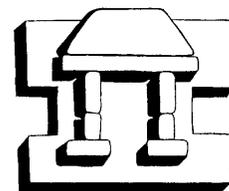


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



UNAM

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**



IZTACALA

**CARACTERIZACIÓN DE LAMINACIONES EN LA MINA DE
STA. BÁRBARA, PALEOLAGO TLAXCALA, TLAX.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIOLOGO

PRESENTA:

DELFIN ANTONIO CERVEIRA CHAN

DIRECTOR DE TESIS:
DRA. GLORIA VILA CLARA FATJÓ

2004

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO



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

Al director de esta tesis, Dra. Gloria Vilaclara Fatjó, así como a los sinodales –Biol. Arnulfo Reyes Mata, M. en C. Gloria Garduño Solórzano, M. en C. José Mario Miranda Herrera, Biol. Ma. del Rosario Fernández Barajas-. Sus comentarios y guía para la realización de este trabajo fueron de gran valía.

Al proyecto “Efecto de Perturbaciones en Sistemas con Invariancia de Escala”, apoyado por CONACYT 34512-E, por el apoyo económico con el cual se pudo llevar a cabo esta tesis.

Al Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, por facilitar el uso del tomógrafo Toshiba TCT-600XT.

A los, profesores y compañeros del laboratorio de Ecología Acuática: Alfonso Lugo, Rosario Sánchez, Guadalupe Oliva, Martha Gaytan, Laura P., Angeles G. especialmente a Estela Cuna, Alejandro Rodríguez y Diana Juárez, que contribuyeron en la elaboración de este trabajo.

A la FES Iztacala y a sus profesores por el tiempo y conocimientos durante mi formación.

A todos mis compañeros de generación: José, Raul V., Horacio, Samuel (toto), Mauricio, Antonio Teresa, Sonia, Amanda, Edgar, Luis Antonio, Raul (Peyo), Antonio Balderas, por las alegrías y tristezas que compartimos.

A toda la banda de la preparatoria popular “Mártires de Tlatelolco” (Fresno), en especial al profesor Agustín Villa Cordoba “chiquilín”, por las experiencias y enseñanzas que dejaron una huella muy profunda en mi vida.

DEDICATORIAS

A mi madre Maria Guadalupe Chan Pech por ser un ejemplo de lucha ante las adversidades, por todo el amor y la comprensión que me han permitido llegar hasta aquí. Gracias

A Jannett Pérez López y Brandon Antonio Cerveira Pérez, mis dos grandes amores que me motivaron a cerrar esta etapa de mi vida y a buscar nuevas perspectivas que nos permitan seguir creciendo juntos.

A Cielo Salome y mis tíos Antonio y José por su apoyo y comprensión.

A Miguel Elías Ortiz Chan por la nobleza de tus actos que me han hecho entender que la vida es efímera e injusta, pero que tenemos que vivirla con pasión e intensidad. Aunque ya no estas aquí siempre recuerdo los momentos que pasamos juntos, las experiencias que compartimos y hasta los disgustos que tuvimos. Mi hermano siempre te llevo en mi corazón.

INDICE

Resumen	.....	5
Introducción	.....	6
Antecedentes	.....	9
Objetivos	.....	10
Área de estudio	.....	11
Material y Métodos	.....	12
Resultados	.....	14
Discusión	.....	24
Conclusiones	.....	27
Bibliografía	.....	28
Apendice 1	.....	34

RESUMEN

La información paleoecológica que pueden aportar los microfósiles, concretamente las diatomeas, es considerable. Esto es así por su significado como indicadores ecológicos de pH, salinidad, niveles tróficos, profundidad, etc., así como por la facilidad con que pueden estudiarse largas series de ejemplares, dado que las frústulas de estos organismos se preservan con relativa facilidad en diferentes tipos de sedimentos.

México es rico en yacimientos de diatomita, siendo uno de ellos el paleolago Tlaxcala. Para interpretar adecuadamente la información contenida en estos depósitos es necesario encontrar formas alternativas de análisis, ya que el biológico es tardado y difícil. En este sentido, la utilización de rayos-X por medio de la Tomografía Axial Computarizada (TAC) representa una herramienta valiosa, ya que es capaz de emitir y recaptar rayos-X no absorbidos por el material, y convertirlos en valores numéricos que reinterpreta en forma de imágenes; tal procedimiento permite resaltar estructuras a menudo imperceptibles al ojo humano.

Los objetivos planteados en el presente trabajo fueron determinar la composición taxonómica y la variación en porcentaje del conjunto de diatomeas en relación a las perturbaciones más visibles y/o detectadas con el TAC en una sección de la mina Santa Bárbara ubicada en el paleolago Tlaxcala, e intentar asociar valores de atenuación de rayos-X con la composición de taxa de diatomeas observadas en las laminaciones estudiadas.

Los resultados indicaron que la columna de sedimento muestreada en la mina correspondió a sedimentos depositados en una zona profunda del lago, pues además de preservarse las laminaciones, numéricamente dominaron las diatomeas centrales en cantidad; Sin embargo, en riqueza específica fueron más importantes las arrafídeas y las bentónico-epífitas, aunque éstas últimas sobrepasaron en mucho a las arrafídeas y se encontraron como dominantes en algunas de las perturbaciones –interpretadas como resultado del arrastre de materiales de la cuenca y del litoral por lluvias-. Las centrales fueron importantes antes y después de las perturbaciones interpretadas como caída directa de cenizas –por no contener diatomeas y por lo anguloso de las partículas que se llegaron a observar-, aunque varió su proporción relativa. No se encontró una relación directa del TAC con la composición y porcentajes de los taxa individuales, aunque sí indirecta a través de la cantidad de frústulas, pues a mayor número de ellas, menores valores de TAC y viceversa.

Se concluye que el lago fue de aguas dulces ligeramente alcalinas por la composición de especies dominantes, relativamente profundo –tanto por la composición de diatomeas como por la formación de laminaciones, indicadoras de condiciones anoxia y –por ello- de estratificaciones prolongadas a lo largo del año. Las perturbaciones actuaron puntualmente alterando la composición previa de frústulas en el sedimento, pero globalmente no afectaron al paleolago, excepto por inyectar frecuentemente materiales al lago ricos en sílice que indudablemente aprovecharon las diatomeas para crecimientos masivos que finalmente dieron origen a las diatomitas estudiadas.

INTRODUCCIÓN

Los restos o huellas de los organismos que vivieron en los ambientes del pasado se denominan fósiles. Su estudio morfológico pertenece a la paleontología. La disciplina que se encarga de los hábitos y hábitats de organismos que vivieron en los ambientes del pasado es la paleoecología, que analiza la relación entre los fósiles y su paleoambiente (Ager 1963). Así la información que pueden aportar los microfósiles como el polen, esporas, espículas de esponjas, diatomeas, restos de crustáceos, y otros indicadores ecológicos como varves, o las inclusiones piritosas, es considerable, ya que son como espejos de las condiciones ambientales pasadas en los ecosistemas. Una de las ventajas de los microfósiles estriba en su densidad numérica, (que es la cantidad de restos celulares por peso de sedimento seco), que se presta a estudios biométricos y los hace adecuados a una estratigrafía de pequeña escala (Margalef 1957). En particular, las diatomeas se consideran microfósiles valiosos, tanto por su considerable significado como indicadores ecológicos de pH, salinidad, niveles tróficos, profundidad de agua, etc. (Caballero 1997, Fritz *et al.* 1999), como por la facilidad con que pueden estudiarse largas series de ejemplares (Margalef 1962), fundamentalmente por la facilidad de preservación de sus cubiertas o frústulas en el sedimento, ya que se logran preservar en ambientes ácidos a neutros y se disuelven fácilmente en ambientes alcalinos (Caballero *et al.* 1997). Químicamente, la frústula de las diatomeas es básicamente una variedad de ópalo, constituido principalmente por silíceo (Díaz 1917, Round *et al.* 1991).

Por sus características arriba mencionadas, las diatomeas fósiles han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la bioestratigrafía y paleoecología desde mediados del siglo pasado, ya que la determinación de especies se da gracias a rasgos que quedan conservados en la frústula, además de existir géneros y especies marcadoras (Metcalf 1995). Son organismos adecuados como indicadores en estudios paleolimnológicos, aunque presentan algunos problemas de interpretación paleoambiental por ser dependientes del ambiente de sedimentación responsable de su depositación y preservación (Lozano *et al.*, 1991), por que 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 y a que existe poca gente que se dedique a investigar fósiles de diatomeas dulceacuícolas y los conocimientos que se generan son todavía insuficientes (Barron 1993).

A pesar de las complicaciones que pueden comprometer las interpretaciones paleoecológicas basadas en diatomeas, el registro bioestratigráfico de estos organismos en depósitos de lagos antiguos generalmente revela información importante para un conocimiento más completo de la historia de un lago. Las diatomeas son generalmente sensibles a cambios lacustres, aun de pequeña magnitud, pueden proliferar y colonizar rápidamente para explotar ambientes limnológicos apropiados; lo cual es bueno, ya que tienen el potencial para producir una gran variedad de interpretaciones paleolimnológicas de alta resolución, esto implica un intervalo más estrecho de adaptación a condiciones lacustres, por lo tanto las hace buenas indicadoras (Bradbury 1971). Cuando los sedimentos lacustres contienen una gran cantidad de frústulas de diatomeas (más del 60%) se considera como tierra diatomácea o simplemente diatomita (Díaz 1917).

El incremento en 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), debido a que aguas saturadas de silicio de origen volcánico favorecen -por un lado- la generación de diatomeas (si otros nutrientes están en concentraciones suficientes), y -por otro- se evita la disolución de las frústulas una vez muerto el organismo. Con ello, tenemos que las diatomeas están bien representadas en los sedimentos lacustres y son suficientemente abundantes para seguir sus progresivos cambios en estratigrafía (Round 1964b in Wetzel 1981). Simola *et al* (1981) mencionan que este tipo de sedimentos se encuentra laminado, sin especificar que tan frecuentemente. La presencia de laminaciones puede reflejar ya sean cambios regulares del propio ecosistema o variaciones en la intensidad de la erosión y transporte de los materiales de la cuenca. La forma de diferenciar estos aportes autóctonos y alóctonos se basa en el tipo de material dominante, por ejemplo, restos de organismos acuáticos (diatomeas, quistes de crisofíceas) indican entradas autóctonas; partículas minerales que proceden de la caída directa de cenizas o del arrastre de materiales de la cuenca indican aportes alóctonos (Rodríguez 2002). Sin embargo, la causa principal de las laminaciones son las variaciones estacionales de las condiciones ambientales, particularmente el clima (Simola 1981). Las causas más probables de las laminaciones en México son que los lagos estratificados generan fondos anóxicos que impiden la bioturbación y, por otro lado, la alternancia de fases de estratificación prolongadas con fases más cortas de mezcla generan condiciones locales diferenciadas para la depositación de materiales y, por consiguiente, la formación de láminas delgadas a las que se pueden sobreponer materiales más gruesos (incluidas diatomeas) que pudieron ser arrastrados del litoral hacia el centro de la columna de agua debido lluvias intensas (Alcocer et al. 2000).

México es rico en yacimientos de diatomita, fuente importante de información de cambios pasados como por ejemplo Zacapu, San Francisco de los Reyes, Amatitán, así como las minas de Santa Bárbara y San Simeón, (Rico *et al.* 1995). Es necesario encontrar las formas más adecuadas para leer esta información, de manera que se cuenten con indicadores o variables independientes que miden el registro de cambio ambiental en los sedimentos ("proxies"). Indudablemente, las asociaciones fósiles son una muy rica fuente de información ecológica, a su vez correlacionada con cambios climáticos. Sin embargo, el análisis biológico es tardado y difícil, puesto que requiere de un considerable entrenamiento de tipo taxonómico; por otro lado, es casi imposible obtener muestras en todas las láminas del yacimiento con el fin de obtener los datos biológicos. Por tales razones, puede resultar un aporte importante en las metodologías aplicables a la diatomita, la comparación de las agrupaciones de diatomeas con otras lecturas de variación en las laminaciones. (Vilaclara 1997).

Las radiografías de rayos X se han utilizado ampliamente desde la década de los 60 para determinar la estructura de las rocas sedimentarias y de sedimentos recientes, por la buena resolución visual que aporta, gracias a que la atenuación de rayos X correlaciona con la densidad del material, por lo cual detecta variaciones muy finas en densidad (Duliu 1999). Sin embargo, los esfuerzos dirigidos a registrar densidades de rayos X fueron escasos por el inconveniente de que se tenía al medir la transmisión de la luz a través de las laminaciones con microdensitómetro (Edmonson y Allison 1970). Los rayos X ponen de manifiesto o resaltan estructuras que no se observan a simple vista, como varves, que son 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), o estructuras de bioturbación, que

son redes de pequeños túneles que hicieron los organismos bentónicos, indicadores de la existencia de oxígeno en el fondo (Tollner 1991). Se puede suponer que la ausencia de laminación observable en los sedimentos lacustres se debe en parte a la actividad mezcladora de la fauna bentónica, especialmente cuando la laminación es muy fina; sin embargo, las condiciones necesarias para que se establezcan laminaciones son múltiples, básicamente un ambiente que implique condiciones diferentes a lo largo de ciclos temporales como, por ejemplo, picos de productividad de diatomeas en época de mezcla (Margalef 1983), o arrastres estacionales por lluvias, junto con condiciones favorables para la preservación de las laminaciones, básicamente anoxia prolongada que impida que organismos bentónicos mezclen la capa superficial de sedimentos y en este sentido el empleo de rayos X puede ayudar a discernirlas. Si a eso le sumamos la posibilidad de un análisis asociado con computadora que asocia imágenes con números (tomografía axial computarizada, Vilaclara 1997), el análisis de eventos se vuelve más rápido y amplía grandemente las posibilidades de aplicación (Edmonson y Allison 1970).

A este respecto, el uso de rayos X mediante un Tomógrafo Axial Computarizado (TAC) se manifiesta como una herramienta muy valiosa y no invasiva para la detección numérica y visual de estructuras en los materiales con la porosidad adecuada. La TAC se basa en la emisión de un haz 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 (observados como pixeles, es decir, por la proyección del paralelepípedo analizado sobre el plano bidimensional de la pantalla) que han sido determinados en el sistema (Vilaclara 1997).

En el caso de la diatomita, las laminaciones en las que dominan las frústulas son más porosas que las laminaciones en las que dominan materiales de arrastre y/o depositación por caída de ceniza, mucho más densos y que impiden el paso de los rayos X; esto es así porque las diatomeas están hechas de "cajitas" (frústulas compuestas de dos valvas) de vidrio biogénico u ópalo hidratado, que -en su acomodo durante la formación de las laminaciones- dejan aire en su interior y entre las frústulas, mientras que las partículas inorgánicas, más o menos redondeadas, se compactan más fácilmente, dejando menos aire entre los materiales. Las unidades de medición son, entonces, unidades de atenuación de rayos X asociadas con la densidad del material (Kenter 1989 y Rico *et al.* 1997). La rapidez en la obtención de tales lecturas es considerable, mucho mayor que el análisis biológico. Además, la eficiencia en la detección de laminaciones es muy superior que a simple vista, puesto que laminaciones delgadas de cenizas blancas se confunden fácilmente con las de diatomita; tampoco la simple vista es capaz de distinguir entre laminaciones con diferentes proporciones de frústulas y de materiales no biogénicos (Vilaclara 1997).

ANTECEDENTES

Desde el siglo XIX existen evidencias de trabajos con diatomeas fósiles en general, destacando los realizados por Ehrenberg (1846, 1854, 1866, 1869 y 1876); A. Schmitdt (1874) y Van Heurck (1899). Para el siglo XX, Hustedt compila la información taxonómica y ecológica sobre diatomeas, lo que hoy en día se considera bibliografía básica (1961-66).

Dentro de los trabajos más sobresalientes realizados en México, tenemos los de Hutchinson *et al.* (1958), quien publicó un estudio palinológico, químico y de diatomeas en sedimentos del lago de Pátzcuaro. Bradbury (1971) lo hizo para la región central de México. Urrutia, Caballero, Ortega y Lozano (del Laboratorio de Paleomagnetismo, Ito. de Geofísica y del Departamento de Paleontología, Ito. de Geología, ambos en la UNAM) llevan años trabajando sedimentos lacustres, en la zona de la Faja Volcánica Mexicana y, especialmente, en el Valle de México, con un enfoque de cambio ambiental eminentemente Holocénico. Metcalfe y colaboradores (1988, 1991 y 1992) han realizado estudios del Holoceno con diatomeas como indicadores de cambio climático en la zona centro de México.

Concretamente, en el estado de Tlaxcala se han encontrado depósitos de restos de diatomeas (diatomitas) de gran pureza conocida gracias al análisis de sílice biogénico y de grosor considerable (Hernández Velasco 1955 y Ontiveros Hernández 1964). Rico *et al.* (1993, 1995, 1997), Miranda *et al.* (1994 y 1996) publicaron sobre los lagos muertos en México en donde se incluye el paleolago Tlaxcala. Cuna (1997) analiza las variaciones registradas en los sedimentos diatomíferos para dar una interpretación en términos paleoecológicos en la mina "El Lucero". Vilaclara (1997) elabora un registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres del paleolago, Juárez (1998) estudia las diatomeas de la sección inferior de la mina "El Lucero", y Rodríguez (1998) determina las condiciones ecológicas que prevalecieron en el paleolago Tlaxcala concretamente en la mina de "Sta. Bárbara", en el lapso de tiempo en que se depositaron los sedimentos que conforman un bloque estudiado, además de asociar comunidades de diatomeas fósiles con valores obtenidos mediante algunas técnicas físicas (PIXE, DRX, TAC). En dichos antecedentes se hace hincapié en la importancia de las perturbaciones en las minas de diatomita en la zona, aunque el efecto de las mismas no ha quedado suficientemente aclarado, por lo que el propósito de este trabajo es arrojar información acerca del efecto de las perturbaciones en la dinámica lacustre a través de la variación de las frústulas de diatomeas, así como avanzar en el intento de correlación de datos de atenuación de rayos X –más rápidos de obtener que los conteos biológicos cuando se cuenta con el equipo adecuado- y números y composición de restos de diatomeas.

Por todo lo anteriormente mencionado, los objetivos de este trabajo son:

OBJETIVOS GENERALES

1.- Determinar la composición taxonómica y la variación en porcentaje del conjunto de diatomeas, en relación con las perturbaciones, detectadas visualmente y/o con Tomografía Axial Computarizada, en la sección central -de 1.90 m- de la mina de Sta. Bárbara, Tlaxcala, donde se observan los cambios más importantes, así como en las laminaciones anterior y posterior de cada perturbación, con el fin de entender cómo afectó localmente la perturbación al conjunto de diatomeas.

2.- Obtener secuencias de atenuación de rayos X en esta sección de la mina de Sta. Bárbara, con el fin de intentar asociar intervalos de valores con la composición y los porcentajes de taxa de diatomeas observadas en las laminaciones.

OBJETIVOS PARTICULARES

1.- Ubicar y caracterizar las perturbaciones más importantes mediante diatomeas y atenuación de rayos X, donde se ubican los cambios más intensos (detectados por cambios de coloración, por textura y mediante las radiografías de rayos X) en una sección central de la mina de Sta. Bárbara, Tlaxcala.

2.- Caracterizar, mediante diatomeas y atenuación de rayos X, las laminaciones anterior y posterior de cada perturbación analizada.

AREA DE ESTUDIO

La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) es una provincia fisiográfica que recorre México transversalmente a lo largo de los paralelos 19-20° N. Se encuentra directamente afectada por el empuje de las placas marinas de Cocos y de Rivera, en el Pacífico. La subducción oblicua de la placa de Cocos por debajo de la de Norteamérica ha facultado la aparición de conos volcánicos poligenéticos (estratovolcanes) y monogenéticos, cuya actividad ha levantado y deformado el orógeno como resultado de dicha subducción (Suter *et al.* 1992).

En la parte centro-este de la FVTM, se ubica el paleolago Tlaxcala. Forma parte de lo que se conoce como “Sedimentos Lacustres de Tlaxcala”, y se localiza en la parte central del estado de Tlaxcala a los 19°24' latitud Norte. y 98°17' de longitud a una altura de 2380 m. s.n.m.(Fig.1).

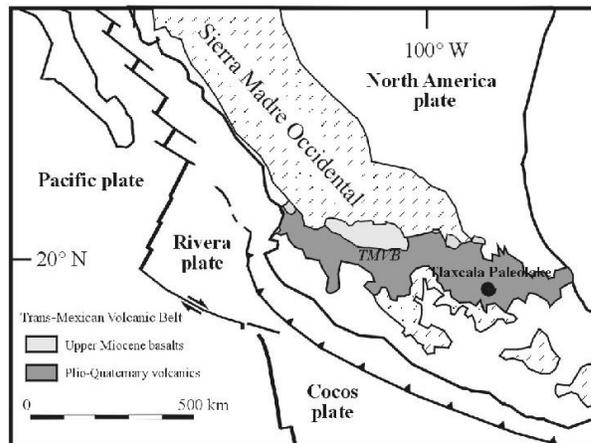


Figura 1. Localización del paleolago Tlaxcala (tomado de Vilaclara *et al.*, enviado).

Los trabajos geológicos de la zona que la caractericen geológica, estratigráfica y geomorfológicamente dan un fechamiento de 15 millones de años para las secuencias Terciarias que subyacen al paleolago. Aun cuando se ha intentado fechar el paleolago por varios métodos no se han podido obtener fechas directas (Vilaclara 1997). Los datos más aproximados son una correlación con restos de animales extintos en una barranca cercana (Rico *et al.* 1991), y la determinación de los grados de desviación desde el norte magnético de una serie de núcleos obtenidos en el basalto que se encuentra en contacto directo con la diatomita, la mayoría indicando un desviación como la que se observa desde los últimos 750,000 años. Ambos indicios parecen señalar una edad Plio-Pleistocena para el lago que dio lugar a los yacimientos de diatomita (Vilaclara 1997).

En el paleolago se han excavado varias minas, cuya explotación fue abandonada hace tiempo, aunque en los últimos dos años hay indicios de que la explotación se está retomando parcialmente. La mina superior se denomina “El Aguila”, por hallarse en las faldas del cerro con el mismo nombre, aunque se conoce también por Diatomex (Ontiveros-Hernández 1964), porque así se llamaba la empresa que extraía el material del yacimiento. La intermedia se llama de “Sta. Bárbara”, aunque algunos lugareños la conocen como “mina del negro”. La inferior se denomina “El Lucero” (Ontiveros-Hernández *op. cit.*) o “de la rosa”, según la gente de la zona.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención del material de estudio

Se extrajeron con cincel y cuchillo 10 bloques de la mina de Sta. Bárbara, Tlaxcala, cada uno de aproximadamente 15 a 40 cm de largo por 10 a 15 cm de ancho y fondo, buscando que cada bloque en su parte inferior contenga las mismas laminaciones que la parte superior del bloque siguiente. El total de bloques extraídos corresponde a una sección de aproximadamente 1.90 m de altura en la mina, tomando como referencia la perturbación más visible a simple vista, que nombramos como la erupción volcánica del bloque 10. Los bloques se labraron y limpiaron con cuchillo y brochas para evitar contaminación del material.

Cada bloque se analizó por medio de rayos X, tomando medidas de atenuación de rayos X cada 0.25 mm, con el fin de que incluso las laminaciones más estrechas (entre 0.5 y 1 mm) tengan por lo menos dos mediciones (Fig.2).

En cada bloque también se muestrearon, con la punta de alfileres, las laminaciones indicadas a simple vista de una entrada de material alóctono (“perturbaciones”), además de la laminación de diatomita anterior y posterior a ésta, con el fin de elaborar preparaciones permanentes en las que se determinó la composición taxonómica y la cantidad relativa de diatomeas con tres repeticiones.

Dichas técnicas de muestreo –que incluye la medida de dos “proxies” independientes (“densidad” de rayos X y composición/proporción relativa de valvas de diatomeas)- permitió contar con varios ejemplos de materiales con la máxima diferenciación en densidad y composición (Vilaclara 1997).

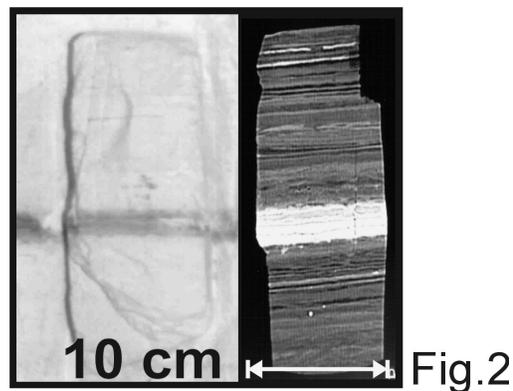


Figura 2. Fotografía de uno de los bloques de diatomita estudiados, en donde se observan los diferentes tipos de laminaciones y la imagen en negativo tomada con el tomógrafo.

Análisis de laboratorio

Rayos X

Se realizó la lectura de las laminaciones observables con rayos X usando la técnica de Tomografía Axial Computarizada (TAC), mediante un tomógrafo marca Toshiba TCT-600 XT, versión V4.2H. Se obtuvieron tomografías mediante un cámara Ektascan marca Kodak y se procesaron con un procesador Kodak RP/X-OMAT. Ambos equipos se hallan ubicados en el Departamento de Neuroimagen del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía de la Secretaría de Salud.

En usos médicos, lo que interesa no son los valores numéricos, sino la calidad de la imagen resultante de los mismos; asimismo, en estudios de rayos X aplicados a

análisis estratigráficos (Soutar *et al.* 1982), también se ha buscado una buena resolución gráfica como base para describir la variación estructural, sin tomar en cuenta los valores numéricos. Sin embargo, otros estudios (Edmonson & Allison 1970, Miranda *et al.* 1994 y Algeo *et al.* 1994) han medido la densitometría de las radiografías con el fin de obtener el registro exacto y objetivo de laminaciones invisibles a simple vista.

Diatomeas

El material extraído de las laminaciones (aproximadamente 0.2 mg) se colocó en cubreobjetos al los que se le agregó una gota de agua que permitió la distribución homogénea de las valvas de diatomeas; cada cubreobjetos se colocó en una parrilla térmica a temperatura moderada con el objeto de evaporar el agua. Seca la muestra, se le añadió una gota de Naphrax y se colocó encima del portaobjetos evitando que se formaran burbujas.

Aunque las listas simples de especies pueden ser útiles, ofrece mayor información conocer la distribución en porcentaje de las diatomeas que hay en la tanatocenosis. Es común aplicar el conteo de un número determinado de valvas -que varían entre 200 (Kanaka y Koizumi 1966, in Andrews 1972), 300 (Renberg 1990), 500 (Urrutia-Fucugauchi *et al.* 1995) y 1000 (Evans, citado por West 1977)- para obtener los porcentajes relativos de *taxa* encontrados. Por tales motivos, a cada muestra se aplicó un conteo sobre un número determinado de valvas en campos consecutivos (800 valvas) para obtener los porcentajes relativos de *taxa*.

Además se calculó el promedio y la dispersión de las medidas de por lo menos 10 individuos por muestra de las especies más abundantes (Margalef 1957). Para esto se utilizaron microscopios Zeiss estándar con óptica de contraste de fases para el conteo y determinación taxonómica. Para una determinación taxonómica más precisa se empleó un microscopio de barrido JEOL-5200 ubicado en el Departamento de Física Experimental del IFUNAM.

La determinación taxonómica, de especies y variedades se realizó empleando la siguiente bibliografía: Bourrelly (1981), Florin (1970), Frenguelli (1941), Hakansson & Hickel (1986), Van Heurck (1899), Hustedt (1930 a y b 1959, 1961-1966), Kolbe (1927), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991), Patrick & Reimer (1966), Weber (1971) y Werner (1977).

RESULTADOS

Resultados cualitativos

En total se encontraron 38 taxa en las 44 laminaciones analizadas de la mina de diatomita de Sta. Bárbara, Tlaxcala. Dichas especies se observan en el siguiente listado, ordenadas según la clasificación taxonómica propuesta por Bourrelly (1981) y Simonsen (*in* Krammer and Lange-Bertalot, 1986). Y validadas a través de www.ITIS.usda.gov.

DIV. CROMOPHYTA

SUBDIV. CRYSTOPHYCOPHYTA

CLASE BACILLARIOPHYCEAE

SUBCLASE CENTROPHYCIDAEAE

ORDEN COSCINODISCALES (O EUPODISCALES)

Género *Aulacoseira*

A. solida Grunow *in* Van Heurk

Género *Stephanodiscus* Ehrenberg

S. minutulus (Kützing) Cleve & Müller

S. neoastraea Hakansson et Hickel

S. aff. niagarae Ehrenberg

SUBCLASE PENNATOPHYCIDAEAE

ORDEN DIATOMALES (O ARAPHIDEAE)

Género *Fragilaria* Lyngbye

F. brevistriata Grunow *in* Van Heurk

F. capuchina Desmazières

(*cf. var. mesolepta* Rabenhorst) Rabenhorst

F. construens (Ehrenberg) Grunow

var. construens (Ehrenberg) Hustedt

F. leptostauron (Ehrenberg) Hustedt

var. leptostauron (Ehrenberg) Hustedt

F. pinnata Ehrenberg

var. pinnata Ehrenberg

Género *Synedra* Ehrenberg

S. sp (Ralfs) Kützing

ORDEN ACHNANTHALES (O MONORAPHYDEAE)

Género *Achnanthes* Bory

A. minutissima Kützing

var. affinis (Grunow) Lange – Bertalot *in*
Lange – Bertalot & Krammer

var. minutissima Kützing

Género *Cocconeis* Ehrenberg
C. pediculus Ehrenberg
C. placentula Ehrenberg
var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurk
var. *pseudolineata* Geitler
var. *tenuistriata* Geitler

ORDEN NAVICULALES (O BIRAPHYDEAE)

Género *Amphora* Ehrenberg

A. lybica Ehrenberg
A. veneta Kützing

Género *Cymbella* Agardh

C. cistula (Ehrenberg) Kirchner
C. cymbiformis (Kützing) Van Heurk
var. *cymbiformis* (Kützing) Van Heurk
C. mexicana (Ehrenberg) Clave
var. *mexicana* (Ehrenberg) Clave
C. microcephala Grunow *in* Van Heurk
C. muellerii Hustedt
C. schimanskii Krammer

Género *Gomphonema* Ehrenberg

G. affine Kützing
G. parvulum (Kützing) Kützing

Género *Navicula* Bory

N. cryptotenella Lange – Bertalot
N. laevissima Kützing
var. *laevissima* Kützing
N. pupula Kützing
var. *pupula* Kützing

Género *Pinnularia* Ehrenberg

P. maior (Kützing) Rabenhorst

Género *Denticula* Kützing

D. elegans Kützing

Género *Epithemia* Brébisson

E. adnata (Kützing) Brébisson
Var. *porcellus* (Kützing) Grunow

Género *Hantzschia* Grunow

H. amphioxys (Ehrenberg) Grunow *in* Clave & Grunow

Género *Nitzschia* Hassall

N. amphibia Grunow
var. *amphibia* Grunow
var. *frauenfeldii* (Grunow) Lange-Bertalot
N. amphibioides Hustedt
N. aff. angustata (W. Smith) Grunow *in* Clave & Grunow
N. tropica Hustedt

De los taxa encontrados, la dominancia fue disímil. A continuación se reportan los taxa –considerados como escasos- cuya abundancia en por lo menos una laminación nunca alcanzó el 10%, del 10 al 49% -considerados como abundantes- y de 50% ó más en por lo menos una laminación –considerados dominantes-.

24 Taxa escasos, < 10%, registrados en por lo menos una de las laminaciones estudiadas

Achnanthes minutissima var. *affinis*, *A. minutissima* var. *minutissima*, *Amphora lybica*, *A. veneta*, *C. placentula* var. *tenuistriata*, *Cymbella cymbiformis*, *C. mexicana*, *C. microcephala*, *C. muellerii*, *C. schimanskii*, *Denticula elegans*, *Epithemia adnata* var. *porcellus*, *Fragilaria brevistriata*, *F. capucina*, *F. construens* var. *construens*, *F. leptostauron* var. *leptostauron*, *F. pinnata*, *Gomphonema parvulum*, *Hantzchia amphioxys*, *Navicula laevissima* var. *laevissima*, *Nitzschia amphibioides*, *N. angustata*, *Pinnularia maior* y *Synedra* sp.

8 Taxa de abundancia intermedia, ≥10%– 49% en por lo menos una de las laminaciones estudiadas

Cocconeis pediculus, *C. placentula* var. *lineata*, *Cymbella cistula*, *Gomphonema affine*, *Navicula pupula* var. *pupula*, *Nitzschia amphibia*, *N. amphibia* var. *fraunfeldii* y *N. tropica*.

6 Taxa abundantes, ≥50% en por lo menos una de las laminaciones estudiadas

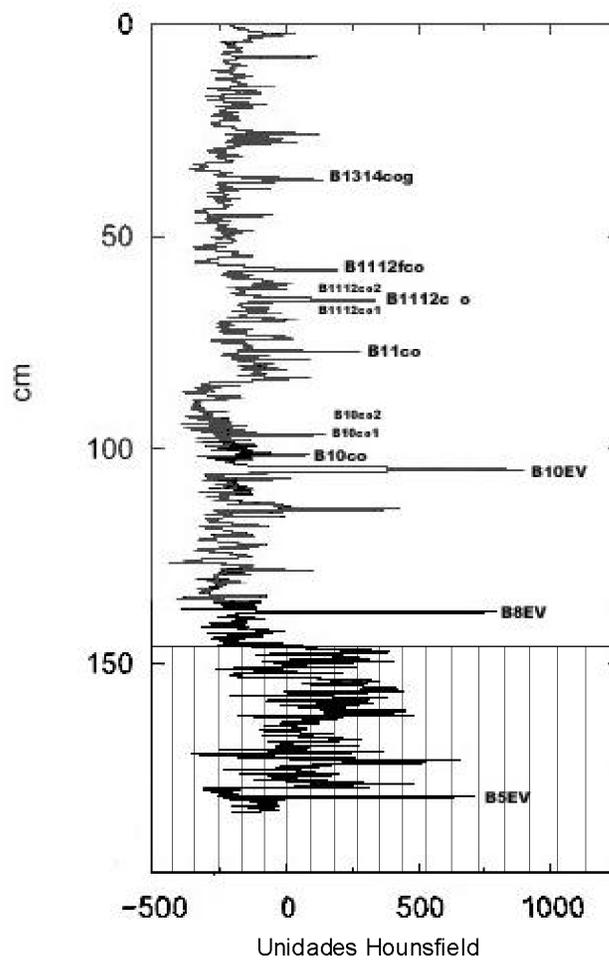
Aulacoseira solida, *Cocconeis placentula* var. *pseudolineata*, *Navicula cryptotenella*, *Stephanodiscus minutulus*, *S. neoastraea* y *S. aff. niagarae*.

Es importante resaltar que la bibliografía maneja comúnmente valores de alrededor del 2% como limítrofes entre taxa escasos y más abundantes (Metcalf 1986); sin embargo, para el análisis de clúster un criterio estadístico personal de ensayo y error obligó a subir este valor hasta un 10%, para observar agrupaciones.

Resultados cuantitativos de diatomeas y valores de TAC en la columna estratigráfica

Los resultados de la atenuación de rayos X variaron entre –444 en laminaciones de diatomita muy pura (compuesta mayormente por frustulas de diatomeas, no se observaron otras partículas minerales) y +901 en la perturbación más intensa ubicada a 103.3 cm.

La Fig. 3 muestra la variación de los valores de atenuación tomados cada 0.25 mm a lo largo de 1.65 metros de la mina; en la gráfica se han insertado los nombres de



 Zona de mayor atenuación de rayos X

las laminaciones observadas como perturbaciones más intensas (entrada importante de material alóctono, reconocidas por grosor).

Fig. 3. Variación de los valores de atenuación tomados cada 0.25 mm a lo largo de la sección central de la mina, de 1.90 m; en la gráfica se han insertado los nombres de las laminaciones observadas como perturbaciones más intensas (entrada importante de material alóctono).

Se observa que hay dos zonas diferenciadas en cuanto a la atenuación de rayos X del material:

- 1).- De los 189 a los 147 cm, en la base de la mina de Sta. Bárbara, el material se observa más oscuro, lo cual coincide con una mayor atenuación de rayos X.
- 2).- De los 147 hasta 0 cm, la mayor parte de la diatomita es muy pura, con atenuaciones de rayos X negativas a excepción de las perturbaciones marcadas, ricas en materiales volcánicos. En esta zona es donde se observan las entradas de cenizas más importantes de la sección, marcadas como B8EV y B10EV.

La Fig. 4 muestra la distribución en porcentaje de los taxa más importantes observados en las perturbaciones muestreadas, así como antes y después de ellas.

Se observa que *S. minutulus*, *S. neoastraea*, *S. aff. niagarae* y *A. solida* (centrales, planctónicas), *C. pediculus*, *C. placentula* var. *lineata*, *C. placentula* var. *pseudolineata* y *Navicula cryptotenella* (bentónico-epífitas), son las especies que aumenta su porcentaje de aparición en las perturbaciones antes o después.

Análisis de Clúster

Se realizaron varios análisis de clúster con el fin de encontrar tendencias de agrupamiento de las especies de diatomeas que se encontraron en las laminaciones estudiadas y ver si la agrupación se relaciona con los diferentes tipos de láminas.

Para facilitar la comprensión, a continuación se especifican las abreviaturas utilizadas en los análisis:

PERTURBACIONES

B13-14cb2 → Bloque 13-14 capa blanca 2
 B13-14cog → Bloque 13-14 capa oscura gruesa
 B13-14cb1d → Bloque 13-14 capa blanca1 delgada
 B11-12Fdco → Final del bloque 11-12 después de la capa oscura
 B11-12Fco → Final del bloque 11-12 capa oscura
 B11-12Faco → Final del bloque 11-12 antes de una capa oscura
 B11-12co2 → Bloque 11-12 capa oscura 2
 B11-12c+o → Bloque 11-12 capa más oscura
 B11-12co1 → Bloque 11-12 capa oscura 1
 B11-12dcb → Bloque 11-12 después de la capa blanca
 B11-12cb → Bloque 11-12 capa blanca
 B11dco → Bloque 11 después de la capa oscura
 B11co → Bloque 11 capa oscura
 B11aco → Bloque 11 antes de una capa oscura
 B10-11dca → Bloque 10-11 después de la zona de cambio
 B10-11c → Bloque 10-11 zona de cambio
 B10-11aca → Bloque 10-11 antes de la zona de cambio
 B10dco2 → Bloque 10 después de la capa oscura 2
 B10co2 → Bloque 10 capa oscura 2
 B10aco2 → Bloque 10 antes de la capa oscura 2
 B10dco1 → Bloque 10 después de la capa oscura 1
 B10co1 → Bloque 10 capa oscura 1
 B10aco1 → Bloque 10 antes de la capa oscura 1
 B10dco → Bloque 10 después de la capa oscura
 B10co → Bloque 10 capa oscura
 B10aco → Bloque 10 antes de una capa oscura
 B10DEV → Bloque 10 después de la erupción volcánica
 B10EV → Bloque 10 erupción volcánica
 B10AEV → Bloque 10 antes de la erupción volcánica
 B8-9DZP → Bloque 8-9 después de la zona perturbada
 B8-9ZP → Bloque 8-9 zona perturbada
 B8-9AZP → Bloque 8-9 antes de la zona perturbada
 B8DEV → Bloque 8 después de la erupción volcánica
 B8EV → Bloque 8 erupción volcánica
 B8AEV → Bloque 8 antes de la erupción volcánica
 B5-6F → Bloque 5-6 final
 B5-6cb2 → Bloque 5-6 capa blanca 2
 B5-6cb1 → Bloque 5-6 capa blanca 1
 B5-6Pr → Principio del bloque 5-6
 B5nwF → Bloque 5 final
 B5nw DEV → Bloque 5 después de la erupción volcánica
 B5nw EV → Bloque 5 erupción volcánica
 B5nw AEV → Bloque 5 antes de la erupción volcánica
 B5oIP → Bloque 5 parte más antigua

ESPECIES

Achmrvaf → *Achnanthes minutissima* var. *affinis*
 Achmivmi → *Achnanthes minutissima* var. *minutissima*
 Amphlybi → *Amphora lybica*
 Amphvene → *Amphora veneta*
 Aulasoli → *Aulacoseira solida*
 Cocopedi → *Cocconeis pediculus*
 Cocoplace → *Cocconeis placentula*
 Coplpvse → *Cocconeis placentula* var. *pseudolineata*
 Coplvten → *Cocconeis placentula* var. *tenuistriata*
 Cymcistu → *Cymbella cistula*
 Cymcymbi → *Cymbella cymbiformis*
 Cymmexic → *Cymbella mexicana*
 Cymmicro → *Cymbella microcephala*
 Cymmuler → *Cymbella muellerii*
 Cymchim → *Cymbella schimanskii*
 Denelega → *Denticula elegans*
 Ephadvpo → *Epithemia adnata* var. *Porcellus*
 Frabrevi → *Fragilaria brevistriata*
 Fracapuc → *Fragilaria capucina*
 Fracovco → *Fragilaria construens* var. *construens*
 Fralevle → *Fragilaria leptostauron* var. *leptostauron*
 Frapinat → *Fragilaria pinnata*
 Gomin → *Gomphonema affine*
 Gomparvu → *Gomphonema parvulum*
 Hantamph → *Hantzchia amphioxys*
 Navcrypt → *Navicula cryptotenella*
 Navlavla → *Navicula laevisissima* var. *laevisissima*
 Navpuvpu → *Navicula pupula* var. *pupula*
 Nitamphi → *Nitzschia amphibia*
 Nitamvfr → *Nitzschia amphibia* var. *fraunfeldii*
 Nitamvtr → *Nitzschia tropica*
 Nitamphb → *Nitzschia amphibioides*
 Nitangus → *Nitzschia angustata*
 Pinmaior → *Pinnularia maior*
 Steminut → *Stephanodiscus minutulus*
 Steneoas → *Stephanodiscus neoastraea*
 Steniaga → *Stephanodiscus aff. niagarae*
 Synpu → *Synedra pulchella*

Análisis de clúster para taxa >10%

Se llevó a cabo el análisis de clúster para taxa > 2%, incluyendo los valores de TAC, y el resultado fue insatisfactorio porque no se observó ninguna agrupación. Al eliminar los valores de TAC, dejando los taxa >2%, tampoco se observó alguna agrupación clara. Por ensayo y error, dicha agrupación emergió finalmente de los datos que consideraron exclusivamente 14 taxa, todos ellos en cantidades $\geq 10\%$ en al menos una laminación de las analizadas. Los resultados se observan en la Fig. 5:

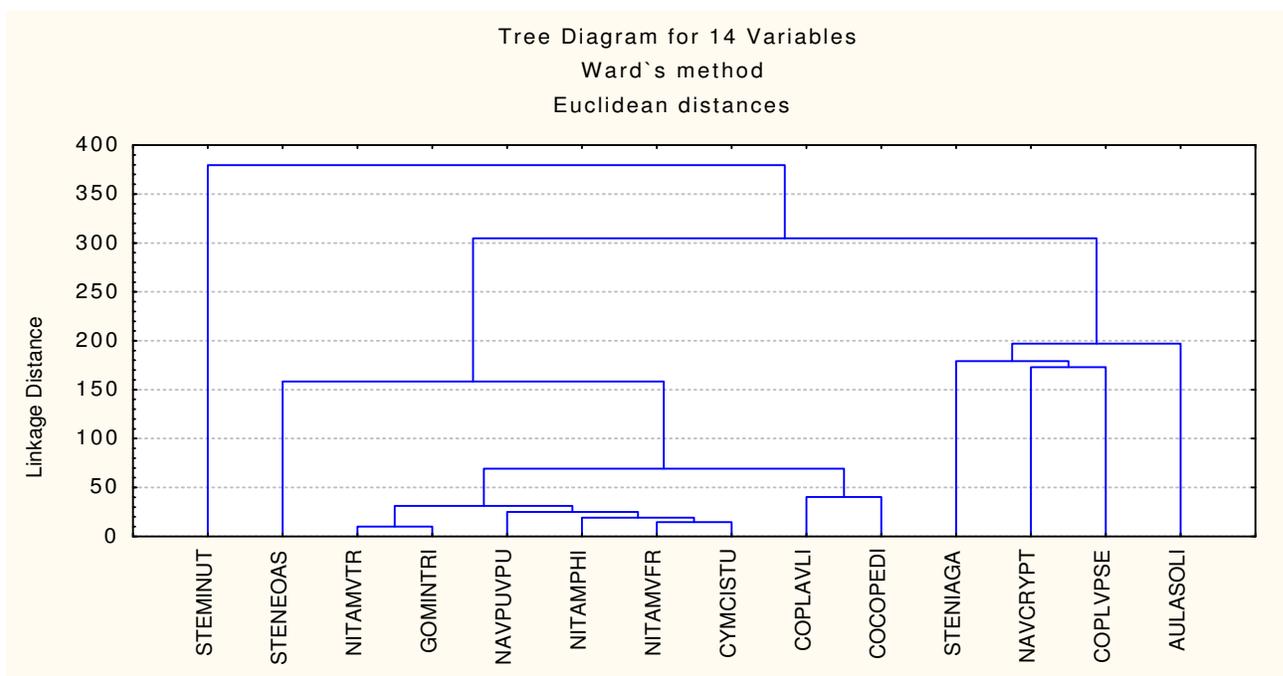


Fig. 5. Resultados del análisis de clúster considerando distancias euclídeas y usando el método de agrupación de Ward (Statistica v. 5.0).

Análisis de clúster para laminaciones

Cuando se agruparon las laminaciones con base en distribución de especies y de valores de TAC, el resultado delimitó claramente las 3 erupciones más importantes (B5NWEV, B8EV y B10EV) de las demás laminaciones consideradas como diatomita (Fig. 6). Sin embargo, la distribución general es poco satisfactoria cuando se mezclan porcentajes de especies y TAC, porque la gráfica se observa escalonada, en lugar de agrupar con claridad diferentes tipos de laminaciones.

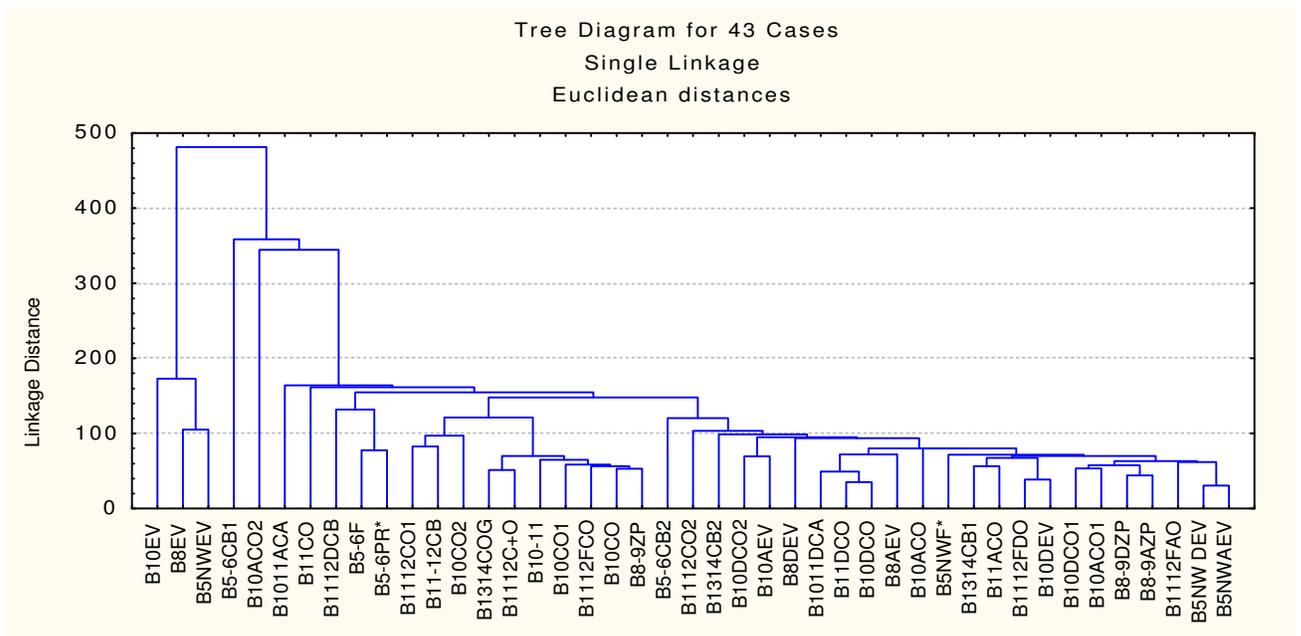


Fig. 6. Clúster de laminaciones con base en todos los datos (porcentaje de especies y TAC), usando el método de “single linkage” y distancias euclídea.

Análisis de clúster para la distribución de especies

Dado este resultado, se realizó un clúster sólo con las especies (Fig. 7), en el que se observa una mejor agrupación; asimismo, las 3 erupciones volcánicas más importantes quedan agrupadas, aunque también se reúne con ellas una laminación del bloque 5 marcada como oscura que, sin embargo, es diatomita con una composición diferente a las de las erupciones.

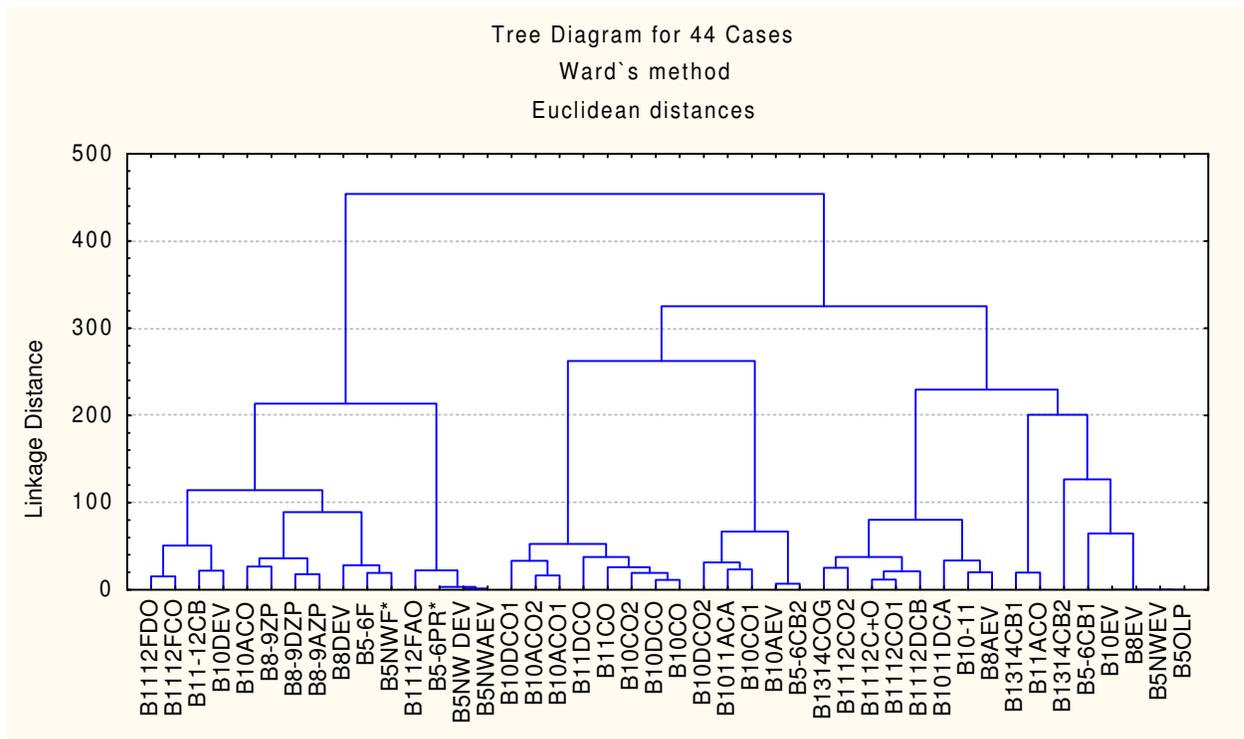


Fig. 7: Clúster de laminaciones con base en la distribución de especies, usando el método de Ward y distancias euclídeas.

Análisis de clúster para los valores de TAC

Por último, se realizó el análisis de clúster únicamente con los valores de TAC (máximo, mínimo y promedio), cuyo resultado se observa en la Fig. 8. Aquí se observa una buena agrupación de las erupciones volcánicas en el centro. Las láminas de diatomita asimismo quedan mezcladas, aunque se separan en dos grandes grupos.

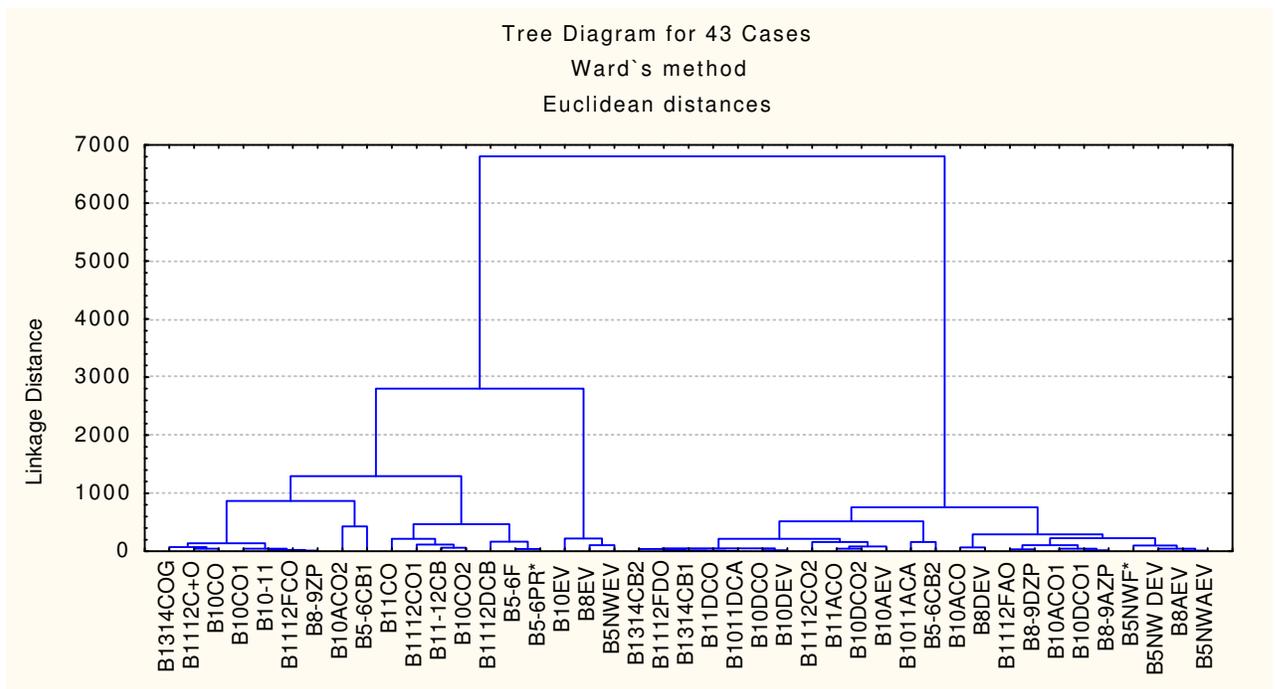


Fig. 8: Análisis de clúster con base en valores de TAC, usando el método de Ward y con distancias euclídeas.

DISCUSIÓN

En relación con la distribución de especies, el análisis ecológico de los taxa más abundantes (Apéndice 1) señala un lago relativamente profundo (por la dominancia de *Aulacoseira solida* y de *S. aff. niagarae*, de tamaño grande), de aguas dulces, algo alcalinas, en el cual las perturbaciones observadas afectaron puntualmente la sedimentación de frústulas de diatomeas, probablemente por dilución de las mismas, pero globalmente favoreció su crecimiento en la columna de agua por el aporte de materiales volcánicos ricos en sílice. Estas condiciones permitieron el acúmulo del considerable grosor de diatomita que observamos actualmente. En relación con las perturbaciones, se observa que antes de las mismas aumenta la frecuencia relativa de las Centrales (*Aulacoseira solida*, *Stephanodiscus minutulus*, *S. neoastraea* y *S. aff. niagarae*), mientras que éstas tienden a disminuir después de ellas. Las Arrafideas (*Fragilaria brevistriata*, *F. capucina*, *F. construens* var. *construens*, *F. leptostauron* var. *leptostauron*, *F. pinnata* y *Synedra* sp.), prácticamente no muestran tendencia alguna en relación con las perturbaciones, aunque eso se deba probablemente a que, en esta sección de la mina, son relativamente poco importantes, lo cual se ha mencionado en trabajos previos (Rodríguez 1998, Vilaclara 1997). Por otro lado, las bentónico-epífitas (*Achnanthes minutissima* var. *affinis*, *A. minutissima* var. *minutissima*, *Amphora lybica*, *A. veneta*, *Cocconeis pediculus*, *C. placentula* var. *lineata*, *C. placentula* var. *pseudolineata*, *C. placentula* var. *tenuistriata*, *Cymbella cistula*, *C. cymbiformis*, *C. mexicana*, *C. microcephala*, *C. muellerii*, *C. schimanskii*, *Denticula elegans*, *Epithemia adnata* var. *porcellus*, *Gomphonema affine*, *G. parvulum*, *Hantzchia amphioxys*, *Navicula cryptotenella*, *N. laevissima* var. *laevissima.*, *N. pupula* var. *pupula*, *Nitzschia amphibia*, *N. amphibia* var. *Fraunfeldii*, *N. Tropica*, *N. amphibioides*, *N. angustata*, *Pinnularia maior*), aparecen con un mayor porcentaje en las laminaciones perturbadas, con una tendencia a disminuir después de ellas; tal comportamiento probablemente es producto del arrastre de material alóctono que -a su vez- acarrea material desde zonas litorales, todo ello conformando la perturbación. En las erupciones volcánicas más intensas prácticamente no se observan restos de organismos, lo cual probablemente se asocia con caída directa de cenizas; cabe destacar, que cuando la perturbación es por caída directa de cenizas, las diatomeas posteriores a la caída también son centrales, aunque en proporción diferente a las de la laminación previa. La disminución drástica de la cantidad de diatomeas en las caídas directas probablemente se deban a un fenómeno de dilución (caída intensa durante un lapso corto, versus una producción de diatomeas en tiempos más largos), aunque la falta de permanencia de los resultados antes y después de la misma indica que también hubo una afectación en la composición específica y en cantidades de las diatomeas centrales.

La Fig.6 –clúster que asocia las 14 especies más importantes- muestra que la primera asociación cercana entre sí (distancia de liga < 50) es el grupo que acoge a la mayoría de las diatomeas bentónico epífitas (*N. tropica*, *G. affine*, *N. pupula* var. *pupula*, *N. amphibia*, *N. amphibia* var. *frauenfeldii*, *C. cistula*, *C.*

placentula var. *lineata*, *C. pediculus*). Este grupo se asocia más laxamente (distancia de liga < 200) con una especie planctónica, *Stephanodiscus neoastraea*. Dado que el hábito es diferente y que el muestreo de la mina se realizó en una zona central del paleolago (Vilaclara 1997), se deduce que las bentónico-epífitas fueron transportadas a los sedimentos centrales por arrastre; las lluvias intensas pudieron ser el factor más probable de arrastre de las diatomeas epífito-bentónicas. Durante la misma época en que llegaron las bentónico-epífitas por arrastre, también se dieron los crecimientos más importantes de *St. neoastraea*. Se descarta otra explicación basada en que el paleolago era en esa época un cuerpo de agua somero que permitía el crecimiento de bentónico-epífitas en prácticamente todo el fondo del lago y no sólo en el litoral (gracias a que la luz útil para la fotosíntesis podía llegar al fondo gracias a su poca profundidad), porque las especies de *Stephanodiscus* de tamaño grande (entre ellas, *S. neoastraea*) requieren cuerpos de agua estancados de mayor volumen (Margalef 1983), lo cual implica mayor profundidad y, por ende, fondos afóticos.

Asimismo, se encuentran con una asociación relativamente laxa (distancia de liga < 200) dos especies bentónico-epífitas (*N. cryptotenella*, *C. placentula* var. *pseudolineata*) y dos planctónicas (*S. aff. niagarae*, *A. solida*). Las planctónicas tienen una afinidad ecológica clara: *Stephanodiscus* aff. *niagarae* es una especie de tamaño muy grande, indicadora de vida suspendida en la columna de agua con profundidades relativamente elevadas (Margalef, 1983), mientras que *Aulacoseira* en general se asocia con turbidez (Kramer y Lange-Bertalot, 1986). Ambas situaciones se relacionan con una fase de mezcla en la columna de agua; las dos especies bentónico-epífitas probablemente crecían en el litoral y fueron suspendidas en la columna por la propia turbulencia (en un hábito conocido como ticoplanctónico, Margalef, 1983). Si en la época en que existió el paleolago, el clima era parecido al actual, lo cual -dentro de un margen de variación de temperaturas y precipitación entre climas templados tipo C y subáridos tipo BS (García 1988)- es esperable, puesto que la latitud en la que se encuentra el paleolago, 19°23'N, no ha variado en los últimos 2 millones de años, que es la edad que aproximadamente se le calcula a esta sección del paleolago (Rico 1991, Vilaclara 1997). Se podría esperar un régimen monomítico cálido y una mezcla de la columna durante la época fría, probablemente coincidente -como ocurre ahora en los lagos de la zona centro de México- con la época de secas (Alcocer *et al.*, 2000). Es interesante observar que se pueden relacionar diversas especies de diatomeas en las laminaciones con diferentes fases del clima: más frío y mezcla por un lado, lluvias por el otro.

Por último, *S. minutulus*, especie muy pequeña con una elevada relación superficie/volumen, muestra un comportamiento independiente a las demás especies. Las especies pequeñas de diatomeas centrales se caracterizan por tener una elevada relación Superficie/Volumen (S/V). Relaciones grandes de este tipo hacen muy adaptables a los organismos que la presentan, en el sentido de mejorar la eficiencia en la captación de nutrimentos y/o presentar una capacidad de flotación mejorada (Reynolds 1997). En este sentido, se explica por que *S. minutulus* se presenta consistentemente a lo largo de toda la sección analizada.

Los valores de atenuación de rayos X se asocian estrechamente con la pureza de la diatomita: A más cantidad de valvas, más aire libre en la lámina y

menor densidad en el material (valores de TAC de aire alrededor de -1000 U.H., Vilaclara 1997), que en el caso estudiado de Sta. Bárbara alcanzó un mínimo de -444 U.H. Asimismo, cuanto menor es la cantidad de valvas y mayor el material de arrastre o de caída (alóctono), mayor es la densidad y, por lo tanto, la atenuación de rayos X, que en este caso fue de $+901$ U.H. para el valor superior de la erupción volcánica marcadora (B10EV a 103.3 cm). Dada la distribución de valores de TAC, se podría colocar la frontera aproximada entre eventos mayormente alóctonos y eventos mayormente autóctonos (depositación de valvas de diatomeas) alrededor de -100 U.H. en base a la distribución estadística analizada por Ugalde *et al.* (en revisión).

La falta de agrupación observada en el clúster cuando se juntaron los datos de diatomeas con los del TAC manifiesta la dificultad de asociar estas dos variables entre sí. A pesar de ello, cualitativamente, valores altos de TAC se relacionan con cantidades bajas de frústulas y viceversa. Aunque el análisis del TAC con los porcentajes de las especies no fue relevante, pues la relación se da más bien con la densidad del material que afecta la atenuación de rayos X, la obtención de series de atenuación de rayos X en diatomitas es un buen indicador del origen del material depositado: alóctono por arrastre (en el que dominan bentónico-epífitas) o por depositación directa (tan masiva que no se mezclan restos de frústulas), y autóctono (abundante en frústulas de diatomeas, que cuando dominan las centrales se asocian con mezcla y turbulencia en época de secas fría, y cuando dominan las bentónico-epífitas se asocian con arrastres característicos de las épocas de lluvias).

CONCLUSIONES

Se determinaron en total 38 especies de diatomeas, de las cuales el menor número (4) fueron planctónicas (Centrales) y el más diverso pero más pobremente representado fueron las bentónico-epífitas (28), posiblemente porque llegaron a la ubicación de la columna muestreada por arrastres; las arrafídeas (6) estuvieron muy pobremente representadas en la sección estudiada. Estos resultados, combinados con la distribución de las diatomeas y los materiales de origen volcánico en laminaciones bien definidas, indican que las muestras se tomaron en una ubicación central del antiguo paleolago, el cual probablemente presentaba periodos prolongados de estratificación –y anoxia- parecidos a los lagos actuales de la Faja Volcánica Transmexicana. El tipo de diatomeas dominantes señalan que el paleolago Tlaxcala fue relativamente profundo, de aguas dulces y ligeramente alcalinas.

En relación con la distribución de las diatomeas antes y después de las perturbaciones, se observó que dependía del origen de las mismas: el arrastre de materiales de la cuenca –y del litoral- por lluvias, enriquecía relativamente el porcentaje de bentónico-epífitas en la laminación correspondiente, y vuelven a disminuir en la laminación posterior para dar paso de nuevo a las centrales, aunque éstas se encuentran en menor proporción relativa antes de la perturbación. La caída de cenizas no modificaba la relación entre centrales y bentónico-epífitas, sino que seguían dominando las centrales tanto antes como después de la perturbación.

La tomografía Axial Computarizada (TAC) se revela como una técnica precisa para detectar laminaciones, tanto por imágenes como por los valores de atenuación de rayos X mediante los cuales el equipo construye las imágenes. A pesar de ello, no se pudo encontrar una relación clara entre el TAC y el tipo y porcentajes de taxa.

APÉNDICE 1

DESCRIPCIÓN DE TAXA ABUNDANTES

(en orden alfabético y validados en www.ITIS.usda.gov)

Achnanthes minutissima var. *minutissima*.

Valvas elíptico-lineares, extremos rostrados. La hipovalva presenta un área axial linear pequeña, el área es asimétrica. La epivalva carece de rafe, a un lado se observa un estauro y estrías cortas en el contrario. Rafe filiforme con los extremos terminales conspicuos. Medidas obtenidas (n=10), Longitud 12 μ m, anchura 3.1 μ m. Estrías muy finas ligeramente radiales, alrededor de 28 en 10 μ m.

Los ejemplares observados coinciden con las medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991b, pág. 56-57; fig. 33:1-9).

Amphora libyca

Valvas curvadas dorso-ventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral levemente cóncavo a recto. El frustulo completo presenta forma elíptica y ápices planos. Area axial estrecha. Presenta un área hialina bien delimitada en la parte dorsal de la valva. Rafe filiforme, arqueado, que en la parte ventral se curva hacia los extremos proximales y al final que se curva dorsalmente. Estrías de 10 a 14 en 10 μ m, formadas por aereolas bien marcadas. Medidas obtenidas (n=10) Longitud 23-46 μ m, Anchura 7-11 μ m. Nuestros ejemplares coinciden con las descripciones aportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pag. 345, fig. 149: 3-11).

Ecología: Especie cosmopolita de amplia distribución, prefiere aguas con contenido electrolítico de medio a bajo. (Hustedt 1959, Hakansson 1982, Hustedt & Jensen 1985, Krammer & Lange-Bertalot 1986). Alcalofila, en pH de 4.5-9; indiferente a la salinidad (Kolbe 1927, Lowe 1974, Squires & Sinnu 1982, Lipsey 1988, Whitmore 1989, Foged 1993, Hakansson 1993, Vos & de Wolf 1993a); epífita, se halla tanto en lagos como ríos, su mayor abundancia se registra durante el otoño (Lowe 1974, Vos & de Wolf 1993a); oligosaprobia (Sladeczek et al. 1981); euritrófica (Florin 1970).

Aulacoseira solida

Valvas cilíndricas. Cara valvar lisa con un orificio en el centro lo que le da una apariencia de anillo. Estriación en el manto valvar generalmente recta, perpendicular al manto 15-20 en 10 μ m. Medidas obtenidas (n=10) diámetro 6-8 μ m; altura del manto 5-7 μ m.. Nuestros ejemplares coinciden con las características diagnósticas de la especie y con las figuras reportadas por Bradbury (1991) pero hay diferencias en tamaño, nuestros organismos son un poco más pequeños.

Ecología: Especie planctónica, que vive en condiciones poco conocidas.(Bradbury 1991).

Cocconeis pediculus

Forma de las valvas muy característica porque están fuertemente curvados a través del eje transapical. Contorno de las valvas ampliamente redondeado. Valva con rafe bicóncava. Rafe filiforme, terminada en el área central en forma de gota (poros centrales), con 13 estrías en 10 μm . Valva sin rafe también biconvexa, con 11 estrías en 10 μm , claramente punteadas, ligeramente radiales. Las medidas obtenidas (n=10) son: Largo 42 μm , ancho: 31 μm .

Ecología: Epífita, cosmopolita, adaptada a aguas continentales con contenido salino medio a alto, incluidas las aguas salobres costeras (Krammer y Lange-Bertalot 1991a). Patrick y Reimer (1966) la consideran resistente a concentraciones moderadas de materia orgánica (eutrofia), alcalífila e indiferente a la salinidad.

Cocconeis placentula var. lineata

Valvas elípticas o elíptico lanceoladas. Extremos redondeados. Margen valvar de la hipovalva presenta un doble anillo hialino. Rafe filiforme. Área axial estrecha y linear, área central redondeada y pequeña. La epivalva no presenta anillos hialinos, área axial estrecha. Las estrías de la hipovalva formadas por aereolas pequeñas de 15 a 20 en 10 μm . Las estrías de la epivalva están formadas por lineolas de 21 a 24 en 10 μm . Medidas obtenidas (n=10) Longitud 16-25 μm , Anchura 8-13 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991b:pág.87, tabla 49:1;52:1,2,5,7,8,10,11).

Ecología: Especie cosmopolita. Vive en aguas tanto lénticas como lólicas. Epifíticas o epilíticas (Husted 1959, Lowe 1974, Husted & Jensen 1985, Krammer & Lange-Bertalot 1991b, Vos & de Wolf 1993 a), alcalífila en pH 7-9. Abundancia máxima durante el otoño (Lowe 1974, Whitmore 1989, Foged 1993, Hankansson 1993, Vos & de Wolf 1993 a). Tolera pequeñas concentraciones de sal. Especie típicamente eutrónica (Vos & de Wolf 1993 a).

Cocconeis placentula var. pseudolineata

Valvas elípticas, con extremos redondeados. Hipovalva con dos anillos hialinos en el margen de la cara valvar. Valva con rafe recto, área axial estrecha con estrías formadas por aereolas finas de 20 a 25 en 10 μm . La valva sin rafe presenta estrías más gruesas, de 16 a 22 en 10 μm . Medidas obtenidas (n=10) Longitud 14-24 μm . Anchura 10-14 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange-Bertalot (1991a, pag. 87, tabla 54:3-5, 7-11).

Ecología: Especie de distribución cosmopolita, vive en aguas tanto lénticas como lólicas, se encuentra en aguas con un pH entre 6.2 y 9.0, preferentemente 7. Especie característica de aguas con oxidación de compuestos biodegradables. Tolera pequeñas concentraciones de sal Krammer & Lange-Bertalot (1991a).

Cymbella cystula

Valvas asimétricas dorsoventralmente, superficie dorsal fuertemente convexa, superficie ventral ligeramente convexa. Rafe reverso lateral, con los extremos distales arqueados dorsalmente y en forma de guadaña. Área axial estrecha, área central redondeada, en el área ventral presenta de 4 a 6 estigmas. Estrías radiales, punteadas, paralelas en el centro, presentando de 8 a 12 en 10 μm y levemente radiadas en los extremos, presentando de 8 a 12 en 10 μm . Las tienen de 10 a 14 aereolas en 10 μm . Las medidas obtenidas son: Longitud 112 μm , anchura 18 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras mostradas por Krammer & Lange–Bertalot (1986, pag. 36; fig. 127: 8-10; 128: 5).

Ecología: Especie cosmopolita, de amplia distribución geográfica, epifítica en el litoral y a veces en aguas corrientes. Ambientes de oligotróficos a eutróficos. Son indicadores de agua con un contenido mineral de moderado a alto (Krammer & Lange – Bertalot, 1986). Especie que presenta su desarrollo óptimo en aguas saturadas de oxígeno (Cholnoky 1968, in Patrick & Reimer, 1975) y con un pH alrededor de 4.3-8.6, siendo su óptimo el 8. Oligohalobia y βmesosaprobia (Sládeček 1981, Krammer & Lange – Bertalot, 1986), (Patrick & Reimer, 1975).

Cymbella cymbiformis

Valvas fuertemente curvadas dorsoventralmente, margen dorsal convexo, margen ventral recto. Extremos adelgazados bien redondeados. Rafe reverso lateral levemente excéntrico. 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 en 10 μm en el centro (paralelas) y 14-16 en 10 μm en los extremos (ligeramente radiales). Las estrías se componen de 20-25 aereolas en 10 μm visibles al microscopio óptico. Posee un estigma en la zona central del lado ventral, el cual se presenta como una continuación de la estría central pero más marcada que las demás aereolas de esa estría. Medidas obtenidas: Longitud 33-55 μm , anchura 7-10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las descripciones 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).

Ecología: Especie 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), alcalífila, oligohalobia (Foged 1993, Hakansson 1993, , Vos & de Wolf 1993a), común en litorales de cuerpos de agua dulce (Hustedt 1930b, Hustedt & Jensen 1985). Existen pocos registro de su presencia en arroyos y manantiales (Patrick & Reimer 1975).

Cymbella mexicana

Valvas fuertemente arqueadas dorsoventralmente. Margen dorsal fuertemente convexo, margen ventral recto, la parte central ligeramente abombada. Area axial arqueada, de mediana amplitud, con casi la misma anchura en toda su extensión, area central un poco más ancha, por el acortamiento de las estrías dorsales y ventrales. Rafe lateral y filiforme que entre sus dos extremos proximales presenta un estigma bien marcado, los extremos distales curvados hacia el lado ventral en forma de guadaña. Estrías radiales, conspicuamente punteadas, encontrándose de 6 a 10 en 10 μm en la parte dorsal, de 6 a 8 en 10 μm en la parte ventral del centro de la valva y de 8 a 10 en 10 μm en los extremos; estan formadas por aereolas muy grandes; al final de la estría la aereolas son alargadas, simulando una punta. Aereolas de 8 a 10 en 10 μm . Los extremos de la valva carecen de estrías. Las medidas obtenidas son: Longitud 121 μm , anchura 29 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras de Patrick & Reimer (1966, pag. 59-60; fig. 12: 1-2) y por Terao *et al.* (1993 pag. 76; fig. 1: A).

Ecología: Especie en la que el conocimiento de su ecología es insuficiente. Ampliamente distribuida especialmente en el Norte y Oeste de Estados Unidos, frecuentemente esta reportada en aguas duras (Alcalífila). (Patrick & Reimer, 1966).

Cymbella schimanskii

Valvas levemente arqueadas dorsoventralmente. Margen dorsal convexo, margen ventral levemente convexo. Extremos adelgazados y redondeados. Rafe filiforme, reverso lateral, los extremos proximales tienen forma de gota, arqueados ventralmente y los extremos distales arqueados dorsalmente. Presenta las estrías ventrales paralelas y las dorsales levemente radiadas, siendo de 6 a 10 en 10 μm en la parte central de la valva y de 10 a 12 en 10 μm en sus extremos, todas ellas formadas por 14 a 18 aereolas en 10 μm . Area axial estrecha y linear, area central ovalada. Con 6 o 7 estigmas en el lado ventral en el area central. Las medidas obtenidas son: Longitud 108 μm , anchura 19 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1986), en cuanto al número de estrías, tipo de rafe, número de aereolas y número de estigmas, pero difiere en las dimensiones de la valva.

Ecología: Especie muy común en regiones con un elevado contenido de calcio, se presenta en forma epifítica o epipélica en manantiales, en aguas oligotróficas con alto contenido de calcio (Krammer & Lange-Bertalot 1988).

Denticula elegans

Frústulos en vista conectiva lineares o rectangulares, costillas con extremos redondeados. En vista valvar valvas de linear-elípticas a linear-lanceoladas con extremos ligeramente redondeados. En algunos ejemplares el margen de la valva presenta la zona media ligeramente cóncava. Rafe excéntrico desde totalmente excéntrico hasta cercano al margen valvar. Las fíbulas forman gruesas costillas, dentro de las cuales se observan hileras de estrías punteadas. Estrías 17-19 en 10 μm . Costillas 3-5 en 10 μm entre cada costilla se observan de 3 a 4 hileras de aereolas. Medidas obtenidas (n=10): Longitud 21-35 μm , anchura 5-7 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción, medidas y figuras dadas por Krammer & Lange – Bertalot (1988, pág 141; fig. 94: 1,2; 96:10-13; 97: 1-5) para *Denticula elegans* var. *elegans*.

Ecología: Probablemente es una especie cosmopolita. Frústulos formando largas cadenas o incluidos en una masa mucilaginosa, típica de fondos, litoral en lagos y corrientes (Patrick, & Reimer 1975). Aerófila, se presenta en aguas con contenido electrolítico de medio a alto. Se encuentra frecuentemente junto con *D.Kützingi*. Se ha recolectado en Europa, Estados Unidos, Brasil y Chile. Patrick & Reimer (1975) la ha encontrado en Estados Unidos en aguas termales. Especie de aguas neutras, con un buen desarrollo en aguas con pH alrededor de 7 (óptimo alrededor de 8) (Lowe, 1974).

Gomphonema affine

Valvas linear-lanceoladas, con extremos redondeados, uno de ellos más adelgazado que el otro. Área axial estrecha, área central pequeña, con uno de los lados presentando un estigma lateral y una estría más corta, mientras que el otro lado presenta una estría ligeramente más larga. Estrías gruesas, punteadas, ligeramente radiales. Estrías centrales: 10-12 en 10 μm ; estrías apicales: 13-16 en 10 μm . Medidas obtenidas (n=10) Longitud 36-48 μm , anchura 6-8 μm . Los ejemplares coinciden con la descripción de Krammer y Lange-Bertalot para *G. affine*. Es difícil diferenciar esta especie de *G. insigne*, la cual también es considerada una variedad de *G. affine* por otros autores (Patrick y Reimer 1975). Se considera que se trata de esta especie y no de *G. insigne*, porque el área central despejada es pequeña y de un solo lado, mientras que *G. insigne* la tiene más grande y puede estar en ambos lados (estrías centrales más cortas); aunque otros autores (Patrick y Reimer, 1975) las diferencian porque en *G. insigne* el área central es menos distintiva que en *G. affine*.

Ecología: Se considera una especie tropical-subtropical, tolerante a aguas dulces con contenidos electrolíticos más elevados (Cantoral 1997, Patrick & Reimer 1975). Según Foged (1984), es oligohalobia indiferente, de pH circumneutral y cosmopolita.

Gomphonema parvulum

Valvas lanceoladas, con los apices adelgazados, uno más que otro, asimétricas. Area axial estrecha, area central angosta, un lado de la valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que la estría central del lado contrario es visiblemente más corta que el resto de las estrías. El rafe es ligeramente curvado hacia el lado del estigma. Presenta estrías poco radiales en el centro y más radiales en los extremos, de 10 a 14 en 10 μm . Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 24 μm , anchura 5 μm , Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1986, pag. 358-359; fig. 154: 7, 11-12).

Ecología: Esta especie se desarrolla en aguas con alto contenido en nutrientes (Patrick & Reimer 1966). Sládecek (1981) la menciona distribuida en un amplio intervalo saprobio, desde aguas xeno-y oligosaprobias (rara vez) hasta β y α mesosaprobios (más abundantes). Lowe (1974) menciona que es una especie cosmopolita que se desarrolla adecuadamente en aguas con un pH alrededor de 7 (intervalo 4.2-9, óptimo 7.0-8.2). Tolerancia pequeñas concentraciones de sales. Es perifítica, mesotermal y estenotermal.

Navicula cryptotenella

Valvas rómbico-lanceoladas, con los extremos adelgazados, afilados, en forma de cuña. Presenta estrías radiales un poco arqueadas en el centro de la valva, de 10 a 13 en 10 μm y divergentes y rectas en los extremos, de 13 a 15 en 10 μm ; el centro de la valva presenta una estriación alternada entre estrías cortas y estrías largas. Area axial estrecha y lineal. Area central rómbica. Rafe filiforme, recto, con los extremos proximales bulbosos, los extremos distales curvados en forma de guadaña hacia uno de los lados. Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 32 μm , anchura 7 μm , Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1986: pag. 106 tabla 33: 9-11) y Patrick & Reimer (1966: pag. 510 lámina 48:17).

Ecología: Especie alcalífila (Lowe 1974, Whitmore 1989), oligohalobia-indiferente, mesotrófica (Kolbe 1927, Vos & de Wolf 1993 a, Yang & Dickman 1993), ampliamente cosmopolita, bentónica muy común en la mayoría de las aguas continentales, a excepción de aquellas con alto contenido electrolítico (Florin 1970, Vos & de Wolf 1993 a, Lowe 1974, Krammer & Lange – Bertalot 1986). Es indicadora de condiciones de β -mesosaprobiedad además de ser muy sensible al aumento de contaminantes (Krammer & Lange – Bertalot 1986). También se puede encontrar en condiciones de xenosaprobiedad a oligosaprobiedad (Sládecek 1981).

***Navicula pupula* var. *pupula*.**

Valvas linear lanceoladas, con los extremos redondeados. Area axial linear y estrecha. Rafe recto. Presenta de 13 a 21 estrías en 10 μm radiales, con un arreglo irregular, de tamaño variable y en los extremos de paralelas a convergentes. Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud de 21 a 45 μm , anchura de 6 a 9 μm . Nuestros ejemplares coinciden con las medidas y figuras reportadas por Krammer & Lange-Bertalot (1986, pag. 189, fig 68:1-12), y Patrick & Reimer (1966, pág. 497, fig. 47: 8;12).

Ecología: Especie cosmopolita, de gran amplitud ecológica, siendo numerosa en trópicos y subtropicos, epipélica en aguas electrolíticas y habita en aguas hasta alfa-mesosaprobias (Krammer & Lange Bertalot, 1986).

Nitzschia amphibia

Valvas elípticas, de lanceoladas hasta linear – lanceoladas. Extremos de ligeramente redondeados a aguzados. Carina en posición marginal. Fíbulas pequeñas en forma de espinas que no sobrepasan un tercio del ancho de la valva, de 17 a 23 en 10 μm . Estrías punteadas, de 6 a 8 en 10 μm . Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 31 μm , anchura 5 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras de Krammer & Lange – Bertalot (1988: pag. 373, tabla 78: 13 – 15, 20, 24) y también con Bourrelly (1981: pag. 373, lámina 102: 13 – 14).

Ecología: Especie de distribución cosmopolita, bentónica – epifítica, presente en litoral; de aguas alcalinas con pH de 4.0 – 9.3, siendo el óptimo de 8 – 8.5, son aguas que contienen bicarbonatos como anión dominante (Hustedt 1930 b, Cholnoky 1966, Florin 1970, Patrick 1970, Lowe 1974, Krammer & Lange – Bertalot 1988, Whitmore 1989, Hustedt & Jensen 1985, Hakansson 1993, Vos & de Wolf 1993 a). Se encuentra en aguas con contenido electrolítico de medio a muy elevado, o en suelos húmedos. En condiciones α - mesosaprobias o en aguas negras (Krammer & Lange – Bertalot 1988); se considera típicamente oligohalobia (Kolbe 1927, Vos & de Wolf 1993 a). Generalmente se encuentra en lagos y estanques en condiciones eutróficas (Lowe 1974, Whitmore 1989, Vos & de Wolf 1993 a).

Nitzschia amphibia var. frauenfeldii

Valvas alargadas, de linear a linear lanceoladas. Extremos adelgazados en forma de cuña, con la punta redondeada. Estrías muy visibles de 14 a 18 en 10 μm . Las fíbulas son en forma de espina presentando de 6 a 8 en 10 μm , estas no alcanzan a sobrepasar ni la mitad del ancho de la valva. Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 72 μm , anchura 6 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1998, pag. 373; fig. 78: 25, 26)

Ecología: Distribución cosmopolita, bentónica. Tolera amplias variaciones ambientales. Se localiza en aguas con contenido electrolítico de medio a elevado, en condiciones de α mesosaprobiedad. También en suelos húmedos y en aguas negras tratadas (Krammer & Lange – Bertalot, 1988).

Nitzschia tropica

Valvas de linear a linear lanceoladas, extremos en forma de cuña. Estrías de 20 a 22 en 10 μm . Presenta carina en posición marginal, con un número de fíbulas de 7 a 8 en 10 μm . Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 17 μm , anchura 4 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange- Bertalot (1988 pág. 104, lámina 76:1-7).

Ecología: La distribución de esta especie no es muy conocida, se ha encontrado en el centro y sur de Africa. Estos organismos se han observado en cuerpos de agua con un elevado contenido electrolítico (Krammer & Lange- Bertalot 1988).

Nitzschia amphibiodes

Valvas elípticas, de linear a linear lanceoladas. Extremos adelgazados en forma de cuña y los extremos redondeados. Rafe en posición marginal. Presentando de 7 a 10 fíbulas en 10 μm , en forma de espinas triangulares que sobrepasan un poco más de la mitad de la valva. Estrías fuertemente punteadas, de 18 a 20 en 10 μm . Las medidas obtenidas (n=10) son: Longitud 29 μm , anchura 6 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la medidas y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1988; pag. 109, fig. 78: 27-28), a excepción del número de fíbulas y estrías.

Ecología: Distribución cosmopolita, de regiones calidas y característica de aguas con alto contenido electrolítico (Krammer & Lange – Bertalot, 1988).

Stephanodiscus minutulus

Valvas circulares, con la parte central cóncava o convexa difícil de observar en el microscopio óptico. La estriación es radial, siendo biseriada en el margen valvar y monoseriada hacia el centro de la valva, en el centro de la valva las aereolas se encuentran desordenadas. Presenta espinas en las interestrías a nivel del margen valvar. En vista interna la parte central de la valva se observa una fultoportula. Las medidas obtenidas (n=10) son: Diámetro 5 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange – Bertalot (1991a pág. 71, fig. 74: 5-7).

Ecología: Es una especie cosmopolita, planctónica, que se puede encontrar en agua sucia y con un elevado contenido electrolítico. (Krammer & Lange – Bertalot, 1991a).

Stephanodiscus neoastraea

Valvas circulares, levemente cóncavas o convexas. Las areolas del centro de la valva se hallan desordenadas y sólo en algunos casos pueden presentarse ordenadas conforme las areolas de las estrías. La estriación es biseriada o raramente triseriada en el margen y monoseriada en el centro de la valva; el número de interestrías es de 7-8 en 10 μm . El plano valvar presenta una fultoportula, no se observan rimopórtulas. En el margen valvar hay una fultoportula por cada una o dos interestrías. Las estrías del manto valvar presentan un arreglo en quincunx. Las medidas obtenidas (n=10) son: diámetro 26 μm . Los ejemplares coinciden con las descripciones y figuras mostradas por Hakansson & Hickel (1986, figs. 3 y 4) y con Krammer & Lange-Bertalot (1991a, figs. 69:3 ; 71:3a - 5a).

Ecología: Es una especie planctónica considerada de aguas eutróficas, elevado pH y conductividad (Hustdet & Jensen 1985, Hakansson & Kling 1990), cosmopolita y se localiza en aguas con alto contenido electrolítico (Krammer & Lange-Bertalot 1991a). Oligohalobia, alcalinófila (Whitmore 1989, Hakansson 1993, Foged 1993). Kobayasi & Kobayasi (1987) mencionan que algunos de los parámetros fisicoquímicos de esta especie en algunos lagos de Japón son: pH =7-9.6, temperatura = 12.8-26°C .

Stephanodiscus aff. niagarae

Valvas circulares, el centro de la valva puede observarse concavo o convexo. Presenta espinas en las interestrías a nivel del margen valvar, el número de interestrías es de 5 a 6 en 10 μm . La estriación es radial siendo biseriada o triseriada en el margen y monoseriada en el centro de la valva, en el que presenta una roseta de aereolas (9-12). El margen valvar presenta un anillo de fultoportulas colocadas de 1.4 a 1.6 μm de distancia entre cada una. En posición marginal se puede tener una o más rimopórtulas. Las medidas obtenidas (n=10) son: Diámetro 55 μm . Los ejemplares coinciden con la descripción y figuras mostradas por Krammer & Lange- Bertalot (1991 a, pág. 67, tabla 68: 1-3,5), así como lo reportado por Theriot & Stoermer (1986: lámina 3).

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

BIBLIOGRAFÍA

- Ager, D. 1963. *Principles of Paleoecology*. McGraw-Hill, New York, 371 pp.
- Alcocer J., A. Lugo, E. Escobar, M.R. Sanchez and G. Vilaclara. 2000. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnology*. 27 pp.3166-3169.
- Algeo, T.J., M. Phillips, J. Jaminski y M. Fenwick. 1994. High-resolution X-radiography of laminated sediment cores. *Journal of sedimentary research* 64 (3):665-703.
- 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.
- Barron, A.J. 1993. Diatoms. Pp. 155-167 in Lipps, H.J. (Eds.): *Fossil Prokaryotes and Protists*. Blackwell Scientific Publications. U.S.A. 342pp.
- Bourrelly, P. 1981. *Les algues d'eau douce. Tome II. Les algues jaunes et brunes*. Société Nouvelle de Éditions Boubée, París. 517pp.
- Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16 (2): 180-200.
- Bradbury, J.P. 1991. The late Cenozoic stratigraphy and paleolimnology of Tule Lake, Siskiyou Co., California. *Journal of Paleolimnology* 6: 205-255.
- 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, M.M. 1997. The last glacial maximum in the basin of Mexico: The diatom record between 34,000 and 15,000 years BP from lake Chalco. *Quaternary International*. 43/4:125-136.
- Cantoral, U.E.A. 1997. *Diatomeas (Bacillariophyceae de ambientes lóticos en baja de la Huasteca Potosina*. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, UNAM, México. 201 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.
- Cuna, P. E. 1997. Estudio comparado de las metodologías para el análisis de Diatomitas aplicadas a una fracción del paleolago Tlaxcala (mina "El Lucero", Tlax.). Tesis profesional. U.N.A.M. campus Iztacala. México. 66pp.
- 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.
- Duliu, O.G. 1999. Computer axial tomography in geosciences: an overview. *Earth-Science Research*. 48:265-281
- Edmonson, W.T. & D.E. Allison. 1970. Recording densitometry of X-radiographs for the study of cryptic laminations in the sediment of lake Washington. *Limnology and Oceanography* 15 : 138-144.
- Ehrenberg, C.G. 1846. On the remains of infusoria animaculata in volcanic rocks. *Geological Society of London, Quarterly Journal*. Pp. 73-91.

- Ehrenberg, C.G. 1854. Mikrogeologie das Erden und Felsen schaffende wirken es unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. *Leipzig XXVIII*, 374, 88pp. Mittaffeln.
- 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. Aked.d. Wiss. z. Berlin.* 66pp. 3 Taffeln.
- Ehrenberg, C.G. 1876. de la toba fitolitaria del Valle de Toluca. *La naturaleza III* (1874-1876): 118-132.
- 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.
- Foged, N. 1984. Freshwater and littoral diatoms from Cuba. J. Cramer, Vaduz. 243 pp.
- Foged, N. 1993. Some diatoms from Siberia especially from lake Baikal. *Diatom Research.* 8(2):231-279.
- Frenquelli, J. 1941. Diatomeas del río de La Plata. *Rev. del Museo de la Plata(Nueva Serie), Tomo III, Sección Botánica:* 213- 334.
- Fritz, S.B. 1999. Diatom as indicators of hydrologic & climate change in saline lakes. In the Diatoms applications for the environmental & eart science. Estremer & Y. Smol. Cambridge University Press.
- García,E , 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). García México, 217 pp.
- Håkansson, H. 1982. The recent diatom succession of lake Hargardssjön, 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. Phycology Journal* 21:39-43.
- Håkansson, H. & Kling. 1990. The current status of some very small freshwater diatom of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. *Diatom Research.* 5(2):273-287.
- 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.
- Hernández-Velasco, A. 1955. *Minerales no metálicos.* C.N.R.R. México. Pp.91-103.
- Hustedt, F. 1930a. *Rabenhort'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. Passher (ed.): *Die Suesswasser-Flora Mitteleuropas* 10, 2nd. ed. Gustav Fisher Verlag, Jena, 466 pp.
- Hustedt, F. 1959. *Rabenhorst's. Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae.* Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 845 pp.
- Hustedt, F. 1961-1966. *Rabenhorst's. Kryptogamen-Flora. Band VII. Die Kieselalgen. 3 Teil: Gattung Navicula.* Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 816 pp.

- Hustedt, F. & N. G. Jensen. 1985. *The pinnate diatoms*. Koeltz Scientific Books. Koenigstein. 918 pp.
- Hutchinson, G.E., R. Patrick & E.S. Deevey. 1958. Sediments of lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America* 67: 1491-1504.
- Juárez, B. D. 1998. *Estudio de las Diatomeas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala*. Tesis profesional. U.N.A.M. Campus Iztacala, México. 74pp.
- Kenter, Jeroen. 1989. Applications of computerized tomography in Sedimentology. *Marine geotechnology*. 8:201-211.
- 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. & Lange-Bertalot, H. 1986, 1988 & 1991a. *Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa: 1, 2 & 3 teil*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 876, 596 & 437 pp.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991b. *Bacillariophyceae. 4 Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolatae) und Gomphonema*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 pp.
- Lipsey Jr., L. L. 1988. Preliminary results of a classification of fifty-one selected northeastern Wisconsin lakes (USA) using indicator diatom species. *Hydrobiology*. 166: 205-216.
- Lowe, R. L. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. EPA Report # EPA-670/4-74-005, Cincinnati OH. 333 pp.
- Lozano G., 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., México, 52 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 periodo en el área pirenaica y en época miocénica. *Actas del Tercer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*: 217-226.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Metcalfe, S.E. 1986. Diatoms in a core from laguna Zacapu, Michoacan, 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. Paleolimnology 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. 1995. *Paleolimnological records of climate Change in México-frustrating past, promising future*. Ingua. En prensa
- Miranda, J., A. Oliver, G. Vilaclara, R. Rico-Montiel, V. M. Macías, J. L. Ruvalcaba & M. A. Zenteno. 1994. Analysis of diatomite sediments from a paleolake in central Mexico using PIXE, X-ray tomography and X-ray diffraction. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 85 :886-889.
- Miranda, J., A. Oliver, G. Vilaclara, R. Rico-Montiel, J. Cañetas, M. Lugo, E. Hernandez-Juárez y M. A. Zenteno. 1996. Caracterización de sedimentos diatomíferos por medio de PIXE, difracción de rayos X, tomografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *Memorias del V Seminario Latinoamericano de Análisis por Técnicas de Rayos X. Chile*. 24 al 27-10-94.
- 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. Cholnoky (Eds.): *Diatomaceae II*. Verlag von J. Cramer, Stuttgart. 833 pp.
- Patrick, R. & C. W. Reimer. 1966. *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. 1. Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achnantheaceae, Naviculaceae*. Monographs of the academy of Natural Sciences of Philadelphia, NAS, Philadelphia, 668 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.
- Rawson, D. S. 1956. Algal indicators of trophic lake types. *Limnology and Oceanography*. 1(1):18-25.
- Rennberg, Y. 1990. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores. *Journal. of Paleolimnology*. 4: 87-90.
- Reynolds, C.S. 1997. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, 404 pp.
- Rico, R., L. Martínez, J. Castillo y A. Reyes. 1991. Fauna fósil de la barranca de Huexoyucan, Edo. Tlaxcala. *XI Coloquio de investigación ENEP Iztacala, UNAM*, resumen 254.
- Rico, R., 1993. Paleoecología de un depósito lacustre de diatomita, Tlaxcala. Tesis de Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM.
- Rico, R., L. Martínez, M. R. Fernández & G. Vilaclara. 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. Vilaclara, J. Miranda & J. Cañetas. 1997. Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, México. *Ver. Internat. Verein Limnology*. 26(2) : 838-841.
- Rodríguez, R. A. 1998. *Microanálisis de laminaciones en el depósito diatomífero de la mina de santa Bárbara, paleolago Tlaxcala, Tlax.* Tesis Profesional. U.N.A.M. campus Iztacala. México. 58 pp.
- Rodríguez, R. A. 2002. *Aspectos paleolimnológicos de la historia reciente del lago la Preciosa, Puebla*. Tesis de maestría. Posgrado Ciencias del mar y limnología, UNAM.
- Round, F.E., R.M. Crawford y D.G. Mann. 1991. *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press, London, 747 pp.

- Schmidt, A. 1874. *Atlas der Diatomaceen-kunde. Band I, II, III, IV.* Reimpresión (1959). Otto Koeltz. Leipzig.
- Simola, H.L.K., COARD & P.E. O'SULLIVAN. 1981. Annual laminations in the sediments of Loe Pool, Cornwall. *Nature* 290:238-241.
- Sladeczek, 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.
- 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.
- Suter, M., O. Quintero & C. A. Johnson, 1992. Active faults and state of stress in the central part of the Mexican Volcanic Belt: the Venta de Bravo fault. *Journal. Geophysical. Research*. 97, 11983-11994.
- Terao, K., S. Mayama & H. Kobayasi. 1993. Observations on *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Clave var. *mexicana* (Bacillariophyceae) with special reference to the band structure. *Hydrobiologia* 269/270: 75-80.
- 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 and Environment* 34:251-260.
- Ugalde, E., G. Mekler, G. Vilaclara. Scaling in sediment registers of a paleolake perturbed by volcanic activity. En revisión, *Physical Review*.
- Urrutia Fucugauchi, J., S. Lozano-García, B. Ortega-Guerrero and M. Caballero- Miranda. 1995. Paleomagnetic and palaeoenvironmental studies in the southern basin of Mexico - II Late Pleistocene - Holocene Chalco lacustrine record. *Geofísica Internacional*. 34 (1): 33-53.
- Van Heurck, H.F. 1899. *Traité des Diatomées*. J.E. Basehmann. Reimpresión (1963), J.R. Hansen, Bruxelles, 574 pp. 35 pl.
- Vilaclara, G. 1997. *Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México*. Tesis Doctoral. Fac. de Biología, Universidad de Barcelona, España. 212 pp.
- Vilaclara, G., J. Miranda, E. Cuna y G. Mekler. Characterization of small scale fluctuations in lacustrine sediments using X-ray computed tomography. Enviado, sometido al *Canadian Journal of Earth Sciences*.
- Vos, C. P. & H. De Wolf. 1993 a. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269/270: 285-296.
- Weber, C.I. 1971. *A guide to the common diatoms at water pollution surveillance system stations*. US-EPA, Cincinnati, 108 pp.
- Werner, D. (Ed.). 1977. *The biology of diatoms*. Botanical Monographs Vol. 13, Univ. of California Press, Blackwell Sc. Publ., Berkeley, 498 pp.
- West, R.G. 1977. *Pleistocene geology and biology*. Second edition. Longman, New York. 440 pp.
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*. Omega. Barcelona. 679 pp.

- Whitmore, T. J. 1989 Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. *Limnology and Oceanography* 34(5):882-895.
- Yang, J. R. & M. Dickman. 1993. Diatoms as indicators of lake trophic status in Central Ontario, Canada. *Diatom Research*. 8(1): 179-193.