



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ZARAGOZA

***Caracterización del paleolago de Amajac Hidalgo,
México, con base en Asociaciones de Diatomeas***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G A

P R E S E N T A :

BEATRIZ LÓPEZ TREJO

**DIRECTOR DE TESIS: DRA MARGARITA CABALLERO MIRANDA
ASESOR INTERNO: DRA Ma PATRICIA VELASCO DE LEON**

AGOSTO 2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Esta tesis es para mis padres, Amanda Trejo Hernández† y Ernesto López Domínguez que con a su apoyo y confianza he podido llegar hasta esta meta. “GRACIAS”.

A mi hermana Sara López Trejo que siempre me ha apoyado y ha estado en todo momento.

A mis hermanos Carlos y Ernesto, mi cuñada Sonia a tos ellos gracias que a su forma siempre me han ayudado.

A Itsel, Ingrid y Ramón mis sobrinos que siempre han confiado y creído en mi.

Esto también es para ustedes Alicia Becerra y Norma quien siempre han estado junto a mi dándome su apoyo y confianza.

A todos mis amigos de la FES-Z Rebeca, Susan, Aminta, Dianata, Nancy, Lot, Jorge Vera, Carlos, Hugo Sierra, Fer, Aza, Miguelonch, Miriam y Miguel con los que he pasado buenos y malos.

Con gran cariño y respeto a la Dra Paty por ser una gran maestra y amiga, a quien no tengo como agradecerle su confianza.

Al casi Doc Salvador (Chava) quien es mi amigo y maestro, que me ha enseñado muchas cosas, sobre todo a ser un mejor ser humano y a superarme día a día.

A mis compañeros y cuates de las FEZ-Z, Almita, Alma Iris, los rudos (tiernos), Adolfin, Charmín, Mau, Bobby, Edgar, Hugo, Armando, Pooh y a todas esas personas buenas y malas que me encontré.

A mis amigas del Laboratorio de Paleontología Erika, Diana y Argelia, también a mis compañeros Rigo, Peter, Ricardo y Manolete.

A mis amigos de la Fes Iztacala Laurita, Maria Elena, Chio, Paty Bonilla, y Mirekç

A los todos los profesores de la carrera de Biología, principalmente A Martha Ortiz, Armando Cervantes, Joel, Marco, Carmen Salgado, Guillermo Blancas, Paty Rosas, Monti, Angelitos y German.

Y por ultimo no sin ser menos importante le dedico esta tesis a Dios.

A tos mil gracias

AGRADECIMIENTOS

A mi directora la Dra Margarita Caballero Miranda por la enseñanza que me ha brindado.

A mi Asesora interna Patricia Velasco de León por sus valiosas observaciones y el tiempo dedicado para la realización de este trabajo

A los Sinodales

Dr José Luis Gómez Márquez

Dr Isaías H. Salgado Ugarte

M. en C J. Salvador Hernández Avilés

Gracias por sus observaciones Y APORTACIONES PARA LA MEJORA DE ESTE TRABAJO, fueron muy importantes para mi.

A la Dra Gloria Vilaclara por su apoyo en la observación de las muestras y en la taxonomía de las especies.

A la UNAM principalmente la instituto de Geofísica (laboratorio de paleolimnología) y a la facultad de estudios superiores Zaragoza (Laboratorio de paleontología).

Al instituto de Física por el préstamo del microscopio electrónico de barrido.

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción de la División Bacillariophyta	2
2. HIPOTESIS	5
3. OBJETIVOS	6
Objetivos particulares	6
4 ZONA DE ESTUDIO	7
5 ANTECEDENTES	9
6 JUSTIFICACIÓN	11
7 MATERIAL Y MÉTODO	12
7.1. Trabajo de campo	12
7.2. Trabajo de laboratorio	12
7.2.1. Limpieza	12
7.2.2. Montaje de muestras	13
7.2.3. Observación y conteo de muestras	13
7.3. Trabajo de gabinete	13
8 RESULTADOS	15
8.1. Clasificación Taxonómica	15
8.2. Ecología y descripción de las especies.	18
8.3. Estratigrafía de diatomeas de la secuencia Sanctorum	27
9 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
10 CONCLUSIONES	34
11 BIBLIOGRAFÍA	35
12 GLOSARIO	40
13 LEYENDA DE LAS PLACAS	43
PLACAS	44

RESUMEN

Dentro de la paleontología el grupo de los microfósiles conocido como diatomeas (Bacillariophyta) se utiliza ampliamente para realizar evaluaciones paleolimnológicas, por lo que se eligió a este grupo para caracterizar la columna estratigráfica de Sanctorum, de donde se tiene el registro de otros organismos fósiles. Este sitio perteneciente al paleolago de Amajac, de edad Pliocénica, ubicado en la región Sur de Hidalgo entre los 20°15' y 20°23' N y los 98°40' y 98°49' W.

Para este trabajo se muestrearon 51 m de una secuencia lacustre de la cual se obtuvieron 43 muestras representativas de todas las fases sedimentarias presentes. La limpieza de las muestras se hizo con HCl, H₂O₂ y HNO₃ y se realizaron preparaciones permanentes para observarse a microscopio óptico (utilizando Nafrax como medio de montaje). La cuantificación e identificación de las especies se realizó mediante conteos de un mínimo de 400 valvas para calcular la abundancia relativa de las especies y la abundancia total de las mismas por gramo de sedimento seco, por el método de transectos diametrales. Se empleó microscopio de barrido para observar algunos detalles de las estructuras en algunas especies. Se identificaron un total de 21 especies distribuidas en 14 géneros, siendo dominantes cuatro especies: *Tertiarius sp.*, *Fragilaria sp.*, *Aulacoseira granulata* y *Stephanodiscus sp.* La ecología de cada especie se consultó de manera bibliográfica y se empleó como base para la reconstrucción paleolimnológica. La distribución estratigráfica de las especies permitió definir cuatro zonas o etapas evolutivas del paleolago:

Zona I (0-1.5 m), representa la base de la secuencia y en ella domina una especie central identificada como *Tertiarius sp.* acompañada por *Fragilaria sp.* La presencia de *Tertiarius sp.* que es un género índice del Mioceno superior al Plioceno corrobora la edad que ha sido asignada para el paleolago por los datos paleontológicos y los datos geológicos. Además de mostrar que esta fue la etapa más profunda del lago.

La zona II (1.5-15 m) estuvo dominada por *Fragilaria sp.* y *Aulacoseira granulata*, habiendo una diversidad mayor de especies cuando esta presente *Fragilaria sp.* Este conjunto de diatomeas denota que el tirante de agua disminuyó con respecto a la etapa anterior.

La zona III (24.5-33 m) entre los 15 y los 23 m no hay presencia de diatomeas por la caída de cenizas. Por arriba de este bloque se vuelve encontrar la preservación de diatomeas con una composición de especies similar a la anterior, pero con una disminución en *Aulacoseira granulata* que es sustituida por *Fragilaria sp.* Existiendo alrededor del metro 40 un pico *Stephanodiscus sp.* Esto indica una etapa similar a la anterior.

La zona IV (33-37.5 m) tiene la mayor abundancia es de *Aulacoseira granulata* lo cual indica un leve aumento del nivel lacustre con respecto a la etapa anterior. Sin embargo en la parte superficial de la columna no hay registro de diatomeas en lo últimos 1 3m (39-51 m), y el sedimento se vuelve mas grueso, marcando el fin de la secuencia lacustre.

1. INTRODUCCIÓN

La paleontología, es la ciencia que estudia los organismos que vivieron sobre la tierra en épocas pasadas. La paleoecología busca especialmente las posibles relaciones de los organismos fósiles con el ambiente en que vivieron, para lo cual con frecuencia se tratan de asociar los caracteres que presentan los fósiles con ambientes específicos (Meléndez, 1982).

Estos estudios son posibles gracias a que existen restos de organismos que han llegado hasta nuestros días (fósiles), los cuales se preservan en las rocas sedimentarias, donde se conservan por miles y millones de años (tiempo geológico). Así se pretende llegar a un mejor conocimiento de los seres vivos que precedieron en el tiempo a los actuales; incluyendo su forma de vida, condiciones ambientales en que se desarrollaron, causas de muerte o extinción y las posibles relaciones genéticas y evolutivas entre ellos (Meléndez, 1982; Rico et al., 1992; Wetzel, 2001).

La paleolimnología se encarga de la interpretación de las secuencias sedimentarias procedentes de cuerpos de agua continentales (lagos, ríos, etc.) (Rico et al., 1992; Wetzel, 2001). En este tipo de secuencias se pueden reconocer dos amplias categorías de restos de fósiles: los macroscópicos, que se pueden observar a simple vista, como es el caso los restos grandes de plantas como semillas, frutos, hojas o pedazos de madera; y los microscópicos o microfósiles, que incluyen restos de tamaño pequeño, cuya observación debe realizarse forzosamente mediante el uso de microscopios, y que incluyen granos de polen de plantas superiores, esporas de plantas inferiores, esqueletos de algas (diatomeas). (Bradbury, 1988; Meléndez, 1982). Cada uno de estos tipos de fósiles tiene ventajas y limitaciones cuando son empleadas como herramientas para la reconstrucción paleo-ambiental (Bradbury, 1988). Dentro de la paleolimnología uno de los aspectos mas importantes es reconstruir o identificar los cambios de nivel de un paleolago ya que esto puede dar información paleoambiental importante sobre el balance hidrológico de la zona de estudio, el cual depende de la entrada y salida del agua; cuyas variaciones responden a la interacción entre la ecología y el clima de la zona.

Entre los microfósiles las diatomeas son uno de los mejores paleoindicadores ambientales ya que mediante su estudio se pueden reconstruir los cambios de nivel en un lago, su salinidad, conductividad eléctrica, nivel de nutrimentos, etc. Es decir, mediante el análisis de diatomeas es posible una reconstrucción de las condiciones pasadas de un lago y a partir de ella es posible inferir cambios climáticos del pasado y las causas que lo motivaron (Bradbury, 1999; Wetzel, 2001).

Las diatomeas tienen algunas ventajas como indicadores paleolimnológicos sobre otros grupos de microfósiles. Entre las que destacan su gran abundancia y pequeño tamaño (Bradbury, 1988; Batterbee *et al.*, 2001); presentan una distribución muy amplia en diversos ambientes que van desde aguas muy someras a muy profundas, marinas a dulceacuícolas, y por último los frústulos de sílice de las diatomeas son más resistentes que los restos de otros microfósiles, además de que la taxonomía de las diatomeas se basa en gran medida en la morfología del frústulo por lo cual es posible una identificación taxonómica precisa. Un frústulo representa a un único organismo que lo produjo, por lo tanto si se cuentan es posible obtener la densidad de la población y la estructura de la comunidad de la cual formó parte (Bold y Wynne, 1985), permitiendo hacer análisis estadísticos y paleo-ecológicos. La presencia o ausencia de algunos de los grupos de diatomeas en una determinada secuencia sedimentaria refleja el desarrollo del cuerpo lacustre a lo largo del tiempo y este es el principio de todo trabajo de paleolimnología basado en el estudio de diatomeas (Wolin y Duthie, 1999).

Cuando las secuencias sedimentarias tienen un alto contenido de frústulos de diatomeas se habla de depósitos de diatomita. Las diatomitas de origen lacustre (las puede haber de origen marino) son numerosas y se han asociado con zonas de alta actividad volcánica (Talliaferro, 1933), por que las cenizas volcánicas puras, aportaron grandes cantidades de sílice al agua, favoreciendo el crecimiento de las diatomeas. En particular en el Centro de México el Neogeno y el Cuaternario fueron épocas de gran actividad volcánica, originándose depresiones donde se acumularon productos aluviales y lacustres y uno de los mayores sucesos durante este tiempo (ca. 23 ma) es la formación del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). Al formarse el este se establecieron diversas cuencas en las que se desarrollaron lagos. Algunas de estas cuencas se formaron por el cierre de cauces de ríos y es posible que varias siguieran un proceso de asolvamiento acelerado por el alto aporte de material volcánico que llevo a su eventual extinción (Demant y Robin, 1975).

1.1 Descripción de la División Bacillariophyta

El origen de este grupo se remonta al Mesozoico (Díaz, 1917; Bold y Wynne, 1985), los registros de diatomeas de origen marino datan del Cretácico y las especies de aguas continentales aparecen más tarde, durante Terciario (Eoceno- Mioceno) (Bold y Wynne, 1985).

Las diatomeas son un grupo de algas unicelulares muy importantes pertenecientes a la División *Bacillariophyta*. Las representantes de esta división presentan un intervalo de tamaño que fluctúa entre 20 y 500 μm (Microplancton) (Bold y Wynne, 1985). Son autótrofas, con una amplia distribución mundial y frecuentemente se les considera como el grupo más importante en el fitoplancton debido a que contribuyen con cerca del 90%

de la productividad en los sistemas acuáticos (Wetzel, 2001). Se caracterizan por presentar una pared celular que es una estructura rígida constituida por sílice hidratada y proteínas que se denomina FRÚSTULO. Este frústulo se encuentra formado por dos partes que se unen como las piezas de una caja, y cada una recibe el nombre de SEMITECAS. La semiteca superior se llama EPITECA y la inferior HIPOTECA (Bold y Wynne 1985; Scagel *et al.*, 1991). La región superior de la epiteca y la inferior de la hipoteca se denominan VALVAS y, según corresponda, se nombran EPIVALVA e HIPOVALVA. Por otra parte, los bordes de las semitecas reciben el nombre de PLEURAS, existiendo una EPIPLEURA e HIPOPLEURA. (Bold y Wynne 1985; Scagel *et al.*, 1991).

A las diatomeas se les puede encontrar en formas coloniales unicelulares. En este último caso las diferentes especies presentan distintas estrategias o formas de unión entre las células. La estructura silificada de la pared celular o frústulo de las diatomeas presenta una gran variabilidad y se utiliza como característica taxonómica (Wetzel, 2001). Se dividen en tres clases: Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae y Bacillariophyceae (Round *et al.*, 1990)

Las diatomeas de la clase Coscinodiscophyceae (centrales) presentan una simetría radial en general tienen valvas circulares sin embargo, en ocasiones son triangulares. En la valva presentan ornamentaciones, como espinas y apéndices etc; así como bandas intercalares (Figura 1) (Scagel *et al.*, 1991). Muchas de estas especies son planctónicas manteniéndose por turbulencia en la región limnética de un lago bajo condiciones específicas de temperatura, nutrimentos y luz (Bold y Wynne 1985).

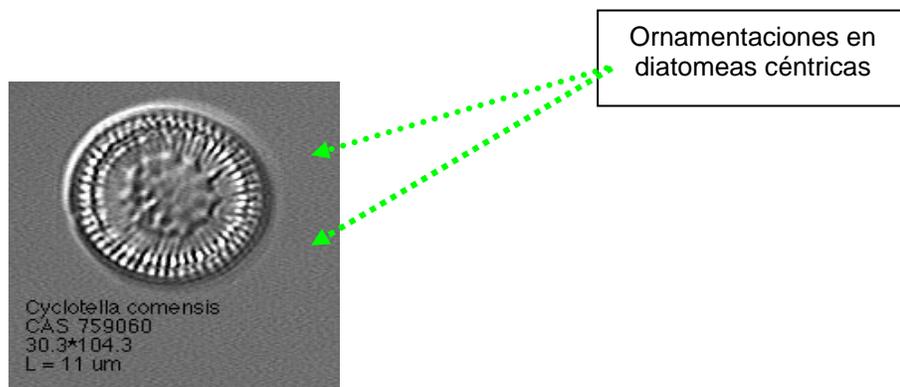


Figura 1.-Diatomea de la clase Coscinodiscophyceae

Las diatomeas de las clases Fragilariophyceae y Bacillariophyceae también se conocen como diatomeas penales, ambas clases tienen una simetría bilateral con valvas alargadas, muestran distintas zonas con estrechamientos y dilataciones celulares. En la clase Fragilariophyceae existe un engrosamiento de la pared celular (pseudorrafe) en la

zona axial de la valva (Figura 2), mientras en la clase Bacillariophyceae existe una hendidura denominada rafe que atraviesa toda o una parte de la pared celular (Figura 3) (Wetzel, 2001). Las especies con rafe suelen adherirse a un sustrato por lo que se les encuentra en el fondo de los cuerpos de agua someros o en el litoral.



Figura 2.- Diatomea penal de la Clase Fragilariophyceae

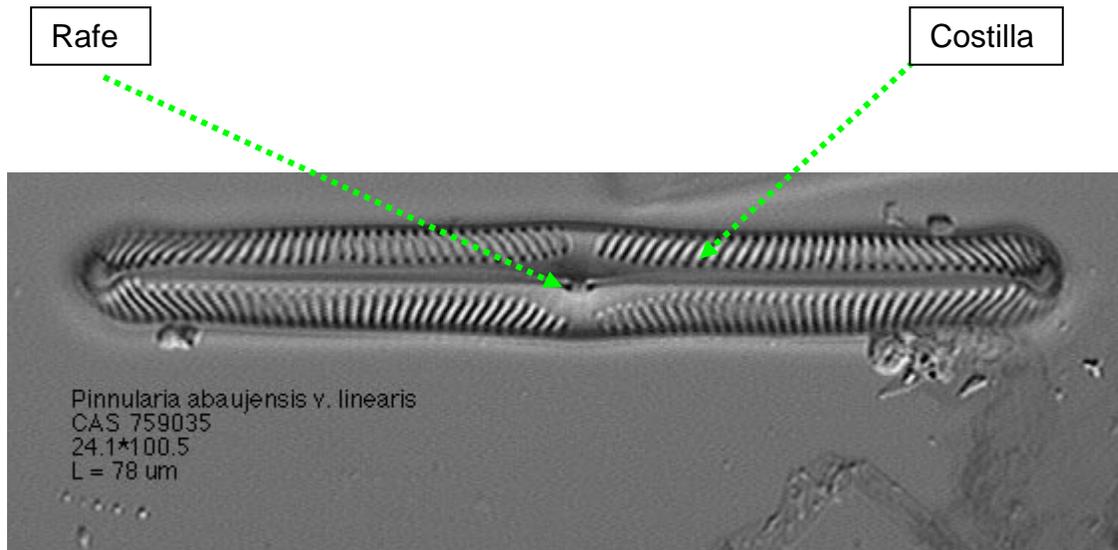


Figura 3.- Diatomea penal de la Clase Bacillariophyceae

La división compuesta de tres clases, con alrededor de 175 géneros contemporáneos y unas 12,000 a 16,000 especies. El 70% de los géneros son marinos, el 13% pueden ser marinos o de agua dulce y un 17% corresponde a géneros dulceacuícolas.

4 HIPÓTESIS

H1o- El paleolago de Santa María Amajac es de edad Neogena.

H1a-El paleolago de Santa María Amajac es de otra edad.

H2o- Los depósitos del paleolago de Santa María Amajac representan un cuerpo lacustre de agua dulce y profunda.

H2a- Los depósitos del paleolago de Santa María Amajac no corresponden con cuerpo de agua dulce y profunda.

H3o- El paleolago de Santa María Amajac experimentó fluctuaciones importantes en sus condiciones limnológicas a lo largo de su historia.

H3a- El paleolago de Santa María Amajac experimentó fluctuaciones solamente menores a lo largo de su historia.

3. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones paleolimnológicas del paleolago de Santa María Amajac, Hidalgo, México, con base en el análisis de diatomeas fósiles de la secuencia lacustre de Sanctorum y establecer las principales variaciones a lo largo de la columna estratigráfica.

3.1. OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar la sección Sanctorum del paleolago de Santa María Amajac, que abarca 70 metros de afloramiento.

Identificar las diatomeas presentes en las muestras colectadas a nivel de género y de ser posible hasta especie.

Obtener la abundancia relativa de los géneros o especies y la abundancia total por gramo de sedimento.

Determinar las condiciones limnológicas del paleolago, a través de las fluctuaciones en la abundancia de las especies de diatomeas identificadas a lo largo de la columna y de los datos bibliográficos de su ecología,.

Describir taxonómicamente, a las especies nuevas que se registren en el afloramiento.

4. ZONA DE ESTUDIO

El paleolago de Santa María Amajac se encuentra ubicado cerca del poblado del mismo nombre, a 5 km al noroeste de Atotonilco el Grande, estado de Hidalgo, México en las coordenadas 20° 18' 18.5" N, 98° 46' 52.5" O. Los sedimentos correspondientes a este paleolago pertenecen a la Formación Atotonilco el Grande que se localiza en la porción Norte-Centro de la provincia geológica del CVM, y de edad Pliocénica (Segerstrom 1961; Salvador, 2001) (Figura 4).

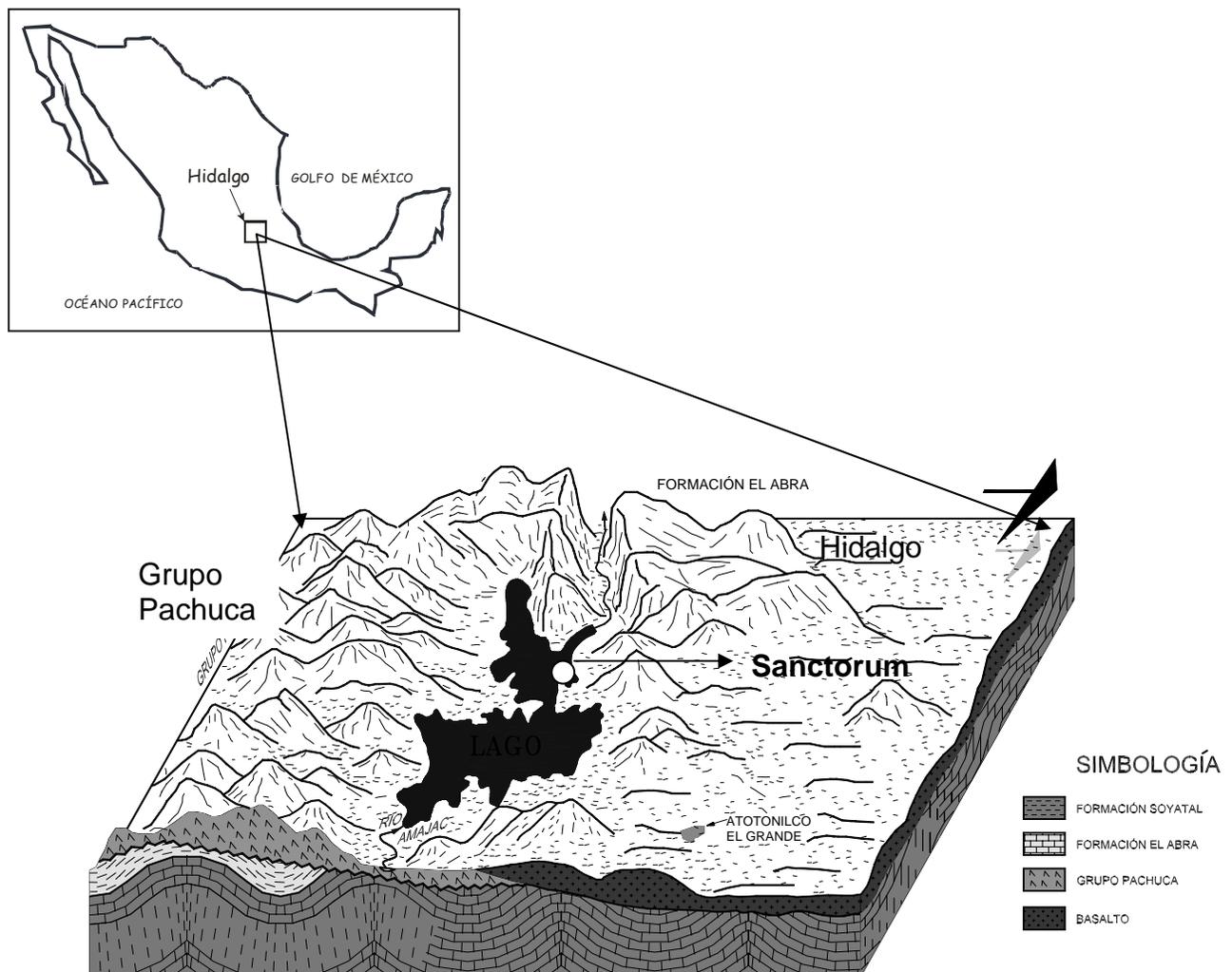


Figura 4: Mapa del Paleolago de Santa María Amajac tomado de Salvador, 2001.

El área de estudio tiene gran contraste de relieve, ya que se ubica en el límite de dos provincias fisiográficas: la porción norte pertenece a la Sierra Madre Oriental en la parte sur de la Plataforma de Actopan y el sector sur al CVM, donde se observa en la parte central-sur una franja de rocas volcánicas con orientación NW-SE las cuales están profundamente disecadas. En el sector noreste se tienen cordones serranos de rocas sedimentarias marinas plegadas y en Santa María Amajac, rocas clásticas en estratos horizontales que forman lomeríos bajos cortados por numerosos arroyos (Salvador, 2001; Arellano *et al.*, 2005).

En la formación Atotonilco el Grande se han realizado estudios geológicos regionales y paleontológicos muy específicos, analizando la columna sedimentaria que cubre discordantemente a las formaciones mesozoicas (formaciones el Abra y Soyatal) y a las rocas volcánicas del Grupo Pachuca. Desde el punto de vista geológico, paleontológico y paleolimnológico es de gran interés estudiar las secuencias sedimentarias jóvenes, como las que afloran en Santa María Amajac, Hidalgo, ya que revelan información valiosa sobre los eventos ocurridos en el centro de México durante los últimos cinco millones de años (Arellano *et al.*, 2005).

5. ANTECEDENTES

Los estudios litológicos realizados para el paleolago de Santa María Amajac muestran que la secuencia esta dominada por depósitos clásticos (conglomerados, areniscas, limonita y lutita), con intercalaciones de cenizas volcánicas *in situ* y piroclastos retrabajadas. Los sedimentos no presentan una distribución uniforme, de manera general las partículas tienden a disminuir de tamaño de grueso en la base y en la parte externa de la cuenca, a finos en la parte superior de la columna y hacia el centro de la cuenca. Se encuentran bien diferenciadas las partes de la zona marginal del paleolago, donde el afloramiento de Sanctorum representa la zona de inundación (Salvador, 2001; Arellano *et al.*, 2005).

En lo que se refiere a la flora y la fauna fósil del paleolago de Santa María Amajac se han realizado diverso estudios, donde se ha encontrado la presencia de fósiles en la columna estratigráfica de Sanctorum (Salvador, 2001), con estos trabajos se han determinado las posibles condiciones que existieron en esta secuencia lacustre.

Los estudios realizados con fisonomía foliar muestran que existió una temperatura media anual de alrededor de 18.4 °C \pm 3°C en la zona que rodeaba el lago; la temperatura para los tres meses más cálidos fue de 26 °C y para los tres meses más fríos de 7 °C; con una precipitación media anual de 650 mm; con una humedad relativa de 58%. Estos parámetros permitieron el establecimiento de una vegetación de bosque de encino y riparias, en donde se desarrollaban miembros de las familias Fagaceae, Silicaceae, Rosaceae y Platanacea (Aguilar y Ortiz, 2000). Los trabajos realizados por Reyes y Vázquez (2003) sobre fósiles de ostracodos indican la presencia de los géneros *Candona* (con las especies *C. patzcuaro* y *C. caudata*), *Darwinula* (con la especie *D. stevensoni*) y *Limnocythere* (con las especies *L. itasca* y *L. bradbury*). Este estudio solo cuantificó los parámetros geoquímicas de la zona II que representa, la disminución en el tirante de agua y como consecuencia el aumento de la temperatura del mismo. Siendo esta de 21 a 27 °C reflejando aguas cálidas y una salinidad estimada que se ubicó en un rango de 1150 a 3150 ppm, lo que podría explicar la diferencia con la temperatura de la zona circundante. Se ubicó dentro de los intervalos de los lagos dulceacuícolas. La presencia de peces deformados en diferentes capas de la columna estratigráfica de la familia Goodeidae, manifiesta que este lago tenía importantes variaciones en su espejo de agua, (estacional) lo que sugiere que estaba regido por épocas de secas y de lluvias, además de que era de agua dulce con condiciones para sustentar la biota ya que tenía gran abundancia de nutrimentos, con una profundidad menor a 25 m y de pequeñas dimensiones (Gasse, 1986; Becerra *et al.*, 2002; Rodríguez, 2004).

También se han encontrado en diferentes niveles de la columna fósiles del orden anura, lo que refleja la estacionalidad por la que estaba influenciado el paleolago; cuando permanecía con agua, era suficientemente capaz de sustenta a los anuros, los que al ser de hábitos terrestres y acuáticos, pudieron haberse encontrado con dificultades para su supervivencia y llevándolos a la muerte.(Fuentes, 2005). Al revisar la sección con un mayor detalle se han encontraron restos de diatomeas en la columna estratigráfica de Sanctorum, donde se muestra que las condiciones del lago fueron cambiando con el tiempo y por lo cual el desarrollo de este grupo no fue constante (Caballero *et al.*, 2004; López *et al.*, 2004) lo que dio la base para el desarrollo de este trabajo.

Las diatomeas presentan una amplia distribución ecológica, pueden ocupar diferentes hábitats dentro de la zona fótica, ya que pueden vivir adosadas a plantas (epifíticas), a rocas (epilíticas) o sobre el lodo de la superficie (epipelicas); o bien pueden ser de vida libre y habitar en la columna de agua (planctónicas y ticoplanctónicas). También, dependiendo de la especie, pueden vivir en diversas condiciones de salinidad, de pH, conductividad eléctrica y composición iónica del agua, siendo indicadoras de estas condiciones. Así el estudio de las diatomeas fósiles presentes a lo largo de una secuencia lacustre es un excelente medio de investigación a través del cual se documentan cambios en los ambientes y el clima del pasado.

Los estudios de secuencias lacustres desarrollados en México abarcan principalmente del Pleistoceno tardío al Holoceno e incluyen trabajos en los lagos del CVM como el lago de Pátzcuaro (Bradbury 2000; Telford *et al.*, 2004) Zacapu (Metcalf, 1992) y Cuitzeo (Israde y Garduño 1999) en el estado de Michoacan; en Tecocomulco (Caballero *et al.*, 1997), Texcoco, (Bradbury 1971;) y Chalco (Caballero y Ortega 1998) en la cuenca de México, por mencionar algunos. A lo largo del CVM también se han realizado algunos estudios de sedimentos lacustres que formaron depósitos de diatomita principalmente durante el Neógeno (ca. 23 a 2 ma) como los realizados en Tlaxcala (Benítez *et al.*, 2001; Cuna 2001; Vilaclara *et al.*, 1997; Rico *et al.*, 1992) y Jalisco (Rico *et al.*, 1992), pero estos estudios son menos abundantes. Al situarse la localidad de estudio en el Cinturón Volcánico Transmexicano (provincia biótica) los fósiles registrados, darán mayor conocimiento de distribución, diversidad y condiciones ambientales que existieron en México durante el Neógeno y permitan entender los patrones de distribución actual.

6. JUSTIFICACIÓN

La información existente para el paleolago de Amajac indica la presencia de un ambiente más húmedo en el pasado, pero no da detalles sobre las condiciones limnológicas, ni sobre su evolución. Por ello se hace necesario emprender estudios sistemáticos, basándose en la abundancia y composición de diatomeas fósiles, que permitan reconstruir las condiciones paleolimnológicas e incluso paleoambientales que dominaron la región durante el Neógeno. La información sobre el paleolago de Amajac con base en la sección muestreada, mostrará las principales fluctuaciones en las condiciones limnológicas, ambientales e hidrológicas en la región durante el Neógeno, por lo cual es importante identificar los géneros y especies presentes a lo largo de la sección y sus variaciones estratigráficas (Bradbury, 1988; Rico *et al.*, 1992).

7. MATERIALES Y METODOS

7.1. TRABAJO DE CAMPO

Se colectaron muestras de la columna Sanctorum en tres salidas a campo en 2004 dos salidas en el 2005 y dos en el 2006. En cada salida se obtuvieron muestras de la columna de Sanctorum de manera que la resolución final del muestreo fuera de mínimo una muestra cada 1.5 metros. Dada la dureza del sedimento éste se colectó empleando tubos de metal de 6 cm de largo y con un diámetro de 3 cm, marcando la parte de interior y exterior, así como la parte de superior e inferior. El tubo fue cubierto con cinta adhesiva para no tener pérdidas y evitar contaminación. Posteriormente fue colocado dentro de una bolsa de plástico con los datos correspondientes al muestreo: fecha, número de muestra y características de la litología de donde se tomó la muestra. A cada muestra se le asignó una altura con respecto a un nivel base definido para fines prácticos en una capa de ceniza localizada a la base del afloramiento. Por esta razón en este trabajo el nivel de los conglomerados corresponde con la altura 0 m y pertenecen a la parte más baja y más antigua de la columna. Los sedimentos más jóvenes de la cima de la columna, proporcionados a las alturas entre 51 y 70 m no pudieron ser muestreados debido a que son conglomerados que han sido fuertemente erosionados, por lo cual la muestra más joven es la de 51 m.

7.2. TRABAJO DE LABORATORIO

7.2.1. Limpieza

Se pesaron 0.5 gramos de sedimento de cada una de las muestras en una balanza analítica y se colocaron en vasos de precipitado. A cada muestra se le agregó entre 20 y 25 mililitros de ácido clorhídrico (HCl) al 10% y después aproximadamente 20 mililitros de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) concentrado. Se pusieron sobre parrillas de calentamiento dentro de una campana de extracción, cuidando que las muestras no hirvieran para que no se derramaran, durante aproximadamente 15 minutos o hasta que cesara la reacción. Posteriormente se le adicionaron cinco mililitros de ácido nítrico (HNO₃) concentrado, si seguía la reacción se le agregaban otros cinco mililitros hasta que dejaran de reaccionar. Después se les puso dos gotas de detergente líquido y se les agregó agua desionizada hasta el borde del vaso y se tapó con papel encerado dejándolas reposar 24 horas. Pasado este tiempo se decanto el sobrenadante y el residuo se resuspendió en agua desionizada. Esto se realizó por lo menos cinco veces, o hasta llegar a pH neutro. El sedimento ya limpio se pasó a un frasco de plástico y se aforó a 30 ml, después se etiquetó adecuadamente con los datos correspondientes (Stoermer *et al.*, 1995)

7.2.2 Montaje de las muestras

Una vez envasadas las muestras, se preparó una disolución 1:5 en un vaso de precipitado, y se tomó una alícuota de 200 µl con una micropipeta. Esta alícuota se montó en un cubre objetos redondo de 18 mm de diámetro cuidando que la muestra quedara bien distribuida en toda la superficie del cubre objetos. Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente y se montaron en un portaobjetos debidamente etiquetado, utilizando la resina Nafrax.

Para la observación en microscopios electrónico de barrido (Modelo JSM5600LV) se preparó una disolución 1:5 en un vaso de precipitado, y se tomó una alícuota de 200 µl con una micropipeta. Esta alícuota se colocó sobre un vidrio y se montó en un tubo de metal cubierto de cinta de carbono. Posteriormente fue bañado con polvo de oro para su observación en el microscopio a bajo vacío.

7.2.3. Observación y conteo de las muestras

Las especies de diatomeas se identificaron con claves especializadas. (Gasse 1980, 1886; Kramer y Lange-Bertalot, 1991; Round *et al.*, 1990)

Una vez montada la preparación se realizó el estudio al microscopio óptico, a un aumento de 1000X, mediante el método de transectos diametrales de Batterbee, (Batterbee, 1986) se hizo el conteo de un mínimo de 400 valvas.

7.3 TRABAJO DE GABINETE

La abundancia de las especies identificadas se expresará como porcentaje del conteo total y la abundancia absoluta, como valvas por gramo de sedimento, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Abundancia Total} = (\text{Conteo} \times 0.0215 \times \text{dilución}) \times 10^6$$

(Batterbee, 1986)

Las afinidades ecológicas de los géneros y/o especies de diatomeas encontradas se determinaron a través de una búsqueda bibliográfica (*Patrick y Reimer 1966; Foged, 1976; Heurck, 1962; Gasse 1980; Germain, 1981; Gasse 1986; Kramer y Lange-Bertalot, 1991; Round et al., 1990; Hodgson et al., 1997; Cocquyt, 1998*). Así se realizó una lista de los parámetros específicos algunas especies, además de considerar la información que aporta la textura y la composición de la roca (tamaño del grano, redondeo, color, etc.) en los diferentes estratos condiciones con base en la cual se reconstruyeron los parámetros limnológicos del paleolago.

8. RESULTADOS

8.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

A continuación se presenta clasificación taxonómica de Round *et al.*, 1990, y se describen la morfología y características ecológicas para los géneros y especies representativas de la columna Sanctorum, perteneciente al paleolago de Santa María Amajac.

División Bacillariophyta

Clase Coscinodiscophyceae *Round & Crawford in Round et al., 1990*

Subclase Coscinodiscophycidae

Orden Aulacoseirales *Crawford in Round et al., 1990*

Familia Aulaseiraceae *Crawford in Round et al., 1990*

Género *Aulacoseira* *Thwaites 1848*

- ***Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simimonsen 1979**

Subclase Thalassiosirophycidae

Orden *Thalassiosirales* *Glezer & Makarova 1986*

Familia *Sthephanodiscaceae* *Glezer & Makarova 1986*

Género *Cyclotella* *Kützing 1844*

- ***Cyclotella stelligera* *Cleve-Grunow***

Género *Stephanodiscus*

- ***Stephanodiscus* *sp***

Género *Tertiarius* Håkansson y Khursevich

- ***Tertiarius* sp**

Clase Fragilariophyceae *Round in Round et al., 1990*

Subclase Fragilariophycidae *Round in Round et al., 1990*

Orden *Fragilariales*

Familia *Fragilariaceae* Greville 1833

Género *Fragilaria* Lyngbye 1819

- ***Fragilaria* sp**

Género *Synedra* Ehrenberg 1830

- ***Synedra* sp**

Clase Bacillariophyceae Haeckel 1878, Mann in Round et al., 1990

Subclase Bacillariophycidae Mann in Round et al., 1990

Orden *Cymbellales* Agardh 1830

Familia *Cymbellaceae* Greville 1833

Género *Cymbella* Agardh 1830

- ***Cymbella aspera* (Ehrenberg) Peragallo 1849**
- ***Cymbella cymbiformis* Agardh 1830**
- ***Cymbella ehrenbergii* Kützing 1844**
- ***Encyonema caespitosum* Kützing 1849**

Familia Pinnulariaceae *Mann in Round et al., 1990*

Género *Pinnularia* Ehrenberg 1843 Ehrenberg (*nom. cons*)

- ***Pinnularia* sp**

Orden Achnanciales Silva 1962

Familia Cocconeidaceae Kützing 1844

Género *Cocconeis* Ehrenberg 1838

- ***Cocconeis placentula* var. *lineata* Ehrenberg 1838**

Orden Rhopalodiales *Mann en Round et al., 1990*

Familia Rhopalodiacea

Género *Ephitemia* Brébisson 1838

- ***Ephitemia adnata* (Kützing) Rabenh 1853**
- ***Ephitemia sores* Kützing 1844**
- ***Ephitemia turgida* (Ehrenberg) Kützing 1844**

Género *Rhopalodia* O. Muller 1895

- ***Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O Muller 1899**
- ***Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O Muller 1895**

Orden Naviculales *Bessey 1907*

Familia *Naviculalineae* Hendey 1937

Género *Navicula* Kützing 1844

- ***Navicula cryptotenella Lange-Bertalot 1985***

Suborden Neidiineae Mann and Round et al., 1990

Familia Diadesmidaceae Mann and Round et al., 1990

Género Luticola Mann and Round et al., 1990

- ***Luticola ventricosa (Kützing) Mann 1990***

Orden Bacillariales Hendey 1937

Familia Bacillariaceae Ehrenberg 1831

Género *Nitzschia*.

- ***Nitzschia sp***

8.2. ECOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simimonsen 1979 (Placa E)
(Sin. *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs).

Morfología: Células cilíndricas, con la cara valvar circular. Células unidas por la cara valvar por medio de espinas conectivas, formando filamentos de dos a varias células; por lo menos una de las espinas conectivas destaca por su mayor tamaño. Manto con areolas prominentes, formando estrías rectas o curvadas. Medidas (n=10): 14-23µm largo y 7-10µm ancho, 9-13 estrías perivalvares en 10µm, formadas por grandes poros alineados en estrías longitudinales.

Ecología: Es una especie planctónica de agua dulce, que se suele encontrar en aguas neutrales o muy poco ácidas (Gasse1986) hasta levemente alcalinas (Hustedt, 1957; Foged, 1964; Lowe 1974). De acuerdo con Chohnoky (1970) y Gasse (1986), su pH óptimo está entre 7.2 y 8.2. Se ha detectado como abundante a una conductividad específica de entre 150–320 µs/cm y una alcalinidad de 2.1 meq/l (Gasse, 1986); sin embargo también se menciona que esta especie se ha encontrado como componente del plancton en aguas ricas en carbonatos, siendo una especie poco común o rara en aguas fuertemente alcalinas. No muestra una preferencia catiónica clara. Esta especie tiene una distribución cosmopolita y preferentemente se encuentra en aguas eutróficas (Cocquyt, 1998).

***Cyclotella stelligera* Cleve-Grunow(Placa F, fotos 1-2)**

Morfología: Células cilíndricas aplanadas, con cara valvar circular ya sea cóncava o convexa. En vista valvar la región central está ocupada por estrías radiales muy visibles, que convergen en el punto central. La región periférica tiene un anillo de estrías que rodean a la región central. Medidas (n=5): 5-19 μ m de diámetro, caen dentro del rango más pequeño para la especie, 7-11 estrías periféricas en 10 μ m.

Ecología: Esta es una especie que ha sido reportada como litoral, perífita, ticoplanctónica y euplanctónica (Gasse 1986). Rápidamente forma parte de crecimientos filamentosos adheridos al sustrato o de natas flotantes. Tiene afinidad por aguas circunneutrales a levemente alcalinas y en la literatura se le cita como indiferente, alcalífila o alcalibiontica; según algunos autores su pH óptimo es 8.5. Se le reporta como indiferente a la salinidad pero tolera medios ligeramente salobres (oligohalobia a halófila), presente en aguas con conductividad eléctrica entre 400-20,000 μ s/cm. Es oligotrófica a eutrófica, saprofóbica a mesosaprobica y se la ha reportado en turberas (Gasse, 1986; Hodgson *et al.*, 1997).

***Stephanodiscus* sp. (Placa D)**

Morfología: Los ejemplares de esta especie están mal preservados, presentando disolución de sus valvas, por lo cual no fue posible una identificación a nivel de especie. Son células cilíndricas aplanadas, con cara valvar circular plana. Las areolas son simples y forman estrías continuas desde el centro de la valva hasta el margen, que pasan de uniseriadas a biseriadas cerca del margen. No fue posible observar las cribrae internas de las areolas características del género, pero es posible que hayan sido erosionadas. Estrías separadas por zonas hialinas o costae. Cada costae termina en una espina en el margen de la valva. En vista interna, la valva tiene furtoportulae marginales y por lo menos una central. Medidas (n=10): 7-16 μ m de diámetro y de 12-15 estrías radiales en 10 μ m.

Ecología: Este género se encuentra principalmente en aguas dulces a levemente alcalinas, y es de hábitats primordialmente planctónicos (Round *et al.*, 1990).

***Tertiarius* sp. (Placa A – B).**

Morfología: Valvas cilíndricas aplanadas, con cara valvar plana. La cara valvar tiene areolas desordenados hacia el centro, formando estrías radiales uniseriadas que pasan a multiseriadas (5 a 6) en los alvéolos de la zona marginal. La zona marginal esta formada por alvéolos complejos separados por costillas hialinas. La cara valvar tiene un anillo de hasta 10 furtoportulae con dos o tres poros satelitales y también hay un anillo marginal de furtoportulae con dos poros satelitales, localizadas uno en cada costilla hialina. Existe una rimoportula marginal sesil localizada en la base de uno de los alvéolos marginales. En vista valvar interior en algunos ejemplares se lograron distinguir los domos cribados que cubren a las areolas. Esta especie no corresponde con la descripción de ninguna de las especies de este género reportadas para Europa (Häkanson y Khursevich, 1997) o Estados Unidos (Kursevich y Kiciolek, 1998) por lo que se trata de una especie nueva, y representa el primer reporte de este género extinto, en México. Este género fósil se considera marcador bioestratigráfico para el Mioceno superior y el Plioceno (aproximadamente 10 a 2 millones de años). Medidas (n=10): 9-30µm de diámetro, y de 8-12 estrías radiales en 10µm.

Ecología: No es posible precisar la ecología de esta especie fósil; sin embargo por su forma valvar es probable que haya sido una especie planctónica de aguas abiertas, por lo que indicaría tirantes de agua profundas.

***Fragilaria* sp. (*sensu lato*)(Placa C)**

Morfología: Valva lanceolada, isopolar, con extremos redondeados, en ocasiones formando cadenas cortas. Estrías uniseriadas cortas y esternón amplio, con área central ligeramente ensanchada debido a la forma de la valva. Al Microscopio electrónico de barrido (MEB) se observó la presencia de espinas bifurcadas sobre el margen de la valva, y entre las estrías. La estructura de las estrías no se observó claramente, pero parecen formadas por areolas en forma de rendijas. No se observaron campos de poros apicales ni rimoportuale. Medidas (n=10): 9-21µm de largo, 4-6µm de ancho y de 8-13 estrías transapicales en 10µm, levemente radiales.

Ecología: La mayor parte de las especies de *Fragilaria (sensu lato)* de morfología similar se encuentran entre las planctónicas facultativas o ticoplanctónicas. Son especies cosmopolitas y su ecología es muy difícil de definir debido a su amplitud, que va de aguas levemente ácidas a alcalinas, de baja conductividad eléctrica y salobres y de moderadamente distróficas hasta aguas altamente eutróficas (Round *et al.*, 1990).

***Synedra* sp.**

Morfología: Las valvas de esta especie estaban muy fragmentadas, lo que impide que se pueda realizar una descripción detallada así como una identificación adecuada a nivel especie. Los fragmentos observados sugieren una forma valvar linear, muy alargada con pseudorafe muy delgado y estrías finas.

Ecología: Este género solo se distribuye en aguas dulces y puede ser planctónico y/o perifítico (Gasse, 1980).

***Cymbella aspera* (Ehrenberg) Peragallo 1849**

Morfología: Valva arqueada, con el margen dorsal bastante curvo y el margen ventral casi recto, con un abultamiento en la región central. Ápices redondeados. Rafe arqueado, con el área axial linear, ensanchada levemente en la región central. Estrías notoriamente punteadas, ligeramente radiales en la región central a paralelas en los ápices. Medidas (n=3): 70-200µm de largo, 20-30µm de ancho y 7-10 estrías en 10µm.

Ecología: No es una especie normalmente muy abundante, se reporta en manantiales, en ríos y lagos someros. Es de aguas dulces a levemente alcalinas (alcalífila), y de aguas de baja salinidad (Germain, 1981; Kramer y Lange-Bertalot, 1991).

***Cymbella cymbiformis* Agardh 1830**

Morfología: Valva arqueada, con el margen dorsal curvo y el margen ventral levemente curvo a recto; con un abultamiento en la región central. Los extremos se van adelgazando y terminan levemente redondeados. Rafe arqueado, con área axial linear estrecha, en la parte central sufre un ligero ensanchamiento, en donde presenta un estigma hacia el lado ventral, el cual en el microscopio óptico con un aumento 1000X, semeja un triangulo apuntando hacia el centro. Estrías levemente radiales, notoriamente punteadas. Medidas (n=3): 35-100µm de largo, 8-15µm de ancho y de 10-14 estrías en 10µm.

Ecología: Pueden ser numerosas en zonas templadas, aunque se considera que su ecología es insuficientemente conocida (Patrick y Reimer, 1966), es reportada como una especie común en lagos, aunque puede llegarse a encontrar en arroyos y manantiales. Se considera como alcalífila, oligohalobia indiferente (Foged, 1976), epilítica y epifítica, en aguas oligotróficas hasta

mesotróficas con mediano contenido electrolítico (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

***Cymbella ehrenbergii* Kützing 1844 (Placa E, foto 4)**

Morfología: Valvas asimétricas dorso-ventralmente, elípticas, claramente más abombadas sobre el borde dorsal, extremos redondeados un poco adelgazados. Rafe recto, área longitudinal amplia, dilatada en el centro. Estrías radiales, finamente punteadas. Medidas (n=3): 50-220µm de largo, 19-50µm de ancho y las estrías fuertemente, radiales, de 4-5 en 10µm en el centro sobre la parte dorsal, de 6-9µm sobre la parte ventral.

Ecología: Esta es una especie poco abundante que se puede hallar en estanques, ríos y lagos, con un pH variable, pero que parece tener una afinidad a los ambientes calcáreos (Kramer y Lange Bertalot, 1991). Es epifita, y va de oligo a mesotrófica (Germain, 1981).

***Encyonema caespitosum* Kützing 1849 (Placa F, foto 6)**

(Sin. *Cymbella caespitosa* (Kützing) Brum 1880)

Morfología: Valvas asimétricas dorso-ventralmente, con el margen dorsal muy arqueado y el ventral casi recto, con un leve abultamiento en la región central. El rafe es recto, más cercano al borde ventral que al borde dorsal, con el extremo apical curvado hacia el margen ventral. Área axial bien definida, algo dilatada en el centro, las estrías son paralelas, claramente punteadas. Medidas (n=3): 20-25µm de largo, 10-11µm de ancho y de 11-10 estrías en 10µm.

Ecología: Común en ríos, estanques y lagos someros, habita sobre macrofitas. Frecuentemente acompañada por *Cocconeis placentula*. Se le considera una especie halófila (Germain, 1981; Kramer y Lange-Bertalot, 1991); ticoplanctónica (Cocquyt, 1998) y se encuentra en aguas que van desde oligotróficas hasta eutróficas (Hodgson *et al.*, 1997).

***Pinnularia* sp.**

Morfología: Las valvas de esta especie se encontraron muy fragmentadas por lo cual no es posible determinar con precisión la especie. Valva linear con márgenes no profundos, ápices ligeramente capitados, área axial ligeramente hacia los ápices, forma una forma transversal, estrías radiales hacia la porción media de la valva, convergentes hacia los ápices. Medidas (n=5): largo total no

determinado por que no se encontraron individuos completos, 8-12 μ m de ancho y de 10-13 estrías en 10 μ m en los polos.

Ecología: Este género vive preferentemente dentro de los manantiales, los charcos, los pantanos y las turberas (Gasse, 1986). Estas se caracterizan por encontrarse en medios profundos. Algunas especies se encuentran en los márgenes y algunas otras se encuentran frecuentemente dentro de los sedimentos y algunos objetos y por lo cual se caracteriza dentro del parámetro de las aérofilas (Gasse, 1980).

***Cocconeis placentula* var *linnete* Ehrenberg 1838)**

Morfología: Valvas elípticas, el frústulo presenta una valva con rafe y la otra con pseudorafe. El rafe de la valva es delgado, una área axial muy delgada, con una pequeña área central oval. Estrías uniseriadas, punteadas levemente radiales. Presenta una zona hialina marginal donde se interrumpen las estrías. El pseudorafe de la valva es muy delgado, sin zona central, con estrías curvas, fuertemente punteadas, cuyas punteaduras forman de 5 a 9 hileras longitudinales. Medidas (n=5): 30-35 μ m de largo, 17-20 μ m de ancho y, de 16-20 estrías en 10 μ m en las valvas con rafe y de 16 –18 en 10 μ m en las valvas sin rafe.

Ecología: Es una especie cosmopolita y abundante frecuentemente. Vive tanto en lagos, como en aguas corrientes (Krammer y Lange-Bertalot, 1991). Es epifítica sobre plantas acuáticas fanerógamas y algas superiores y también vive sobre substratos sin vida como maderas y rocas (Patrick y Reimer, 1966, Germain, 1981). Tiene un óptimo desarrollo en pH alrededor de 7, pero tolera aguas alcalinas (alcalífila), es oligohalobia, indiferente tolerante a pequeñas cantidades de sal (Lowe, 1974; Cocquyt, 1998); pero no ha sido observada en gran número en aguas salobres. oligosaprobias, perífita. También es una especie considerada ticoplanctónica, eurialina, limnobiontica (Foged, 1984); y esta especie coloniza con frecuencia hábitats inestables (Hodgson *et al.*, 1997).

***Epithemia adnata* (Kützing) Rabenh 1853(Placa F, foto 5)**

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

Morfología: Valvas marcadamente dorsoventrales, con el margen dorsal muy curvo (convexo) y el margen ventral levemente curvo (cóncavo) a recto. Los extremos ampliamente redondeados a ligeramente capitados. El rafe es recto, poco visible, junto al margen ventral; solo en la zona media de la valva es más evidente porque se curva hacia el margen dorsal, en una característica forma de V cuyo vértice alcanza la mitad o menos de la valva. Medidas (n= 5): 15-

150µm de largo, 7-14µm de ancho, 3-4 costillas en10µm y de 12–14 estrías en10µm, fuertemente punteadas.

Ecología: Especie cosmopolita muy frecuente y numerosa. Habita en aguas con pH 7 aunque tolera pH por debajo de 7 y es frecuente en aguas alcalinas (intervalo 4.7- 9, óptimo 8.2 –8.5). Tolerancia pequeñas concentraciones de sal, y puede estar presente en aguas salobres (Krammer y Lange-Bertalot, 1991; Cocquyt, 1998). La mayoría de las veces tiene hábito epifítico, tanto en lagos como en aguas corrientes (Lowe, 1974). Es una especie característica de aguas limpias, aunque puede llegarse a encontrar en aguas contaminadas o β-mesosaprobias, perífita. Se la reporta en temperaturas de 40 °C, como mesotermal o eutermal (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

***Epithemia sorex* Kützing 1944**

Morfología: Valvas macadamamente dorsoventrales, con el margen dorsal muy curvo (convexo) y el margen ventral levemente curvo (cóncavo) o casi recto. Los extremos son capitados. El rafe curvado hacia la zona central en forma de una V muy amplia, con el vértice muy cerca del margen dorsal. Estrías uniseridas, formadas por areolas claramente visibles. Costillas paralelas radiales, cruzando desde la zona ventral hasta la dorsal, que separan grupos de 2 a 3 estrías. Medidas (n=5): 16-60µm de largo, 7-12µm de ancho, 5-7 costillas en10µm y 12–14 estrías en 10µm, fuertemente punteadas.

Ecología: Esta especie es tolerante a cambios de presión osmótica (Gasse 1986) por lo que tolera aguas desde diluidas a moderadamente concentradas o salobres (300-3000µS.cm⁻¹). Es alcalífila a alcalobiontica, con un pH óptimo alrededor de 8 (pH de 6-9.5) y prefiere aguas ricas en Ca y Mg (Patrick y Reimer, 1976). Se ha encontrado en el fondo de los lagos poco profundos, y como epifítica o ticooplanctónica (Cocquyt, 1998). Frecuentemente asociada con *Cocconeis placentula*, *Amphora pediculus* y *A. ovalis*. (Gasse, 1986).

***Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing 1844 (Placa F, foto 3)**

Morfología: Valvas macadamamente dorsoventrales, con el margen dorsal muy curvo (convexo) y el margen ventral levemente curvo (cóncavo) o casi recto. Los ápices son más o menos redondeados a levemente capitados. Rafe recto paralelo al margen ventral, en la parte media de la valva se curva hacia el margen dorsal en una característica forma de V cuyo vértice se ubica entre la mitad de la valva y el margen ventral. Estrías uniseridas, formadas por areolas claramente visibles. Costillas paralelas a levemente radiales, cruzando desde la zona ventral hasta la dorsal, que separan grupos de 2 a 3 estrías. Medidas

(n=5): 39-43 μ m de largo, 7-9 μ m de ancho, 3-4 costillas en 10 μ m y de 8-12 hileras de estrías radiales en 10 μ m.

Ecología: Esta especie es muy común en aguas continentales, es alcalífila a, alcalinobiontica y tolera aguas salobres (400-2000 μ c/cm) (Heurck, 1962). Mesotrófica a eutrófica con un hábitat preferentemente litoral, epifito y hasta subaereo (Kramer y Lange-Bertalot, 1991).

***Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O Muller 1899**

Morfología: La vista mas frecuente representa la vista cingular, la forma de la valva es marcadamente arqueada, con un margen dorsal fuertemente convexo, y un margen ventral levemente cóncavo a recto. Los extremos apicales está más o menos curvados ventralmente, con ápices redondeados de acusados a obtusos. El rafe corre paralelo cerca del margen dorsal. Estrías uniseriadas, formadas por poroides finos. Costillas paralelas, cruzando desde la zona ventral hasta la dorsal, que separan grupos de 2 a 8 estrías. Medidas (n=3): 48.5-63 μ m de largo, 12-13.5 μ m de ancho, 3-4 costillas en 10 μ m y 13-15 estrías en 10 μ m.

Ecología: Es abundante en lagos, manantiales y ríos. Vive de forma periférica a planctónica. Se comporta como planctónica cuando los lagos son pocos profundos y se encuentra frecuentemente en la mezcla. Es una especie de agua dulce, se considera que es tolerante a fluctuaciones de presión osmótica. Considerada como halófila, y prefiere un alto contenido de Cloro: esta relacionada con aguas mesohalinas y de diferentes tipos químicos (Patck and Reimer, 1976). Alcalífila, su pH optimo esta alrededor 8.2 y es tolerante a fluctuaciones de pH. Encontrada en aguas alcalinas, ricas en carbonatos y bicarbonatos de sodio, presente en una conductividad de 40000 μ s/cm⁻¹, alcalinidad de 290 meq/l⁻¹, pH 9.5-10.9 y una temperatura de 21 a 35 °C (Gasse 1986; Cocquyt, 1998).

***Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O Muller 1895**

Morfología: La vista mas frecuente representa la vista cingular, la forma de la valva es linear, con los extremos apicales levemente hinchados y curvados hacia la parte ventral. La zona central es hinchada, con la parte central constreñida. El rafe corre paralelo al margen dorsal. Estrías uniseriadas, formadas por poroides finos. Costillas paralelas, cruzando desde la zona ventral hasta la dorsal, que separan grupos de 2 a 3 estrías. Medidas (n=3): 33-82 μ m largo, 7-12 μ m de ancho, 7-8 costillas en 10 μ m y 14-16 hileras de alvéolos (estrías) en 10 μ m.

Ecología: Es una especie cosmopolita, común en lagos y en aguas corrientes (Krammer & Lange-Bertalot, 1991). Es oligohalobia indiferente, tolera aguas con contenido electrolítico elevado y es alcalinobiontica. Se mencionan que es usualmente epifítica (Patrick y Reimer, 1966; Gasse, 1980, 1986) pero puede ser aerofila o ticolanctónica (Cocquyt, 1998, Foged, 1984).

***Navicula cryptotenella* Lange-Bertalot 1985**

Morfología: Valvas lanceoladas, con extremos adelgazados y redondeados. Área axial linear muy estrecha, con un área central pequeña. Estrías uniseriadas, radiales en la zona central a convergentes en los ápices. Medidas (n=5): 25-42µm de largo, 5-7µm de ancho, y de 10-14 estrías en 10µm en el centro y en el extremo de la valva de 14-16 estrías en 10 µm.

Ecología: Es una especie cosmopolita, indiferente al contenido iónico (concentraciones de sal) y pH, por lo que está presente en todos los ambientes dulceacuícolas que no sean ni muy ácidos ni muy alcalinos. Es perifítica a bentónica, indicadora de aguas β-metasaprobias y muy sensible al incremento en contenido de materia orgánica (Lowe 1974; Krammer y Lange-Bertalot 1986, 1991; Hodgson *et al.*, 1997).

***Luticola ventricosa* (Kützing) Mann 1990**

Sin. *Navicula mutica* Kützing 1844 var. *ventricosa* Cleve & Grunow 1880

Morfología: Las valvas son elípticas, con ápices marcadamente capitados,. Estrías radiales a lo largo de la valva, acentuándose más en los extremos de la misma, formadas por areolas redondeadas muy visibles y evidentemente separadas una de otra. Las estrías del área central son más cortas e irregulares, formando una área central transversal en la que se localiza un estigma excéntrico. Rafe linear; con los extremos centrales curvados hacia el mismo lado, que es el lado opuesto al estigma. Área axial clara, que se expande en el área central transversal formando una especie de cruz o stauron. Medidas (n=5): 8-20µm de largo, 5-8µm de ancho y 18-23 estrías en 10µm.

Ecología: Es cosmopolita, está presente en cuerpos de agua dulce a salobre, frecuentemente en suelos o ambientes que tienden a la desecación. Es una especie aerófila, perifítica a ticolanctónica. Su intervalo de pH es de 6.5-8.5 y un óptimo 7.5-8.5 (circuneutral). (Krammer y Lange- Bertalot, 1986; Foged, 1984; Hodgson *et al.*; 1997; Cocquyt, 1998).

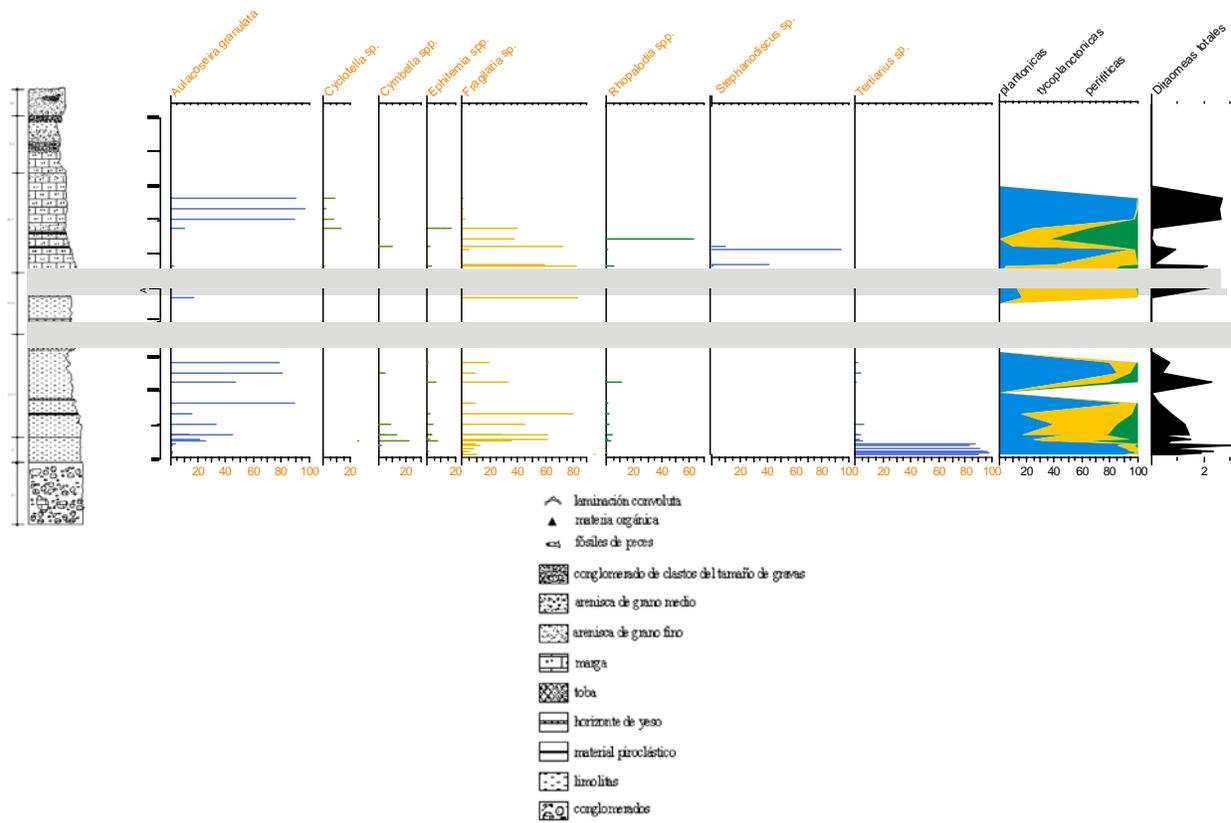
***Nitzschia* sp.**

Morfología: Esta especie tiene valvas lineares sumamente largas, pero solo se encontraron fragmentos por lo cual su descripción no es posible. Medidas (n=2) largo no determinado, 8-10µm de ancho y 9-10 fíbulas en 10µm.

Ecología: Las especies de este género con valvas tan largas son comunes dentro del plancton o son planctónicas facultativas. Este género va de dulceacuícola a marino, y la mayoría de las especies tolera algún grado de salinidad (Gasse, 1980; Round *et al.*, 1990).

8.3. ESTRATIGRAFÍA DE DIATOMEAS DE LA SECUENCIA SANCTORUM

Como se mencionó con anterioridad de los 70 metros de la sección Sanctorum solo se pudieron muestrear los primeros 51 m, debido a que la cima, compuesta por conglomerados, ha sido erosionada. Además de esto, no presentó preservación de diatomeas entre 39 m y hasta 51m. La base de la secuencia (muestras más antiguas), entre los 0 y los 38 m, si presentó una preservación de diatomeas buena, y los resultados del análisis de diatomeas de estas muestras se resume en la (Grafica 5). Las diatomeas presentes corresponden a un total de 20 especies distribuidas en 14 géneros. Las especies más abundantes son: *Alulacoseira granulata*, *Fragilaria* sp., *Tertiarius* sp., y *Stephanodiscus* sp.

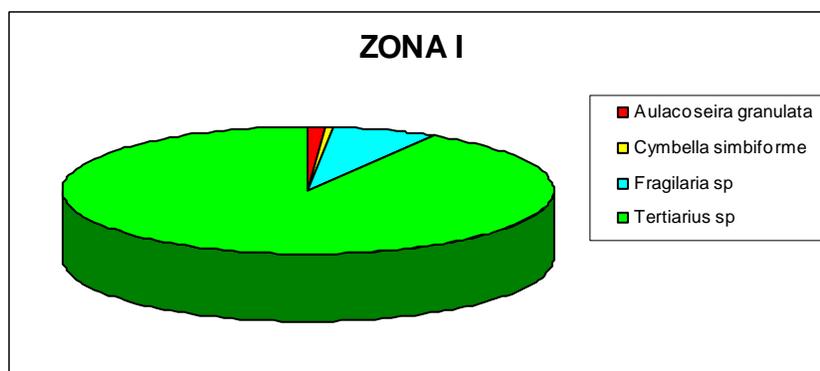


Grafica 1: Diagrama de abundancia de diatomeas de la secuencia estratigráfica de Sanctorum, perteneciente al paleolago de Amajac. A la derecha las líneas grises indican su correspondencia con la caída de ceniza. A la izquierda se muestra su la estratigrafía de la columna de Sanctorum

9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con base en la abundancia de las principales especies de la columna Sanctorum, la secuencia se dividirá para su discusión en 4 zonas, iniciando de la base (zona más profunda o vieja) a la superficie (zona más alta de la columna o más joven).

ZONA I (0 a 1.5 m): En la base de la columna domina *Tertiarius* sp acompañada por *Fragilaria* sp (figura 2). La primera especie es exclusiva de esta zona y es considerada indicadora de aguas abiertas y relativamente profundas. Los sedimentos correspondientes son de grano fino (limonita) y tienen una laminación característica formada por bandas oscuras con pocas diatomeas y bandas blancas ricas en diatomeas. Esta zona representa la etapa mas antigua y mas profunda del lago, donde el material fino fue depositado en un ambiente de baja energía en la zona central del lago (Arellano et al., 2005); sin embargo la presencia de *Fragilaria* sp sugiere cierta influencia de la zona litoral (Gasse, 1986).



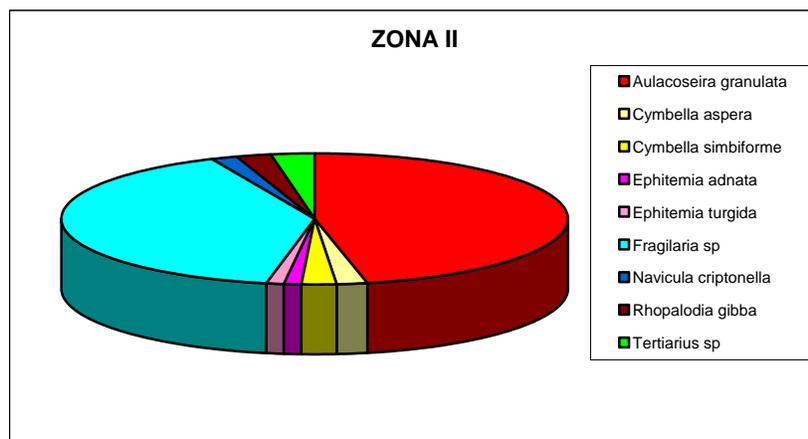
Grafica 2: Abundancias de diatomeas de la zona I que va de los 0-1.5 m.

La presencia de *Tertiarius* sp., que es un género marcador para el Mioceno superior al Plioceno, nos permite hacer algunas inferencias sobre la edad de estos depósitos. Dado que esta es la única zona en la que se registra este género, sin que vuelva a resurgir en el registro, apoya la propuesta de asignación al Plioceno con los datos geológicos y paleontológicos que le asignan esta edad a la secuencia Sanctorum (Kowallis et al., 1998).

En estos mismos estratos Reyes y Vázquez (2003) registraron la mayor abundancia de ostrácodos, con la presencia de las especies *Limnocythere bradbury*, *L. Itasca*; *Candona caudata* y *C. patzcuaro*. Los caparazones estaban

relativamente bien preservados, con 58.5% de caparazones completos. El estado de conservación de las valvas apoya la idea de aguas tranquilas en un ambiente de baja energía. Los mismos autores realizaron una estimación de temperatura y salinidad mediante determinaciones de las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Sr^{2+} en sus valvas, llegando a la conclusión de que estos organismos vivieron en un intervalo de temperatura entre 20°C y 27°C y una de salinidad entre 1150 a 3150ppm. Estos parámetros corresponden con un lago de agua dulce a oligohalino. Por todo lo anterior durante esta etapa se reconstruye que la sección de Sanctorum representa la zona central de un lago relativamente profundo, si bien la zona litoral debió haber estado relativamente cerca, de agua dulce a levemente salobre, en un clima seco.

ZONA II (1.5 a 15 m): En esta sección las especies de diatomeas más abundantes son *Fragilaria* sp. y *Aulacoseira granulata*, siendo la primera dominante hacia la base de esta zona (1.5 a 7m) y la segunda hacia la cima (7 a 15 m). En la etapa dominada por *Fragilaria* sp. la diversidad de especies es mayor con la presencia de *A. granulata* y en menores proporciones *Cymbella aspera*, *C. cymbiformis*, *C. ehrenbergii*, *Encyonema caespitosum*, *Ephitemia adnata*, *E. turgida*, *E. sorex*, *Rhopalodia gibberula*, *R. gibba*, *Nitzschia* sp, *Luticola ventricosa*, *Navicula. criptotenella*, *Synedra* sp, *Coconeis placentula*, y *Pinnularia* sp. (figura 3), Este conjunto de diatomeas denota una reducción en el tirante de agua con respecto a la etapa anterior, ya que la especie dominante es de habito ticoplanctónico y esta asociada con especies de ambientes litorales y aguas levemente más salobres.



Grafica 3: Abundancia de diatomeas de la zona II que abarca de 1.5 a 15 m.

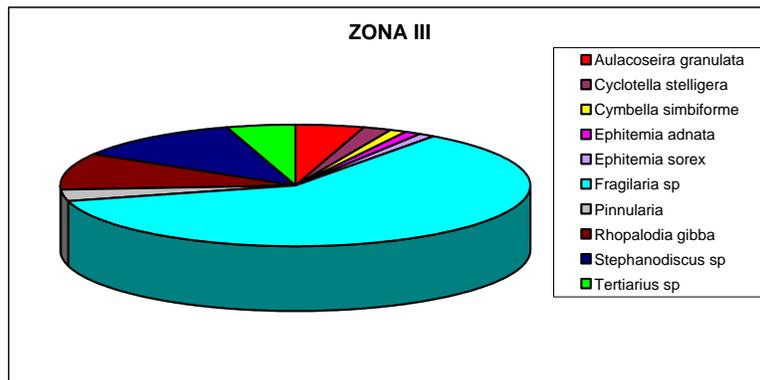
En la sección dominada por *A. granulata*, que es de hábito planctónico, la diversidad es mas baja y prácticamente la única especie asociada es *Fragilaria* sp. por lo que se asume una recuperación en el tirante de agua, si bien el lago debió de haber sido de aguas levemente mas turbias o mas ricas en nutrientes que durante la zona I.

En esta zona hay dos episodios de caída de ceniza cuyos espesores son mayores a dos metros y que correlacionan con una baja en la abundancia de diatomeas. Es posible que estas cenizas sean retrabajadas ya que se encuentran mezcladas con yeso. El resto de los sedimentos de esta zona corresponden a limonita con horizontes de yeso intercalados, la presencia de este mineral apoya la interpretación hacia una disminución del volumen del lago, con un incremento de la salinidad (Arellano *et al.*, 2005).

En los sedimentos de esta zona se han colectado impresiones de hojas de *Platanus*, *Populus*, restos de insectos, ranas y salamandras. Representa la sección de la columna con una mayor abundancia y diversidad en el registro fósil. Además de los restos antes mencionados, por debajo de la segunda caída de material piroclástico también se encontraron restos de gasterópodos pertenecientes a tres familias: Hidrobidae, Planorbidae y Physidae (Flores, 2005). La abundancia de restos de hojas riparias (Aguilar y Ortiz, 2000,), insectos de la comunidad terrestre y la presencia de gasterópodos sugieren, al igual que las diatomeas y el tipo de sedimentos, una disminución en el tirante de agua en comparación con la zona I.

En resumen durante esta zona se interpreta una disminución inicial en el tirante de agua, con un leve aumento en la salinidad, que favoreció la preservación de una amplia gama de restos fósiles como hojas riparias, insectos y gasterópodos. Sin embargo las diatomeas sugieren un aumento en el nivel de agua en la parte superior de esta zona, si bien es probable que la turbidez y nivel de nutrientes hayan sido mayores que en la zona I.

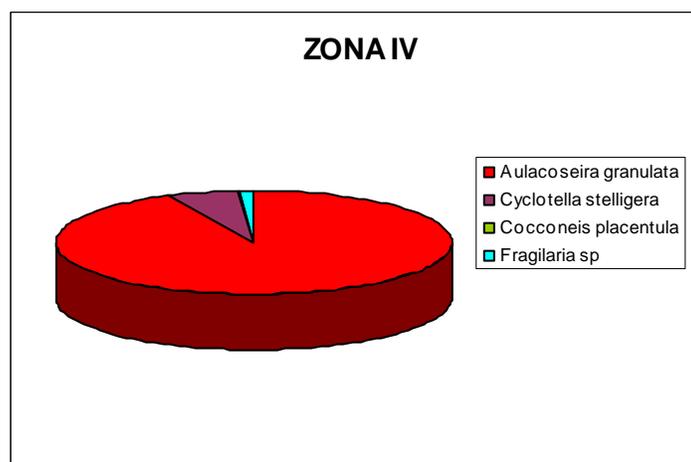
ZONA III: (24.5 al 33 m) (Grafica 1). Entre los 15 y los 23 m no hay presencia de diatomeas y el sedimento corresponde con un bloque de cenizas. Por arriba de estas cenizas se vuelve a presentar la preservación de diatomeas, pero con un cambio marcado en la composición de especies, ya que *A. granulata*, baja drásticamente su abundancia y es substituida por *Fragilaria* sp que nuevamente se convierte en la especie dominante. Con abundancias relativamente bajas también se encuentran *Rhopalodia gibba*, *Pinnularia* sp, *Cocconeis placentula*, *Cymbella cymbiformis*, *Ephitemia adnata*, *E sorex* y *E turgida*. Solo alrededor del metro 30 existe un pico de *Stephanodiscus* sp (93.5%). Este conjunto de diatomeas indica una nueva disminución en el tirante de agua teniendo niveles similares a los de la base de la zona II.



Grafica 4: Porcentajes de abundancia de la zona III que comprende de los 24.5 a los 33 metros.

En esta zona se encuentran estratos de areniscas de grano medio, con intercalaciones de material piroclástico, tobas con abundantes cristales de feldespatos, margas arenosas y así como también láminas delgadas de yesos. En las laminas de esta zona el único grupo fósil además de las diatomeas son pelecípodos (Salvador, 2001; Arellano et al 2005)

Zona IV (33 – 37.5 m): En esta zona se registra un abundante porcentaje de *Aulacoseira granulata* con un 92%, acompañada de *Cyclotella stelligera* y con abundancias muy bajas de *Fragilaria sp.* *Aulacoseira granulata* es una especie planctónica, de aguas dulces circunneutrales por lo que se interpreta una leve recuperación en el nivel lacustre con respecto a la zona anterior.



Grafica 5: Abundancia de diatomeas de la zona IV que abarca entre 33 y 37.5 metros.

Los sedimentos de esta zona son tobas, con intercalaciones de margas arenosa y areniscas de grano fino, con líticos volcánicos (Salvador, 2001; Arellano et al 2005).

En esta zona se han registrado impresiones completas de gasterópodos (Planorbidae), los cuales indican un ambiente de depósito de mediana energía, que debió de haber transportado las conchas de los individuos muertos, de las orillas donde habitan protegidas por la vegetación litoral, al igual que las *Fragilaria* (Flores, 2005).

En los últimos 13 metros (de los 39 al los 51 m) (Grafica 1), no se encuentran diatomeas ni ningún otro grupo fósil debido a la litología (gravas y arena muy gruesa) (Salvador 2001; Arellano et al., 2005).

Durante esta etapa se asume que el lago dejó de existir, dado el tipo de sedimentos acumulados, que sugieren un cambio en el ambiente de depósito hacia mayor energía, favoreciendo la acumulación de conglomerados.

10. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados, se realizó el análisis de diatomeas de la secuencia estratigráfica del paleolago de Amajac, identificando al nivel taxonómico más bajo posible las diferentes especies.

Las cuatro especies más abundantes fueron *Tertiarius sp*, *Fragiliria sp*, *Aulacoseira granulata* y *Stephanodiscus sp*.

Debido a que *Tertiarius sp* no corresponde con ninguna de las descripciones realizadas para este género, se plantea como una nueva especie la encontrada en esta sección. Y este es el primer registro de este género para México y para zonas tropicales, el cual es un indicador bioestratigráfico que permite confirmar la edad de estos los sedimentos como Pliocénicos (hipótesis H1o).

La caracterización ecológica de las especies identificadas permitió realizar una interpretación paleolimnológica que permite aceptar de manera general las hipótesis H2o y H3o, aportando mayor información la cual se resume en los siguientes puntos:

-En la primera etapa la presencia de *Tertiarius sp*. y de sedimentos finamente laminados indica que es la etapa más profunda del lago, pero al mismo tiempo se piensa que la orilla no era muy lejana debido a la presencia de *Fragilaria sp*.

-En la segunda etapa del paleolago de Amajac las especies de diatomeas dominantes de son *Fragilaria sp*. y *A. granulata*, lo cual indica se una disminución del tirante de agua y un leve aumento de salinidad lo que contribuyó a la preservación de varios restos fósiles como insectos y hojas riparias.

-En la tercera etapa existe una caída de ceniza, pero por arriba de este evento vuelve dominar *Fragilaria sp*, ahora prácticamente sin la presencia de *A. granulata*, lo que indica una nueva disminución en el tirante del agua. Solo en un pequeño bloque de esta zona domina *Stephanodiscus sp*. que puede indicar un aumento temporal en el tirante de agua o en el nivel de nutrientes.

-Por último en la cuarta etapa del paleolago reaparece como especie dominante *A. granulata* lo que indica un aumento en el nivel del lago.

Los sedimentos de la cima de la columna apuntan hacia un final de la etapa lacustre, con el paso de sedimentos a conglomerados.

11 BIBLIOGRAFÍA

Aguilar A y Ortiz E., 2000. Estudio Paleontológico de la flora Pliocénica de Santa María Amajac, Hidalgo: Inferencia del paleoclima y de la paleocomunidad. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza UNAM. 63

Arellano, J., Velasco, P., Silva, A., Salvador, R. y Beltrán F., 2005. Origen y Características Geológicas del Paleo-lago de Amajac, Hidalgo. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol: 22(2): 199-211.

Batterbee, R., 1986. Diatom Analysis: En: B.E. Berglung (Ed). Handbook of Holocene Paleocology and Paleohydrology. J Wiley, New York & London. 527-570

Batterbee R., Jones .V., Flower R., Cameron N. y Bennion H., 2001. Diatoms. Edited by Smol J., Birks J. and Mulas W. In Environmental Change using Lake Sediments: vol 3. Klower Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 683

Becerra, A., Guzmán, F. y Velasco, P., 2002. First fossil record of Goodeidae from Hidalgo State (abstract) in Grier, H., Uribe, M.C., (eds). Proceedings of the II International Symposium on Livebearing Fishes, March 19-23: Querétaro, México, 20-21.

Benítez, E., Fernández R. y Rico R., 2001. Diatomeas fósiles de las fases tempranas del paleo-lago Tlaxcala, Mina El Lucero. Resumen # 8. En: Primer Foro de Experiencias PAEA de FES- Iztacala, UNAM.

Beraldi, H., Cevallos S., y Chacón E., 2004 Micro fossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora; México. Cretaceous 25: 49- 263.

Bold, H., y Wynne, 1985. Introduction to the Algae Structure and Reproduction. 2^a edition. Edit. Prentice Hall Inc. London, 720.

Bradbury, J., 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, México. Evidence from Diatoms. Limnology Oceanography. 16 (2): 180-200.

Bradbury, J., 1988. Fossil Diatoms and Neogene, Paleoecology Paleoclimatology Paleogeography. 62: 200-216.

Bradbury, J., 1999. Diatoms as indicators of water level change in freshwater. Edited by Stoermer E F and Smol J P. In *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. University Press Cambridge. 469

Bradbury, J., 2000. Limnology history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*. 163, 69-95.

Caballero M. M., 1997. Last Glacial Maximum in the Basin of de México: The Diatom Record Between 34,000 and 15,000 years BP I from lake Chalco. *Quat. Int.*, Vol 43/44, 125-136.

Caballero, M. y Ortega B., 1998. Lake levels since about 40,000 years ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary. Res.* 50, 69-79p.

Caballero, M.M., Velasco, P. y Severiano, S. 2004 Tertiarius sp. In Pliocene sediments from Central Mexico in 18th International Diatom Symposium. Miedzzydroje, Polonia. 67

Cholnoky, B., 1970. Bacillariophyceenans den Bangweolo-Sümpfen. Hidrobiological survey of Lake Bangweulu, Luapulu River Basin. *Cercle Hidrobiologique de Bruxelles*, 5: 1-71.

Cocquyt, C., 1998. Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika. Edit J Cramer. Band 39. Berlín. 274.

Cuna, E., 2001. Interpretación de los Cambios en las poblaciones de diatomeas presentes en un depósito de diatomita lacustre en Tlaxcala (Sección Santa Bárbara). Tesis de Maestría Instituto de Ciencias del mar y limnología. UNAM. 79.

Demant, A. Y Robin, C 1975. Las Fases del Vulcanismo en México en Relación con la Evolución Geodinámica desde el Cretácico. *Revista del Instituto de Geología*. UNAM. Vol1, 66-79.

Díaz, E., 1917. Diatomeas Fósiles Mexicanas. *Anales del Instituto de Geología de México*. Secretaria de Fomento, Colonización e Industria. México. 31.

Ehrlich, A., 1995. Atlas of the Inland-Water Diatom Flora Israel. Edit Board Jerusalem. 166.

Flores, D., 2005. Gasterópodos del Paleolago de Amajac, Hidalgo. XX Foro de Investigación en salidas Terminales. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

Foged, N., 1984. Fresh water Diatoms in Iceland Bibliotheca Phycologica, Cramen, Vaduz. 15: 117.

Foged, N., 1984. Fresh water and littoral diatoms from Cuba. Edit J Cramer. Band 5. Berlín. 242.

Fuentes, P., 2005. Estudio de los anfibios pertenecientes al Plioceno tardío en la localidad de Sanctorum en el estado de Hidalgo. Orden Anura. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza UNAM. 83.

Gasse, F., 1980. Les Diatomées Lacustres Plio-Pleistocenes du Gadeb (Ethiopie). Systématique Paleocologie, Biostratigraphie. Revue Algologique. Mémoire hors-série n° 3. 249p.

Gasse, F., 1986. East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution. Ed J.Cramer. Band 11. Berlín. 201p.

Germain, H. 1981. Flore des Diatomées Diatomophycées. Ed. Société Nouvelle. Paris. 444.

Häkanson y Khursevich, 1997. Tertiarius Gen. Nov., a new Genus in the Bacillariophyceae, the transfer of some Cyclotelloid species and a comparison to Closely Related Genera. Diatom Research: vol 12 (1).19-33.

Kowalis, B., Carl, C., Carranza, C., Millar, W. y Tingey, D., 1998. Track and sinngli Cristal 40 Ar/39 laser

Kramer, K. & Lange-Bertalot. 1991 Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/1-2/4. Ed. Gustav Fischer. 876.

Kursevich y Kicielek, 1998. New Tertierius (Bacillariophyta: Sthefadiscaceae) species Western North America. 15th International Diatom Symposium. 331-349

Heurck, H., 1962. Treatise on the Diatomaceae. Edit. Cramer. London. 558.

Hodgson, D., Vyverma, W. and Tyler P., 1997. Diatoms of meromictic lakes adjacent to the Gordon River, and of the Gordon River in south-west Tasmania. Edit J Cramer. Band 35. Berlín. 172p

Israde, A y Garduño, M., 1999. Lacustrine record in a volcanic intra- are setting the evolution of the Late Neogene Cuítzeo basin system.(central –

western México, Michoacán). *Paleoecology. Paleoclimatology .Paleogeography.* 151: 209-227p.

Metcalfe, 1992. Changing Environments of the Zacapu Basin, Central México: a Diatom Based Story Spanning the last 30000 years. Research paper 48. School of Geography, University the Oxford.139-141

López, B. , Velasco, P. y Caballero, M., 2004. Registro de diatomeas del paleo-lago de Amajac Hidalgo, México y su aplicación como indicadores de condiciones paleolimnológicas. *Memorias del IX Congreso Nacional de Paleontología.*

Lowe, R., 1974. Environmental requirements and pollution tolerance of fresh water diatoms. National Environmental Research Center. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A. 333p.

Meléndez, B., 1982. *Paleontología. Tercera edición.* Editorial Paraninfo. Madrid. 722

Patrick, R. and Reimer, C., 1966. The diatoms of the United States. Vol. I. *Monography Academic. National. Sci. Philad.,* 13 : 688.

Reyes A. y Vázquez, S., 2003. Determinación Taxonómica y Geoquímica de la concha de ostracodos pertenecientes al Plioceno presentes en Sanctorum Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza UNAM.

Rico, R., Martínez L., Fernández M. y Aragón J., 1992. Esponjas fósiles de algunos depósitos lacustres del Cuaternario de México. Resumen # 144 En: *Memorias del XII Coloquio de Investigación de FES- Iztacala, UNAM:* 74.

Rico, R., Martínez L., Fernández M. y Vilaclara G., 2001. Los Lagos Muertos de México. en: De la Lanza, G., y García J. L., (copiladores). *Lagos y presas de México.* Centro de Ecología y Desarrollo. 679.

Round, F., Crawford R. y Mann D., 1990. *The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera.* Ed. Cambridge University Press. Great Britain. 774.

Rodríguez, B., 2004. Estudio Tafonómico de los peces del Paleo-lago de Amajac, Hidalgo. Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza UNAM.95.

Salvador, R., 2001. Origen Sedimentología y Estratificación del Paleo-lago de Amajac Hidalgo. Tesis de Maestría .Facultad de Ingeniería UNAM. 87p

Scagel, R., Bandoni, R., Maze, J., Rouse, G., Schofield, W y Stein, J., 1991. Plantas no Vasculares. Ediciones Omega. 548.

Segerstrom, K., 1961. Geología del Suroeste de Hidalgo del Noroeste del estado de México. Boletín de Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. 13: 147-168.

Stoermer E., Edloond M., Pilskaín C. y Schelske C., 1995. Silicious microfossil distribution in surficial sediments of lake Baikal. Journal of Paleolimnology 14:69-82.

Stoermer E., and Smol J., 1999. The Diatoms, Applications for the Environmental and Earth Science. Ed United Kingdom University Press Cambridge. 469.

Talliaferro, N., 1933, The relation of volcanism to diatomaceous and associated sediments: Bulletin of the University of California (Depart of Geological Sciences) Vol. 23, 1- 56.

Telford, R., Philip, B., Metcalfe, S. y Newton, A., 2004. Lacustrine responses to tephra deposition examples from Mexico. Quat. Res. 23: 2337-2353.

Trombold C., e Israde I.. 2005 Paleoenviroment and plant cultivation on terraces at La Quemada, Zacatecas, Mexico: the pollen, phytolith and diatom evidence. Journal of Archeological Science. 36-58.

Vilaclara, G., Rico R., y Miranda J., 1997. Effects of perturbation on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. Verh Internat. Limnology. 26: 846-851.

Wetzel, R. 2001. Limnology Lake and river Ecosystems. 3^a edition. Edit. Academic Press. London. 1006

Wolin L. y Duthie C., 1999. Diatoms as indicators of water level change in freshwater. Edited by Stoermer E F and Smol J P. In The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. United Kingdom University Press Cambridge. 469

12. GLOSARIO

ACIDÓFILA: Especies que se desarrollan y son abundantes en un pH inferior a 7 (Lowe, 1974).

AEROFILA: Término usado para las diatomeas encontradas comúnmente en los ambientes aéreos secundarios, a menudo el viven expuesto al aire, y sumergido totalmente debajo del agua (Stoermer y Smol, 1999)

ALCALIBIÓNTICA: Especie que se localiza en aguas con un pH por arriba de 7, asumiendo que se requiere de estas condiciones para su crecimiento (Lowe, 1974; Stoermer y Smol, 1999).

ALCALIFILA O ALCALINÓFILA: Diatomeas que prefieren habitats en el cual el pH es mayor de 7 (Lowe, 1974; Stoermer y Smol, 1999).

BENTICO: Organismos que viven pegados al substrato (rocas, arena, fango, registros y plantas) o si no viven en el fondo de ecosistemas acuáticos (Stoermer y Smol, 1999).

CIRCUMNEUTRAL: Diatomeas que tienen una gran abundancia en pH con valores alrededor de 7 (Stoermer y Smol, 1999).

EPIFÍTICA: Relativo a organismos que viven sobre plantas acuáticas (Bradbury, 1988).

EPILÍTICA: Organismos que viven en rocas húmedas o en otras superficies sumergidas (plásticos, metal, vidrio y madera)(Bradbury, 1988).

EPIVALVA: Valva superior del frústulo que cubre y embona por la parte exterior con la hipovalva (Round, et al., 1990)

EUPLANCTÓNICO: Organismos verdaderamente planctónicos que pasan su vida entera que flota en el agua abierta (Stoermer y Smol, 1999).

EURIHALINA: Se refiere a organismos con un extenso rango de tolerancia a la salinidad (Stoermer y Smol, 1999).

EURITERMAL: Encontrándose sobre un rango de temperatura de 15° o mayor (Lowe, 1974)

EURITIPOS: Organismos que viven dentro de un gran rango de parámetros ambientales, estos son luz, temperatura, nutrimentos, etc (Stoermer y Smol, 1999).

EUTERMAL: Propio de especies que viven en aguas termales, usualmente con una temperatura superior a los 30°C (Lowe, 1974).

EUTRÓFICA: Especie característica de aguas con alto contenido de nutrimento (Patrick and Reimer, 1966; Stoermer y Smol, 1999).

HALOFILA: Organismo que prefieren o son más abundantes en hábitats que contienen de una relativa a una alta concentración de salinidad (Stoermer y Smol, 1999).

HALOFILA INDIFERENTE: Organismos que son abundantes en cualquier concentración o rango de salinidad (Stoermer Smol, 1999).

HIPOVALVA: Valva inferior del frústulo, en menor tamaño que la epivalva (Round *et al.*, 1990)

LIMNOBIONTICO: La única característica es que solo se encuentra en medios acuáticos (Lowe, 1974).

MESOHALINAS: Organismos que se encuentran en una salinidad de 0.5 – 30 g/l (Stoermer y Smol, 1999).

MESOSAPROBIA: Relativo a zonas con procesos medianamente intensos de putrefacción de desechos de origen orgánico (Lowe, 1974).

(β-mesosaprobia): Relativo a zonas con una menor cantidad de contaminación de materia orgánica (Lowe, 1974).

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

MESOTRÓFICA: Relativo de aguas con moderada concentración de nutrimentos (Lowe, 1974)

OLIGOHALOBIA: Formas que se encuentran en aguas continentales en concentraciones de salinidad menores de 0.5 g/l (Stoermer y Smol, 1999).

OLIGOHALOBIA INDIFERENTE: Solo tolera pequeñas cantidades de sal (Lowe, 1974; Stoermer y Smol, 1999).

OLIGOSAPROBIA: Relativo a zonas con oxidación completa de componentes biodegradables, los cuales se acumulan en baja cantidad (Lowe, 1974)

OLIGOTRÓFICA: Relativo a zonas con baja concentración de nutrimentos (Lowe, 1974)

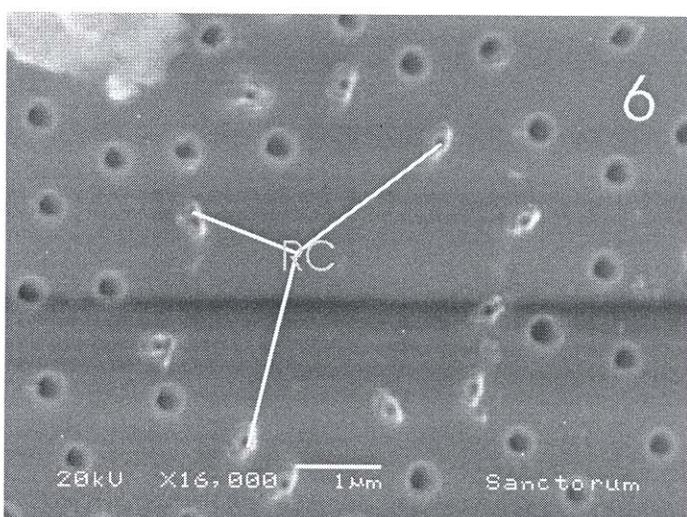
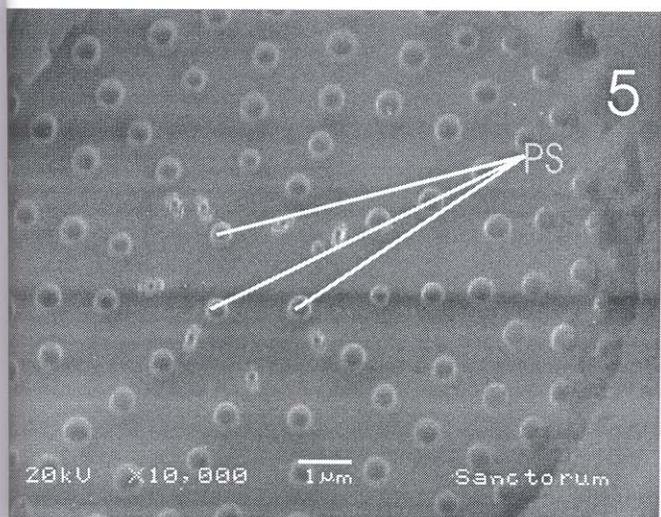
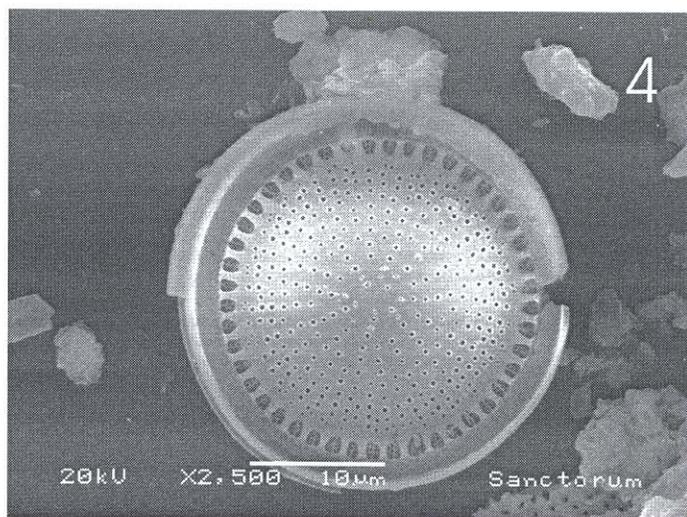
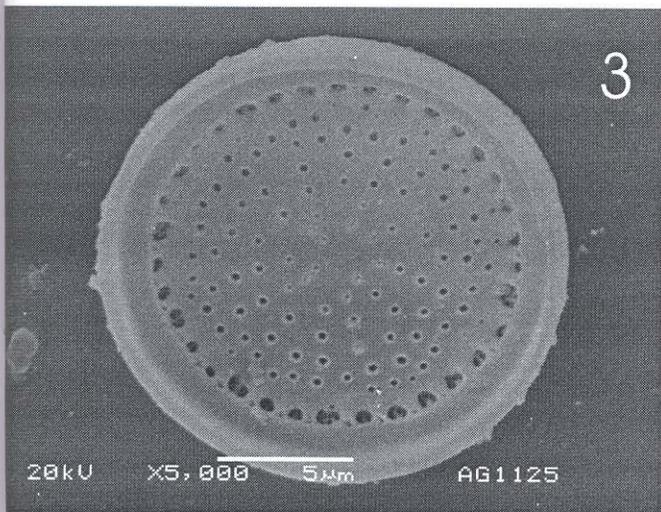
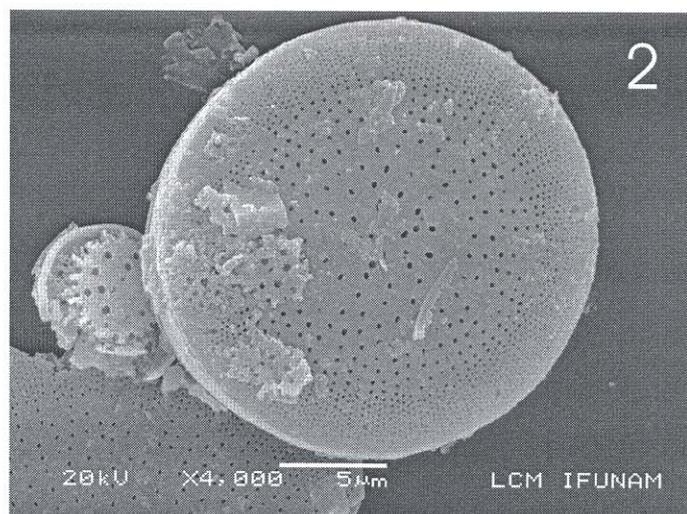
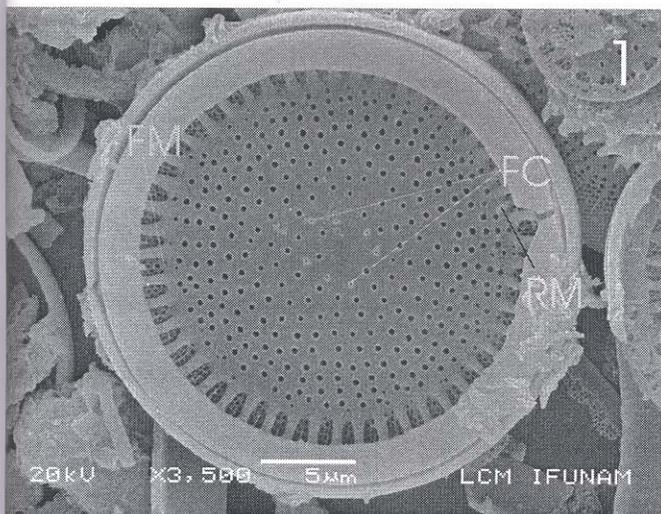
PERÍFITICA: Relativa a habitar sobre otros vegetales sumergidos (Stoermer y Smol, 1999).

SAPROFOBICO: Organismos característico de aguas que no han sido expuestas a la contaminación orgánica (Lowe, 1974).

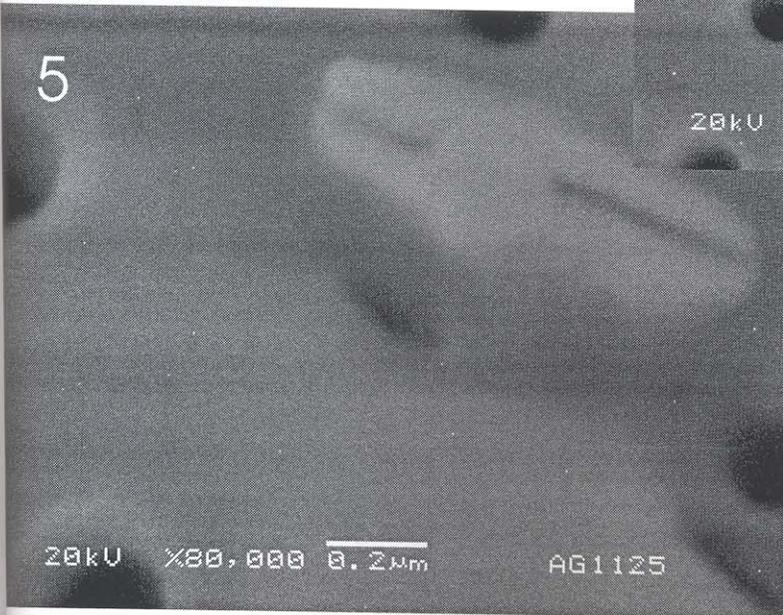
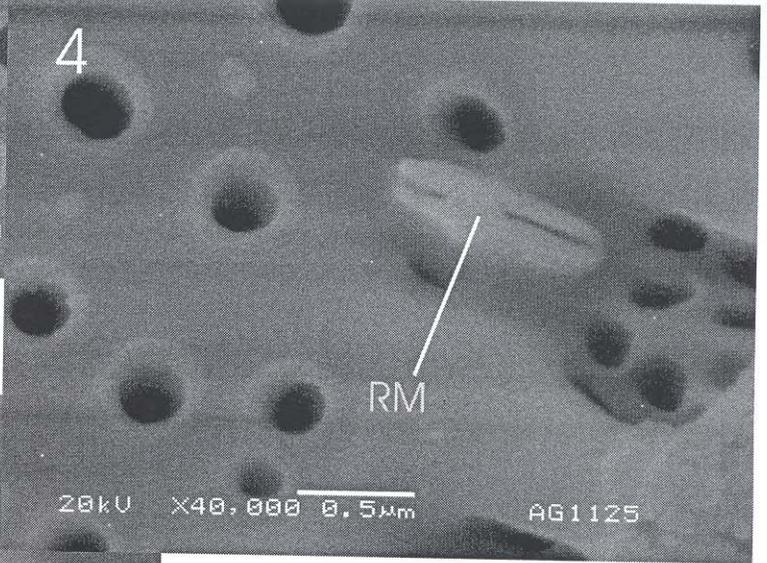
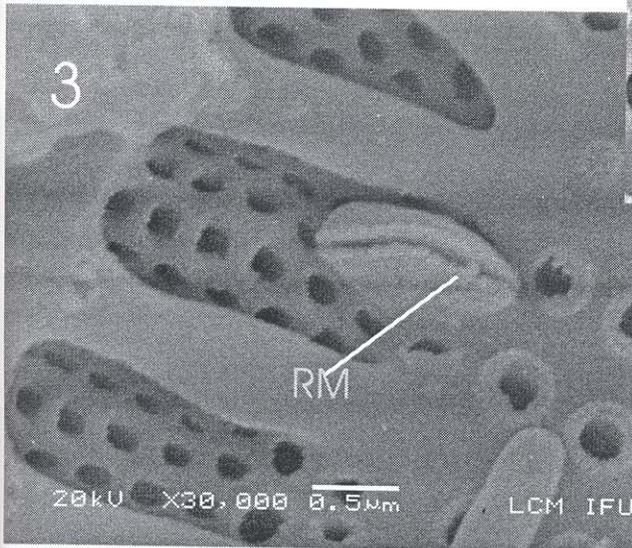
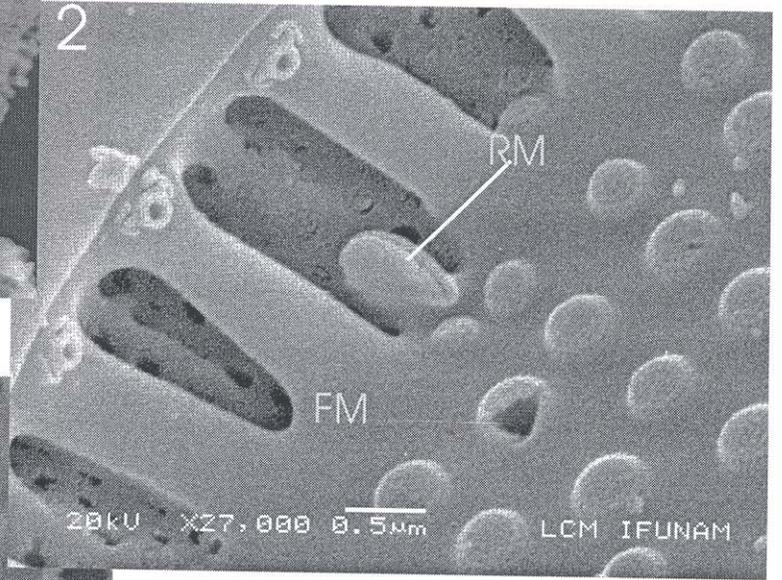
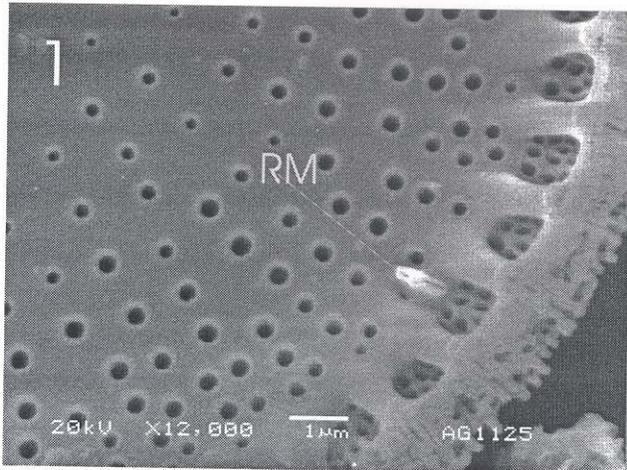
SAPROXENO: Organismo característico de aguas limpias, aun que también puede vivir en presencia de contaminación (Lowe, 1974).

TICOPLANCTÓNICO: Relativo a organismos bentónicos o epifitos que, por resuspensión turbulenta, aparecen como organismos planctónicos (Lowe, 1974)

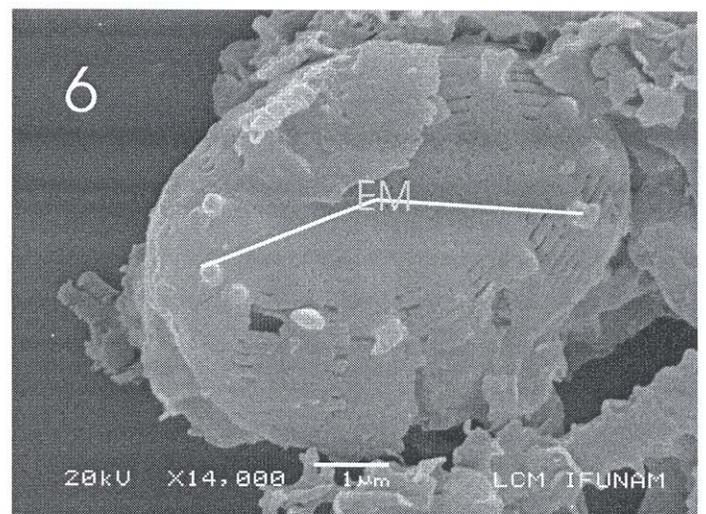
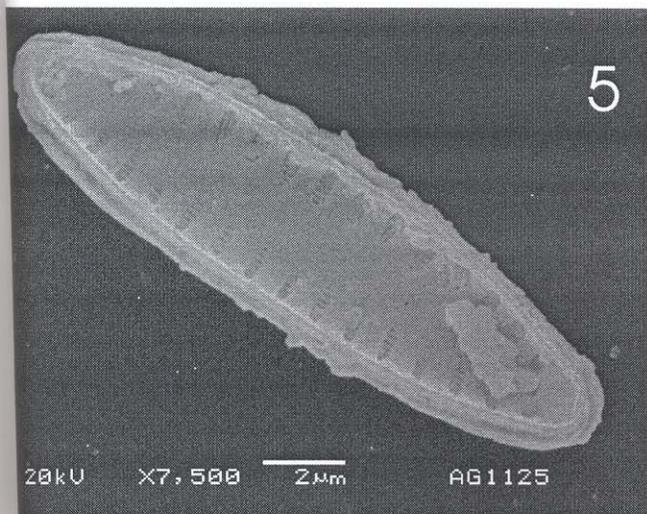
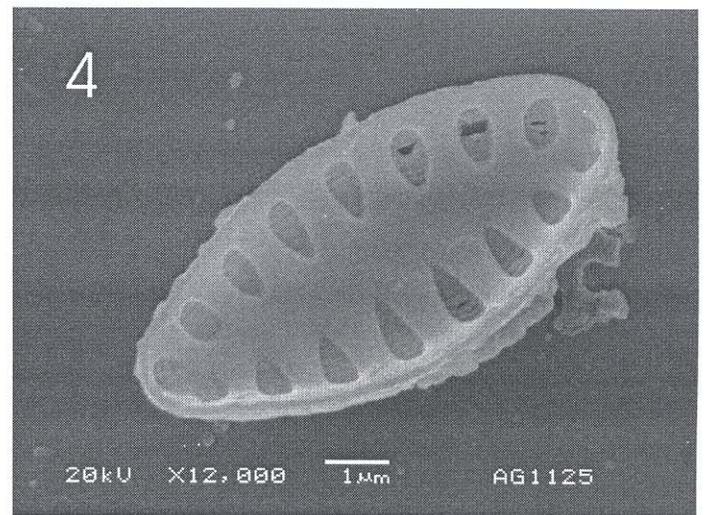
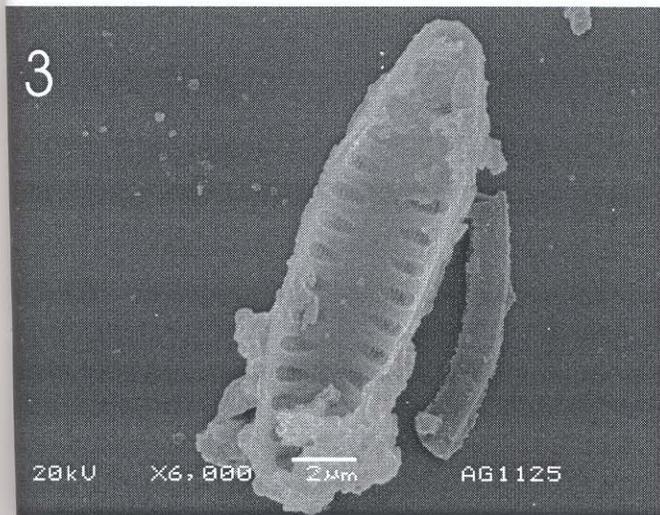
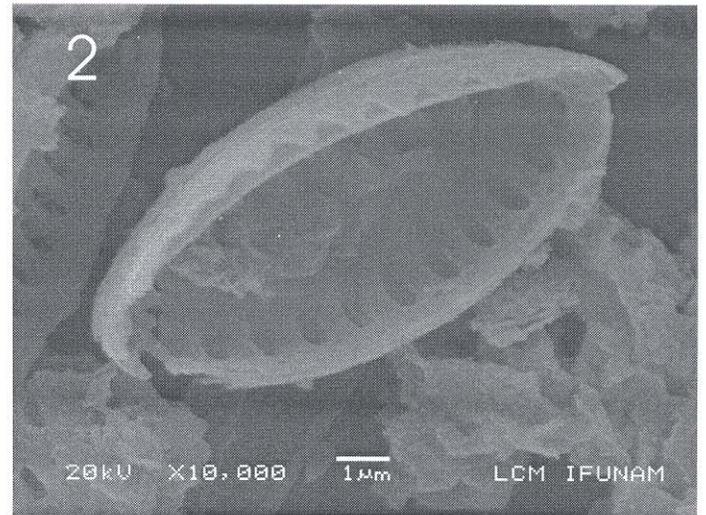
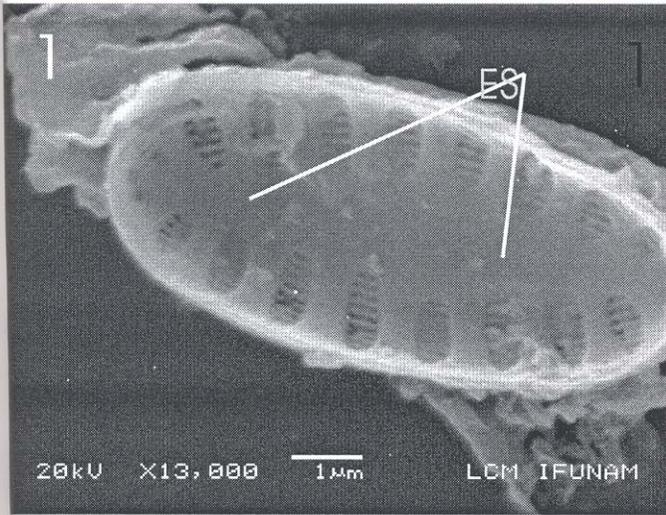
PLACA A



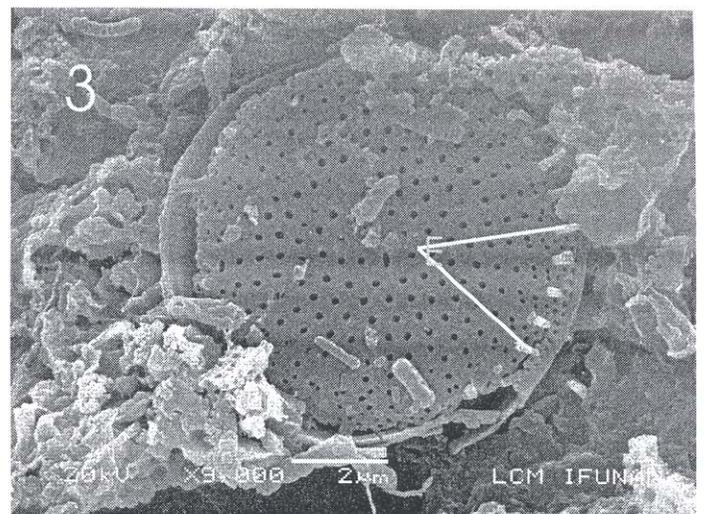
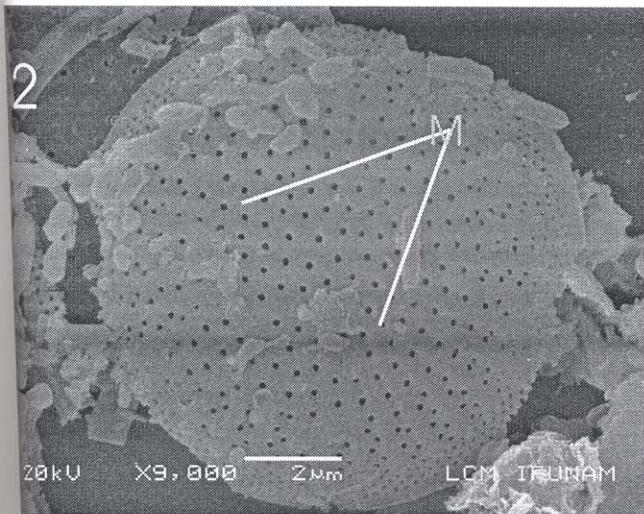
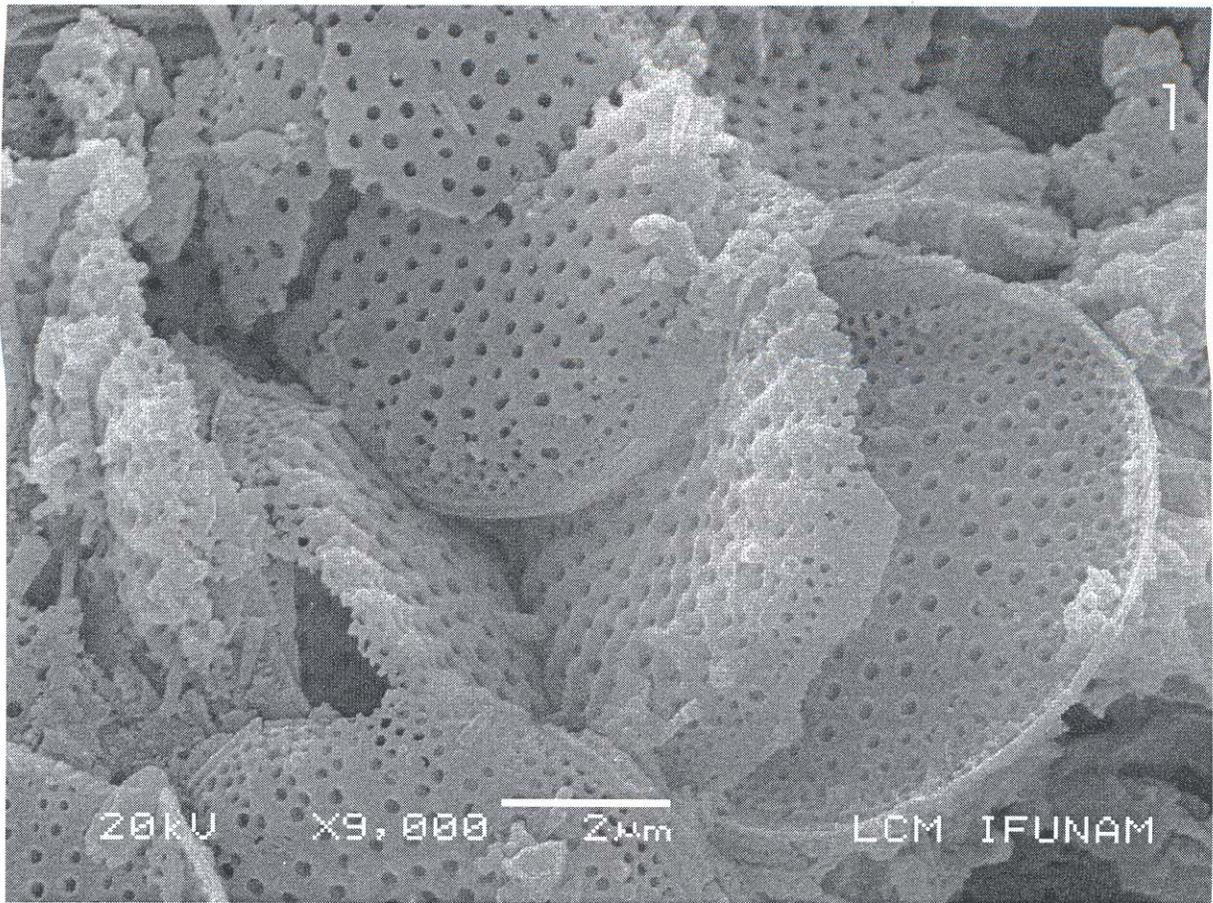
PLACA B



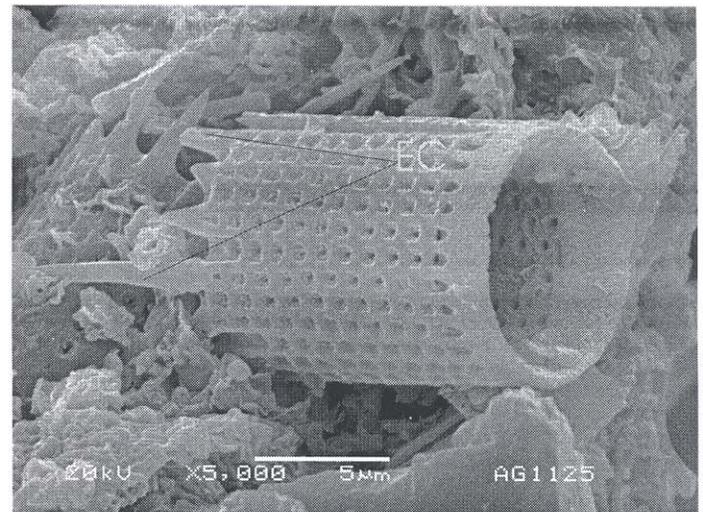
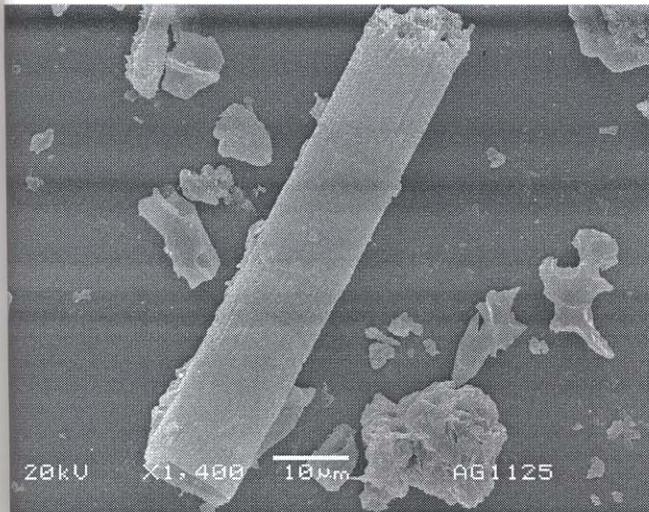
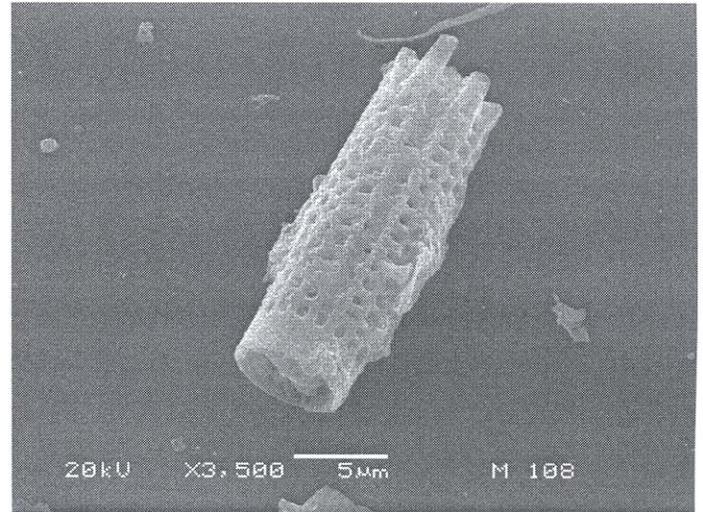
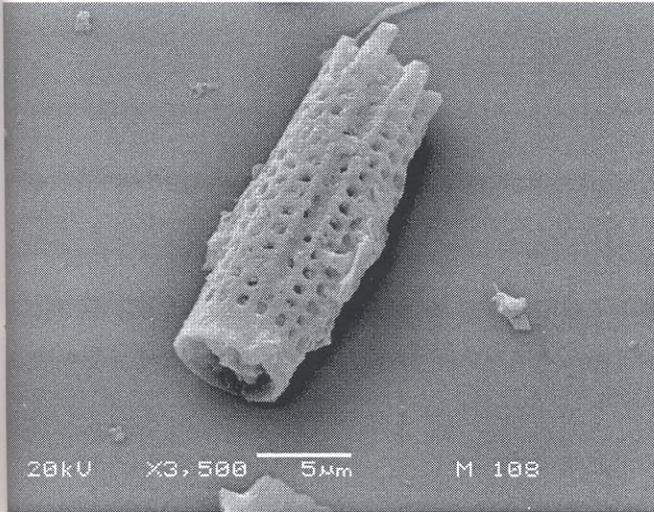
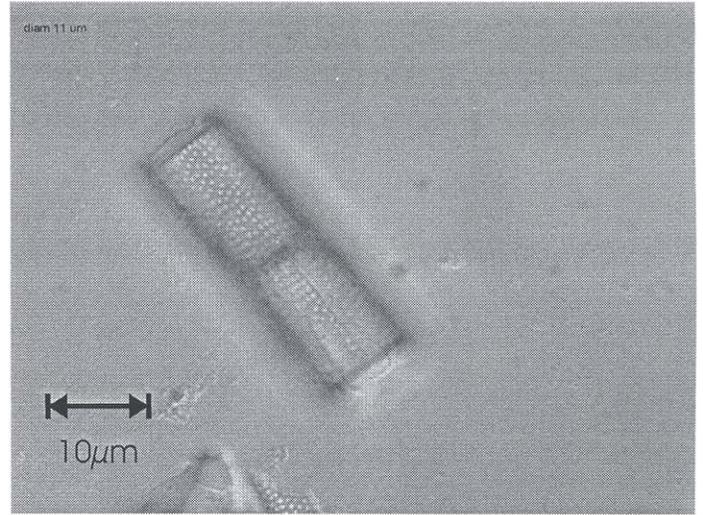
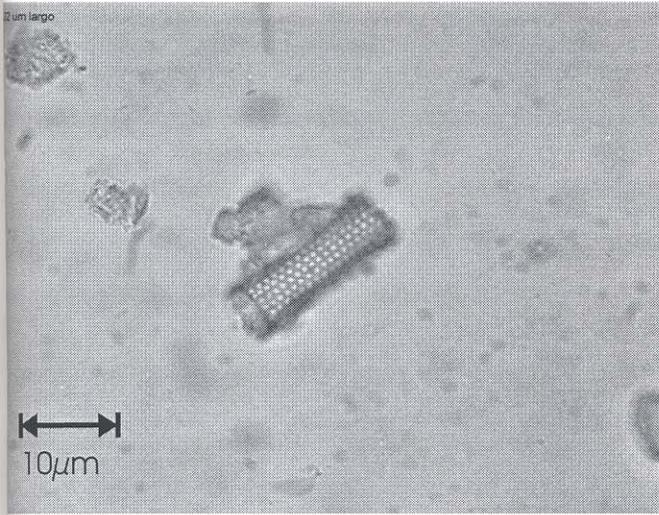
PLACA C



PLACA D



PLACA E



PLACA F

