

00361

33
2 ej'



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA

FACULTAD DE CIENCIAS

"EL DEPOSITO DE DIATOMITA DE SAN FRANCISCO LOS REYES
MICHOACAN"

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

p r e s e n t a

ADELA MARIBRITA REYES SALAS



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 está 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.

C O N T E N I D O

| | pág. |
|------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCION..... | 2 |
| Características generales e importancia de las diatomeas..... | 3 |
| Diagénesis en diatomeas..... | 11 |
| ANTECEDENTES..... | 16 |
| AREA DE ESTUDIO | 20 |
| MATERIAL Y METODO..... | 21 |
| RESULTADOS..... | 24 |
| DISCUSION DE RESULTADOS..... | 54 |
| CONCLUSIONES..... | 58 |
| LITERATURA CITADA..... | 59 |

RESUMEN

Se estudio un depósito de diatomita, en San Francisco los Reyes, Estado de Michoacan. Esta diatomita se caracteriza por la presencia de concreciones en forma de nódulos por lo que se investigo su aspecto diagenético, para esto, se emplearon técnicas de Microscopía Electronica de Barrido (MEB), Energía Dispersiva de rayos X y Difraccion de rayos X. Se observaron las siguientes facies mineralogicas: Opalo A; Opalo A' y Opalo CT, este ultimo tanto en forma masiva como en lepisferas, formando porcelanita. Se comprueba el origen biogenico de estos minerales. Este trabajo representa el primer reporte de silice biogenico a partir de sedimentos lacustres. La determinacion de las especies se realizo mediante la Microscopía de Luz (ML) y MEB. Se determinaron 35 especies comprendidas en 19 generos siendo en su mayoría taxa característicos de agua dulce, clima templado tendiendo a cálido, hábitat poco profundo de tipo béntico, litoral, epifítico, cuya representación de especies pláncticas haya sido probablemente afectada por la diagenesis. Se sugiere una edad Cuaternaria, en virtud de la presencia de *Synedra goulardii* puesto que esta tiene estrias doblemente puntuadas a diferencia de las formas fosiles del Plioceno que presentan estrias simples y debido a que todos los taxa registrados son actuales.

INTRODUCCION

Las diatomeas son de gran importancia para conocer los ambientes de tiempos pasados, ya que se encuentran en todos los hábitats, además de que se reproducen en poco tiempo, lo que les permite reaccionar rápidamente a los cambios ambientales. Algunas se encuentran en todas las latitudes y longitudes del mundo, con distribución geográfica cosmopolita; en cambio, otras sólo existen en ciertas regiones y climas, presentando diferentes grados de endemismo. Las diatomeas existen en todos los ambientes húmedos, tanto dulceacuícolas, como marinos; presentando límites de tolerancia, respecto a su hábitat y otros factores ambientales como pH, corrientes, salinidad, riqueza de nutrimentos y temperatura. De este modo, su distribución y exigencias fisiológicas están relacionadas estrechamente con las características fisicoquímicas del agua; razón por la cual, son de gran utilidad como indicadoras de dichas condiciones. Por lo que es importante destacar que esta diversidad ecológica les proporciona un gran valor en el estudio paleoecológico.

Es posible determinar las especies con un alto grado de certeza, ya que la estructura y la ornamentación de la valva son una constante notable para cualquier especie dada. Resulta ventajoso que la taxonomía de las diatomeas, se base fundamentalmente en las características morfológicas de las frústulas; ya que en consecuencia, tanto las especies fósiles como las actuales se

identifican utilizando las mismas fuentes bibliográficas. Las diatomeas, a pesar de poseer frústulas de sílice resistente, por lo cual son las algas fósiles mejor preservadas, sus restos están sujetos a diagénesis. Por éste motivo, al realizar cualquier interpretación, es importante entender la diagénesis en las diatomeas.

Características generales e importancia de las diatomeas.

Las diatomeas son organismos microscópicos, unicelulares y en ocasiones forman colonias, pueden flotar libremente (pláncticas) o estar adheridas en alguna superficie (bénticas). Debido a su abundancia forman una parte importante del fitoplancton, resultando básicas en las cadenas alimenticias. Se caracterizan por tener una frústula silícea compuesta por dos valvas, con una banda que cubre la unión de estas; asimismo, estas estructuras están formadas por SiO_2 amorfo hidratado que tiene la fórmula general $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ y es llamado ópalo biogénico; biogénico, se refiere a cualquier sustancia formada por actividad biológica; ópalo es la forma mineralógica del sílice en éstos organismos y en otros como los radiolarios, esponjas y silicoflagelados (Round 1981; Schelske et al., 1986). Varios autores, como Siever (1962), Lewin (1961), Hecky y Kilham (1973) y Williams et al., (1985), entre otros, han referido para el ópalo biogénico una composición altamente variable con cantidades

desde muy pequeñas hasta trazas de potasio, sodio, hierro, aluminio, titanio y magnesio. Es muy similar al ópalo mineral inorgánico; prácticamente los dos tienen el mismo índice de refracción y la diferencia entre ambos, probablemente se relaciona con un valor menor de la parte hídrica en el ópalo biogénico, lo que lo hace más resistente a la corrosión. (Lohman, 1960).

En el pasado, las diatomeas, han sido consideradas animales o plantas, ya que poseen atribuciones de ambos. Son organismos fotosintéticos, poseen una combinación de clorofila a, clorofila c: carotenoides tales como β -caroteno, ficoxantina, diadinixantina, diatoxantina y neoficoxantina (Werner, 1977). Estos pigmentos, actúan de manera similar a la clorofila de las plantas superiores para sintetizar compuestos complejos de carbono, a partir de dióxido de carbono y agua, a través de la acción de la luz del sol. Esta es una de las características principales que comparten con las plantas. Por otro lado, almacenan sustancias de reserva como grasa lipóide y muchas tienen la capacidad de moverse independientemente, siendo estas algunas de sus características que comparten con los animales.

Registro fósil y evolución.- Las diatomeas más antiguas que se conocen actualmente corresponden al Cretácico y se encuentran en abundancia y gran diversidad a través de las eras Mesozoica y Cenozoica. (Taylor, 1977). Su aparente ausencia en estratos más

antiguos, pudiera deberse a que el sílice no se preservase en las condiciones químicas que prevalecían entonces. (Delevoryas, 1962). Las especies fósiles marinas que en la actualidad se conocen con plena certeza proceden del Cretácico; sin embargo, las formas fósiles de agua dulce son anteriores al Oligoceno. (Delevoryas, 1962); lo anterior sugiere un origen marino para estas últimas. Es interesante el hecho de que las formas céntricas predominan en los estratos más antiguos y en la actualidad, en los océanos, pero no en agua dulce. Muchas especies fósiles pueden encontrarse en el Reciente, si bien, así mismo, muchas formas fósiles están aparentemente extintas. (Vinyard, 1979).

Los grandes depósitos de diatomeas fósiles reciben distintos nombres, como diatomita, tierra de diatomeas, kieselgur o tripoli. Los antiguos mexicanos los denominaban tizatli (tizar o tizate).

Las diatomeas fósiles han sido muy útiles en bioestratigrafía. Esta aplicación ha sido promovida en gran parte por el uso de núcleos de sedimentos del fondo marino así como por la integración de los datos de diatomeas con otros grupos de microfósiles: las diatomeas fósiles también han sido empleadas en reconstrucciones paleoecológicas y paleoambientales, como indicadores de la química del agua, paleosalinidad, paleoprofundidad, paleotemperatura y concentración de paleonutrientes; también han sido importantes como indicadores de paleocorrientes, muchas diatomeas que han permanecido en suspensión han podido ser transportadas lateralmente, con facilidad, en algunos casos, por varios miles de kilómetros, este

desplazamiento ha sido empleado, como indicador de la estabilidad de corrientes en épocas pasadas (Burckle, 1980).

Diatomeas bien preservadas, han sido encontradas en la lutita de la Formación Moreno de California, este conjunto ha contenido una excelente flora de 130 especies correspondiendo a 45 genera (Hanna, 1934 in Tappan, 1980). Así mismo, también ha comprendido una gran cantidad de especies extintas y también diversificadas, lo que ha confirmado que el origen de las diatomeas como unidad biológica pudo haber tenido lugar mucho antes, esto es, en el Mesozoico o posiblemente en el Paleozoico. Las diatomeas marinas han estado representadas en todas las secuencias de unidades de tiempo geológico, incluyendo el Reciente con un incremento de diversificación hasta la actualidad.

El registro geológico de diatomeas no marinas ha sido más corto que el de las marinas. De acuerdo con Lohman y Andrews (1968), durante el Eoceno tardío las diatomeas invadieron el agua dulce, al menos en Estados Unidos de América.

Ecología.- En la actualidad, existen diatomeas en todos los ambientes húmedos, en aguas dulces, salobres y marinas. Muchas de ellas están muy especializadas y adaptadas a hábitats tales como cascadas, cuerpos de agua dulce, sobre hielo, suelo húmedo, pantanos de turba, algunas son pelágicas y libres flotantes; mientras que otras viven adheridas a piedras, plantas acuáticas y otros objetos sumergidos; otras viven sobre el fondo de cuerpos de agua someros o ríos, etc.

Diferentes especies y en algunos casos hasta géneros de diatomeas están confinados a uno o más hábitats, reflejando su tolerancia individual para el agua de varias combinaciones de salinidad, temperatura, pH, nutrimentos, luz, etc.

Muchos estudios demuestran que la distribución ecológica y geográfica de especies de diatomeas es extraordinariamente amplia, es por ello que al realizar estudios paleoecológicos, se debe tomar todo un conjunto o asociación de especies de diatomeas y no únicamente la presencia o ausencia de una sola especie de diatomea "indicadora" (Bradbury, 1975).

De acuerdo con las tolerancias físico-químicas y ecológicas de distintas especies de diatomeas, estas son colocadas en clases las cuales se definen como espectros. A continuación se muestra varios espectros de clasificación ecológica y paleoecológica de diatomeas de acuerdo a: Hustedt 1930 (in Foged, 1948), Abbott y Van Landingham (1972), Round (1981), Metcalfe (1985), Foged, 1948).

Espectro de pH

Acidobiótico.- Se encuentra entre pH 7.0, con un desarrollo óptimo abajo de pH 5.5

Acidófilo.- Se encuentra alrededor de pH 7 pero con óptimo desarrollo abajo de pH 7

Neutrófilo.- Se encuentra alrededor de pH 7

Alcalifilo.- Se encuentra en pH 7, pero con un desarrollo óptimo arriba de pH 7

Espectro halóbico (salinidad)

Oligohalobio.- Formas de agua dulce; sin embargo, también se encuentran en aguas con una salinidad de aproximadamente alrededor .5%

a.- Halofobio.- Sólo en agua dulce

b.- Indiferente.- Generalmente formas de agua dulce

c.- Halófilo.- Distribuidas ampliamente en agua dulce, pero se desarrollan bien en aguas ligeramente salobres

Mesohalobio.- Especies de agua salobre en aguas con una salinidad que oscila entre .5-2%

Euhalobio.- Especies marinas que se desarrollan en una salinidad de 2-4%

Espectro de corriente

Limnobiótico.- Existen sólo en aguas estancadas

Limnófilo.- Se encuentran principalmente en aguas estancadas

Indiferente.- Existen tanto en aguas estancadas como en corrientes

Rehófilo.- Se presentan principalmente en aguas corrientes

Rehobiótico.- Formas típicas de aguas corrientes (ríos)

Espectro de temperatura

Eutermal.- Aguas cálidas, usualmente se encuentran a más de

30°C

Mesotermal.- Formas de agua templada, comunmente se encuentran entre 15 a 30°C

Oligotermal.- Agua fria, diatomeas que se encuentran entre 0 a 15°C

Espectro de hábitat y microhábitat

Euplántico.- Normalmente estan suspendidos en agua

Ticoplántico.- Comunmente asociado con habitats perifíticos o terrestres, pero con frecuencia suspendido en agua

Perifítico, litoral o béntico.- Existen en sustratos u objetos sumergidos, algunas veces usados para diatomeas que se encuentran en el margen de cuerpos de agua

Epipélico.- Se encuentran en lodo

Epilítico.- Se encuentran en rocas

Epidéndrico.- Se encuentran sobre madera

Epifítico.- Se encuentran sobre plantas

Epizóico.- Se encuentran sobre animales

Episámico.- Se encuentran sobre granos de arena

Sésiles.- Normalmente adheridas

Libres.- Normalmente inhaderidas

Estructura.- De acuerdo con su forma, las diatomeas se dividen en

dos grandes grupos: las Centrales o céntricas, que son generalmente circulares, en vista valvar, y carecen de un rafe y pennaes o pennadas que son más alargadas, algunas de ellas tienen sólo dos planos de simetría, apical o transapical. Tappan (1980). Las frústulas de las diatomeas tienen dos valvas que semejan una caja con tapa, como las cajas de Petri. Cada tapa tiene una superficie valvar plana y una o varias bandas circundantes. La valva exterior es llamada epiteca y la interna, hipoteca. La superficie valvar es la que se observa con más frecuencia y es el patrón, estructura y ornamentación de esta superficie la que forma la base para la determinación bajo el microscopio de luz y el microscopio electrónico de barrido. Las partes principales de una frústula pueden observarse en la Figura 1 y son las siguientes:

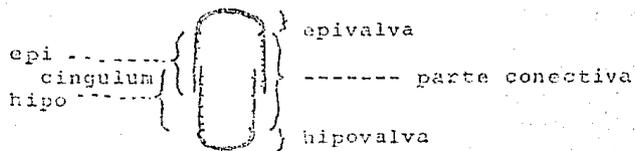
FRUSTULA: epiteca + hipoteca, o
epivalva + cingulo + hipovalva

a.- Epiteca: epivalva + epicingulum
b.- Hipoteca : hipovalva + hipocingulum

Estas valvas pueden presentar estructuras y ornamentaciones como : elevaciones, septos, aristas marginales, campos hialinos, quillas, costillas, sulcos, ocelos, areolas, operculos, estrias, procesos labiados, poros, puntuaciones, etc. Existe una diversificada terminología para los componentes silíceos de las frústulas de diatomeas. (Anonymous 1975).

Taxonomía de las diatomeas.- La clasificación de las diatomeas fue establecida por Schütt en 1896. él consideró a las diatomeas como un orden de Algae, Bacillariales (Diatomeae), divididas en

epivalva + epicíngulum = epiteca



hipovalva + hipocíngulum = hipoteca

epiteca + hipoteca = frústula

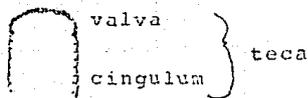


Fig. 1 Componentes de la frústula y la teca.

(Anonymous, 1975).

dos subórdenes Centrales y Pennales. (Lohman, 1960). Esta clasificación propició un buen número de ambigüedades, durante unos 40 años. Hasta que Hendey en 1937, (in: Lohman, 1960) propuso una modificación de ella: consideró a las diatomeas como una clase de Algae, Bacillariophyceae, comprendiendo un orden, Bacillariales, que está dividido en diez subórdenes. Esta resultó ser una clasificación práctica, pues eliminó muchas imprecisiones del sistema más antiguo. El grupo comprende alrededor de 300 géneros y entre 12,000 a 16,000 especies (Werner, 1977).

Diagénesis en diatomitas.

Se adopta para el concepto de diagénesis la definición de Dapples (1959), modificada; diagénesis, son los cambios en la composición mineral y textural que tienen lugar en un sedimento durante su depositación, su litificación y su postlitificación. La importancia de este factor en estudios paleoecológicos, se refleja en los cambios progresivos que presentan las diatomeas desde que se incorporan en el sedimento. A continuación se señala algunos puntos importantes referentes a la diagénesis de las diatomeas en estudios paleoecológicos:

- Permite relacionar más adecuadamente la tanatocenosís con la biocenosis; asimismo, se puede conocer el estado de preservación de los depósitos fósiles y destaca la importancia que tiene el ambiente sedimentario en las alteraciones del

registro fósil de conjuntos de diatomeas en algunos estratos.

Entre los factores que intervienen en la disolución de las frústulas están los siguientes:

a.- Ambiente sedimentario. Tiene gran influencia, por ejemplo, en los depósitos de arcilla se acelera la disolución; lo mismo sucede en áreas carbonatadas, en cambio, en los medios muy alcalinos y salinos, esta es menor.

b.- Distinta susceptibilidad a la disolución entre especies. Las frústulas de distintas especies tienen diferente tasa de disolución lo que se comprueba con diversos trabajos experimentales: las especies más frágiles y delicadas tienen menos probabilidades de preservarse. Las diatomeas fósiles se disuelven con mayor lentitud que las recientes, es decir, en las diatomeas fósiles, la tasa de disolución, disminuye con el tiempo.

c.- Iones adsorbidos. Está ampliamente estudiado que el magnesio, el hierro y el aluminio, producen una cubierta de silicatos insolubles; así, previenen, retardan o disminuyen la disolución del silice. El aluminio es uno de los elementos más efectivos para combinarse con el silicio.

d.- Áreas superficiales. Hay una disminución en el área superficial con incremento de la edad geológica. También es variable entre especies.

e.- Grosor de la pared. La pared varía de grosor según la especie de que se trate, por ejemplo *Coscinodiscus asteromphalus* alcanza hasta 25,000 Å en tanto que *Navicula pelliculosa* tiene una

variación en el grosor desde 200 hasta 600 Å. Por lo general las formas bálticas tienen paredes más gruesas que las pláncicas. Lewin (1961).

f.- Tasa de sedimentación. En áreas de sedimentación rápida hay buena preservación; en cambio, en áreas de baja sedimentación muchas frústulas muestran disolución parcial.

Explicación de la diagenesis en diatomitas. La diagénesis de las diatomitas se explica por medio de procesos de disolución-reprecipitación. Las vías diagenéticas del silice son controladas principalmente por la solubilidad acuosa de las fases, que es primeramente, una función de la estructura del cristal, así como del tamaño de partícula y de su forma. Tanto observaciones de campo como de laboratorio muestran claramente que la secuencia diagenética del silice biogénico en forma generalizada puede esquematizarse así:

(1) Opalo-A (fango silíceo biogénico)

(2) Opalo-A' (silice amorfo secundario)

(3) Opalo-CT (cristobalita-tridimita)

Cuarzo criptocristalino o

porcelanita

(4) Cuarzo microcristalino

calcedonia o

pedernal

En seguida, se explica con mas detalle las formas mineralógicas que resultan del proceso diagenetico, a partir de las frustulas.

Opalo A - (1) Constituye la forma mineralogica del silice en diatomeas, radiolarios y espiculas de esponjas; estas estructuras se acumulan y a partir de ella procede progresivamente la diagenesis durante el enterramiento. Este ópalo-A es amorfo a los rayos X, en el patrón de difracción se observan paquetes anchos y difusos centrados alrededor de 4.1 Å.

Opalo A' - (2) En ésta fase, la disolución y la precipitación se presentan simultaneamente. La ornamentación valvar es lo primero que se disuelve, desapareciendo las estructuras mas robustas. A los rayos X, tambien es amorfo y en el difractograma se observa con paquetes difusos y anchos, centrados alrededor de 4.1 Å.

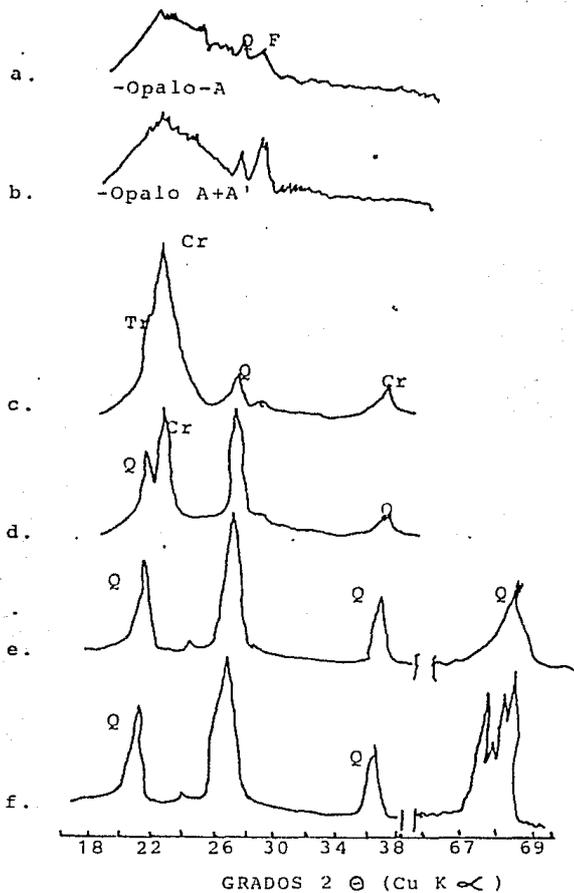
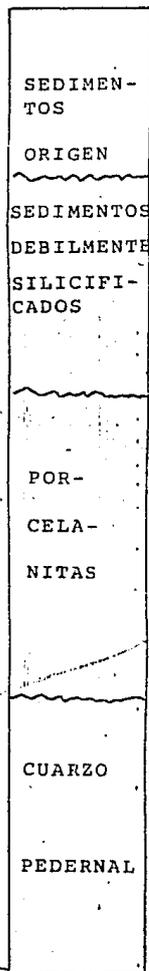


Fig.2 Patrones de difracción de rayos x, representando la secuencia diagenética Q= cuarzo (detritico en a-c, o diagenético en d-f) F=feldespato (detritico) Cr=Cristobalita. Tr.=Tridimita. (Williams y colaboradores, 1985).



FUENTE DE SILICE
vidrio ópalo mineral.
volcánico, arcillos

DISOLUCION
PRECIPITAC. $Si(OH)_4$

OPALO A'

Precipitación de Op-CT masivo en matriz y lepisferas en poros

OPALO-CT

OpaloCT---Cuarzo criptocristalino. Transformación por disolución/precipitación.

CUARZO

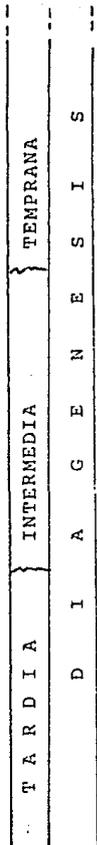


Fig. 3 Diagrama esquemático que muestra las transformaciones del proceso diagenético entre ópalo A, ópalo CT y cuarzo. Modificado de Rad y colaboradores, 1978.

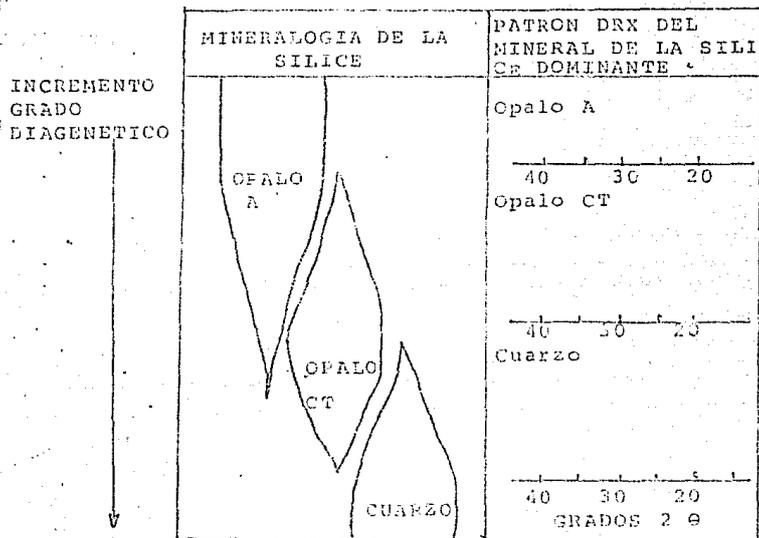


Fig. 4 Mineralogía de la sílice. Modificado de
Pisciotta (1981).

Opalo CT - (3) Comúnmente, el ópalo A' se transforma en ópalo CT por crecimiento de cristales, formando cristobalita-tridimita. El ópalo CT forma cemento (masivo) o lepisferas y/u hojas si están en espacios abiertos. La difracción de rayos X revela cristalinidad desde un máximo de 4.11 Å hasta un mínimo de 4.04 Å así como un incremento en un ordenamiento relativo de cristobalita hacia tridimita.

Cuarzo - (4) El ópalo CT cristaliza hasta llegar a cuarzo menos soluble. La cristalinidad del cuarzo aumenta de manera progresiva, principalmente, debido al crecimiento de cristales. El primer cuarzo a precipitar es típicamente de tamaño de un grano muy pequeño, microcristalino, lo cual se refleja en los patrones de difracción de rayos X por poca cristalinidad. Una vez que el cuarzo está precipitado, su tamaño de cristal se incrementa, reflejándose en el aumento de la cristalinidad (pedernal). Este es el estado final de la diagénesis. La difracción de rayos X revela hasta un máximo de 4.28 Å.

Las siguientes Figuras 2,3 y 4 esquematizan la explicación de diagénesis en diatomeas.

En este trabajo el objetivo central es el de contribuir al conocimiento de las diatomeas fósiles de agua dulce en México. Se hace el estudio diagenético de un depósito lacustre de diatomita, se determinan a las especies y, finalmente, se presenta la interpretación paleoecológica.

ANTECEDENTES

En México han sido poco estudiado los depósitos lacustres, con lo cual se tienen los trabajos de los siguientes autores: Ehrenberg (1866.1869), Diaz Lozano (1917.1937), Maldonado-Koerdell (1954), Hutchinson y colaboradores (1956), Quintana-González (1961); más tarde, otros investigadores también se interesaron en el tema: Bradbury (1970.1971.1975.1989), Watts y Bradbury (1982), Metcalfe y Harrison (1984), Metcalfe (1985, 1988). Los primeros autores realizaron trabajos descriptivos; a diferencia, Bradbury, Hutchinson, Watts, Metcalfe y Harrison y Metcalfe dieron a sus estudios un enfoque paleoecológico. Son importantes los resúmenes de trabajos de Rico-Montiel (1980.1983), Rico-Montiel y colaboradores (1980), Rico-Montiel y Martínez-Holguín (1980), Rico-Montiel y Martínez-López (1983) y Rico-Montiel y Fernández (1983); pero lamentablemente aun no se han publicado.

En cuanto a antecedentes de diagenesis, a nivel internacional, durante las décadas de los sesentas y los setentas fueron publicadas pocas investigaciones relativas a los mecanismos diagenéticos en depósitos biogénicos; sin embargo, cabe destacar el trabajo de Krauskopf (1959) observó las diferencias de solubilidad entre el sílice amorfo de diatomeas recientes y fósiles.

Lewin (1961), realizó estudios que sirvieron como base para el desarrollo de investigaciones posteriores; su trabajo experimental consistió en el procesamiento de nueve muestras de tierra de diatomita, tanto lacustre como marina, que abarcaron

desde el Cretácico superior hasta el Plioceno.

Siever (1959, 1962) estudio la petrologia y la geoquimica de la cementación del sílice, en relación con el medio ambiente sedimentario; asimismo, examino la diagénesis de los sedimentos silíceos.

Calvert (1966) investigo los procesos involucrados en la producción de depositos de diatomeas en condiciones ambientales conocidas.

Hecky y Kilham (1973) aportaron datos sobre la ecología de diferentes diatomeas en relación con la geoquimica, en especial, de las diatomeas de lagos salinos alcalinos.

Flörke y colaboradores (1976) describieron morfológica y cristalográficamente la ultraestructura y demostraron que por medio de la alta resolución del microscopio electrónico de barrido era posible estudiar el patron de crecimiento regular de las lepisferas de opalo-CT (cristobalita y tridimita).

Murata y Nakata (1974) sugirieron que la diagénesis puede convertir la diatomita pura en pedernal y la menos pura en porcelanita.

Murata y Larson (1975) encontraron la secuencia diagenética completa. Al aplicar técnicas de difracción de rayos X así como de microscopia electrónica de barrido, estudiaron con detalle los cambios diagenéticos progresivos. La mineralogía fue relacionada con la edad, la profundidad del enterramiento y la naturaleza de los sedimentos ambientales.

Murata y Randall (1975) observaron, por medio de difracción

de rayos X, la diagenesis de la cristobalita, la porcelanita y el cuarzo.

Blair (1978) encontro nódulos de pedernal en la parte superior de las calizas localizadas en Arizona y Nevada, Estados Unidos de América del Norte, y reporto abundante cristobalita desordenada de crecimiento libre (lepisferas).

Hein y Scholl (1978) describieron una serie predecible de cambios físico-químicos en la diagénesis de las frústulas de las diatomeas, en sedimentos cenozoicos, relacionaron estos cambios principalmente con la temperatura.

Mitsui y Taguchi (1977) reconocieron la importancia del silice biogenico en la diagenesis de lutitas del Neogeno.

Willey (1980), relaciono las facies diagenéticas de diatomitas con la disminucion de la solubilidad del silice como función de la edad geológica y de la disminucion en el area superficial, con un incremento de la edad geologica.

Pisciotta (1981) utilizó la difracción de rayos X y, por medio de un análisis de isótopos de oxígeno reconstruyó la historia térmica y diagenética de la lutita Monterey miocénica, cerca de Santa Maria, California y observó que en las rocas diatomáceas porosas, había cambios graduales a pedernal frágil y porcelanita.

Hurd y Birdwhistell (1983) estudiaron los cambios ultraestructurales en frústulas de diatomeas, asociadas con disolución e hicieron una revisión de metodos de preparación de frústulas, para medir el área superficial.

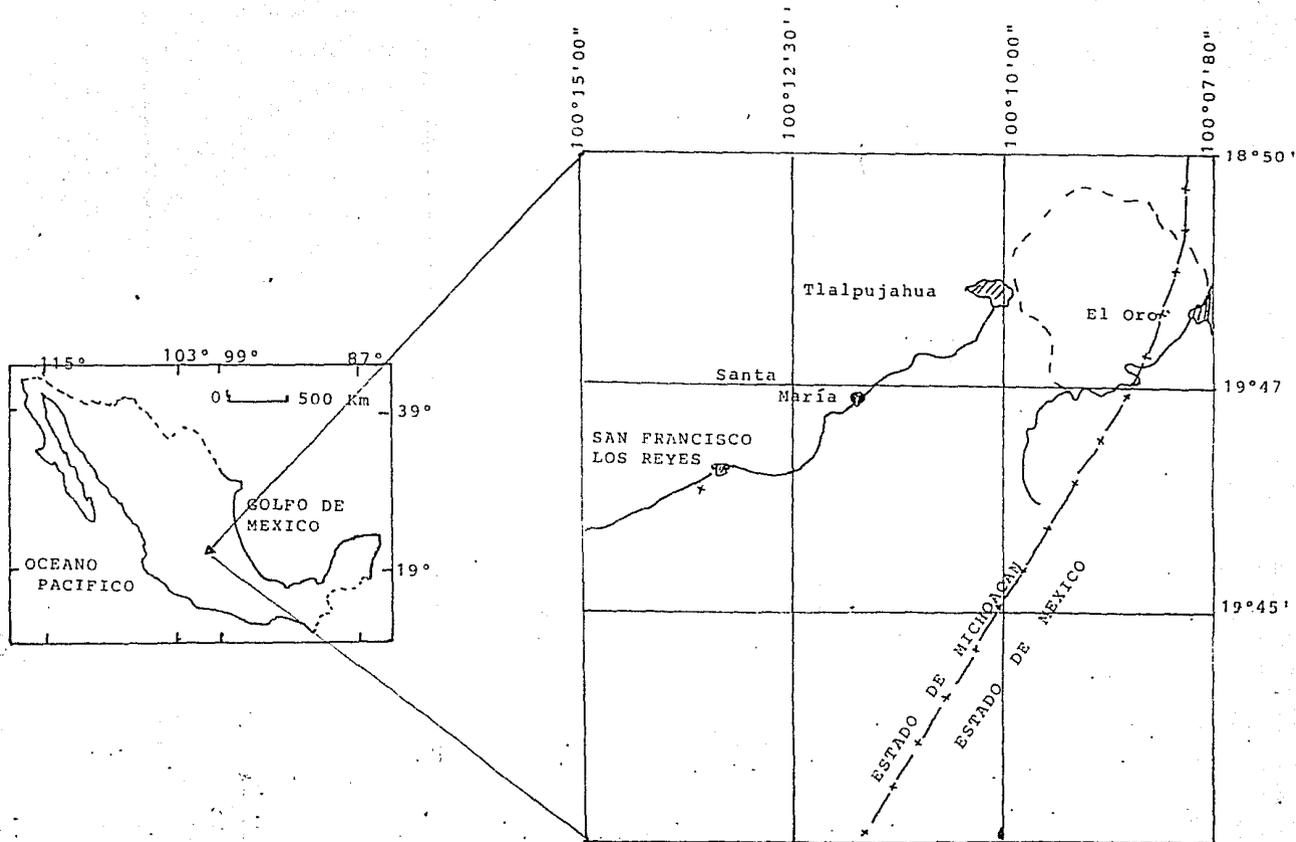


Fig. 5 Localización de la zona de estudio. (X)

Williams y colaboradores (1985) realizaron un trabajo completo: revisaron la secuencia diagenética del sílice de acuerdo con los conceptos termodinámicos y cinéticos.

Williams y Crerar (1985) examinaron los mecanismos generales de la diagénesis del sílice, por combinación de observaciones geológicas con lo que se conoce acerca de la conducta química del sílice.

AREA DE ESTUDIO

a) Localización.

El área de estudio se localiza en San Francisco Los Reyes, Municipio de Talpujahua, en el Estado de Michoacán, cerca de la frontera con el Estado de México. Se localiza en el paralelo 19°46' latitud N. y en el meridiano 100°15' longitud W. En esta zona, existen cultivos, también hay baldíos con vegetación degradada y varios afloramientos de diatomita. (Figura 5)

b) Geología.

De acuerdo con Demant (1981, in: Metcalfe 1985), el Eje Neovolcánico puede ser dividido en cinco distritos volcánicos; la zona de estudio está ubicada en el distrito III, Michoacán. En



Figura 6 Aflojamiento de plectocira en Sn. Pco. los Reyes, Michoacán.



Figura 7. Nódulos en el depósito de mediana.

toda esta zona. del eje neovolcánico, la actividad volcánica del Cuaternario fue muy intensa. La variedad de lavas es : desde basaltos hasta dacitas y el olivino es común, junto con plagioclasas, clinopiroxenas y ortopiroxenas.

La zona volcánica de Michoacán es bordeada en el Oeste por la Sierra de Jiquilpan que la separa del graben de Colima; en el Sur por un complejo de rocas preterciarias; en el Este por la fractura NNW-SSE de Queretaro-Taxco y en el Norte por el Bajío, una depresión lacustre Plio-Cuaternaria. (Sánchez-Rubio, comunicación verbal).

Específicamente, las rocas que afloran en el área de estudio y sus alrededores, de acuerdo con Silva-Mora (1979), son aluviones recientes del Cuaternario, rodeados, hacia la parte septentrional, por una secuencia metamórfica cratácica, esquistos verdes y calcáreos y hacia el sur por ignimbritas miocénicas.

MATERIAL Y METODO

Trabajo de campo.- En el área de estudio fueron encontrados varios afloramientos de diatomita (Figuras 6 y 7), en uno de ellos, de aproximadamente 200 metros de extensión lateral, cuyo espesor varía de .4 hasta 2 m, fueron encontrados varios nódulos de sílice emplazados en la diatomita de tamaño que variaba entre

10 y 20 cm de diámetro (Figura 8), se seleccionaron tres nódulos en los que se extrajeron tres muestras de cada uno; la primera en la parte inferior del nódulo, la segunda en la porción central y la tercera en la parte inmediata superior (nueve muestras en total). Asimismo, en la sección de la diatomita más amplia, se colectaron muestras, cubriendo todo el espesor: en la base, a 60 cm, a 120 cm, a 165 cm, a 210cm y de la parte superior. De estas, se hizo una muestra que se utilizó para aislar y limpiar las diatomeas.

Trabajo de laboratorio.- Fueron utilizadas las siguientes técnicas de estudio para diagénesis: análisis de difracción de rayos X así como observaciones en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) acompañado de un equipo de Energía Dispersiva de rayos X (EDAX). Para el análisis de difracción de rayos X, se empleó todos los nódulos muestreados, con sus partes inmediatas superior e inferior, de sedimento, las cuales, fueron separadas cuidadosamente y preparadas de la manera siguiente: las muestras fueron molidas finamente en un mortero de ágata, el polvo fue colocado sobre portamuestras de aluminio; posteriormente, fueron barridas desde 4A hasta 70A 2 ϕ . Los difractogramas obtenidos fueron medidos e interpretados con base en patrones de difracción de rayos X. Mediante un equipo Philips, PW 1130/96 con radiación de K α cobre, con monocromador de grafito y condiciones de 35 KV. Para Las observaciones en MEB y los análisis de EDAX, se tomaron fragmentos de aproximadamente 0.5 cm de todas las muestras.

Fueron colocados en portamuestras de aluminio y adheridos con una cinta de doble pegamento. Fueron cubiertos con carbón con una evaporadora, después con oro, por medio de una ionizadora. Fueron observadas en el MEB de marca Jeol JSM-35c; el equipo EDAX utilizado fue de marca Tracor, se tomaron análisis con 100 seg. de adquisición. La terminología utilizada para las fases mineralógicas es la de Flörke y colaboradores (1976), Hein y colaboradores (1978), Murata y Larson (1975) y Williams y colaboradores (1985). Para la determinación de las diatomeas, las frústulas fueron aisladas por la técnica de de Setty (1966), en la cual se utilizó liquidambar y naphrax como medio de montaje a fin de ser observadas en el ML; para ser examinadas en el MEB fueron colocadas alicuotas pequeñas sobre cubreobjetos, después, estos fueron adheridos a portamuestras de aluminio con carbon coloidal y recubiertos primero con carbon y después con oro, mediante los equipos mencionados antes. La determinación de las diatomeas se hizo utilizando claves y descripciones existentes en las obras de: Schmidt (1874-1959), Patrick y Reimer (1966, 1975), Hustedt (1930), Boyer (1927), Lipsey (1987, 1988), Williams y Round (1986), Poulin y colaboradores (1986). Cleve-Euler (1951-1955) y Germain (1981).

La frecuencia relativa se calculó siguiendo la recomendación de Lohman (1935) y Andrews (1966), de la siguiente manera:

Abundante.- Si un espécimen era observado en todos los campos.pecímen en todos los campos.

Común.- Si un espécimen era observado en la mayoría de los campos.

Frecuente.- Si varios especímenes eran observados en la preparación, pero vistos sólo en unos cuantos campos de vista.

Raro.- Uno o dos especímenes en la preparación.

Cuadro 1).

La interpretación ecológica se obtuvo en base a los datos recopilados de diversos trabajos entre los cuales están los siguientes: Hustedt (1930), Foged (1948), Patrick y Reimer (1966,1975), Andrews (1966), Round (1981), Ortega (1984), Metcalfe (1985), Laws (1988), Bradbury (1999).

RESULTADOS

A partir de las muestras de los nódulos, derivado de los patrones de difracción de rayos X y de la morfología observada en el MEB, se determinaron las fases diagenéticas siguientes, mismas que se corroboraron mediante el análisis EDAX :

OPALO-A Observado en las partes inmediatas al nódulo. Amorfo, indicado en el difractograma por una loma ancha, alrededor de los 4 Å. Morfológicamente en el MEB, fue observado

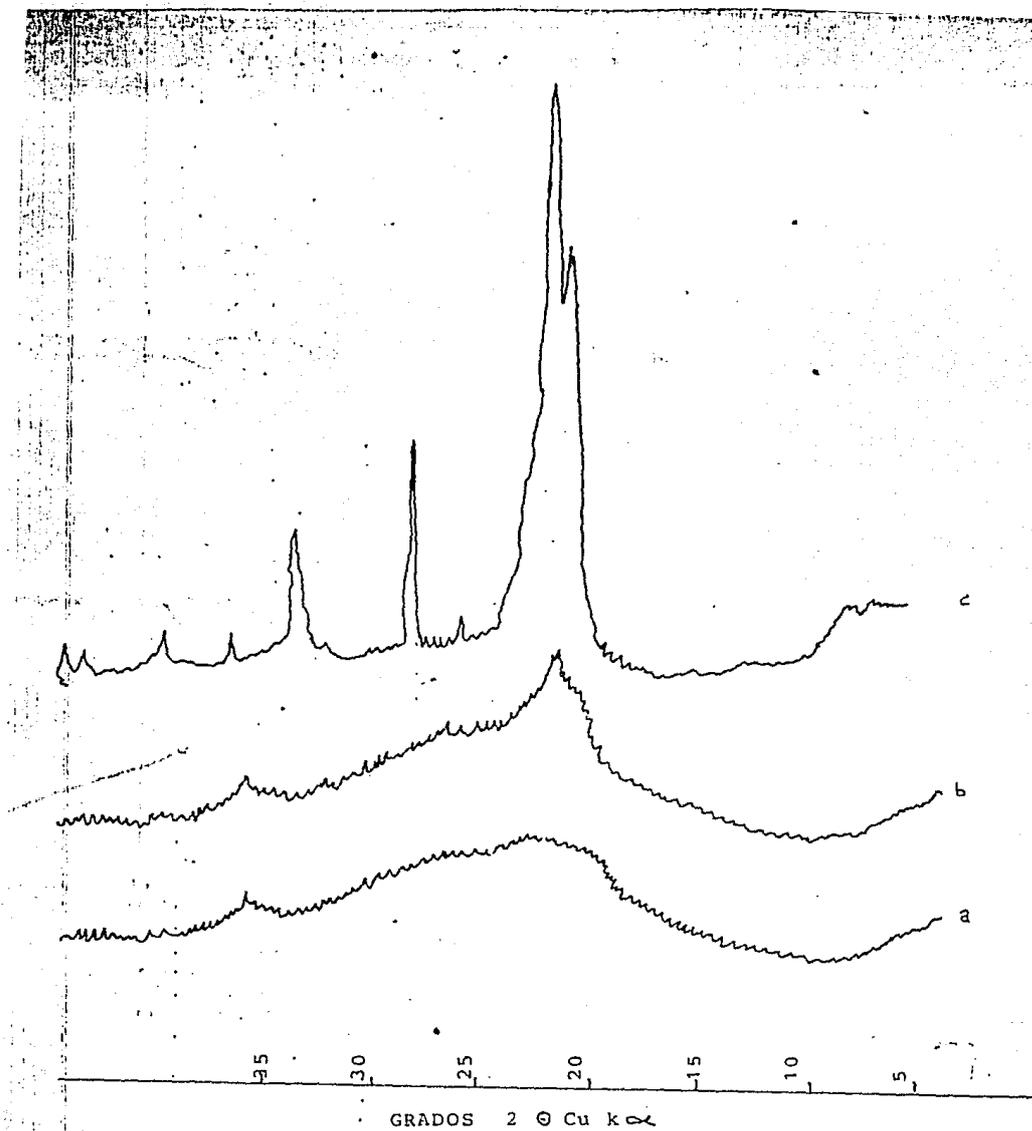


Fig. 8 Resultados obtenidos por medio de patrones de difracción de rayos x. a) Opalo A; b) Opalo A+A' ;c) Opalo CT

en frústulas normales. (Figura 8a del difractograma; Figura 1 de Lámina 1).

OPALO-A + A' Observado en la parte inmediata superior e inferior de sedimento muestreado junto al nódulo, indicado en el difractograma por un pico corto de aproximadamente 4.05 Å. En el MEB fueron observadas frústulas muy fragmentadas y con sobrecrecimiento de sílice, identificado con EDAX, este sobrecrecimiento fue encontrado encima de la ornamentación de las valvas. (Figura 8b del difractograma; Figuras 2-5 de Lámina 1).

OPALO-CT Observado en el interior del nódulo. En el difractograma se apreció por una cristalización buena indicada por picos característicos de cristobalita y tridimita de entre 4.05 Å y 4.12 Å. (Figura 8c del difractograma). En el MEB se observó en dos formas: como cemento masivo (Figuras 6-8 de Lámina 1, Figura 3 de Lámina 2) y como lepisferas, esférulas de cristobalita-tridimita. (Figuras 6, 8, 9 de Lámina 1; Figuras 3-8 de Lámina 2). Es el mineral más abundante en el nódulo, corresponde a porcelanita, pues sus características físicas- fractura, dureza etc- son concordantes.

Determinación de especies.- Fueron determinadas 35 especies incluídas en 19 géneros. Las especies se arreglaron en orden alfabético con una breve descripción de los caracteres

observados; se anexan además, datos sobre su ecología y alcance estratigráfico. Para cada especie se indican las referencias que se utilizaron para la determinación taxonómica; se incluyen algunos datos ecológicos. En el Cuadro 1, se presentan características ecológicas, frecuencia relativa y alcance estratigráfico para cada especie.

Anomoeoneis sphaerophora (Ehrenberg) Pfitzer

(Lámina 7, Figura j)

Hustedt, 1930, p. 262, fig. 422

Cleve-Euler, 1953, p. 202, fig. 928

Patrick y Reimer, 1966, p. 374, lám. 32, fig. 1

Descripción morfológica .- Valva elíptica lanceolada, con extremos rostrados a ligeramente capitados; márgenes convexos, frecuentemente subparalelos en la porción media de la valva. Área axial estrecha, lineal, limitada por una simple hilera de puncta. Extremos distales del rafe largos, en forma de hoz, curvados en la misma dirección. Áreas hialinas alargadas, unidas lateralmente al área central y dando una configuración liriforme. Áreas laterales, en ocasiones, irregular y débilmente puntuado. Estrías ligeramente radiadas por toda la valva excepto en los extremos donde pueden ser paralelas. Las puntuaciones se separan hacia el eje central, formando líneas longitudinales irregulares.

Longitud 71.6 μm ; anchura 30.8 μm ; 14 estrias en 10 μm

Distribución ecológica .- Especie de agua dulce con notoria tendencia halófila. Encontrada en ríos estanques y lagos. Litoral bentónica. pH: alcalibióntica. Temperatura: eutermal.

Alcance estratigráfico .- Pleistoceno a Holoceno (Bradbury, 1989), Andrews (1970). La ha registrado para el Mioceno tardío.

Caloneis bacillum (Grun.) Mereschkowsky

(Lámina 5; Figuras e, f)

Hustedt, 1930, p. 230, fig. 360

Descripción morfológica .- Frústulas lineal, hasta lineal-lanceoladas, con bordes paralelos o ligeramente convexos y con polos redondeados ampliamente. Rafe recto con bordes centrales más o menos doblados hacia un lado o curvos. Area axial ensanchada, repentinamente un poco debajo de los polos; después, más o menos lanceolada. Area central en forma de una franja transversal de amplitud variable y extendida hasta el borde de la frústula. Estrias transapicales ligeramente radiales, casi siempre, sólo en la parte media perpendiculares, con respecto a la línea central, cruzadas por una línea longitudinal fina, que se acerca más o menos al borde de la frústula, que fue observada tanto con ML como con MEB. Longitud 28.5 μm ; anchura 6.5 μm ; 19

estrias en 10 μm ; area central: 5 μm .

Distribución ecológica .- Agua dulce, ríos y lagos. Oligohalobia (indiferente), pH alcalifila.

Alcance estratigráfico .- Holoceno. Schrader (1973), la ha reportado en el Plioceno, en sedimentos del mar Negro. Bradbury, (1971), la ha mencionado como fósil en el lago de Texcoco.

Cocconeis placentula var *lineata* (Ehrenberg) Van Heurck

(Lámina 5, Figuras i, j, k, l)

Hustedt, 1930, p. 190, fig. 262

Patrick y Peimer. 1966, p. 242, lám. 15, fig. 5-6

Descripción morfológica .- Valva elíptica, algunas veces lineal-elíptica. La valva con rafe con área axial estrecha, área central pequeña. Rafe filiforme, terminaciones proximales cerradas; terminaciones distales rectas. Estrias radiales curvadas, finamente puntuadas, interrumpidas cerca del margen por un área hialina. Una segunda área hialina rodea la valva en el margen, aislando una pequeña área de estrias submarginales. La valva con pseudorrafe presenta a este, con forma lineal y muy estrecho. El área central es poco distinguible. Los puntos que forman las estrias de la valva con pseudorrafe se observan como líneas hialinas ondulantes longitudinales. Longitud 19.2 μm ; anchura 12.8 μm . 24 estrias en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce, aparentemente indiferente a la sal, pero se encuentran en gran número de aguas ligeramente salobrés. Epifíticas, sobre plantas acuáticas y otros objetos. Bentónica dominante. Oligohalobia, eutermal.

Alcance estratigráfico .- Se encuentra en el registro fósil en el Pleistoceno interglacial de Toronto, Canadá (Duthie y Rani 1967); para el Cuaternario del lago Valencia en Venezuela (Bradbury et al. 1981); para el Cuaternario en Zacapu, Estado de Michoacán (Metcalf, 1985). Pleistoceno al Holoceno en la Cuenca de México (Bradbury, 1989). Esta diatomea es muy común y está distribuida ampliamente alrededor del mundo, en la actualidad como en depósitos fósiles. Su alcance es del Oligoceno hasta el Reciente.

Cymbella lanceolata (Agardh) Agardh

(Lámina 4, Figuras k, l)

Hustedt 1930, p. 364, fig. 679

Patrick y Reimer 1975, p. 52. lám. 10, fig. 1

Descripción morfológica .- Valva moderadamente dorsoventral, margen moderadamente dorsal, arqueado, margen ventral escasamente cóncavo, área axial estrecha, rafe lateral ligeramente curvado en los extremos, área central pequeña. Longitud 105.8µm; Anchura 26.2µm; 7.2 estrías centrales en 10µm

Distribución ecológica .- De agua dulce. Encontrada en lagos, estanques y rios. Litoral bentónica, pH alcalina. Temperatura: eutermal.

Alcance estratigrafico .- Cuaternario. Diaz Lozano (1917), la menciona como fósil en el Valle de México. Lohman (1935) la registra para el Cuaternario de Nuevo México.

Cymbella minuta Hilse ex Rabenhorst

(Lamina 5, Figura a)

Patrick y Reimer, 1975, p.47, lám.8. fig.1a-4b

Descripción morfológica .- Valvas fuertemente dorsoventrales. El margen varia de ligeramente hinchado en la parte media de la valva a recto. En algunas formas los extremos son apenas perceptibles. Area axial estrecha, linear, ventralmente desplazada y casi paralela al margen ventral. Area central pequeña. Rafe filiforme, usualmente recto, pero en algunas formas más pequeñas cada rama puede ser ligeramente arqueada. Los extremos del rafe proximal se desvian dorsalmente; los extremos distales se desvian ventralmente. Estrias dorsales paralelas o ligeramente radiales. Estria dorsal central termina en un falso estigma. Estrias ventrales, usualmente más radiadas en la porción media de la valva, paralelas o convergentes hacia los extremos. Longitud 25.12µm ; anchura 8 µm ; 11.2 estrias centrales en 10µm

Distribución ecológica : Agua dulce, ticoplánctica, bentica.

Alcance estratigráfico : Cuaternario. Schutz y Whitney (1986), la han mencionado para el Pleistoceno superior de Arabia Saudita.

Cymbella muelleri Hustedt

(Lamina 5, Figura d)

Patrick y Reimer, 1975, p.43, lam. 7. figs.1-2

Descripción morfológica .- Valvas fuertemente dorsoventrales con extremidades redondeadas obtusamente. Margen dorsal fuertemente arqueado. Margen ventral ligeramente giboso en el centro o ligeramente concavo, áreas axial y central unidas en un espacio axial pequeño que se amplía un poco hacia la parte media de la valva. Rafe claramente lateral; sus ramas frecuentemente tienden a ser un poco inclinadas dorsalmente. Las terminaciones proximales del rafe son un poco obtusas; las terminaciones distales se desvían ventralmente cerca del margen. Estriás dorsales radiales. Estriás ventrales radiales en la porción media, paralelas o convergentes hacia los extremos. Longitud 58 μm ; anchura 19 μm ; 7 estriás en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce, pH alcalifilo. Bentica

Alcance estratigráfico .- Holoceno.

Cynbella prostrata var *auerswaldii* (Rabenhort) Reimer

(Lámina 5, Figuras b,c)

Patrick y Reimer 1975, p.41, lám. 6, figs.5-6

Descripción morfológica : Valvas dorsiventrales, desde moderada a fuertemente con margen dorsal fuertemente arqueado y un margen ventral ligeramente convexo. Las terminaciones distales del rafe se extienden hasta muy cerca del margen de la valva, sin ser subterminales. Longitud 13.5 μm ; Anchura 6 μm ; 15 estrias en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce, rios, lagos someros y pantanos. pH: alcalifila. Béntica.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Registrada para el Pleistoceno por Duthie y Rani (1967) y por Schutz y Whitney (1986). Metcalfe (1985) encontró esta variedad como fósil en el Estado de Michoacan, Mexico.

Epithemia adnata var *proboscidea* (Kützing) Patrick

(Lámina 4, Figuras d,e)

Patrick y Reimer 1975, p.181, lám. 24, fig.6

Descripción morfológica .- Valva con margen dorsal convexo y margen ventral recto o ligeramente cóncavo. Apices rostrados,

ligeramente recurvados. Poros medios del rafe, cercanos al margen ventral, sólo la porción media del rafe aparece en vista valvar. Longitud 48.39 μ m; anchura 9.17 μ m; 4-5 costillas en 10 μ m. 3-4 hileras de poros entre costillas

Distribución ecológica .- Agua dulce, alcalina, litoral, epifítica sobre plantas acuáticas.

Alcance stratigráfico .- Holoceno

Epithemia hyndmanii W. Smith

(Lámina 4, Figuras f,g,h)

Cleve-Euler, 1952, p. 40, fig. 1411

Patrick y Reimer, 1975, p. 135. lám. 26. fig. 3-4

Descripción morfológica .- Valva con margen ventral concavo y margen dorsal convexo, que se angosta o estrecha hacia los apices redondeados, no se diferencia del cuerpo principal de la valva. Rafe sobre el margen ventral de la valva hacia la porción media curvado hacia arriba. Nódulo central localizado en medio, entre los márgenes dorsal y ventral de la valva. En vista conectiva la frústula está fuertemente inflada en la porción media. En el ML es posible observar muy bien las costillas se observan muy bien con ML. Empleando un aumento considerable en el MEB, se observa lateralmente y a lo largo en la parte superior del rafe, una serie de poros. También se observa en el MEB una ornamentación muy característica sobre los alveolos en forma de opérculos.

Longitud 114 μm ; anchura 21 μm ; 4 costillas en 10 μm ; 2-3 hileras de alveolos entre costilla y costilla

Distribución ecológica .- Agua dulce, en lagos. Oligohalobia. pH alcalifilo, litoral epifítica. forma adherida.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Bradbury (1970,1971), ha reportado para el Pleistoceno del Valle de México.

Epithemia sorex Kützing

(Lamina 4, Figuras b,c)

Patrick y Reimer, 1975, p.188, lám. 27, fig.4

Descripción morfológica .- Frústula en vista conectiva elíptica-lanceolada. Valva con un intenso margen dorsal convexo y ligeramente cóncavo en el margen ventral. La valva se estrecha hacia los ápices que son rostrados. El canal del rafe curvado hacia el margen dorsal de la valva con el nódulo central cerca del margen dorsal. Rafe aparente en casi toda la longitud de la valva. Longitud 36.5 μm ; anchura 11 μm ; 8-10 hileras de alveolos en 10 μm ; 4-5 hileras entre costillas

Distribución ecológica .- Agua dulce, lagos, béntica, litoral, epifítica, alcalifila, con cantidades de sal desde tolerante

hasta pequeñas, frecuentemente es encontrada en aguas ricas en calcio.

Alcance estratigráfico .- Holoceno. Metcalfe (1985) la registra como fósil para México central.

Epithemia turgida var *westermanni* (Ehrenberg) Grunow

(Lamina 4, Figura a)

Patrick y Reimer, 1975, p. 184, lám. 25, fig. 2a-b

Van Heurck 1896, p. 294-295, lám. 5, fig. 14

Descripción morfológica .- Valva con margen dorsal convexo; margen ventral concavo, apices muy poco rostrados, redondeados; margen curvado hacia el margen dorsal, poros desde medianos hasta pequeños debajo de la región mediana de la valva. Longitud 104 μ m; anchura 32 μ m; 3-4 costillas en 10 μ m; 2-3 hileras de alveolos entre costillas

Distribución ecológica .- Agua dulce, aunque también se encuentra en agua salobre. Forma litoral béntica, especialmente de agua estancada. pH alcalífilo.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Bradbury (1970, 1971) la ha reportado para el Pleistoceno de la Cuenca de México. Schrader (1978) la ha reportado para el Cuaternario del Mar Negro.

Eunotia eruca Ehrenberg

(Lámina 5, Figuras g, h)

Schmidt, (1874-1959), lám. 293, fig. 14-19

Patrick y Reimer, 1966, p. 161, lám. 9, fig. 8-9

(*Amphicampa mirabilis* Ehr. ex Ralfs)

Descripción morfológica .- Valva con margen dorsal convexo, y margen ventral desde fuerte hasta ligeramente concavo. Ambos márgenes con tres a seis dentaciones sinuosas que dan a la valva su apariencia característica. Apices rostrados. Pseudorrafe distinguible cerca del margen ventral. Poro evidente en una de las terminaciones de la valva. Estrias puntuadas. Longitud 57 μ m; anchura 12.45 μ m; 9 estrias en 10 μ m

Distribución ecológica .- Agua dulce, tolera cantidades ligeras de sal. Béntica.

Alcance estratigráfico .- Holoceno. Ehrenberg (1866), la ha reportado como fósil en el Valle de México.

Fragilaria bicapitata A. Mayer.

(Lámina 7, Figuras q, r, s)

Patrick y Reimer, 1966, p. 118, lám. 3, fig. 4

Descripción morfológica .- Valva lineal a lineal-lanceolada con

distintivos apices capitados. Pseudorrafe muy estrecho. Área central ausente. Estrias paralelas a través de casi toda la valva, en ocasiones ligeramente radiadas en los apices. Estrias irregularmente espaciadas frecuentemente no opuestas una a otra de cada lado del pseudorrafe. Longitud 20.2 μm ; anchura 5 μm ; 13.4 estrias en 10 μm .

Distribución ecológica .- Agua dulce (Oligohalobia: halofobia o indiferente); pH: acidófila. Se presenta en aguas estancadas, frecuentemente es una especie litoral o bentica, aunque Hustedt (1930) indicó que podía encontrarse en el plancton.

Alcance estratigráfico .- De acuerdo con Van Landingham (1976), esta especie no es común en depósitos no-marinos. El alcance estratigráfico es del Oligo-Mioceno al Reciente. Okuno (1959) la ha registrado en depósitos de agua dulce del Mioceno en Japón.

Gomphonema clevei Fricke

(Lámina 6, Figuras b, c)

Patrick y Reimer, 1975, p.138, lám.12, fig.6

Descripción morfológica .- Valva lineal-lanceolada, disminuyendo gradualmente hacia el ápice y la base. Área axial y central formando un área lanceolada. Estrias distintivamente puntuadas, radiales en casi toda la valva, paralelas o casi paralelas en los apices. Un punctum aislado en el área central. El área axial

puede variar de estrecho a amplio. Longitud 28.3 μm ; anchura 7.5 μm ; 11 estrias en 10 μm .

Distribucion ecológica .- Agua dulce (Cligohalobia), litoral, pH:alcalifila, meso y eutermal.

Alcance estratigrafico .- Holoceno.

Gomphonema fanensis Maillard.

(Lámina 6, Figuras a, d)

Germain, 1981, p.302, lam. 111. fig.7

Descripcion morfologica .- Valva clavada, disminuyendo gradualmente hacia la base, ápice redondeado, margenes de la valva rectos. Area axial estrecha, area central transversa. Un punctum aislado en el area central. Estrias puntuadas, radiales a traves de toda la valva. Longitud 39.5 μm ; anchura 5.8 μm ; 11.4 estrias en 10 μm .

Distribucion ecológica .- Agua dulce, litoral bentica, pH: alcalifila.

Alcance estratigrafico .- Holoceno.

Gomphonema subclavatum var. *mexicanum* (Grunow) Patrick

(Lámina 6, Figuras c, f)

Patrick y Reimer, 1975, p.130, lám. 16, fig. 12-13

Descripción morfológica .- Valva clavada, hinchada en la región media, ápice truncado. Margenes de la valva cóncavos, disminuyendo gradualmente hacia las bases redondeadas. Area axial estrecha. Area central transversa, la estria media sobre un lado del nódulo central terminando en un punctum aislado; en el otro margen, la estria media es más corta. Estrias radiales a través de toda la valva, indistintamente puntuadas. Longitud 30 μm ; anchura 7.6 μm ; 16 estrias en 10 μm

Distribución ecológica : Agua dulce (Oligohalobia).

Alcance estratigráfico : Holoceno

Melosira granulata var *granulata* (Ehrenberg) Raifs

(Lámina 3, Figuras a-f)

Hustedt, 1930, p.248, fig. 104

Cleve-Euler, 1951, p. 25, fig. 15a

Descripción morfológica .- Frústulas cilíndricas, robustas, valvas puntuadas, puncta en gránulos gruesos formando líneas longitudinales, algunas veces espiraladas, con espinas cortas y largas de longitud desigual en el margen. Longitud 8.8 μm ; anchura 10.4 μm ; 9 poros en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce. Lagos y ríos. Plánctica. Es indicadora de aguas eutróficas alcalinas .Es cosmopolita y tiene una distribución ecológica amplia, generalmente se considera que cae en el rango oligohalóbico y en ocasiones se encuentra en aguas salobres.

Alcance stratigráfico .- Del Oligoceno al Holoceno. Probablemente la más abundante de las diatomeas Miocénicas no marinas de América del Norte. (Van Landingham, 1970; Andrews, 1970).

Melosira granulata var *angustissima* Müll.

(Lamina 3, Figuras g, h, i)

Hustedt, 1930, p.250, fig. 104d

Cleve-Euler, 1951, p.25, Fig. 15 d

Lipsey 1987, p. 265. fig.15

Descripción morfológica .- Frústulas cilíndricas, valvas ornamentadas con pocos puncta en arreglo irregular, con espinas cortas y largas de longitud desigual en el margen, mantos con hileras de puncta espiraladas o paralelas. Longitud 14 um; anchura 4.5 um; 10 Puncta en 10 um

Distribución ecológica .- Agua dulce. pH: alcalifila, planctónica, asociada, frecuentemente, con estanques y lagos eutróficos.

Alcance estratigráfico .- Desde el Oligoceno hasta el Holoceno. Aparentemente es rara antes del Mioceno medio (Van Landingham 1970). Andrews (1970), la ha registrado para el Mioceno tardío.

Navicula anglica Ralfs

(Lámina 6, Figuras g, j)

Hustedt, 1930, p. 303, fig. 530.531

Cleve-Euler, 1953, p.141, fig. 790

Van Heurck, 1896, p.187, fig. 136

Descripción morfológica .- Valva lanceolada con ápices rostrados. Área axial estrecha. distintiva. Área central pequeña, transversalmente más amplia, estrias radiales en toda la valva. Longitud 31.25 μ m; anchura 15 μ m; 9.5 estrias en 10 μ m

Distribución ecológica .- Agua dulce (oligohalobia) en lagos y ríos, litoral-bentónica. pH: alcalifila. Eutermal.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Duthie y Rani (1967) la han registrado para el Pleistoceno.

Navicula americana Ehrenberg

(Lámina 6, Figura n)

Patrick y Reimer, 1966, p.493, lám.47, fig.3

Descripción morfológica .- Valva lineal, ancha, terminaciones redondeadas. Algunas veces los lados de la valva ligeramente cóncavos. Área axial, una tercera a una mitad del ancho de la valva. Área central orbicular. Estrías radiales a través de toda la valva, finamente puntuadas; ligeramente curvadas. Longitud 29.9 μm ; anchura 8.85 μm ; 18 estrías en 10 μm ; área axial 3.3 μm .

Distribución ecológica .- Agua dulce; alcalífila, litoral, béentica.

Alcance estratigráfico .- Holoceno.

Navícula minima Grunow

(Lámina 6, Figuras. 1, 1)

Hustedt, 1930, p. 272, fig. 441

Patrick y Reimer, 1966, p. 429, lám. 46, figs. 17, 18

Descripción morfológica .- Valva lineal a lineal-elíptica con ápices redondeados. Área axial estrecha, lineal. Área central, variable en tamaño, transversal, formada por acortamiento de las estrías centrales. Estrías centrales a través de toda la valva, excepto alrededor del área central, donde son casi paralelas. Longitud 12 μm ; anchura 5 μm ; 28 estrías en 10 μm

Distribución ecológica .- Distribuida ampliamente en agua dulce

aunque algunas veces se encuentra en agua ligeramente salobre (Oligohalobia) pH: alcalifila. litoral béntica, (dominante en el fondo en asociación con hojas caídas), eutermal.

Alcance estratigráfico .- De acuerdo con Van Landinham (1970), es rara como fósil. Su alcance es del Oligoceno al Holoceno, Bradbury (1970) la ha registrado en el Pleistoceno del Valle de México.

Navicula mutica (Hilse) Grunow

(Lamina 6, Figura m)

Cleve-Euler, 1953, p.193, figs. 907 g-h

Patrick y Reimer, 1966, p. 456, lam. 42, figs. 6-9

Descripción morfológica .- Valva lanceolada con márgenes ondulados, área axial angosta, ampliándose hacia el centro de la valva, área central transversa; estrías radiales hacia toda la valva. El número de estrías es, al parece variable. Longitud: 10.75 μm ; anchura 7.5 μm ; 28 estrías en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce, pero tolera cantidades pequeñas de sal.

Alcance estratigráfico .- Holoceno

Navicula radiosa Kützing

Patrick y Reimer, 1966, p.442, lám. 39, fig.4

Descripción morfológica .- Valva lineal-lanceolada con extremos agudos redondeados. Area axial lisa, distintiva. El área axial y nódulo central con frecuencia parecen tener una silicificación más densa que el resto de la valva. Area central variable en tamaño. Estrías radiales en casi toda la valva, convergentes en los extremos. Longitud 9.5 μm ; anchura 9.25 μm ; 14.5 estrías en 10 μm

Distribución ecológica .- Cosmooolita. Agua dulce, aunque tolera cantidades pequeñas de agua salada. En lagos y en ríos. pH: alcalífilo. litoral-bentónica. Eutermal.

Alcance stratigráfico .- Cuaternario. Andrews (1966), la ha reportado para el Pleistoceno tardío en Wisconsin. Bradbury (1970) la ha registrado para el Pleistoceno en el Valle de México. Andrews (1970), la ha registrado para el Mioceno tardío.

Nitzschia frustulum (Kützing) Grunow

(Lámina 7, Figuras a,b,c)

Hustedt, 1930, p. 114, fig.795

Lipsey, 1988, p.390, fig.8

Descripción morfológica .- Valvas lineal a lineal-lanceolada,

frecuentemente incurvado a lo largo de un margen; ápices redondeados, algunas veces curvados; estriás, frecuentemente con puntuaciones poco distinguibles, sólo se detallan en MEB, estriás paralelas. Quilla marginal, por lo común con un nódulo central distintivo. Las dos fíbulas más centrales, son notablemente espaciadas debido a la presencia de un nódulo central, se observa con MEB. Longitud 21.6 μm ; anchura 3.88 μm ; 18 estriás en 10 μm

Distribución ecológica .- En lagos salobres. Litoral pláanctica de aguas poco profundas. pH: alcalífila, eutermal; Bradbury (1975) la ha reportado en hábitats epifíticos. Round (1981) la ha encontrado en abundancia en lagos con exceso de sodio. Bradbury (1989), la ha reportado como típicamente béntica y epifítica, también como ticooplántica.

Alcance Estratigráfico .- Cuaternario Duthie y Rani (1967), la han reportado para el Pleistoceno. Bradbury (1975, 1989), para el Pleistoceno del Valle de México.

Opephora martyi Héribaud

(Lámina 7, Figuras d, e, f)

Hustedt, 1930, p. 132, fig. 120

Patrick y Reimer, 1966, p. 115, lám. 3, fig. 3

Descripción morfológica .- Valva ovada con ápices redondeados, un

ápice más ancho que el otro. Pseudorafe estrecho y distintivo (muy notorio). Estrías anchas, Longitud 7.1 μm ; anchura 4.5 μm , 11.3 estrías en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce somera, principalmente en lagos y también en ríos. pH: alcalífila y alcalibiéntica. Forma litoral, adherida, mesotermal a oligotermal.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Duthie y Rani (1967) y Andrews (1966) la han reportado para el Pleistoceno. Quintana-Gonzalez (1961) la reporta como fósil en la Blanca, Tlaxcala.

Pinnularia brevicostata Cleve

(Lámina 4, Figura m)

Patrick y Reimer, 1966, p. 623, lám. 60, fig.1

Descripción morfológica .- Valva lineal, con márgenes paralelos algunas veces ligeramente hinchados en el nódulo central; extremos redondeados. Área axial amplia, alrededor de una mitad de la anchura de la valva. Rafe filamentosos. Estrías cortas; paralelas o ligeramente radiadas hacia el centro de la valva y paralelas a ligeramente convergentes en los extremos. Las estrías pueden estar ausentes en la parte media de la valva o ser continuas. Longitud 177 μm ; anchura 24.4 μm ; 6 estrías en 10 μm ; área axial: 13.3 μm .

Distribución ecológica .- Oligohalobia, halófila, litoral, pH: acidófila de aguas frías.

Alcance estratigráfico .- Oligoceno al Holoceno. Van Landingham (1970), la ha reportado para el Oligoceno-Mioceno de Montana, EUA. Duthie y Raní (1967), la han registrado para el Pleistoceno. Andrews (1970), la ha registrado para el Mioceno tardío en Nebraska.

Pseudostaurosira brevistriata (Grunow) Williams y Round

(Lamina 7, Figuras n.o)

Patrick y Reimer, 1966, p. 129, lam. 4, Fig. 15

(como *Fragilaria brevistriata* (Pant.) Hust.)

Williams y Round, 1987, p.276, fig. 28-31

Descripción morfológica .- Valva lanceolada, con atenuación, ápices rostrados. Pseudorrafe con un espacio amplio lanceolado (Esternum central amplio). Con estriás marginales. Longitud 11.25 μ m; anchura: 3.75 μ m; 10 estriás en 10 μ m

Distribución ecológica .- Agua dulce. Oligohalobia; pH: alcalifila. Especie béntónica de agua somera.

Alcance estratigráfico .- Mioceno a Holoceno. De acuerdo con Williams y Round (1987), es común en depósitos fósiles. Bradbury y Blair (1979), la han registrado para el Mioceno Superior de

Hualapai. Bradbury (1971), la registra en el lago de Texcoco como fósil. Andrews (1970), la registra para el Mioceno tardío.

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Müller

(Lámina 4, Figuras i, j)

Hustedt, 1930, p. 390, fig. 740

Patrick y Reimer, 1975, p. 189, lám. 28, fig. 1

Descripción morfológica .- Frústula lineal, con la valva hinchada en la porción central, algunas veces ligeramente hinchada en los ápices. Las terminaciones de las valvas ligeramente curvadas ventralmente. Valva, claramente curvada; rafe sin nódulos notorios, aparecen como muescas en la parte media, debido a la forma de la valva. Costillas bien desarrollada. Longitud 63 μ m; anchura 8 μ m; 16 costillas en 10 μ m

Distribución ecológica .- Agua dulce (Oligohalobia), aunque tolera cantidades pequeñas de sal. pH: alcalífila y alcalibióntica, litoral, bentica, epifítica. Es reportada en ríos.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Mencionada para el Pleistoceno por Andrews (1966) y Bradbury (1971).

Staurosira construens Ehrenberg

(Lamina 7, Figuras h, i)

Patrick y Reimer, 1966, p. 125, lám. 4, fig. 4

(como *Fragilaria construens* (Enr.) Grunow)

Williams y Round, 1987, p. 272, fig. 15-17

Descripción morfológica .- Frústula rectangular en vista conectiva, valvas con inflación central, ligeramente cruciformes. Pseudorrafe (esternum) estrecho excepto en el centro. Estrias uniseriadas, con pequeños espacios entre los miembros. Longitud 11 μ m; anchura 7.25 μ m; 19 estrias en 10 μ m

Distribución ecológica .- Agua dulce. En lagos y ríos. Forma litoral y bentica dominante, fitoplanctónica. pH: alcalifila. Eutermal.

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Bradbury y colaboradores (1981) la han reportado para el Pleistoceno y Holoceno del lago de Valencia en Venezuela. Duthie y Rani (1967) también la han registrado en el Pleistoceno. Bradbury (1989) indica que va del Pleistoceno al Holoceno en el Valle de México.

Staurosira elliptica (Schumann) Williams et Round

(Lámina 7, Figura p)

Patrick y Reimer, 1966, lám. 4, figs. 5, 6

(como *Fragilaria construens* var. *pumula* Grunow)

Williams y Round, 1987,

Descripción morfológica .- Valva elíptica con ápices redondeados a rostrados. Pseudorrafe, con esternum distintivo, lineal a lineal-lanceolado en forma. Estrías ligeramente radiales a través de toda la valva. Longitud 10 μm ; anchura 5 μm ; 12 estrías en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce poco profunda. Béntica

Alcance estratigráfico .- Cuaternario. Registrada por Bradbury (1989), del Pleistoceno al Holoceno del Valle de México.

Stausosirella lapponica (Grunow) William et Round

(Lamina 7, Figuras 4, 1, m)

Patrick y Reimer, 1966, p. 130, lám. 4, fig. 17

(como *Fragilaria lapponica* Grunow)

William y Round, 1987

Descripción morfológica .- Valva lineal a ligeramente lanceolada con ápices redondeados a ligeramente cuneados. El pseudorrafe (esternum) es ancho. Estrías marginales uniseriadas. Espinas situadas sobre el margen de la cara valvar, éstas son observadas claramente en el MEB

Distribución ecológica .- Agua dulce (oligohalobia)
pH: indiferente. Forma litoral común en aguas estancadas

eutróficas. Bentónica. En lagos y ríos.

Alcance estratigráfico .- Según Van Landinham (1970) su alcance cronológico es desde el Oligo-Mioceno hasta el Holoceno. Con frecuencia, ha sido reportada como fósil. Duthie y Rani (1967) la han registrado para el Pleistoceno.

Stephanodiscus hantzschii Grunow

(Lámina 3, Figuras j-n)

Hustedt, 1930, p.110, fig.87

Bradbury, 1975, lám. 1, fig. 1,2, lám. 5, fig., 1,2

Descripción morfológica .- Valvas discoides con forma de tambor, solitarias o unidas en cadenas más o menos largas. Frústulas planas o ligeramente onduladas en forma concéntrica con membrana silicificada debilmente y estructura muy tenue. Estrías radiales y puntuaciones, a menudo, sólo aludida como sombra. Hacia el borde dos hileras, hacia el centro simples. Espinas marginales fuertes, alternadas con las estrías puntuadas. Diámetro:9 μ m; 20 estrías en 10 μ m

Distribución ecológica .- En agua dulce y ligeramente salada, en aguas estancadas, pequeños lagos, arroyos y ríos, plánctica (euplánctica), pH: alcalifila, alcalibiéntica, eutermal.

Alcance estratigráfico .- Plioceno al Holoceno. Jousé y Mukhina

(1978), la han encontrado en el Cenozoico tardío, Pleistoceno y Plioceno tardío del Mar Negro. Bradbury (1975) la ha reportado para el Pleistoceno.

Synedra goulardii Brebisson

(Lámina 8, Figura c)

Schmidt, 1874-1959, lám. 300, fig. 10-18

Schwarzwalder y Postek, 1981, p. 412, fig. 1-7

Descripción morfológica .- Valvas lineal-lanceoladas, polos distintivamente capitados y un área axial estrecha. Las estrias están espaciadas uniformemente en un arreglo paralelo y opuesto sobre toda la superficie valvar, excepto para el área central donde están ausentes las estrias, compuestas por dos hileras de puncta, que forman un patrón alternado. Bajo iluminación de campo claro el área central da la apariencia de estar finamente estriada. Longitud 43.6 μm ; anchura 6.8 μm ; 17 estrias en 10 μm
Distribución ecológica .- De agua dulce, sobre rocas, eutermal.

Alcance estratigráfico .- Pleistoceno al Reciente. Metcalfe (1985) la ha registrado para el Pleistoceno tardío en Zacapu, Estado de Michoacán. Las formas fósiles del Neógeno exhiben estrias con una sola hilera de puntuaciones, lo que sugiere una condición primitiva. Schwarzwalder y Postek (1981).

Synedra parassitica (W. Smith) Hustedt

(Lámina 8, Figura b)

Patrick y Reimer, 1966, p. 140, lám. 5, fig. 12

Tsang-Pi Chang y Steinberg, 1988,

Descripción morfológica .- Valva rómbica-lanceolada, con agudeza atenuada, pseudorrafe lineal o lineal-lanceolado. Estriás finas
Longitud: 11 μm ; anchura 4.2; 18-20 estriás en 10 μm

Distribución ecológica .- Agua dulce, epifítica sobre otras diatomeas, pH: alcalífila.

Alcance estratigráfico .- Holoceno.

Synedra ulna (Nitzsch) Erenberg

(Lámina 8, Figuras a, d-f)

Patrick y Reimer, 1966, p. 148, lám. 7, figs. 1, 2

Descripción morfológica .- Valva lineal con márgenes cóncavos, un poco constreñidos en la porción media de la valva. Extremos de la valva en forma de cuña con ápices rostrados-atenuados. Pseudorrafe distintivo, abruptamente más ancho en el área central. Área central casi tan larga como ancha, alcanzando los márgenes de la valva. Estriás paralelas a través de toda la valva. Longitud 60 μm ; anchura 5 μm ; 15 estriás en 10 μm

Distribución ecológica .- De agua dulce, alcalífila,

ticoplánctica, en zonas litorales, béntica.

Alcance estratigráfico .- Esta es una de las especies fósiles de *Synedra* que se presenta con mayor frecuencia, su alcance corresponde desde el Oligoceno hasta el Reciente. Existen escasas citas de esta taxa en rocas sedimentarias de agua dulce de edad oligocénica o miocénica. (Andrews, 1966, 1970; Van Landingham, 1970; Duthie y Rani, 1967; Bradbury, 1975 y Metcalfe, 1985).

DISCUSION DE RESULTADOS

Distintos minerales son derivados por la diagénesis del ópalo biogénico, tales como pedernal, porcelanita y lepisferas de ópalo CT. Todas estas transformaciones mineralógicas, también pueden deberse a alteraciones de detritos volcánicos, materiales vulcanogénicos derivados de erupción, rompimiento químico o productos de desintegración de algunas rocas preexistentes, como sílice inorgánico (Micutany, 1970; Siever, 1962; Calvert, 1966, entre otros). Sin embargo, por los resultados obtenidos, queda demostrado plenamente que los minerales reportados aquí provienen de las diatomeas; así, el ópalo CT es réplica de la forma original de algunas frústulas de *Melosira granulata* y *Epithemia* spp., (Figuras 4,5 y 7 de Lámina 1) esto puede ser observado en las fotografías tomadas en el MEB, donde se aprecia claramente que se utilizó el sílice derivado del ambiente inmediato, cuando la pared celular estaba disuelta.

Otra evidencia que apoya el origen biogenico para estos minerales diagenéticos consiste en que las frústulas de la diatomeas desaparecen en las proximidades del nódulo y en el nódulo mismo, aparece la cristobalita en cantidades incrementadas. Esta diagénesis en diatomitas, en la bibliografía consultada ha sido reportada sólo para sedimentos marinos; ahora, es reportada para sedimentos lacustres.

Quizá estos nódulos se hayan formado debido a que los sedimentos hayan sido muy porosos y de lenta tasa de sedimentación, condiciones que habían favorecido la formación de dichos nódulos.

En cuanto a la interpretación paleoecológica, todas las especies determinadas en este depósito son reconocidas como formas recientes que se presentan en agua dulce y sólo unas pocas en el ambiente de agua salina, lo que indica que esta diatomita fue depositada en agua dulce.

De acuerdo con las variaciones de temperatura de estas especies, la mayoría es eutermal, es decir, forma de agua cálida que soportan temperaturas superiores a los 30°C. Existen varias especies mesotermales, esto es formas que se encuentran entre los 15 y 30°C., otras que tienen una variación mas amplia. Lo anterior sugiere que se presentó un clima relativamente templado, tendiendo a cálido, cuando se formó este depósito.

Los datos de pH indican para la mayoría de las especies encontradas, un ambiente alcalino, pero, algunas especies son formas actuales de medio ácido como *Eunotia eruca* y *Pinnularia brevistriata* esta última, con frecuencia rara en la muestra; en cambio, la primera es común. Lo que es interpretado como un ambiente alcalino, que tendió a una condición alcalibiótica (pH 7 hasta 8.3); aspecto que se refuerza por la presencia de la especie *Melosira granulata* que fue de frecuencia abundante.

Se puede deducir que el sedimento estudiado se haya depositado en aguas someras, con abundante vegetación acuática, en razón de la presencia de especies de diatomeas epifíticas de los géneros *Cocconeis* y *Epithemia* entre otras, las cuales habrían sido abundantes. Otras especies muy abundantes fueron: *Fragilaria bicapitata*, que es típicamente bentónica y litoral y *Melosira granulata* la cual es plánctica, pero se le considera cosmopolita; de acuerdo con Bradbury (1970), es una forma planctica de agua dulce poco profunda y de lagos eutróficos cálidos.

El espectro de hábitat fue pues, predominantemente del tipo béntico litoral y epifítico, siendo escasamente no - plánctica y que de acuerdo con Patrick (1977), puede tratarse también de una comunidad de río o riachuelo, debido a que está representada por géneros bénticos así como epifíticos y con menor frecuencia en las especies pláncticas.

El gran predominio de especies bénticas indica, que esta diatomita se depositó, en un ambiente poco profundo y de acuerdo con Schrader (1978), pudiera ser de menos de 5 m de profundidad.

No de todas las especies encontradas se conoce exactamente su ecología; por tanto, hacen falta más estudios ecológicos sobre diatomeas.

De acuerdo con los estudios sobre diagenesis, se sabe que existe diferente susceptibilidad a la disolución, según las especies, por lo mismo, es posible que la diagenesis en este yacimiento, haya afectado la representación de las especies pláncicas, ya que solo se encontraron tres especies, entre las cuales *Stephanodiscus hantzschii* se observó muy alterada. A pesar de ésto, de todos modos, se puede considerar que el hábitat haya sido del tipo litoral béntico, ya que existe una gran diversificación de diatomeas bentónicas epifíticas, las cuales son más resistentes a los efectos diagenéticos.

En cuanto a la determinación de las especies, fue de gran importancia el uso del MEB, sobre todo en los generos *Fragilaria* y *Synedra*, en los que la taxonomía es problemática.

Todas las especies registradas son actuales, por lo que no es posible una determinación exacta de la edad sin embargo, de

acuerdo con el alcance estratigráfico de muchas de ellas, se puede sugerir una edad tardía, posiblemente pleistocénica u holocénica. Algunas de las especies encontradas tienen alcance estratigráfico desde el Plioceno y otras desde el Oligoceno; no obstante, la presencia de *Synedra goulardii* con estrias doblemente puntuadas sugiere una edad pleistocénica, ya que las formas fósiles del Neógeno presentan solamente una hilera de puntuaciones (Schwarzwalder y Postek, 1981).

CONCLUSIONES

- Las formas mineralógicas (Opalo A; Opalo CT; Porcelanita) evidentemente, se formaron a partir del sílice biogénico.
- De acuerdo con la revisión bibliográfica, se considera que el presente estudio, es el primero sobre diagénesis de sílice biogénico, en sedimentos lacustres.
- Los factores ecológicos indican un ambiente de agua dulce, clima templado, con tendencia a cálido, y un medio alcalifilo, tendiendo a alcalibiótico (pH 7-8.3).
- Hábitat poco profundo, somero, de tipo béntico, litoral, epifítico, pudiendo ser comunidad de río o riachuelo.
- La representación de las especies planctónicas probablemente ha sido afectada por la diagénesis.

- Se sugiere una edad Cuaternaria para la diatomita.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W.H. y Van Landingham, S, 1972, Micropaleontology and paleoecology of Miocene non-marine diatoms from the Harper District, Malheur County, Oregon: Nova Hedwigia., 23, p. 847-906.
- Andrews, G., 1966. Late Pleistocene diatoms from the Trempealeau Valley, Wisconsin, U. S.: Geol. Surv. Prof. Paper No.523-A.
- _____ 1970, Late Miocene nonmarine diatoms from the Kilgore area Cherry County, Nebraska : Geol. Surv. Prof. Paper. No. 693-A
- Anonymous, 1975, Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnoses: Nova Hedwigia, No. 53, p. 23-54.
- Blair, W., 1978, Gulf of California in Lake Mead Area of Arizona and Nevada during late Miocene time: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. Vol. 62, No. 7, p. 1159-1170.
- Boyer, C. S., 1927, Synopsis of North American Diatomaceae: Proc. Acad. Natur. Sci. Phila. 78 (Suppl.), 228 p.
- Bradbury, P., 1970, Diatoms from the Pleistocene sediments of Lake Texcoco, México: Révue de Géographie et de Géologie Dynamique, Vol. 12, No. 2. p.161-168, París.
- _____ 1971, Paleolimnology of Lake Texcoco, México : Limnology and Oceanography: Vol. 16, No.2, p. 180-200
- _____ 1975, Diatom Stratigraphy and Human Settlement

- in Minnesota: Geol. Soc. Amer. Spec. Paper ,Vol.171, 74 p.
- _____ 1969, Late Quaternary lacustrine paleoenvironment in the Cuenca de México: Quaternary Science Reviews, Vol. 8, pp. 75-100.
- Bradbury, F. y Whiteside, M. C., 1979, Paleolimnology of two Lakes in the Klutlan Glacier Region, Yukon territory, Canada, Quaternary Research, Vol. 14, p. 149-168
- Bradbury, F., Leyden, B., Salgado-Labouriau, M., Lewis, J., Schubert, C., Binford, M., Frey, D., Whitehead, D. y Weibezann, F., 1981, Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela: Science, Vol. 214, No. 457, p.1299-1305
- Burckle, L., 1980, Marine diatoms : in Gib-Argeet y Escalante E., (eds) Curso de micropaleontología aplicada, Inst. de Geología, UNAM. p. 1-42
- Calvert, S. E., 1966, Accumulation of diatomaceous silica in the sediments of the gulf of California: Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 77, p. 569-596.
- Cleve-Euler, A., 1951-1955. Die Diatomeen von Schweden und Finnland: Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, Series 4, Band 2: 1, 3: 3, 4: 1, 4: 5, 5: 4.
- Dapples, E. C., 1959, The behavior of silica in diagenesis: Soc. Econ. Paleontol. Min. Spec. Pub. 7, 189 p.
- Delevoryas, T., 1962, Morphology and evolution of fossil plants, Holt, Rinehart & Winston, New York. 187 p.
- Díaz Lozano, E., 1917, Diatomeas fósiles mexicanas: Anales del

Instituto Geologico de México No. 1, p. 30.

Díaz Lozano, E., 1937, Estratigrafía de un yacimiento fosilífero encontrado en la colonia de "Los Alamos", D.F.: Bol. Soc. Geol. Mex., Tomo IX, No. 5, p. 289-293

Duthie H. y Rani, M., 1967, Diatom assemblages from Pleistocene Interglacial beds at Toronto, Ontario: Canadian Journal of Botany, Vol. 45, p. 2249-2261

Ehrenberg, C.G., 1866, De la toba fitolitaria del Valle de Toluca: La Naturaleza, Tomo III, p. 116-132. Traducido por Burkart

Ehrenberg, C.G., 1869, Aus mikroskopischen Bacillarien unter und bei der Stadt Mexiko: Berlin. Buchdruckerei der Königl. Akademie der Wissenschaften. 66 p.

Foged, N., 1948, Diatoms in water-courses in Funen. VI. conclusions and general remarks: Dansk Botanisk Arkiv. No. 12, 109 p.

Flörke, D. W., Hollmann, R., von Rad V. y Rösch, A., 1976, Intergrowth and twinning in opal. CT lepispheres: Contrib. Mineral Petrol. 58, p. 235-242.

Germain, H., 1981, Flore des Diatomées eaux douces et saumâtres: Société Nouvelle des Editions Boubée, Paris, 444 p.

Hanna, G., 1927, The sowerest known tertiary diatoms in California: Journal of Paleontology, Vol. 1, No. 2, p. 103-127.

Hein, J. y Scholl, D., 1978, Diagenesis and distribution of Late Cenozoic volcanic sediment in the southern Bering Sea: Geol. Soc. Amer. Bull., Vol. 89, p. 197-210.

Hein, J., Scholl, D., Barron J., Jones M., y Miller, J., 1978,

- Diagenesis of late cenozoic diatomaceous deposits and formation of the bottom simulating reflector in the southern Bering Sea: Sedimentology Vol. 25, p. 155-181.
- Hecky, R., y Kilham, P., 1973, Diatoms in alkaline, saline lake: ecology and geochemical implications: Limnology and Oceanography, Vol. 18 (1), p. 53-70.
- Heribaud, J., 1902, Les diatomées fossiles d'Auvergne : Clermont-Ferrand, France, 166p.
- Hustedt, F., 1930. Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, Heft 10 of Pascher: Bacillariophyta (Diatomeae). Ottokoeltz Science Publishers. 466 p.
- Hutchinson, G. E., Patrick R., y Deevey, E., 1956, Sediments of Lake Patzcuaro, Michoacán, México.: Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 67, p. 1491-1504.
- Hurd, A., y Birdwhistell, S., 1983. On producing a more general model for biogenic silica dissolution.: Amer. Jour. Science, Vol. 283, p. 1-28.
- Isaacs, C.M., 1980, Diagenesis in the Monterey Formation examined laterally along the coast near Santa Barbara, California: Geol. Surv. Open File Rept. No.80-606, p.329
- José, A., y Mukhina, V., 1978. Diatom units and the Paleogeography of the Black Sea in the Late Cenozoic: DSDP, LEG 42B: Deep Sea Drilling Project, p. 903-915.
- Krauskopf, K. B., 1959, The geochemistry of silica in sedimentary environments, In. Silica in Sediments: Soc. Econ. Paleontol. Miner. Special Publication No. 7, p. 4-19

- Laws, R., 1989, Diatoms (Bacillariophyceae) from surface sediments in the San Francisco Bay Estuary: Proc. Calif. Acad. Science, Vol. 48, No. 9, p. 135-254.
- Lewin, J., 1961, The dissolution of silica from diatom walls: Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 21, p.183-198
- Lipsey, L., 1987, Freshwater diatoms (Bacillariophyceae) from the Northeastern glacial lake district of Wisconsin: Rhodora Vol. 89, No. 959, p. 261-276.
- Lipsey, J., 1988, Freshwater diatoms (Bacillariophyceae) from the northeastern glacial lake District of Wisconsin: Rhodora Vol. 90, No. 864, p. 379-397.
- Lohman, K., 1935, Diatoms from Quaternary Lake Beds, Near Clovis, New Mexico: Journal of Paleontology, Vol. 9, p. 453-459.
- _____ 1960, The ubiquitous diatom - a brief survey of the present state of knowledge: Geogr. Jour., Sci., Vol. 258-A, p. 160-191.
- Lohman, K. y Andrews, G., 1963, Late Eocene nonmarine diatoms from the beaver divide area Fremont County, Wyoming: Geol. Surv. Professional Paper, 59-E, 1-24.
- Maldonado-Koerdell, M., 1954, La historia geochronológica de la Cuenca de Mexico: Revista Mexicana de Estudios Antropológicos, No. 14, p. 15-21
- Metcalf, S., 1995, Late Quaternary environments of central Mexico: A diatoms record : Hertford College and The School of Geography, Oxford, Michaelmas: Tesis doctoral, p.565

- 1988, Modern diatom assemblages in central México: The role of water chemistry and other environmental factors as indicated by TWINSPAN and DECORANA : Freshwater Biology, 19, p. 217-233
- Metcalfe, S., y Harrison, P., 1984, Cambio ambiental del Cuaternario tardío en depósitos lacustres en la Cuenca de Zacapu, Michoacán. Reconstrucción preliminar: Bol. Inst. Geog., UNAM, México, No. 14, p. 121-152
- Mitsui, K. y Taguchi, K., 1977, Silica mineral diagenesis in Neogene Tertiary shales in the Tempoku District, Hokkaido, Japan: Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 47, No. 1, p. 158-167.
- Mizutani, S., 1970, Silica minerals in the early stage of diagenesis: Sedimentology, Vol. 15, p. 419-430
- Murata, K.J. y Larson, R., R., 1975, Diagenesis of Miocene siliceous shales Temblor Range, Calif.: Jour. Res. Geol. Surv., Vol. 3, No. 5, p. 553-566.
- Murata, R.J. y Nakata, J.K., 1974, Cristobalitic stage in the diagenesis of diatomaceous shale : Science, Vol. 184, p. 567- 568
- Murata, K. J., y R. G., Randall, 1975, Silica mineralogy and structure of the Monterrey Shale, Temblor Range: Jour. Res. Geol. Surv. p. 567-573.
- Ortega, M., 1984, Catálogo de algas continentales recientes de México, UNAM. 565 p.
- Patrick, R., 1977, Ecology of freshwater diatoms and diatom

communities, en : The biology of diatoms, Werner (ed.)p.
284-332.

Patrick, R., y Reimer, C. W., 1966, The diatoms of the United States: Monogr. Acad. Nat. Scie. Philadelphia 13.Vol. 2, part.1

Patrick, R. and Reimer, Ch. W., 1975, The diatoms of the United States: Acad. of Nat. Scie. of Philadelphia, Vol. 2, Part. 1, 213 pp.

Poulin, M. y Berard-Therriault L., y Cardinal A., 1986, Fragilaria and Synedra (Bacillariophyceae) a Morphological and ultrastructural approach): Diatom Research Vol. 1 (1), p.99-112.

Pisciotta, K., 1981 Diagenetic trends in the siliceous facies of the Monterey shale in the Santa Maria region, California: Sedimentology Vol. 28, p. 547-571.

Quintana- González, G.,1961, Estudio de diatomeas fósiles de México en el microscopio electrónico y en el espectrometro de rayos X: Tesis profesional, Facultad de Ciencias, Univ.Nacional Auton México. México, D.F.

Rico-Montiel, R., 1980, Estudio de la laminación fina de un depósito de diatomita en el Estado de Tlaxcala: IV Coloquio sobre Paleobotanica y Palinología, México, p.32

_____ 1983, Importancia de los depósitos de diatomeas fósiles de México : V Coloquio de Paleobotanica y Palinología, México.

- Rico-Montiel, R., Martínez-Holguín, E. y Vásquez-Rodríguez, J., 1980, Estudios de las asociaciones florísticas de un depósito de diatomita en el Estado de Tlaxcala: IV Coloquio sobre paleobotánica y palinología, México, p.32
- Rico-Montiel, R. y Martínez-Holguín, E., 1980, Paleoeología de la Cuenca de Charo, Mich.: IV Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología, México, p.34-35
- Rico-Montiel, R. y Martínez-López, L., 1983, Estudio de un depósito de diatomita de Sn. Fco. Los Reyes, Mich.: V Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología, México.
- Rico-Montiel, R. y Fernández, M., 1983, Reporte preliminar de un depósito de diatomita de Amatitlan, Jal.: V Coloquio de Paleobotánica y Palinología, México.
- Round, F. E., 1981, The ecology of algae: Cambridge University Press, 653 p.
- Setty, M. G., 1966, Preparation and method of study of fossil diatoms: Micropaleontology, Vol. 12, No. 4, p. 511-514.
- Schmidt, A., 1874-1959, Atlas der Diatomeen-Kunde : Forgesetzt durch M. Schmidt; F.Fricke; H. Heiden; O.Müller; F. Hustedt. Aschersleben und Lipzig. 4 volúmenes.
- Schelske, C.L., Conley, D.J., Stoermer, E.F., Newberry, T.L. y Campbell, C., 1986, Biogenic silica and phosphorus accumulation in sediments as indices of eutrophication in the Laurentian Great Lakes : Hydrobiología, Vol. 143, p. 79-

- Schutz, E., y Whitney, W., 1986, Upper Pleistocene and Holocene lakes in the An Nafud, Sandi Arabia: Hidrobiologia Vol.143, p. 175-190.
- Schwarzwalder, R., y Postek, M., 1981, Valve morphology of *Synedra goulardi*: J. Phycol. Vol.17, p. 412-414.
- Shrader, H., 1978, Quaternary through Neogene history of the Black Sea, deduced from the paleoecology of diatoms, silicoflagellates, ebridians, and crysomonads: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Vol. 42, Part 2. p. 789-901
- Siever, R., 1959, Petrology and geochemistry of silica cementation in some Pennsylvanian sandstones. In: Silica in sediments: Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Special Pub. Vol. 7, p. 55-79.
- Siever, R., 1962. Silica solubility, 0-200° C. and the diagenesis of siliceous sediments: The Journal of Geology. Vol. 70. No. 2, p. 127-150.
- Silva, Mora, L., 1979, Contribution a la connaissance de L'Axe volcanique transmexicain: Etude geologique et Petrologie des laves du Michoacan Oriental, Tesis doctorado, Université de Droit Deconomie et des Sciences d'aixmarseille. Tome 1, 102 p., Tome 2, 87 p.
- Stevenson, R. y Stoermer E., 1981, Quantitative differences between benthic algal communities along a depth gradient in Lake Michigan : J. Phycol. Vol. 17, p.29-36
- Tappan H., 1980. The paleobiology of plant protist: Ed. Freeman

- and Company, EUA 1028 p.
- Taylor T., 1981, Paleobotany. An introduction to fossil plant biology: Mc. Graw-Hill 589 p.
- Theriot, E. and Stoermer, E., 1982, Observations on North American Populations of *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) Species Attributed to Friedrich Hustedt.: Trans. Amer. Micros. Soc., Vol. 101 (4): p. 368-374.
- Tsang-Pi Chang y Steinberg, Ch., 1988, Epiphytische Diatomeen auf *Cymatopleura* und *Nitzschia*: Diatom Research, Vol. 3 (2), p. 203-216.
- Van Heurck, H., 1896, A treatise on the Diatomaceae: William Wesley & Son, London. 558 p.
- Van Landingham, S., 1970, Origin of an early non-marine diatomaceous deposit in Broadwater country, Montana, U.S.A.
- Vinyard, W.C., 1979, Diatoms of North America: Ed. Mad River Press Inc. California, U.S.A. p.119
- Von Rad, U., Riech, V. y Rösch, H., 1978, Silica diagenesis in continental margin sediments off Northwest Africa: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 31, p. 879-905
- Watts, W., and Bradbury J., 1982, Paleocological studies at Lake Patcuaro on the West-Central Mexican Plateau and at Chalco in the Basin of Mexico: Quaternary Research 17, p. 56-70.
- Werner D., 1977, The biology of diatoms: Botanical Monographs, University of California Press 497 p.
- Willey, J.D., 1980, Effects of aging of silica solubility: a

laboratory study : Geochim. et. Cosmochim Acta Vol. 44,
p.573-578

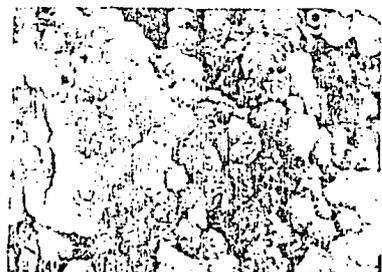
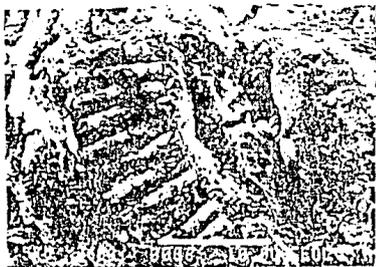
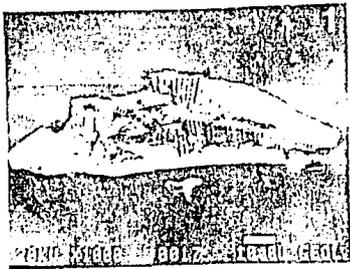
Williams, D. y Round, F., 1986, Revision of the genus synedra
Ehrenb.: Diatom Research, Vol. 1(2), p. 313-339.

Williams, D., y Round F., 1987, Revision of the Genus Fragilaria
: Diatom Research Vol. 2 (2), p. 267-288.

Williams, L., y Crerar, D., 1985, Silica Diagenesis II. General
Mechanisms.: Jour. Sedimen. Petrol., Vol. 55, No. 3. p. 312
a 321

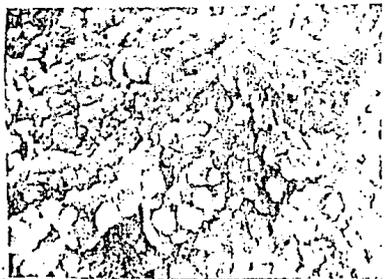
Williams, L., Parks, G., y Crerar, D., 1985, Silica Diagenesis, I.
Solubilidad Controls: Jour. Sedimen. Petrol., Vol. 55, No.
3, May, 1985.

LAMINA 1 . Fig. 1:Ópalo A; Figs. 2-5: Ópalo A'; Figs. 6-8:Ópalo CT en forma masiva; Figs.6,8 y 9:Ópalo CT en forma de lepisferas.



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

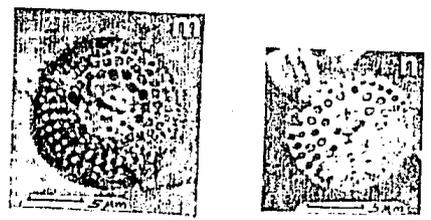
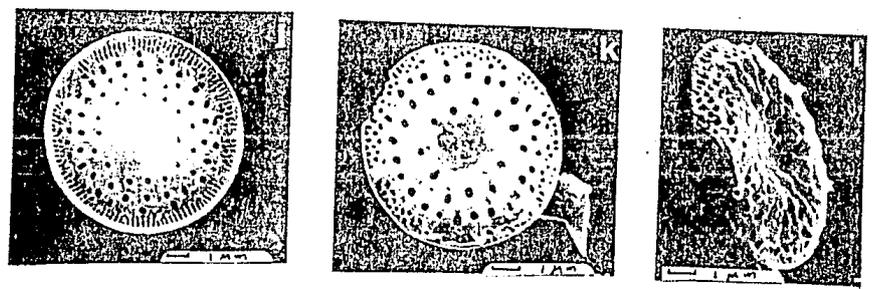
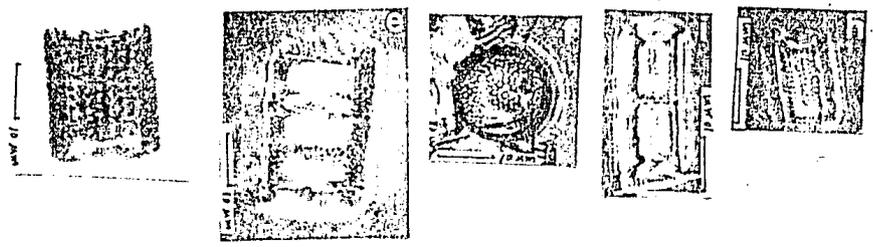
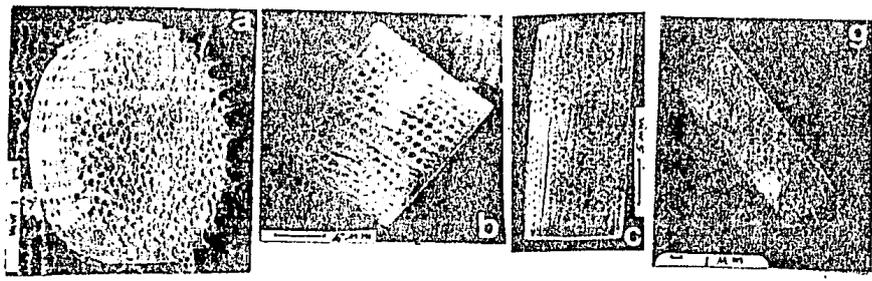
LAMINA 2 Figs. 1,2: ópalo A'; Figs. 3,5: ópalo CT en forma
masiva; Figs. 3-8: ópalo CT en forma de lepisferas
y hojas.



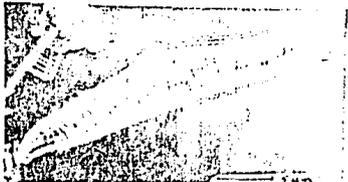
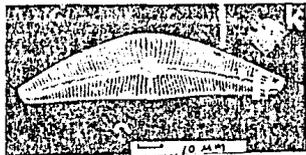
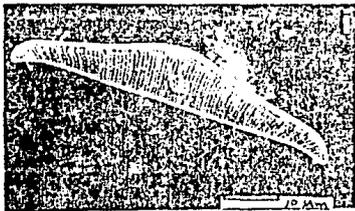
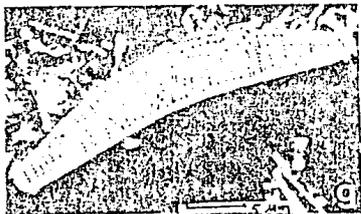
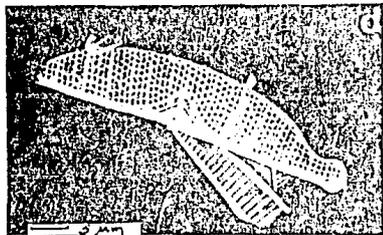
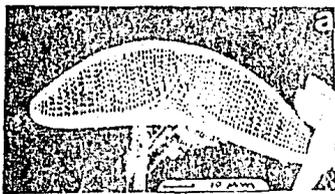
LAMINA 3 . Figs. a-f : Melosira granulata (Ehr.) Ralfs. a-c (al MEB)
d-f (al ML).

Figs. g,h,i: Melosira granulata var. angustissima Mull
g(al MEB); h,i (ML).

Figs. j-n : Stephanodiscus hantzschii Grunow
j,k,l,(al MEB); m,n (al ML).



LAMINA 4 . Fig. a: Epithemia turgida var. westermanni (Ehr.) Grun.
Fig. b,c: Epithemia sorex Kutzing. b(al MEB); c(ML).
Fig. d,e: Epithemia adnata var. proboscidea (Kutz.)
 Patr.comb.nov. d(al MEB); e(ML).
Figs.f,g,h: Epithemia hyndmanii W.Sm. var. hyndmanii
Figs.i,j: Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Muller
Figs.k,l: Cymbella lanceolata (Ag.) Agardh k(al MEB)
 l(ML).
Fig. m: Pinnularia brevicostata Cleve (al ML)



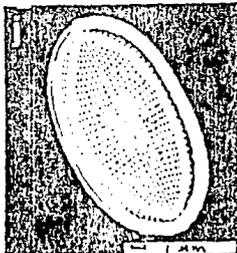
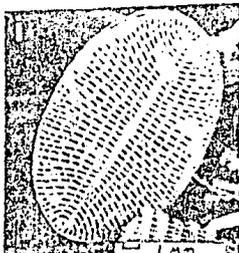
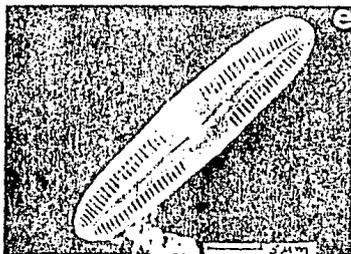
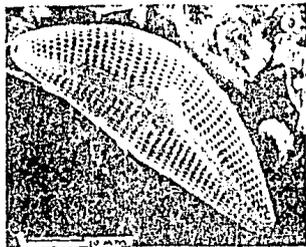
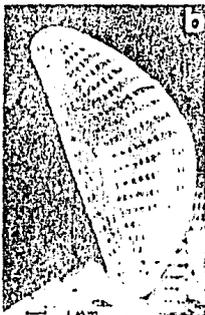
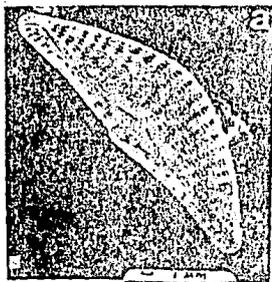
LAMINA 5 .Fig. a:Cymbella minuta Hilse ex Rabenhorst (al MEB)

Figs.b,c:Cymbella prostrata var. auerswaldii (Rabh.)
Reimer comb. nov. b(al MEB), c(al ML).

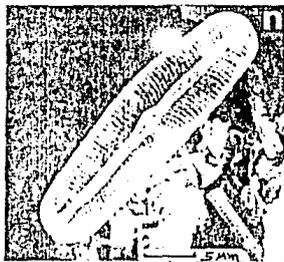
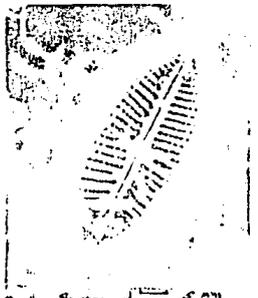
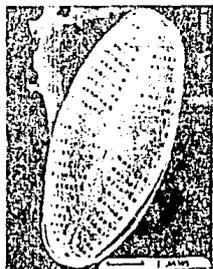
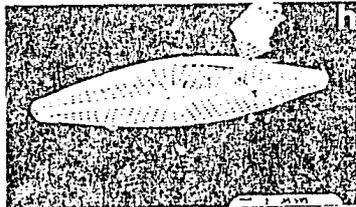
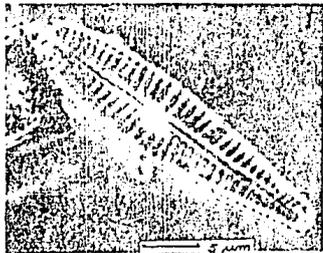
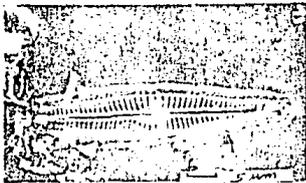
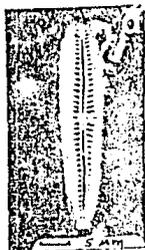
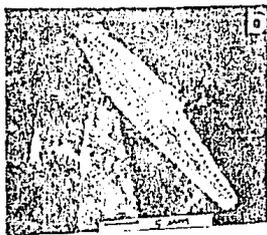
Figs.e,f:Caloneis bacillum (Grun.)Mereschkowsky.
e(MEB);f(ML).

Figs.g,h:Eunotia eruca Ehrenberg. g(al MEB);h(ML)

Figs.i,j,k,l:Cocconeis placentula var. lineata (Ehr.)
Van Heurck. i,j(MEB);k,l(ML).



- LAMINA 6 . Figs. a,d : Gomphonema fanensis Maillard. a (MEB); d (ML).
Figs. b,e : Gomphonema clevei Fricke. b (MEB); e (ML).
Figs. c,f : G. subclavatum var. mexicanum (Grun.) Patr.
c (MEB); ; f (ML).
Figs. g,j : Navicula anglica Ralfs. g (al MEB); j (ML).
Figs. h,k : Navicula radiosa Kutzing. h (MEB); k (ML).
Figs. i,l : Navicula minima Grun. i (al MEB); l (ML).
Fig. m : Navicula mutica var. undulata (Hilse) Grunow. (MEB).
Fig. n : Navicula americana Erh. (al MEB).



LAMINA 7 . Figs. a,b,c : Nitzchia frustulum (Kutz.) Grun. a,b(MEB);
c(ML).

Figs. d, e, f : Opephora martyi Heribaud . d(MEB);e,f(ML).

Figs. h,i : Staurosira construens (Ehrenb.) Grunow h(ML);
i(al MEB).

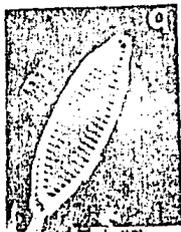
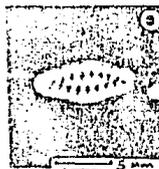
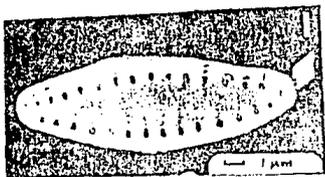
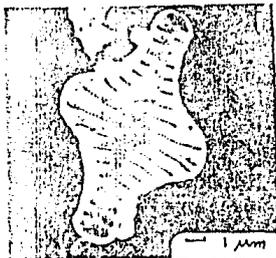
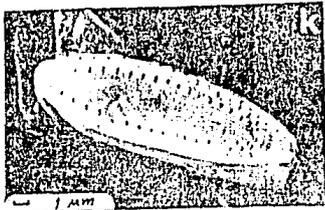
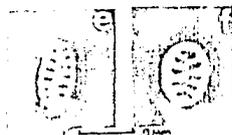
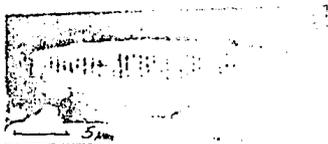
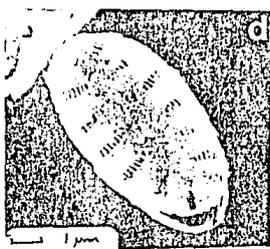
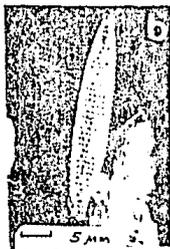
Fig. j : Anomeoneis sphaerophora (Ehr.) Pfitz. (MEB)

Figs.k,l,m : Staurosirella lapponica (Grunow) Williams y
Round, comb. nov. todas al MEB

Figs. n,o : Pseudostaurosira brevistriata (Grun. in Van-
Heurck) Williams y Round, comb. nov.
n (al MEB); o (ML).

Fig. p : Staurosira elliptica (Schumann) Williams y Round
COMB. NOV. (al MEB).

Figs. q,r,s : Fragilaria bicapitata A.Mayer q,r(alMEB);
s(al ML).



LAMINA 8 . Figs. a, d-f : Synedra ulna (Nitzsch) Ehrenberg

Fig. b: Synedra parasitica (W.Smith) Hustedt (al MEB).

Fig. c: Synedra goulardii Brebisson (al MEB)

