbación se encuentran mezclados procesos autogénicos y alogénicos, y que estos últimos no son exclusivamente producto de erupción volcánica, puesto que tiene materiales de acarreo (aristas redondeadas) además de vidrio volcánico (Schaf com. pers.).

Al comparar con otras localidades (tabla 5), se observa que la composición de la diatomita es parecida a la de Zacapu y Georgia, y la de perturbación a las rocas volcánicas de Puebla.

ELEMENTO	ZACAPU (MEX.)	GEORGIA (EUA)	STA. BÁRBARA (diatomita)	STA. BÁRBARA (perturbación)	PUEBLA (MEX.)
Al	3.2	1.4	5.38	12.8	8.6
Si	36.9	43.8	39.95	32.0	30.0
K	-	0.0	0.21	0.34	1.9
Ca	1.1	0.97	0.20	0.16	3.0
Ti	-	0.0	0.13	0.23	0.4
Mn	-	0.02	0.0	0.06	0.07
Fe	1.4	1.0	1.14	2.09	1.7

Tabla 5. Porcentaje de concentración elemental de diatomita de diferentes localidades y de rocas volcánicas de Puebla (modificada de Miranda *et al.* 1994a).

## 10. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC)

Para poder llevar a cabo un análisis estratigráfico, es necesario convertir los patrones existentes en los sedimentos en formas legibles por medio de su registro en algún instrumento (Ripepe *et al.* 1991 *in* Rico *et al.* 1993). Uno de los métodos más usados es el uso de radiografías (Edmonson & Allison 1970, Soutar *et al.* 1982, Holler & Kögler 1990 *in* Rico *et al.* 1993), lo cual da acceso a información cualitativa importante; sin embargo, es necesario obtener información cuantitativa, motivo por el cual se ha experimentado con técnicas propias de otros campos de investigación, como lo es la tomografía computarizada de rayos-X, que ha permitido un avance sustancial en la capacidad de llevar a cabo diagnósticos médicos. Esta técnica de detección no invasiva, recientemente está siendo utilizada en estudios edafológicos y sedimentológicos (Tollner 1991, Rico *et al.* 1993, 1998, Miranda *et al.* 1994a, b), áreas donde tiene gran importancia, debido a que es necesario mantener la muestra totalmente íntegra, es decir, sin destruir.

La radiación producida por un haz de rayos-X tiene una energía determinada, que al propagarse por el aire prácticamente permanece constante. Al traspasar un objeto, parte de esa energía es absorbida o reflejada, por lo que la energía del haz que alcance a traspasar el objeto estará atenuada en comparación con el haz original. Esta energía es capturada por un detector que emite una señal equivalente hacia una computadora que procesa la información recibida y proporciona un resultado indicado en Unidades Hounsfield (U.H.). Estas unidades están representadas por el grado de iluminación que presente la imagen en el monitor o en una placa radiográfica, lo cual se denomina densidad óptica (Vilaclara 1997).

Los valores de las U.H. son arbitrarios y se toma como parámetro el agua, con un valor de 0 U.H.; a partir de esto, tenemos que -por un lado- el aire alcanza valores de hasta -1000 U.H. y por otra parte, el acero de +5000 U.H. La TAC nos mostró valores negativos o alrededor de 0 para la diatomita (valvas abundantes que dejan aire libre), y muy positivos (hasta 1381 U.H., muestras compactas) para la perturbación (Vilaclara 1997).

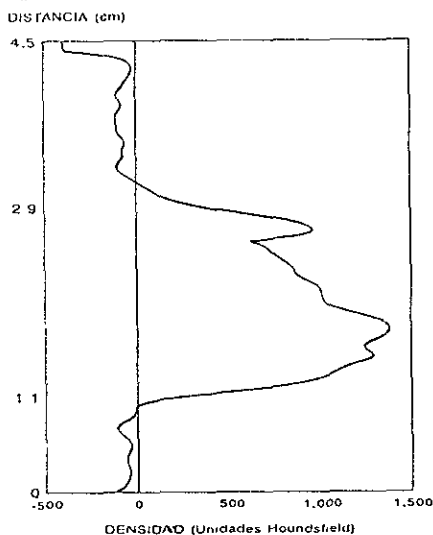


Figura 8. Transecto TAC cada 0.3 mm a lo largo del bloque de diatomita, abarcando ambas zonas (diatomita y perturbación).

Posteriormente, en el caso de la TAC, dividimos los datos del bloque en cinco fracciones y obtuvimos un valor promedio de densidad óptica de cada zona. Al graficarlo (fig. 9), se observa claramente como antes de la perturbación los valores de la diatomita fluctuaban alrededor de -50 U.H. e inmediatamente después de la perturbación se disparan hasta más de +1000 U.H. y van decreciendo conforme el lago iba recuperando su condición pre-perturbación, lo cual finalmente se refleja en un crecimiento repentino de diátomeas planctónicas, obteniéndose valores de U.H. clásicos en diatomitas muy puras.

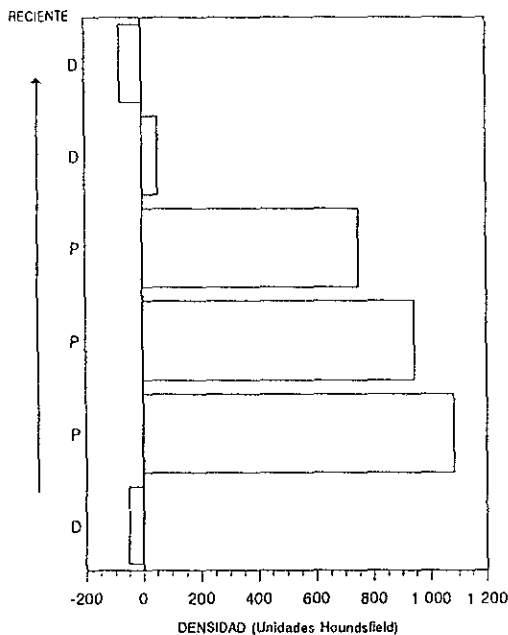


Figura 9. Densidad promedio de rayos-X a lo largo del bloque (D=diatomita P=perturbación).

## 11. DIFRACCIÓN DE RAYOS-X (DRX)

En el estado sólido, las sustancias están formadas por partículas que ocupan posiciones más o menos fijas. Si estas posiciones se repiten a intervalos regulares en todas las direcciones del espacio, se dice que la sustancia es cristalina; pero si la ordenación de posiciones es irregular y a poca distancia, como los vidrios, se dice que la sustancia es amorfa (Castellanos 1990).

Esta técnica se constituye en función de la posición y naturaleza de los átomos que conforman la sustancia examinada, a la cual se le incide un haz de rayos-X; la sustancia reflejará cierta cantidad que, a su vez, es capturada por un detector que la transforma en pulsos electrónicos conducidos a través de diversos circuitos hasta finalizar en una computadora que los registra y los plasma en un difractograma.

En el caso de los sedimentos analizados, la DRX distingue dos fases, una amorfa (fig. 10a) constituida de sílice biogénico ( $\text{SiO}_2$  frústulas de diatomeas) correspondiente a la zona de diatomita, por lo tanto de origen autóctono, y otra cristalina (fig. 10b) perteneciente a la fracción perturbada del bloquecito; esta última fase muestra una composición mineralógica más heterogénea donde destaca un pico correspondiente a la anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), con albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) en menor proporción; cristobalita y montmorillonita en proporción aún menor; puede existir ortoclasa en poca cantidad. También se presenta una parte amorfa pequeña.

La cristobalita es un polimorfo del bióxido de sílice producida a altas temperaturas (1000 a 1700°C) y baja presión, encontrada como resultado de la actividad volcánica sobre estructuras de  $\text{SiO}_2$  (Tröger 1979, Zoltai & Stout 1985), lo cual es congruente con el hecho de haber encontrado muy poca proporción de este mineral en nuestras muestras debido a que son relativamente jóvenes y es poco probable que la biogénesis del  $\text{SiO}_2$  haya llegado a ese punto. Además de reforzar la hipótesis de que la perturbación se debe a procesos alogénicos.

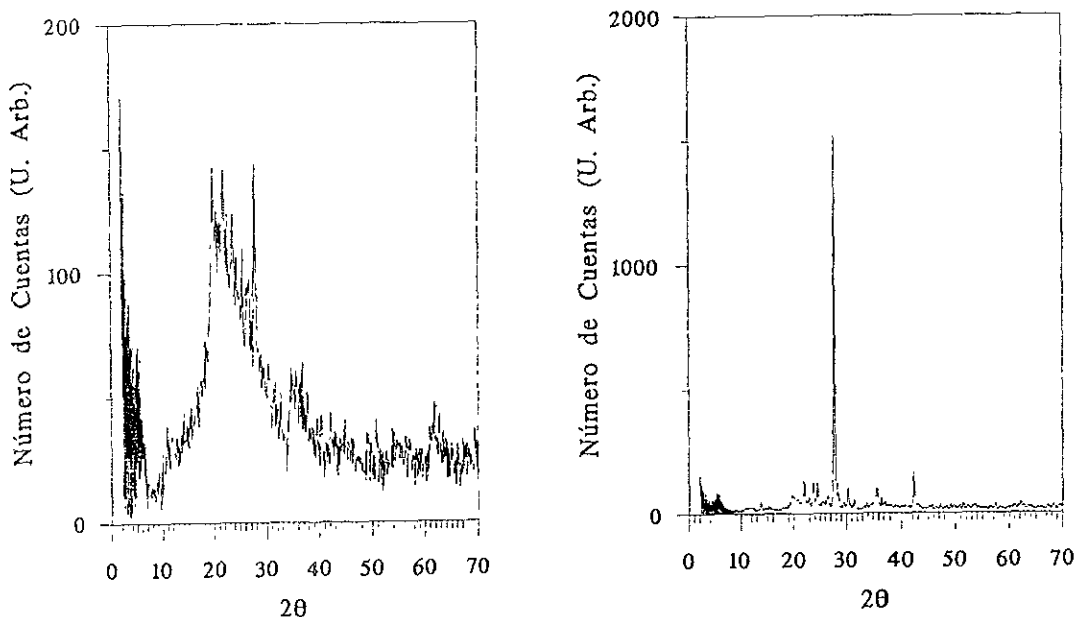


Figura 10 a y b. Difractogramas del material muestreado donde 10a (izquierda) corresponde a diatomita que indica la presencia de sílice biogénico de naturaleza amorfa y 10b (derecha) perteneciente a la zona de perturbación, indica una fase cristalina donde sobresale un pico de anortita.

## 12. EVALUACIÓN GENERAL

El número y tipo de especies, así como la cantidad de diatomeas que podemos encontrar presentes, dependerá de varios factores como temperatura, estado trófico, salinidad, etc. Por ello los cambios detectables en los sedimentos diatomíferos son característicos de los cambios en el cuerpo de agua predecesor en el momento de su deposición.

Partiendo de esta premisa, encontramos que al aplicar nuestro análisis florístico (abundancias relativas, análisis de componentes, correlaciones de Spearman) el número de especies, así como la cantidad de diatomeas presentes en las laminaciones, está estrechamente relacionado con el momento de aparición, es decir, dependiendo de si las laminaciones están dentro de una zona de diatomita o si se encuentran en la perturbación; es seguro que los factores que regulan el crecimiento de estos organismos cambiaron durante el tiempo en que se formaron los sedimentos estudiados.

Al aplicar la técnica de PIXE, encontramos que la composición química varía, en especial la del silicio-aluminio, en la cual existe una relación inversa; es decir, en las zonas de diatomita el silicio es mayor y hay poco aluminio y en la zona de perturbación aumenta la cantidad de aluminio y disminuye la de silicio, situación que responde de igual forma en el aumento o disminución en la cantidad de diatomeas

En el caso de la TAC queda claro que el aumento en la densidad óptica (Unidades Houndsfield) sucede justo en el área de la perturbación y concuerda perfectamente con el aumento en la cantidad de aluminio, disminución del sílice y número de frústulas, mientras que valores menores de densidad óptica se obtienen en las zonas de diatomita en las cuales el número de frústulas aumenta al igual que la cantidad de silicio.

Este tipo de relaciones se confirman al aplicar una correlación múltiple con los datos registrados de PIXE, TAC y abundancias relativas de especies dominantes (fig. 11)

Por otro lado, tenemos que la DRX muestra dos fases, una amorfa con espectro de difracción equivalente al  $\text{SiO}_2$  correspondiente a la zona de diatomita: aumento de sílice, aumento de frústulas y disminución de densidad óptica, y una cristalina con difractograma correspondiente a sustancias con acomodo molecular de este tipo -en su mayoría anortita-albita- que coincide con la zona perturbada, presentando características físicas inversas a la zona amorfa.

**CORRELACIÓN MÚLTIPLE**  
**TAC vs. ESPECIES MÁS ABUNDANTE vs. PIXE**

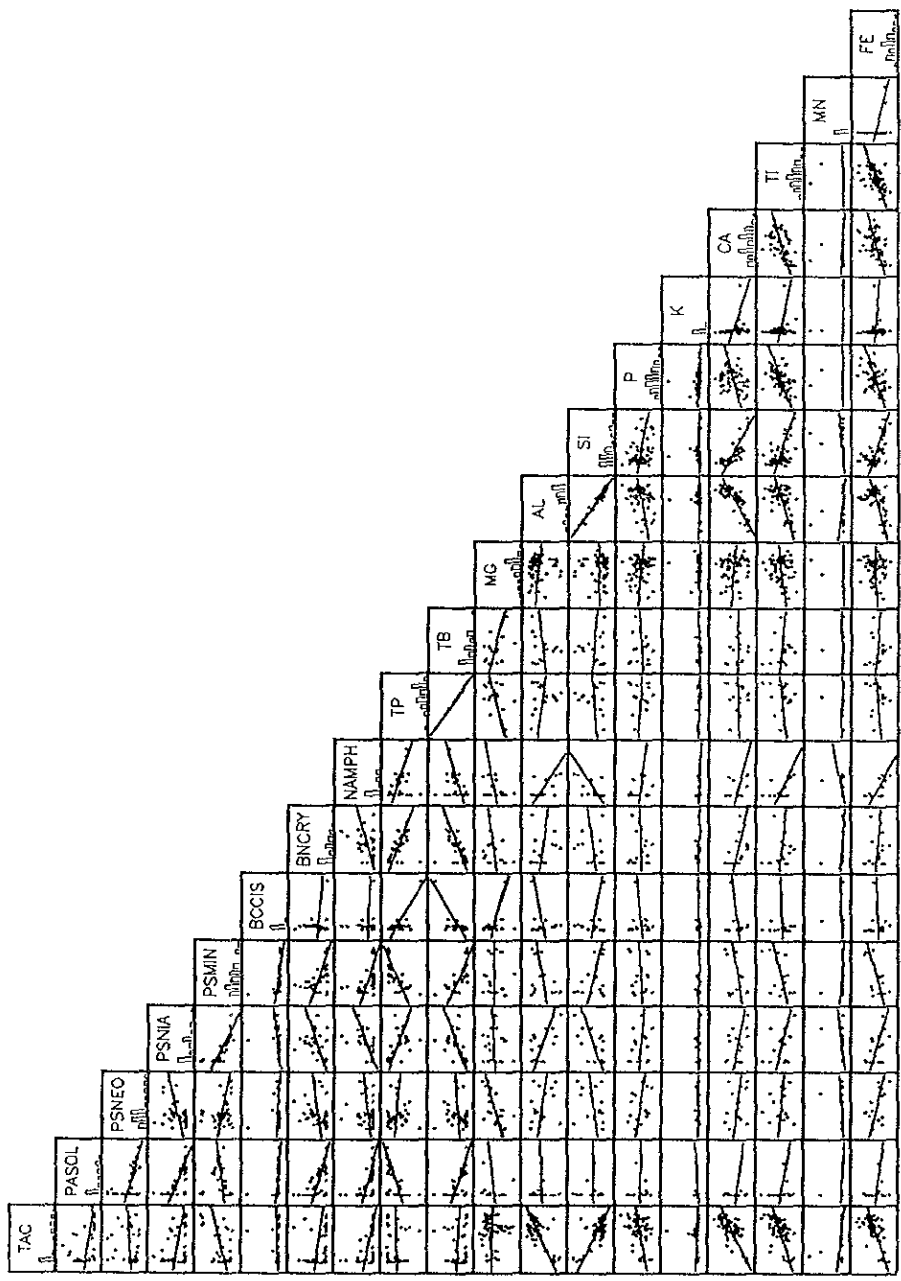


Figura 11. Correlación múltiple entre las especies más abundantes, tomografía axial computarizada (TAC) y emisión de rayos X por inducción de protones (PIXE).



De la información vertida, se podría desprender una hipótesis, en la cual se piensa que la perturbación tuvo lugar debido a cambios climáticos. Probablemente en esa época hubo un periodo de aumento en la temperatura, lo cual se relaciona con incrementó en la precipitación pluvial (Klaus 1973). Posiblemente esa condición se pudo haber presentado en esta zona, consecuentemente, provocar grandes avenidas del material que rodeaba al lago, en este caso al parecer es de origen volcánico, evidente al analizar petrográficamente las laminaciones perturbadas que muestran gran cantidad de este tipo de material, en su gran mayoría con aristas redondeadas -erosionado- que nos indica que no se depositó *in situ* y refuerza la hipótesis de haber sido depositado por avenidas, por lo tanto de origen alóctono.

En lo que respecta a las abundancia relativas registradas, Thienemann (1939 *in* Williams 1964) observó que en condiciones ambientales óptimas se va a encontrar un gran número de especies con poblaciones relativamente pequeñas, y que al existir cambios en estas condiciones ambientales, se va a reducir el número de especies y las que permanecen van a estar representadas por poblaciones muy numerosas. Si a esto le sumamos un posible aumento en la temperatura, lo cual se asocia con tamaños pequeños (temperaturas frías  $\Rightarrow$  tamaños grandes Margalef 1962, 1969 y Sabater 1992), entonces, concuerda lo observado antes, durante y después de la perturbación.

Ahora bien, este repentino aumento en el número de diatomeas justo después de la perturbación es muy probable que se deba al aporte adicional de silicio proveniente del material volcánico, además de que el posible aumento en la temperatura, junto con los aportes de material alóctono en grandes avenidas, pudo haber provocado una mezcla en la columna de agua -apoyado en la presencia de Mn<sup>2+</sup>- que trae consigo nutrientes a la superficie, aprovechados principalmente por las diatomeas planctónicas (Barron 1993, Kurenkov 1966).

---

\* Una mezcla brusca en la columna de agua introduce importantes cantidades de oxígeno en el fondo y precipita al Mn (Margalef 1983).

## VIII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados y los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

Las condiciones ecológicas del lago en el periodo correspondiente al bloque de sedimentos analizado nos indica que era profundo (dominancia de especies planctónicas), alcalino (dominancia de especies alcalinófilas), oligohalobio (dominancia de especies oligohalobias), mesotrófico con tendencia a la eutrofia (dominancia de especies del género *Stephanodiscus*).

Se experimentó un cambio en las condiciones ambientales, posiblemente debido a un aumento en la temperatura y en la precipitación pluvial, lo que acrecentó el volumen del lago y la cantidad de nutrimentos en la superficie, hecho que incrementó relativamente las especies planctónicas de diámetro pequeño (*Stephanodiscus minutulus* y *Aulacoseira solida*).

Las técnicas físicas (PIXE, TAC, DRX) muestran que es difícil obtener algún tipo de asociación entre éstas y las comunidades de diatomeas fósiles (% relativo); sin embargo, sí es posible asociarlas con las características físico-químicas y estructurales del material conformante, en este caso, la diatomita.

La técnica PIXE asoció el aumento de sílice-disminución de aluminio y viceversa, con la fracción de diatomita y la perturbación, respectivamente; asimismo, la presencia de Mn al principio de la perturbación refuerza la hipótesis de un mezcla en la columna de agua.

Con la TAC se confirma la capacidad de análisis de esta técnica, mostrando que la densidad óptica puede variar mucho aun dentro de la misma diatomita. En las zonas no perturbadas oscila entre -100 y +100 U.H. dependiendo de la pureza del material y en la zona perturbada se obtuvieron valores positivos de hasta 1381. Adicionalmente, ofrece la posibilidad de detectar laminaciones invisibles a simple vista, así como el poder analizar sedimentos lacustres laminados de una manera rápida, cualitativa (origen de bioperturbaciones), cuantitativa (sensibilidad numérica) y no invasiva (sin destrucción de la muestra).

La DRX diferencia el tipo de material amorfo (diatomita) del cristalino (perturbación), indicándonos los componentes mineralógicos mediante comparación de difractogramas ya conocidos disponibles en software. Esta técnica brinda gran ayuda para conocer de una forma rápida y confiable la naturaleza y estructura del material analizado.

Los cambios que introduce una perturbación pueden afectar totalmente la composición florística, permitiendo el crecimiento de algunas especies, disminuyendo la dominancia de algunas otras y, en general, permitiendo el aumento en la biodiversidad taxonómica.

## IX. GLOSARIO

- ALCALÍFILA:** Especies que aparecen en pH alrededor de 7, con un mejor desarrollo en agua con pH por arriba de 7 (Lowe 1974).
- ALCALINIDAD:** Contenido de carbonatos y bicarbonatos de metales alcalinos (Na, K) y alcalino-térreos en un cuerpo de agua (Margalef 1955).
- ALVEOLO:** Cámara alargada, parcial o totalmente extendida desde el área axial o central hasta la periferia de la valva. La parte exterior del alveolo está compuesta de areolas (Barber & Haworth 1981).
- 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* (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- ÁREA AXIAL:** Espacio entre la línea media (rafe, si está presente) y las estrias, libre de ornamentaciones y que corre transapicalmente, pudiendo adoptar varias formas; en algunas publicaciones es posible encontrarlo como pseudorafe o esternón, presente en la valva diatomeas pennadas (Barber & Hayworth 1981, Krammer & Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990).
- ÁREA CENTRAL:** Zona media de la valva libre de estrias, puede alcanzar o no los extremos de la valva (Barber & Hayworth 1981, Round *et al.* 1990).
- ÁREA HIALINA:** Zona de la frústula en la cual existe ausencia de estrias u ornamentaciones. El área axial, área central, el esternón o el estauro, son ejemplos de áreas hialinas (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Patrick & Reimer 1966).
- AREOLA:** Término que se refiere al margen de sílice que rodea una perforación en la pared sílicea de las diatomeas que puede estar parcial o totalmente obstruida (Trainor 1978). Perforación regular cubierta por una fina membrana multiperforada (Barber & Haworth 1981).
- BENTÓNICA:** Relativo a las especies que habitan en o sobre el fondo de un cuerpo de agua (Margalef 1955, Trainor 1978).
- CAPITADO:** Adelgazamiento del ápice de la valva que une un engrosamiento a manera de cabeza con el resto de la estructura (Round *et al.* 1990).
- CARA VALVAR:** Se denomina a la superficie externa más amplia de la valva (Patrick & Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- CARINA:** Ver fíbula.
- CIRCUMNEUTRAL:** Relativo a aguas con un pH alrededor de 7 (Lowe, 1974).
- DISTROFIA:** Condición de un cuerpo de agua en el cual existen una gran cantidad de materiales húmicos en presencia de poco oxígeno y, por lo tanto, poca cantidad de nutrimentos disponibles (Lowe 1974, Margalef 1955, Patrick & Reimer 1966).
- EPIFÍTICO:** Organismos que viven adheridos sobre plantas (Barber & Hayworth 1981, Lowe 1974) sin llegar a formar una cubierta continua sobre las mismas (Margalef 1955).

- EPILÍTICO:** Organismos que viven adheridos sobre rocas (Barber & Hayworth 1981, Lowe 1974).
- EPIPELON:** Comunidad formada por los organismos que viven sobre el limo sumergido o empapado de agua (Margalef 1955).
- EPIVALVA:** Es la valva más vieja de la frústula que cubre y embona con la hipovalva (Round *et al.* 1990); en el caso del género *Cocconeis*, es la valva con rafe (Patrick & Reimer 1966).
- ESTAURO:** Es una zona central ampliada hasta los bordes de la valva por carecer de estrías en el centro (Round *et al.* 1990), se presenta en forma angular y generalmente el sílice se adelgaza en esta zona (Barber & Hayworth 1981).
- ESTERNÓN:** Ver área axial.
- ESTIGMA:** Estructura pequeña y redonda que se encuentra en un lado del área central en especies de géneros como *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, etc. Perforación de la pared silíceo cerca del nódulo central en el orden Pennales (Round *et al.* 1990).
- ESTRÍA:** Línea formada por areolas, poros o alveolos que pueden ser muy amplios o muy finos y que corren en forma transversal en las diatomeas penadas y en forma radial en las diatomeas centrales (Barber & Hayworth 1981, Round *et al.* 1990, Trainor 1978).
- EURITRÓFICA:** Referente a especies que soportan un amplio intervalo en la concentración de nutrimentos.
- EUTROFIA:** Condición de un cuerpo de agua rico en nutrimentos disueltos (Lowe 1974, Patrick & Reimer 1966).
- EXTREMO DISTAL:** Relativo a la forma en que termina la rafe en la zona apical de la valva (Barber & Hayworth 1981, Patrick & Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- EXTREMO PROXIMAL:** Relativo a la forma en que termina la rafe en la zona central de la valva (Barber & Hayworth 1981, Patrick & Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- FÍBULA:** Engrosamientos silíceos de la rafe que dejan espacios entre sí y se proyectan hacia el centro de la valva disminuyendo su engrosamiento paulatinamente. Generalmente presente en el género *Nitzschia* y *Hantzschia*. Al conjunto de fibulas suele llamarse carina (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990).
- FRÚSTULA:** Es la unión de dos partes intrincadamente esculpidas llamadas valvas, formadas de sílice y que conforman parte de la pared celular de la mayoría de las diatomeas (Round *et al.* 1990).
- FULTOPÓRTULA:** Conocida también como proceso reforzado y presente únicamente en diatomeas centrales, específicamente en *Thalassiosiraceae*. Estructura tubular que penetra en la valva y que está soportada internamente por estructuras de refuerzo. Este tubo puede o no proyectarse por encima de la superficie externa y regularmente tiene sólo una apertura. En la parte interna pueden verse de dos a cinco poros satélites que conectan el interior de la valva con el tubo (Round *et al.* 1990).
- HIPOVALVA:** Es la valva más nueva de la frústula y un poco más pequeña, por lo cual embona por la parte interna de la epivalva (Krammer & Lange-Bertalot 1986, Round *et al.* 1990); en el caso del género *Cocconeis*, es la valva sin rafe (Patrick & Reimer 1966).
- LINEOLA:** Perforación de la valva que semeja a una areola pero difiere en su forma alargada o elíptica, cubierta por una fina membrana multiperforada (Barber & Haworth 1981).

- MANTO VALVAR:** Zona de la valva -en el género *Stephanodiscus*- localizada entre las espinas y el extremo exterior de la valva (Kobayasi & Kobayashi 1987). Parte de la valva que va desde el margen de la cara valvar doblando en ángulo de 90° hasta el margen extremo de la valva (Patrick & Reimer 1966, Round *et al.* 1990).
- MARGEN VALVAR:** zona de la valva localizada en la parte más extrema del manto valvar (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- α-MESOSAPROBIO:** Relativo a aguas con carga elevada de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO<sub>5</sub> son de 6-13 mg O<sub>2</sub>/litro (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- β-MESOSAPROBIO:** Relativo a aguas con una carga moderada de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO<sub>5</sub> son de 4-6 mg O<sub>2</sub>/litro (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- MESOTRÓFICO:** Característico de agua con moderada concentración de nutrimentos (Lowe 1974, Patrick & Reimer 1966), intermedio entre eutrófico y oligotrófico.
- OLIGOHALOBIAS:** Relativo a aquellas especies que estén en optimas condiciones en agua con muy baja concentración electrolítica (Patrick & Reimer 1966), generalmente en concentraciones por debajo de 500 mg/l (Lowe 1974).
- OLIGOSAPROBIO:** Relativo a aguas con una muy pequeña carga de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO<sub>5</sub> son ≤ 2 mg O<sub>2</sub>/litro (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- OLIGOTRÓFICA:** Condición de un cuerpo de agua con baja concentración de nutrimentos disueltos (Lowe 1974, Margalef 1955, Patrick & Reimer 1966).
- PERIFÍTICA:** Relativo a especies que viven en la zona litoral somera, generalmente sobre el sustrato, plantas o sobre objetos sumergidos (Lowe 1974). Comunidad formada por organismos vegetales microscópicos que viven fijos sobre un sustrato sólido (Margalef 1955).
- PLANCTÓNICA:** Relativo a las especies que habitan en suspensión en el seno de un cuerpo de agua (Margalef 1955, Trainor 1978).
- POLISAPROBIO:** Relativo a aguas con una excesiva carga de materia orgánica, los valores de oxígeno en DBO<sub>5</sub> son ≥ 22 mg O<sub>2</sub>/litro (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- PORO:** Pequeñas perforaciones o agujeros extremadamente finos presentes en la frústula de las diatomeas (Barber & Haworth 1981).
- QUINCUNX:** Patrón característico de distribución de areolas en las valvas de las diatomeas; paralelas entre sí, o bien alternadas. Se observa en el manto valvar de algunas especies del género *Stephanodiscus*, o en la doble punteadura de las estrías de algunos otros géneros (Krammer & Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991a, b).
- RAFE:** Fisura longitudinal que se ubica en el área axial (Round *et al.* 1990), generalmente se compone de dos partes separadas en el área central aunque existen géneros en los cuales la rafe corre en toda la periferia de la valva. Posee dos partes terminales que se conocen como extremos o nódulos que se ubican en el centro o en los polos de la valva (Barber & Hayworth 1981).
- RAFE COMPLEJO:** Rafe doble, en la cual una de sus fisuras lleva a cabo varios cambios de trayectoria en forma de zigzag; característico del género *Pinnularia* (Barber & Hayworth 1981).

- RAFE FILIFORME:** Posee una fisura angosta, simple y recta que corre del centro al polo de la valva (Barber & Hayworth 1981).
- RAFE LATERAL:** Posee un par de fisuras que corren paralelas en forma recta del centro al polo de la valva (Barber & Hayworth 1981).
- RAFE REVERSO-LATERAL:** Rafe doble, en la cual una de sus fisuras forma un pequeño zigzag en su parte media-proximal, terminando del lado contrario al resto de la rafe (Barber & Hayworth 1981, Round *et al.* 1990).
- RIMOPÓRTULA:** Conocida también como proceso labiado; no esta restringida a ciertas diatomeas, como en el caso de las fultopórtulas, ni tampoco posee poros satélites. Consiste en un tubo o abertura a través de la pared de la valva, en la parte interna se presenta en forma de ranura en relieve -raramente dos- y en la parte externa únicamente como una estructura tubular (Round *et al.* 1990).
- ROSETA:** Se localiza en el centro de la valva y está compuesta por varias areolas aisladas por un círculo hialino de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$  de diámetro (Theriot & Stoermer 1982).
- ROSTRADO:** Pequeño engrosamiento de un ápice sin la presencia de un cuello adelgazado que lo una con el resto de la frústula (Round *et al.* 1990).
- SALOBRE:** Relativo al agua que resulta de la mezcla de agua marina con agua dulce, al agua marina diluida (Margalef 1955).
- SAPROBIO:** Aplica a cuerpos de agua que poseen materia orgánica en descomposición (Margalef 1955), existiendo un gradiente que va de oligosaprobio,  $\beta$ -mesosaprobio,  $\alpha$ -mesosaprobio hasta polisaprobio (Krammer & Lange-Bertalot 1986).
- TANATOCENOSIS:** Masa formada por organismos muertos y por las secreciones de los vivos; las características de una tanatocenosis reflejan, con frecuencia, las de la biocenosis que la ha originado (Margalef 1955).
- VALVAR:** Relativo a la vista externa o interna de la parte más extensa de la frústula (Round *et al.* 1990).
- VARVES:** Depósitos alternos de materiales de distinto grano u origen representados por sedimentos lacustres laminados y que generalmente denotan cambios climáticos a lo largo de un periodo (Margalef 1983). Este tipo de estructuras están asociadas con lagos periglaciares en los que los horizontes claros se refieren a épocas de secas en primavera, mientras que los horizontes oscuros denotan riqueza en arcillas ricas en materia orgánica acarreadas por las lluvias de otoño (Gall 1983).
- VISTA CONECTIVA:** Observación de una frústula por el lado del manto valvar (Round *et al.* 1990).
- XENOSAPROBIO:** Relativo a aguas con ausencia total de materia orgánica (Sládeček 1981).

## X. LITERATURA CITADA

- ANDREWS, G.W. 1972. Some fallacies of quantitative diatom paleontology. Pp. 285-294 in Simonsen & Reimer (Eds.): *First symposium on recent and fossil marine diatoms. Nova Hedwigia*. Heft 39.
- BARBER, G.H. & E. HAYWORTH. 1981. *A guide to the morphology of diatom frustule with a key to the british freshwater genera*. The freshwater biological association. Scientific publication No. 14. Great Britain. 112 pp.
- BARRON, A.J. 1993. Diatoms. Pp. 155-167 in Lipps, H.J. (Eds.): *Fossil Prokaryotes and Protists*. Blackwell Scientific Publications. U.S.A. 342 pp.
- BLINN, W.D. 1993. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes. *Ecology* 74(4): 1246-1263.
- BOURRELLY, 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. Pp. 10.
- BRADBURY, J.P. 1975. Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota. *Spec. Pap. Geol. Soc. Am. U.S.A.* 171: 1-74.
- BRADBURY, J.P. 1977. Holocene and late Pleistocene diatom stratigraphy in lake Chalco, México. *Resúmenes del Tercer Encuentro de Paleobotánica y Palinología en México*. INAH-SEP. México. P. 22.
- BRADBURY, J.P. 1982a. Holocene chronostratigraphy of Mexico and Central America. Pp. 46-48 in J. Mangerund, H.J.B. Birks & K.-D. Jaeger (Eds.): *Chronostratigraphic subdivision of the Holocene Striae*. Vol. 16. Uppsala.
- BRADBURY, J.P. 1982b. Paleocological studies at lake Patzcuaro, Mexican Plateau and at Chalco in the basin of Mexico. *Quat. Res.* 17: 56-70.
- BRADBURY, J.P. 1988. Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 62: 299-316.
- BRADBURY, J. P. 1991. The late cenozoic diatom stratigraphy and paleolimnology of Tule Lake, Siskiyou Co., California. *Journal of Paleolimnology* 6: 205-255.
- BRUGAM, R.B. 1980. Postglacial diatom stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. *Quat. Res.* 13: 133-146.
- BRUGAM, R.B. & C. PATTERSON. 1983. The A/C (Araphidineae/Centrales) ratio in high and low alkalinity lakes in eastern Minnesota. *Freshwater Biology* 13: 47-55.

- CABALLERO-MIRANDA, M. 1991. Resultados preliminares del análisis de diatomeas en sedimentos del lago de Chalco, México. Pp. 21-30 in S. Lozano-García et al.: *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la cuenca de México*. Comunicaciones Técnicas del Ito. Geofísica, UNAM. Contribución IGF No. PN-1991-1.
- CASTELLANOS R., M.A. 1990. Difracción de Rayos X: método de polvos. Pp. 21-43 in Sosa, T.M. (Ed.): *Química Inorgánica VI*. Cuadernos de Posgrado 29. Fac Química, UNAM. 179 pp.
- CHOLNOKY, J.B. 1966. Diatomeenassoziationen aus einigen Quellen in Südwest-Afrika und Bechuanaland. Pp. 163-250 in J.B. Cholnoky (Ed.): *Diatomaceae I*. Verlag Von J. Cramer, Stuttgart. 250 pp.
- CONLEY, J.D., C.L. SCHELSKE & E.F. STOERMER. 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Marine Ecology Progress Series*. 101: 179-192.
- CUNA, P.E. 1997. Estudio comparado de las metodologías para el análisis de diatomitas, aplicadas a una fracción del paleolago Tlaxcala (mina El Lucero, Tlaxcala). Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México. 66 pp.
- DÍAZ, L.E. 1917. Diatomeas Fósiles Mexicanas. *Anales del Instituto Geológico de México*. Secretaría de Fomento, Colonización e Industria; Dirección de Minas y Petróleo. México. 31 pp.
- EDMONSON, W.T. & D.E. ALLISON. 1970. Recording densitometry of X-radiographs for the study of cryptic laminations in the sediments 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.* Pp. 73-91.
- EHRENBERG, C.G. 1854. Mikrogeologie das Erden und Felsen schaffende wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. *Leipzig XXVIII*, 374, 88 pp. mit tafeln.
- EHRENBERG, C.G. 1866. Mitteilung der einen Phytolitharien-Tuff als Gebirgsart im Toluca-Thale von Mexiko.- *Monatsb. d.k. Preuss Akad. d. Wiss. z. Berlin* 30-31. 158-169 und 324-345, 1 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.
- FLORIN, M.B. 1970. Late-Glacial Diatoms of Kirchner Marsh, Southeastern Minnesota. Pp. 667-756 in J. Gerloff & B.J. Cholnoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.
- FLOWER, R.J. & R.W. BATTARBEE. 1983. Diatom evidence for recent acidification of two Scottish lochs. *Nature* 305(5930): 130-133.
- FOGED, N. 1993. Some diatoms from Siberia especially from lake Baikal. *Diatom Research* 8(2): 231-279.
- GALL, J.-C. 1983. Ancient sedimentary environments and the habitats of living organisms: Introduction to palaeoecology. Springer-Verlag, Germany. 219 pp.



- GARCÍA, M.E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª ed. Larios. México. 252 pp.
- GONZALEZ-GONZALEZ, J. 1991. Los procesos transformados y los procesos alterados: fundamentos para una teoría procesual del conocimiento biológico. *Uroborus* 1(2): 45-90.
- HÅKANSSON, H. 1982. The recent diatom sucesion of lake Hargårdssjön, South Sweden. *Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium*. Strauss & Cramer GmbH., Germany. Pp. 411-429.
- HÅKANSSON, H. & B. HICKEL. 1986. The morphology and taxonomy of the diatom *Stephanodiscus neoastraea* sp. nov. *Br. Phycol. J.* 21: 39-43.
- HÅKANSSON & KLING 1990. The current status of some very small freshwater diatom of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. *Diatom Research* 5(2): 273-287.
- HÅKANSSON, H. & B. MEYER. 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, S. 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in Southern Sweden -a progress report. *Diatom Research* 8(2): 349-370.
- HAWORTH, Y.E. 1980. Comparison of continuous phytoplankton records with the diatom stratigraphy in recent sediments of Blelham Tarn. *Limnol. Oceanogr.* 25(6): 1093-1103.
- HECKY, R. E. & P. KILHAM. 1973. Diatoms in alkaline, saline lakes: Ecology and geochemical implications. *Limnol. Oceanogr.* 18 (1): 53-71.
- HERNÁNDEZ-VELASCO, A. 1955. *Minerales no metálicos*. C.N.R.R. México. Pp. 91-103.
- HUSTEDT F. 1930a. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 1 Teil: Einleitung und Centricae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977), Koenigstein. 920 pp.
- HUSTEDT, F. 1930b. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (Ed.): *Die Suesswasser-Flora Mitteleuropas* 10, 2nd. ed. Gustav Fischer Verlag, Jena. 466 pp.
- HUSTEDT 1959. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 845 pp.
- HUSTEDT 1961-1966. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 3 Teil: Gattung Navicula*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 816 pp.
- HUSTEDT, F. & N. G. JENSEN. 1985. *The pennate diatoms*. Koeltz Scientific Books. Koenigstein. 918 pp.
- HUTCHINSON, G.E., R. PATRICK & E.S. DEEVEY. 1958. Sediments of lake Patzcuaro, Michoacán, México. *Bulletin of the Geological Society of America* 67: 1491-1504.
- INEGI. 1995. *Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 311 pp.
- JCPDS. 1989. *Powder Diffraction File, Inorganic Phases*. International Centre for Diffraction Data, Swarthmore, PA.
- KLAUS, D. 1973. Las fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 59-62.

- KHURSEVICH, K.G. 1988. Classification of the Genus *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) on the Basis of Morphological Features. 10<sup>TH</sup> Diatom Symposium. Pp. 61-71.
- KOBAYASI, H. & H. KOBAYASHI. 1987. Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan. 5. *S. delicatus* Genkel and the characters useful in identifying five small species. *The Japanese Journal of Phycology* XXXV (4): 268-276.
- KOLBE, R.W. 1927. *Zür Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen*. Pflanzenforschung, Heft 7. Verlag von Gustav Fischer, Jena. 143 pp. 3 Tfln.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1986. *Bacillariophyceae*. 1 Teil: *Naviculaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1988. *Bacillariophyceae*. 2 Teil: *Bacillariaceae*, *Epithemiaceae*, *Surirellaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 596 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991a. *Bacillariophyceae*. 3 Teil: *Centrales*, *Fragilariaceae*, *Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 575 pp.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991b. *Bacillariophyceae*. 4 Teil: *Achnantheaceae*, *Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolatae) und Gomphonema*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.
- KURENKOV, I. I. 1966. The influence of volcanic ashfall on biological processes in a lake. *Limnol. Oceanogr.* 11 (3): 426-429.
- LANGE-BERTALOT, H. & K. KRAMMER. 1989. *Achnanthes*. Eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den *Naviculaceae*. J. Cramer, Berlin-Stuttgart. 393 pp.
- LIPSEY JR., L.L. 1988. Preliminary results of a classification of fifty-one selected northeastern Wisconsin lakes (USA) using indicator diatom species. *Hydrobiologia* 166: 205-216.
- LOHMAN, K.E. 1961. Geological ranges of Cenozoic non-marine diatoms. *Geological Survey Research D*. 373: 234-236.
- LOWE, R.L. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. EPA Report # EPA-670/4-74-005, Cincinnati OH. 333 pp.
- LOZANO-GARCIA, R. 1946. *El tizar y su distribución en México*. Estudios Geológicos-Económicos. Serie de minerales no-metálicos. Instituto de Geología, UNAM. México. 8 pp.
- LOZANO, G.S., J. URRUTIA F., M. CABALLERO M. Y B. ORTEGA G. 1991. *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la Cuenca de México*. Comunicaciones Técnicas, Series de Investigación No. 124. Ito. de Geofísica, UNAM. 52 pp.
- MARGALEF, R. 1955. *Los organismos indicadores en la limnología*. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid. 300 pp.
- MARGALEF, R. 1957. Los microfósiles del lago Miocénico de la Cerdaña como indicadores ecológicos. *Cursillos y Conferencias del Ito. "Lucas Mallada"*, fasc. 4: 13-17.
- MARGALEF, R. 1962. Registro fósil de fluctuaciones climáticas de corto período en el área pirenaica y en época Miocénica. *Actas del Tercer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*. Pp. 217-226.

- MARGALEF, R. 1969. Size of centric diatoms as an ecological indicator. *Mitt. Internat. Verein Limnol.* 17: 202-210.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- METCALFE, S.E. 1986. Diatoms in a core from Laguna Zacapu, Michoacán, Mexico. *9th Diatom-Symposium*. Pp. 251-264.
- METCALFE, S.E. 1988. Modern diatom assemblages in Central Mexico: The role of water chemistry and other environmental factors as indicated by TWINSPAN and DECORANA. *Freshwater Biology* 19: 217-233.
- METCALFE, S.E., F.A. STREET-PERROTT, R.A. PERROTT & D.D. HARKNESS. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma Basin, Central Mexico: A record of climatic change and anthropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology* 5: 197-218.
- METCALFE, S.E. 1992. *Changing environments of the Zacapu Basin, Central Mexico: A diatom-based history spanning the last 30,000 years*. Research Paper 48. School of Geography. University of Oxford.
- METCALFE, S.E. 1993. Evolution of the Pretoria Saltpan -a diatom record spanning a full glacial- interglacial cycle. *Hydrobiologia* 269/270: 159-166.
- METCALFE, S.E. 1994. Estudio de las diatomeas de la cuenca de Zacapu, Michoacán: punto 1 y punto 4. Pp. 100-112 in Pierre Pétrequin (Ed.): *8000 años de la cuenca de Zacapu. Evolucion de los paisajes y primeros desmontes*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 6. Centre d'études Mexicaines et Centraméricaines, México.
- MIRANDA, J., A. OLIVER, G. VILA CLARA, R. RICO-MONTIEL, V.M. MACÍAS, J.L. RUVALCABA & M.A. ZENTENO. 1994a. Analysis of diatomite sediments from a paleolake in central Mexico using PIXE, X-ray tomography and X-ray diffraction. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 85: 886-889.
- MIRANDA, J., G. VILA CLARA, R. RICO-MONTIEL, J. CAÑETAS, M. LUGO, E. HERNÁNDEZ-JUÁREZ Y M.A. ZENTENO. 1994b. Caracterización de sedimentos diatomíferos por medio de PIXE, difracción de rayos X, tomografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *IV Seminario Latinoamericano de Análisis por Técnicas de Rayos X*. Chile. 24 al 27-10-94.
- MIRANDA, J. 1996a. Low energy PIXE: advantages, drawbacks, and applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 118: 346-351.
- MIRANDA, J. 1996b. *Técnicas analíticas de origen nuclear: Un curso introductorio*. Departamento de Física Experimental, IFUNAM. México, 81 pp.
- ODUM, P.E. 1972. *Ecología*. 3a. ed. Interamericana. México. 639 pp.
- OLIVER A., J. MIRANDA, J. RICKARDS & J.C. CHEANG. 1989. Quantification of indium in steel using PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 40/41: 627-629.
- 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.
- PATRICK, R. 1970. The Diatom Flora of Some Lakes of Galapagos Islands. Pp. 495-510 in J. Gerloff und B.J. Chohnoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.

- PATRICK, R. & C.W. REIMER. 1966. *The diatoms of the United States. Volume I.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 688 pp.
- PATRICK, R. & C.W. REIMER. 1975. *The diatoms of the United States. Volume II.* Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 213 pp.
- RAUP, D. & S.M. STANLEY. 1978. *Principios de paleontología.* Ariel. Barcelona. 481 pp.
- RAWSON, D.S. 1956. Algal indicators of trophic lake types. *Limnol. Oceanogr.* 1(1):18-25.
- RICO, R. *Paleoecología de un depósito lacustre de diatomita, Tlaxcala.* Tesis de Licenciatura en Biología. Fac. Ciencias, UNAM. México. En proceso.
- RICO, R., L. MARTINEZ, J. CASTILLO & A. REYES. 1991. Fauna fósil de la barranca de Huexoyucan, Tlaxcala. *XI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: Resumen* 254.
- RICO, R., G. VILA CLARA, R. CARRILLO & M.A. ZENTENO. 1993. Methodologic proposal for lacustrine sediment analysis applied to Tlaxcala diatomite. México. *Ver. Int. Ver. Limnol.* 25(2) : 1072-1074.
- RICO, R., L. MARTÍNEZ, M.R. FERNÁNDEZ Y G. VILA CLARA. 1995. Los lagos muertos de México. Pp. 195-209 in G. de la Lanza y J.L. García (Comp.): *Lagos y presas de México.* Centro de Ecología y Desarrollo. México. 320 pp.
- RICO, R., G. VILA CLARA, J. MIRANDA & J. CAÑETAS. 1998. Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein Limnol.* 26(2) : 838-841.
- RICKARDS, J., A. OLIVER, J. MIRANDA & E.P. ZIRONI. 1990. Uses of PIXE at low proton energies. *Applied Surface Science* 45: 155-166.
- RIVERA, P., O.O. PARRA, M. GONZÁLEZ, V. DELLAROSSA & M. ORELLANA. 1982. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae.* Universidad de Concepción, Chile. 90 pp.
- ROBLEDO, T.R. 1997. Estudio paleolimnológico mediante un análisis comparado de diatomeas en una secuencia estratigráfica de la sección inferior del paleolago Tlaxcala. Tesis de Licenciatura, E.N.E.P. Iztacala, UNAM, México. 57 pp.
- RODRÍGUEZ, A., G. VILA CLARA, J. MIRANDA, J. CAÑETAS & R. RICO. 1996. Microanálisis de laminaciones de una sección del depósito diatomífero de Sta. Bárbara, paleolago Tlaxcala. *XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: Resumen* 300.
- RODRÍGUEZ, A.; G. VILA CLARA; D. JUÁREZ; J. MIRANDA; J. CAÑETAS & R. RICO. 1997. Registro de condiciones paleoambientales locales en sedimentos lacustres. *XVII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: resumen* 256.
- ROSS, R. & D.G. MANN. 1984. What is a Diatom Species?. Report on a Workshop. 8th Diatom-Symposium. Pp. 743-744.
- ROUND, F.E., R.M. CRAWFORD & D.G. MANN. 1990. *The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera.* Cambridge University Press. London. 747 pp.
- ROUND, F.E. & H. HÅKANSSON. 1992. Cyclotelloid species from a diatomite in the Harz Mountains, Germany, including *Pliocenicus* Gen. Nov. *Diatom Research* 7(1): 109-125.

- SABATER, S. 1992. 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, Barcelona. 439 pp.
- SCHMIDT, A. 1874. *Atlas der Diatomaceen-kunde. Band I, II, III, IV*. Reimpresión (1959). Otto Koeltz. Leipzig.
- SIMOLA, H.L.K., M.A. COARD & P.E. O'SULLIVAN. 1981. Annual laminations in the sediments of Loe Pool, Cornwall. *Nature* 290: 238-241.
- SLÁDECEK, V., M. ZELINKA, J. ROTHSCHEIN & V. MORAVCOVÁ. 1981. *Análisis biológico de las aguas superficiales. Comentario a la Norma Estatal Checa 830532 - parte 6: Determinación del índice saprobio* (Traducción del título checo). Vydavatelství, Praga. 186 pp.
- SPP. 1986. *Síntesis Geográfica de Tlaxcala*. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 91 pp.
- SOUTAR, A., S.R. JOHNSON & E. TAYLOR. 1982. X-Radiography of hole 480: Procedures and results. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project LXIV* (2): 1183-1190.
- SQUIRES, E.L. & N.A. SINNU. 1982. Seasonal changes in the diatom flora in the Estuary of the Damour River, Lebanon. *Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium*. Strauss & Cramer GmbH. Germany. Pp. 359-372.
- STOCKNER, G.J. & W.W. BENSON. 1967. The succession of diatom assemblages in the recent sediment of Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 12(3): 513-532.
- TALIAFERRO, N.L. 1933. The relation of vulcanism to diatomaceous and associated sediments. *Bull. Univ. Calif. (Dpt. Geol. Sci.)* 23 (1): 1-56.
- TERAO, K., S. MAYAMA & H. KOBAYASI. 1993. Observations on *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Cleve var. *mexicana* (Bacillariophyceae) with special reference to the band structure. *Hydrobiologia* 269/270: 75-80.
- THERIOT, E. & E.F. STOERMER. 1982. Observations on North American populations of *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species attributed to Friedrich Hustedt. *Trans. Am Microsc. Soc.* 101(4): 368-374.
- THERIOT, E. & E.F. STOERMER. 1986. Morphological and ecological evidence for two varieties of the diatom *Stephanodiscus niagarae*. *8th Diatom-Symposium*. Pp. 385-394.
- TOLLNER, E.W. 1991. X-ray computed tomography applications in soil ecology studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 34: 251-260.
- TRAINOR, F.R. 1978. *Introductory Phycology*. John Wiley & Sons. U.S.A. 525 pp.
- TRÖGER, W.E. 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 188 pp.
- VAN HEURCK, H. 1899. *Traité des Diatomées*. J.-E. Buschmann. Reimpresión (1963), J.R. Hansen, Bruxelles, 574 pp., 35 pl.
- VAN LANDINGHAM, S.L. 1970. Origin of an Early Non-Marine Diatomaceous Deposit in Broadwater County, Montana U.S.A. Pp. 449-484 in J. Gerloff und B.J. Cholnoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.

- VILA CLARA, G. 1997. *Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México*. Tesis Doctoral. Fac. de Biología, Universidad de Barcelona, España. 212 pp.
- VILA CLARA, G., A. RODRÍGUEZ, R. RICO, J. URRUTIA, P. SCHAAF & T. HERNÁNDEZ. 1996. Estudio estratigráfico del paleolago Tlaxcala. *XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala*, UNAM: Resumen 298.
- VILA CLARA, G., R. RICO & J. MIRANDA. 1998. Effects of perturbation on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein. Limnol.* 26(2): 846-851.
- VOS, C.P. & H. de WOLF. 1993a. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269/270: 285-296.
- VOS, C.P. & H. de WOLF. 1993b. Reconstruction of sedimentary environments in holocene coastal deposit of the southwest Netherlands; the Foortvliet boring, a case study of palaeoenvironmental. *Hydrobiologia* 296/270: 297-306.
- VON ERFFA, A., W. HILGER, K. KNOBLICH & R. WEYL. 1976. Geología de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 13: 99-116.
- WATTS, W.A. & J.P. BRADBURY. 1982. Paleoecological studies at lake Patzcuaro on the west-central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of México. *Quat. Res.* 17: 56-70.
- WEITZEL, R.G. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. 679 pp.
- WHITMORE, T.J. 1989. Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. *Limnol. Oceanogr.* 34 (5): 882-895.
- WILLIAMS, G.L. 1964. Possible relationships between plankton-diatom species numbers and water-quality estimates. *Ecology*. 45(4): 809-823.
- YANG J.R. & M. DICKMAN. 1993. Diatoms as indicators of lake trophic status in Central Ontario, Canada. *Diatom Research* 8 (1): 179-193.
- ZOLTAL, T. & J. H. STOUT. 1985. *Mineralogy. Concepts and principles*. Burges publishing Co. Minneapolis. 505 pp.