

03096

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR
Y LIMNOLOGÍA

“INTERPRETACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS
POBLACIONES DE DIATOMEAS PRESENTES EN
UN DEPÓSITO DE DIATOMITA LACUSTRE EN
TLAXCALA (SECCIÓN SANTA BÁRBARA)”

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
P R E S E N T A :
BIÓL. ESTELA CUNA PÉREZ

294436
OK.

DIRECTOR DE TESIS : DRA. GLORIA VILA CLARA FATJÓ

MÉXICO D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Sea para las siguientes Personas, Instituciones y Proyectos mi más sincero agradecimiento, por el asesoramiento y apoyo prestados para la realización de este trabajo:

Dra. Gloria Vilaclara Fatjó

Dra. Isabel Israde Alcántara

Dra. Margarita Caballero Miranda

Dr. Enrique A. Cantoral Uriza

Dr. Arturo Carranza Edwards

M. en C. Jacqueline Cañetas (Laboratorio de microscopia electrónica, IFUNAM)

Laboratorio de Paleolimnología y Ecología Acuática, Proyecto CyMA, FES. Iztacala

Instituto del Ciencias del Mar y Limnología

CONACYT (Beca para estudios de Maestría)

Proyecto: "Dinámicas cifradas en sistemas biológicos: El tránsito de secuencias a mecanismos" (DGAPA IN116198, 1998-2000)

Proyecto: "Efecto de perturbaciones en sistemas con invariancia de escala (CONACYT, 34512-E, 2000-2002)

¡ MIL GRACIAS !
Biól. Estela Cuna P.

CONTENIDO

Índice de Figuras-----	I
Índice de Tablas-----	II
Resumen-----	III
1. Introducción-----	1
1.1 Antecedentes-----	2
1.2 Justificación-----	4
1.3 Objetivos-----	4
1.4 Área de Estudio-----	5
2. Metodología-----	10
2.1 Toma de Muestras-----	10
2.2 Trabajo de Laboratorio-----	10
2.3 Identificación de Taxa-----	11
2.4 Conteo de Taxa-----	12
2.5 Tratamiento de Datos-----	12
3. Resultados-----	14
3.1 Caracterización de las Laminaciones-----	14
3.2 Clasificación Taxonómica-----	18
3.3 Abundancias Relativas-----	18
3.4 Clasificación por Preferencias Ecológicas-----	22
3.5 Agrupaciones de Diatomeas por Análisis de Factores-----	23
3.6 Diversidad de las Especies de Diatomeas-----	24
4. Análisis y Discusión de Resultados-----	25
4.1 Caracterización de las Laminaciones-----	25
4.2 Interpretación de los cambios en las poblaciones de diatomeas, basándose en su abundancia relativa y preferencias ecológicas-----	26
4.3 Análisis de las agrupaciones características-----	29
4.4 Interpretación de los cambios observados en la diversidad-----	30
5. Conclusiones-----	32
Bibliografía-----	34
Anexo I: Estandarización del Método de Utermhöl (Sedimentación y Conteo con Invertoscopio-----	47
Anexo II: Clasificación Taxonómica y Análisis Taxonómico-----	52

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.1: Provincias fisiográficas de México. Principales elementos tectónicos y localización de los yacimientos de diatomitas.....8
- Fig. 1.2: Estructuras geológicas de la región de Puebla-Tlaxcala, México, con el cono cinerítico vecino del paleolago resaltado, y un perfil topográfico a través del mismo y de la zona donde se encuentran las minas9
- Fig. 3.1: Análisis de Cluster para las 106 laminaciones analizadas.....17
- Fig. 3.2a: Diagrama de la distribución vertical de las diatomeas representativas (>2% en abundancia relativa) presentes en la zona estudiada, agrupadas según su hábitat.....20
- Fig. 3.2b: Diagrama de la distribución vertical de las diatomeas representativas (>2%) presentes en la zona estudiada, tomando en consideración sus valores absolutos, la cantidad de taxa, sus valores de diversidad y equitatividad.....21
- Fig. 3.3: Análisis de factores aplicados a los principales taxa de la zona de estudio.....23
- Fig. II Tipos de estomatoquistes (de acuerdo con Duff *et al.* 1995) localizados en la mina Santa Bárbara (paleolago Tlaxcala).....79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1: Relación entre las diferentes laminaciones, los valores absolutos, No. de taxa y los índices de diversidad (H') y equitatividad (J').....	14
Tabla 3.2: Diatomeas (%>2) presentes en el paleolago Tlaxcala (Sección Santa Bárbara) agrupadas según su intervalo de adaptación ecológica.....	22
Tabla 3.3: Especies significativas según el análisis de factores.....	23
Tabla I: Resultados de la estandarización de la técnica del invertocopio.....	50
Tabla II: Comparación entre el método de la alícuota y del invertoscopio	51
Tabla III: Comparación del número de valvas según tres métodos diferentes (Battarbee, 1986).....	49

RESUMEN

Dado el potencial de las diatomeas como indicadores paleoecológicos y la abundancia de yacimientos de diatomita que existen en la Faja Volcánica Mexicana, testigos de un pasado más húmedo en la zona, se hace necesario emprender estudios sistemáticos para -con base en la composición y el número de sus diatomeas fósiles- interpretar las condiciones paleolimnológicas e incluso paleoambientales que dominaron en los paleolagos. El presente trabajo tuvo como finalidad la interpretación paleolimnológica de los cambios en las poblaciones de diatomeas presentes en el paleolago de Tlaxcala (mina Santa Bárbara), con base en el estudio cualitativo y cuantitativo de sus agrupaciones de diatomeas. El estudio se realizó con la toma directa de muestras en la pared de diatomita, en las laminaciones que se ubicaron cada 5 cm de distancia, a lo largo de los 5.05 m de altura de la mina. Se realizó la descripción de los taxa observados y el conteo absoluto (por la técnica de Utermöhl). Con base en el análisis realizado fue posible dar respuesta satisfactoria a algunas de las preguntas que dieron origen a este estudio: Durante el tiempo de depósito de la diatomita, este paleolago fue de agua dulce a oligohalina, alcalino, mesotrófico con tendencia a la eutrofización. Presentó fluctuaciones en el nivel de sus aguas sin llegar a la desecación. Se vio afectado por perturbaciones alogénicas observadas como laminaciones de color gris claro (material de origen volcánico y valores bajos de conteo absoluto de diatomeas); estas perturbaciones básicamente no alteraron el funcionamiento del lago (caracterizado por el depósito continuo de diatomita). La estratigrafía marca tres zonas distintas de perturbación: diatomita con alto contenido en terrígenos en la base (2.85-5.05 m) y cúspide de la columna (0.00-0.75 m), diatomita más blanca -con menos terrígenos- entre los 0.75 e 2.85 m. La distribución dominante de diatomeas varía con este aspecto general y cambia drásticamente a los 2.85 -después de la perturbación más visible, insertada a los 3.05 m-. Así, se presentan dos secciones: La zona I-*Aulacoseira*, de 0.00 a 2.85 m, y la zona II-*Stephanodiscus*, de 2.85 a 5.05 m. Tanto *Stephanodiscus* como *Aulacoseira* se asocian como géneros a condiciones con alta concentración de nutrientes; sin embargo, los *Stephanodiscus* de diámetro grande se adaptan a mayores volúmenes de agua, mientras que las *Aulacoseira* lo hacen a condiciones de turbulencia, turbidez y mayor cantidad de nutrientes en la zona fótica, todo ello asociado con tirantes menores de agua.

1. INTRODUCCIÓN

La observación de la superficie de la tierra ha demostrado la existencia de un número finito de ambientes y procesos sedimentarios, los cuales –con base en el principio del uniformitarismo, “el presente es la clave del pasado”– podemos extrapolar al pasado y utilizar la analogía con los procesos presentes en la interpretación de secuencias antiguas de sedimentos (Delcourt y Delcourt, 1991; Donahue, 1970).

Como en cualquier otro ambiente sedimentario, en los lagos, la sedimentación está controlada por los procesos físicos, químicos y biológicos que dependen –a su vez– de los factores que controlan la dinámica lacustre. En un lago determinado, la importancia relativa de unos procesos con respecto a otros se reflejará en el tipo de sedimentos que en él se acumulan y en su distribución. Kukul (1971) considera cuatro tipos principales de sedimentos originados en lagos: a) sedimentos mecánicos o clásticos, b) sedimentos de origen químico -carbonatos, otras sales-, c) sedimentos bioquímicos, que comprenden los depósitos formados por la actividad fisiológica de organismos, d) sedimentos orgánicos, incluyendo los sedimentos formados por partes minerales de organismos y los constituidos por partes durables de organismos.

Según su procedencia, Jones y Bowser (1978) consideran que los componentes mineralógicos de los sedimentos pueden ser alógenos (de zonas externas al lago), endógenos (originados en la columna de agua) o autógenos (producidos mediante reacciones que tienen lugar en los sedimentos una vez depositados). Las fracciones alógenas reflejan, en principio, los procesos físicos del sistema lacustre, mientras que las fracciones endógenas y autógenas son resultado de procesos químicos y biológicos. En algunos casos es difícil distinguir entre componentes endógenos y autógenos.

Entre los componentes endógenos, los restos fósiles son elementos muy importantes para la interpretación paleolimnológica, debido a que proporcionan indicaciones paleoecológicas de gran interés, como son la existencia de fondos anóxicos, la salinidad, relación con el mar, etc. (Margalef, 1983).

Formando parte de los restos fósiles endógenos se encuentran las diatomeas. Éstas son algas unicelulares pertenecientes a la División Bacillariophyta (Round *et al.*, 1990). Su aparición en el registro fósil dulceacuícola es reciente, apenas datan del Terciario (Abbott y Van Landingham, 1972; Lohman, 1961 y Round *et al.* 1990), por lo que la mayoría de los géneros y muchas de las especies fósiles tienen correspondencia con las actuales (Andrews, 1966, 1972 y Lohman, 1960); ello permite utilizar los conocimientos sobre los requerimientos ecológicos de muchas especies y de la composición de las comunidades a partir de las diatomeas contemporáneas para conocer las condiciones del pasado y de las causas que motivaron sus cambios (concepto de “analogía” o “cuan cercanas son las comunidades pasadas y las presentes” y el ya mencionado principio del “uniformitarismo” o “el presente es la clave para comprender el pasado”, Delcourt y Delcourt 1991; Donahue, 1970). La cubierta silíceo de las diatomeas posee suficientes características para su identificación en el nivel de especie e incluso de variedad, lo cual simplifica su uso como indicadores en sedimentos (Bradbury, 1982^a).

Las diatomeas han destacado por su utilidad como indicadores ecológicas porque son sensibles a las variaciones en la química básica, la cantidad de nutrimentos y de materia orgánica —entre otros factores—, así como por la ventaja que representa su frecuentemente elevada densidad numérica, la cual se presta a estudios biométricos y las hace adecuadas para establecer estratigrafías a pequeña escala; es posible reconocer incluso capas anuales por medio de la sucesión de organismos (Margalef, 1957; 1962). Asimismo, se han empleado las diatomeas para estimar la profundidad relativa del cuerpo de agua en el tiempo correspondiente a los puntos de colecta (conjuntamente con espículas de esponjas, Brugam 1980), paleotemperaturas (Delcourt y Delcourt, 1991; Donahue, 1970; Margalef, 1962), condiciones químicas, tróficas y saprobias (Battarbee, 1986; Beadle, 1981; Brugam, 1980; Clark y Wasson, 1986; Lipsey, 1988; Lowe, 1974; Margalef, 1957 y Sládeček, 1986).

Cuando los restos silíceos de diatomeas dominan masivamente en los sedimentos, éste se denomina diatomita o tierra diatomácea. Los frústulos que la componen conforman una variedad de ópalo coloidal, amorfa, constituida por la acumulación de restos silíceos de diatomeas (Hernández Velasco, 1955).

1.1 ANTECEDENTES

Los depósitos de diatomita de origen lacustre son numerosos en los continentes. Ya en 1933, Taliaferro menciona la existencia de depósitos de diatomita, asociados con vulcanismo Terciario y Cuaternario. Estos depósitos se originaron en sedimentos lacustres y texturalmente presentan toda la gradación entre la diatomita pura y las cenizas puras. Taliaferro concluyó que, con pocas excepciones, los depósitos gruesos y extensos de diatomita se asociaban estrechamente con productos volcánicos, particularmente con cenizas volcánicas. Estos productos aportaban cantidades considerables de sílice al agua, aprovechado para el crecimiento de las diatomeas que, al morir, dejaban sus esqueletos en el sedimento.

En México, dadas las características geológicas y geomorfológicas, se han producido depósitos lacustres ricos en restos de diatomeas, en numerosos lugares (Díaz Lozano, 1917), los cuales han sido estudiados desde hace más de un siglo (Ehrenberg 1846, 1854, 1866, 1869 y 1876) hasta el presente (Bradbury, 1971, 1974, 1982^a y b; Caballero, 1991, 1995, 1996, 1997; Caballero *et al.*, 1995 y en prensa; Hernández-Velasco, 1955; Israde, 1995; 1997; Israde y Garduño, 1999; Lozano García, 1946; Lozano y Ortega, 1994; Lozano *et al.*, 1993; Metcalfe, 1986, 1988; Metcalfe *et al.*, 1986, 1989, 1991; Miranda *et al.* 1994, 1986; Ontiveros-Hernández, 1964; Rico *et al.* 1991, 1992, 1993, 1994, 1995 y 1997; Urrutia y Lozano 1991; Vilaclara, 1997; Vilaclara *et al.*, 1996, 1997^a, 1997b, 1998; Von Erffa *et al.*, 1976 y Watts y Bradbury, 1982). Los depósitos ubicados en la Faja Transversal se encuentran casi siempre asociados con cenizas y lodos volcánicos que forman las capas de tobas tan comunes en el relleno sedimentario lacustre Terciario, Cuaternario y reciente de estas grandes cubetas tectónicas, en las que —como ocurre en la Cuenca de México— los depósitos lacustres conteniendo restos de diatomeas son tan frecuentes y se asemejan entre sí de tal modo, que —aunque desconectados— puede decirse que tienen una historia geológica

semejante y que su origen y variaciones del régimen de las aguas en las que se formaron era parecido (Díaz Lozano, 1917).

Por otro lado, Bradbury (1974) menciona que hacer una correlación paleontológica entre depósitos del Pleistoceno y Holoceno es complicado por el corto intervalo de tiempo que separa estas unidades, y por la falta de especies extintas en muchos grupos de plantas y animales. Sin embargo, podría realizarse una correlación, relativamente detallada, usando los cambios en las agrupaciones de diatomeas presentes en estos depósitos lacustres.

En el año de 1918 se descubrieron los yacimientos que se localizan en el Municipio de Tlaxcala, Estado de Tlaxcala. Los cuales presentan una gran pureza (aproximadamente 70-86 %) de diatomita (Hernández-Velasco 1955), lo cual los coloca como uno de los yacimientos más importantes del país desde el punto de vista económico (Ontiveros-Hernández 1964). A pesar de ello, el yacimiento dejó de ser explotado hace ya más de 20 años, al parecer debido a problemas ejidales. Gracias a ello, han quedado expuestas y conservadas dos secciones, Sta. Bárbara y El Lucero, adecuadas para el estudio de la evolución lacustre del paleolago.

Como resultado de los estudios realizados en el paleolago Tlaxcala, puede decirse que los sedimentos de este paleolago son laminados y están formados principalmente por fósiles de diatomeas. Presentan una alternancia de capas oscuras – ricas en arcillas y en cenizas volcánicas- y claras -diatomita pura o bien tierra diaromácea, menos abundante en restos de diatomeas-, en grosores que oscilan de aproximadamente 0.3 mm a varios cm de espesor (Rico *et al.*, 1991; 1993; 1997). La revisión de dichas laminaciones *in situ* resulta muy sugerente por cuanto que la elevada humedad del material permite observar la existencia de lo que fue un patrón complejo de fluctuaciones ambientales. Dichas fluctuaciones integran la huella de la suma de procesos que operaron en tiempo y espacio en el paleolago. A primera vista, destaca la superposición de fenómenos de intensidades y escalas diferentes: erupciones volcánicas episódicas que perturbaron fenómenos cíclicos del lago (Rico *et al.*, 1997 Vilaclara, 1997, Vilaclara *et al.*, 1977^a; 1997b).

A partir de los restos de diatomeas presentes en este paleolago, se ha inferido que era un lago de agua dulce, mesotrófico con tendencia a la eutrofia; que fue perturbado por fenómenos volcánicos que interrumpieron la colonización normal de las diatomeas, eliminándolas casi en su totalidad y fomentando la aparición posterior de otras especies; de aguas profundas, presentando fluctuaciones en la profundidad, caracterizado por una alternancia de especies planctónicas y epífito-bentónicas (Cuna, 1997; Juárez, 1998; Robledo, 1997; Rodríguez, 1998; Vilaclara, 1997).

Este proyecto forma parte de una serie de estudios en los depósitos de diatomitas del paleolago llamado Tlaxcala. Dichos estudios se iniciaron a partir de 1992 en forma interdisciplinaria entre la FES Iztacala, el Instituto de Física y el Centro de Ciencias Físicas. Tales estudios han sido apoyados hasta la fecha por cinco proyectos de investigación: “Efectos de perturbaciones y catástrofes en sistemas naturales. El caso del vulcanismo y el clima en los sedimentos lacustres diatomíferos de la Faja Volcánica Mexicana” (DGAPA IN203094, 1994-1997), “Dinámicas lejos del equilibrio” (DGAPA IN103595, 1995-1998), “Dinámicas cifradas en sistemas biológicos: El tránsito de secuencias a mecanismos” (DGAPA IN116198, 1998-2000),

“Paleoclimas y paleoambientes del Centro de México y sus implicaciones interhemisféricas” (CONACYT, G-28528T, 1998-2002), “Efecto de perturbaciones en sistemas con invariancia de escala” (CONACYT, 34512-E, 2000-2002). Dichos proyectos han producido o están en proceso de generar varias presentaciones en congresos y publicaciones (Cuna, 1997; Juárez *et al.*, 1997 y 1998; Martínez-Mekler *et al.*, 1998; Miranda *et al.*, 1994 y 1996; Rico *et al.*, 1993; 1995 y 1997; Robledo *et al.*, 1996; Rodríguez *et al.*, 1996 y 1997; Vilaclara *et al.*, 1996; 1997a; 1997b).

1.2 JUSTIFICACIÓN

Dada la abundancia de yacimientos de diatomita que existen en la FVM, testigos de un pasado más húmedo en la zona, se hace necesario emprender estudios sistemáticos para, con base en el número y composición de sus diatomeas fósiles, interpretar las condiciones paleolimnológicas e incluso paleoambientales que dominaron en los paleolagos. La información acumulada para el paleolago de Tlaxcala genera preguntas que un muestreo completo de la sección del paleolago (Mina Sta. Bárbara) puede ayudar a resolver: Con base en la sección muestreada, ¿se trató de un lago somero o profundo, o bien fluctuó entre ambos extremos?, ¿fue un lago de aguas dulces o salinas?, ¿en qué intervalo de trofismo variaron sus aguas?, ¿cómo influyó la caída de cenizas volcánicas en el lago?.

Dado que el potencial de las diatomeas como indicadores paleoecológicos ha quedado ampliamente demostrado, el presente trabajo tiene como finalidad la interpretación paleolimnológica de los cambios en las poblaciones de diatomeas presentes en el depósito lacustre de diatomita de Tlaxcala (Mina Santa Bárbara).

1.3 OBJETIVO GENERAL

Con la realización de esta investigación se pretende:

Interpretar los cambios paleolimnológicos registrados en la sección “Sta. Bárbara” del paleolago ubicado en Tlaxcala, con base en el estudio cualitativo y cuantitativo de sus agrupaciones de diatomeas. Dicho objetivo se logrará mediante los siguientes objetivos particulares:

- 1) Caracterizar las agrupaciones de diatomeas fósiles mediante la determinación y el conteo de los taxa observados.
- 2) Interpretar los cambios ambientales registrados en la sección estudiada con base en las agrupaciones de diatomeas caracterizadas.

1.4. ÁREA DE ESTUDIO

Las unidades estratigráficas más antiguas del Estado son rocas sedimentarias; en particular, depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que -de acuerdo con su litología- son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas, y de areniscas y calizas. Es posible que estas rocas pertenezcan al Terciario Inferior, ya que se encuentran cubiertas por derrames andesíticos y tobas intermedias del Terciario Superior (Mioceno). Las riolitas y tobas ácidas, que aparecen restringidas a unos cuantos afloramientos dentro del estado, pertenecen al Terciario Superior (Plioceno) (Secretaría de Programación y Presupuesto-SPP-, 1981).

Se designa como "Sedimentos Lacustres de Tlaxcala" a los sedimentos epiclásticos granulosos que fueron depositados en lagos durante el Terciario. Se observan en escalones bajo las tobas y capas de lava del Cuaternario, pero -como hasta ahora no se han fechado o encontrado fósiles como indicadores estratigráficos- sólo puede ser supuesta una edad Pliocénica partiendo de su posición estratigráfica. Constan de material epiclástico y arcillas, éstas últimas derivadas de la alteración de material volcánico. Especialmente característicos son los estratos arcillosos verdes en los que se ha formado el mineral nontronita, lo que indica que la sedimentación tuvo lugar en aguas salobres (Von Erffa *et al.* 1976).

Los depósitos de diatomita se encuentran por encima de estos "Sedimentos Lacustres de Tlaxcala", aunque el contacto no es directo, sino que se observa una discontinuidad importante con materiales tipo tobas. Asimismo, la extensión de los depósitos de diatomita es mucho más restringida que la de los sedimentos lacustres de Tlaxcala, que cubrieron gran parte de la superficie del estado. La discontinuidad, su ubicación por encima de los sedimentos lacustres Terciarios y lo restringido del depósito apuntan a considerarlo una unidad estratigráfica diferente, posterior en el tiempo. El yacimiento se localiza en la parte central del estado de Tlaxcala, a los 19°24' N y a los 98°18' W (figs. 1 y 2). La proximidad de las minas de Santa Bárbara y El Lucero -actualmente sin explotación económica- y su composición florística, permiten suponer un mismo origen lacustre, al que se ha denominado como paleolago de Tlaxcala (Rico *et al.* 1995). El paleolago se sitúa en las tierras altas de la F.V.M., por arriba de los 2,300 m s.n.m. Las barrancas y otros cortes naturales que presenta el terreno en dicha zona, descubren numerosos afloramientos blanquecinos de diatomita, más o menos ligados entre sí, los que se observan en una extensión superficial de más de 75 km² (Lozano García 1946). La correlación estratigráfica con restos de Glyptodonte encontrados en la cercana barranca Huexoyucan y el tipo de diatomeas encontradas, parece confirmar que las diatomitas estudiadas son más recientes (Plio-Pleistocenas) que los sedimentos Terciarios (Rico *et al.*, 1991; Rico *et al.*, 1995). Se observan en el depósito numerosos estratos ricos en productos de la actividad volcánica de la zona (Miranda *et al.*, 1994 y 1996).

La región se halla dominada al oeste-suroeste por los edificios volcánicos del Popocatepelt e Iztacihualt, y al sureste por la Malitzin, esta zona se encuentra cubierta por numerosos conos cineríticos (SPP, 1981). La formación de los estratovolcanes se inició en el Plioceno, alcanzó una gran intensidad en el Cuaternario (Pleistoceno), dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas, aunque

la intensificación de la actividad –por lo menos la del Popocatepelt- duró hasta el Holoceno (Heine, 1973; Miehl, 1974; y Aeppli & Schönlals, 1973 en Von Erffa, 1976). En la base de la Malinche y en el Bloque de Tlaxcala fueron halladas ignimbritas que pueden ser consideradas como continuación de la gran capa de ignimbrita de la “Provincia Central” (Gunn y Mooser, 1971 en Weyl, 1976), y cuya edad puede ser, por ello, situada en el Plioceno. En este mismo período, los agentes de denudación fluviales y fluvio-glaciares iniciaron una actividad intensa que condujo a la nivelación de un relieve activo. Así, se formaron grandes cuerpos de depósitos fluvio-glaciares (brechas sedimentarias) en las faldas de volcanes andesíticos como la Malinche, entre otros. Durante los últimos derrames basálticos que hubo en Tlaxcala, se cerraron algunos valles y se formaron cuencas endorreicas, algunas de las cuales siguen siendo rellenadas por productos de la denudación del relieve, esto es, por aluviones y depósitos lacustres.

Además de los volcanes, con sus aparatos y derrames lávicos, se presentan otras estructuras -como fallas y fracturas- que han contribuido a modelar el relieve del estado y están asociadas íntimamente con la actividad volcánica y tectónica continental (SPP, 1981). Probablemente, todo ello contribuyó a que la antigua cuenca lacustre desapareciera como tal por sucesivas deformaciones y vulcanismo (incluido, quizá, un cono monogénico cuyos derrames lávicos cubrieron parte de las diatomitas), hasta que el agua contenida en ella fue drenada (Rico *et al.*, 1997). Actualmente, la diatomita cubre una extensión apreciable y no está bien determinado si los depósitos se sedimentaron en uno o en varios lagos. Hernández Velasco (1955) y Ontiveros Hernández (1964) mencionan que estos depósitos son de [relativamente] gran una pureza y de un grosor considerable, de hasta 25 m. Lozano García (1946) afirma que el grosor es de 40 a 50 m, según se comprobó mediante varios sondeos que se practicaron con fines de explotación. Por todo ello, suponen que la existencia de esta cuenca lacustre debe haberse prolongado durante un período de tiempo considerable (estimado por arriba de 25,000 años, Vilaclara, 1997a) y haber contenido un volumen de agua más o menos permanente, sin que su nivel se viera afectado de manera muy notable por las temporadas alternas de lluvias y sequías, a juzgar por las grandes acumulaciones de restos de microorganismos que se descubren en la zona descrita, lo que sugiere un amplísimo desarrollo de vida vegetal, que sólo pudo realizarse en el seno de aguas tranquilas y persistentes (Lozano García, 1946; Rico *et al.*, 1995).

Como ya se ha mencionado, los sedimentos son laminados y presentan una alternancia de capas oscuras y claras, con capas más gruesas de cenizas volcánicas en algunas zonas de los depósitos (Rico *et al.*, 1991 y 1997). La sucesión de laminaciones resume los procesos que operaron en tiempo y espacio en el paleolago. Entre ellos destacan, fundamentalmente, la superimposición de fenómenos de intensidad y escala diferente: erupciones volcánicas episódicas y de diferente magnitud (fenómenos alogénicos), que perturbaron fenómenos recurrentes (autogénicos, dependientes a su vez de las oscilaciones climáticas) del lago (Rico *et al.*, 1997; Vilaclara *et al.*, 1997a). A ello se suman cambios autigénicos (producidos mediante reacciones que tienen lugar en los sedimentos una vez depositados). denotados por una mayor abundancia de arcillas en relación con las frústulas de diatomeas.

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

Sin embargo, estudios geomorfológicos, polínicos y climatológicos en esta zona permiten conocer que en los últimos 40,000 años se alternaron fases frías y cálidas, húmedas y secas, que formaron las más diversas combinaciones entre ellas. Como resultado de estos estudios, se ha inferido una secuencia climática en relación con el clima actual y elaborar curvas de la variación del clima (Lauer, 1979). Variaciones semejantes pueden esperarse para épocas geológicas más antiguas.

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

De todo lo anterior, se deduce que el clima que dominó en la cuenca durante la existencia del paleolago Tlaxcala-sección Sta. Bárbara pudo haber sido muy diferente al actual.

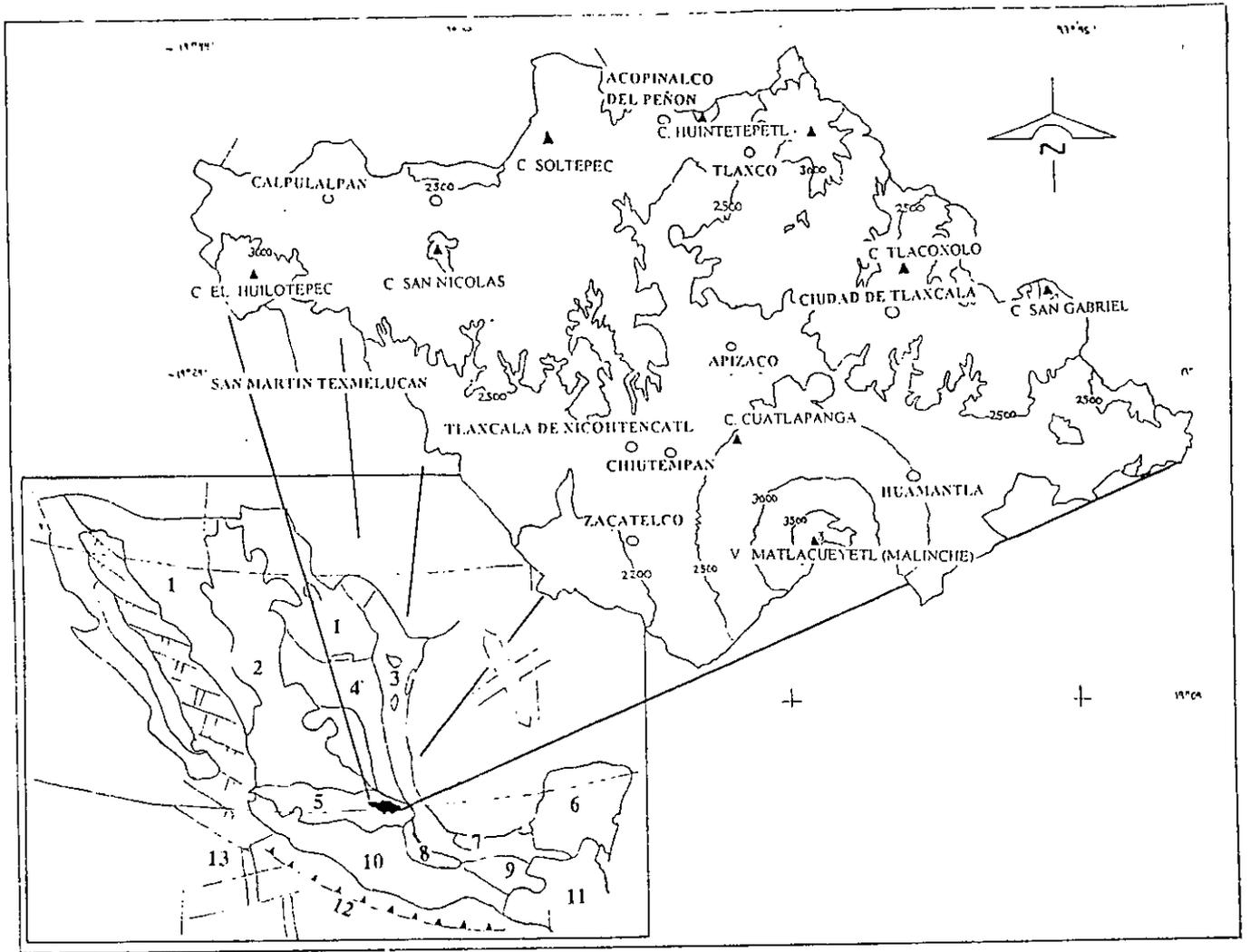


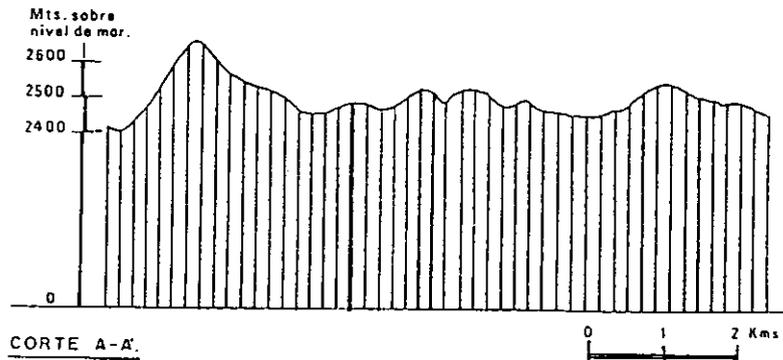
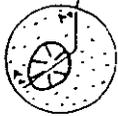
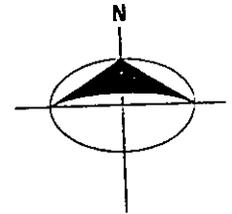
Fig. 1: Provincias fisiográficas de México. Principales elementos tectónicos y localización del yacimiento de diatomita de Tlaxcala: 1) Provincias de Cuencas y Sierras. 2) Sierra Madre Occidental. 3) Sierras y Valles de Coahuila. 4) Sierra Madre Oriental. 5) Cinturón Neovolcánico Mexicano. En Proyección: Yacimiento de Diatomita, mina Santa Bárbara (19° 24' N y 98° 18' W), Tlaxcala. 6) Plataforma de Yucatán. 7) Llanura Costera del Golfo. 8) Sierra de Juárez. 9) Sierra de Chiapas. 10) Sierra Madre del Sur. 11) Sistemas de Fallas Poloch-Motagua. 12) Trinchera de acapulco. 13) Dorsal del Pacífico del este (Modificado de Vilaclara, 1997).

Fig. 2: Estructuras geológicas de la región de Puebla-Tlaxcala, México, con el cono cinerítico vecino del paleolago resaltado, y un perfil topográfico a través del mismo y de la zona donde se encuentran las minas (tomado de Vilaclara, 1997).



Estructuras de la Región Puebla - Tlaxcala.

- Volcanes terciarios y cuaternarios.
- Derrames volcánicos del Cuaternario.
- Rocas volcánicas del Terciario.
- Cenizas volcánicas, tobos y pómez.
- Depósitos lacustres, en mayoría debajo de tobo.
- Calizas del Cretácico.
- Escalón de terreno.
- Falla, línea estructural.
- Anticlinal.
- Anticlinal inverso.
- Sinclinal.
- Sinclinal inverso.



2. METODOLOGÍA

2.1 TOMA DE MUESTRAS

El estudio se inició con la toma directa de muestras de diatomita de la Sección Santa Bárbara del paleolago de Tlaxcala. Se tomó una muestra cada 5 cm de distancia, a lo largo de los 5.05 m de altura máxima de la mina; se escogieron tres zonas continuas que conformaron la columna estratigráfica compuesta:

- 1) A partir de la base hasta la laminación más evidente –perturbación¹ más gruesa- de la sección (conformando los dos primeros metros de altura de la primera parte -columna a la derecha, entrando en la bóveda principal-).
- 2) A partir de los primeros 2 metros –con base en la laminación más evidente-, hasta los 3.85 m de altura de la segunda sección -pared localizada a la derecha de la entrada a la bóveda principal.
- 3) La tercera parte abarcó de los 3.85 m de altura hasta la cima de la mina, la cual se caracteriza por la presencia de sedimentos de arrastre y tobas –para ello, se muestreó la pared de la segunda sección, pero por la parte exterior derecha de la mina.

Se muestrearon un total de 5.05 m de altura (tirante completo de la bóveda). Se tuvo cuidado en realizar la descripción de las laminaciones muestreadas –además de anotar las características de las laminaciones adyacentes-. Se muestrearon un total de 106 laminaciones, tomando en cuenta que, adicionalmente, se tomaron muestras de cada laminación muy evidente entre los puntos de muestreo, de manera que las mismas también quedaran representadas (sucesos autogénicos –laminaciones blancas y amarillo pálido- o alogénicos –laminaciones grises y cafés-, atribuidas *a priori* a erupciones volcánicas, Margalef 1997).

La toma de muestras se realizó con sumo cuidado, evitando al máximo cualquier posible contaminación de las mismas. Las muestras en cada laminación se tomaron de abajo hacia arriba, con un alfiler para cada muestra y cuidando que la parte superficial, de la zona donde se realizó el muestreo, estuviera limpia. Las muestras se depositaron en cajas petri de plástico, debidamente marcadas. Asimismo, se realizó una caracterización de las muestras obtenidas, registrando el grosor, la posición y el color² de cada laminación en el lugar del muestreo.

2.2 TRABAJO DE LABORATORIO

En el caso de la diatomita (sobre todo si es tan pura como la del paleolago), se pueden omitir los tratamientos que usualmente se utilizan para eliminar interferencias³ y montar directamente las muestras.

¹Se denomina perturbación a toda laminación cuya composición principal no es diatomita.

² Posteriormente, el color asignado en la mina fue rectificado usando Tablas de Munsell para suelos (2000).

³ Hay varias formas de limpiar las diatomeas para su observación (Hasle *et al.*, 1970; Schrader *et al.*, 1993; Zoto *et al.* 1973). Sin embargo, la combinación precisa de los pasos a seguir se deberá determinar experimentalmente con relación a las características individuales de las muestras a analizar (Battarbee, 1986).

En todas las etapas del tratamiento debe cuidarse que no se pierda o dañe el material, para lo que hay que ir revisándolo antes, durante y después de los tratamientos seguidos. Asimismo, hay que tener en cuenta

2.3 IDENTIFICACIÓN DE TAXA

Se realizaron preparaciones permanentes para su observación con microscopía de luz transmitida (MO), corregida para la iluminación de Köhler y usando contraste de fases, con el fin de observar con mayor detalle la estructura de los frústulos y apoyarse en la identificación, además de que a futuro podrán servir para la colección permanente de diatomeas de México.

Se utilizó un microscopio estándar ZEISS en el laboratorio de Paleolimnología del proyecto CyMA, FES Iztacala, UNAM. La técnica de montaje se basó en colocar una pequeña muestra encima de un cubre, se mezcló y se esparció con agua destilada, se dejó evaporar sobre una parrilla a una temperatura relativamente baja, se agregó una gota del medio de alta refrigencia (Naphrax), y se colocaron los cubreobjetos -de esta manera preparados- encima del portaobjetos (previamente etiquetado y limpio).

Asimismo, se prepararon muestras temporales para observar con microscopía electrónica de barrido (MEB), herramienta fundamental en la determinación de los taxa y que permite contar con un acervo de imágenes en relieve y a gran aumento de los taxa implicados. Este análisis se llevó a cabo en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5300, ubicado en el departamento de Física Experimental del Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM). Las muestras se prepararon pegando -con cinta de doble cara sobre platinas metálicas (latón o aluminio)- una alícuota de diatomita finamente desmoronada, recubriéndose la muestra por medio de erosión iónica, con una película delgada de plata 999 no mayor de 300 Å (Cañetas com. pers.).

Para la identificación de los taxa observados indicadores de la ecología se revisó la siguiente bibliografía: Abbot & Van Landigham, 1972; Andrews 1966 y 1972; Bourrelly, 1981; Bradbury, 1988, 1991; Cholnoky, 1968; Cocquyt, 1998; Foged, 1964, 1993; Fourtanier & Kociolek, 1999; Frenguelli, 1941; Gasse, 1986; Genkal, 1993; Genkal & Håkansson, 1990; Germain, 1981; Håkansson, 1981, 1986; Håkansson *et al.*, 1986; Håkansson & Kling, 1989, y 1990; Håkansson & Mayer, 1994; Håkansson *et al.*, 1986; Hodgson *et al.*, 1997; Hustedt, 1930, 1957, 1959 y 1927-1966; Hustedt y Jensen, 1985; Khursevich, 1988; Kobayasi & Kobayashi, 1987; Kociolek & Stoermer, 1990, 1991, 1993; Krammer & Lange-Bertalot, 1986, 1988 y 1991; Lange-Bertalot, 1980; Lipsey, 1988; Lowe, 1974; Mann, 1976, 1981, 1982, 1989, 1993; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Pankow *et al.*, 1991; Patrick, 1968; Patrick y Reimer, 1966 y 1975; Prescott, 1973; Rivera *et al.*, 1982; Ross, 1993; Round, 1982 y 1991, 1992; Round *et al.*, 1990; Round & Håkansson, 1992; Sabater, 1991; Smith, 1950; Stephen, 1994; Stoermer *et al.*, 1985, 1987 y 1989; Terao *et al.*, 1993; Theriot y Stoermer, 1982; Theriot *et al.*, 1987; Theriot & Kociolek, 1981, 1982, 1984, 1986; Theriot & Kociolek,

que los ácidos fuertes, la agitación vigorosa y la centrifugación rápida pueden romper estructuras delicadas como las espinas, o aun quebrar frústulos frágiles. El tratamiento a seguir depende de los materiales a eliminar: 1) sales solubles en HCl -como son carbonatos, sales metálicas y óxidos -, 2) peróxido de hidrógeno para la materia orgánica, 3) filtrado para material mineral de grano grueso y 4) decantación para arcillas.

También se recomienda la sonicación para disgregar valvas que puedan impedir la identificación y/o el recuento, aunque esto puede conducir a la ruptura del material, por lo que sólo sirve para la identificación y para establecer frecuencias relativas.

1986; Theriot *et al.*, 1987; Van Heurk, 1899; Weber, 1971; Williams y Round, 1987; Yang & Duthie, 1993.

2.4 CONTEO DE TAXA

Se realizaron conteos absolutos mediante el método de Utermhöl, generalmente usado para muestras de fitoplancton actual (Lund *et al.*, 1958). Los métodos de sedimentación resultan estadísticamente más precisos porque permiten la distribución homogénea del material y el conteo en transectos o campos elegidos al azar (Battarbee, 1986, quien defiende un método semejante al de Utermhöl para todo tipo de sedimentos con presencia de diatomeas), además de que se contaba con el equipo, un invertoscopio marca Carl ZEISS del Laboratorio de Limnología, y cámaras de sedimentación, todo ello ubicado en el Proyecto CyMA de la FES Iztacala, UNAM (FESI).

El procedimiento implicó pesar una fracción seca del material (de preferencia 0.025 mg) de material seco en una balanza OHAUS (cuyo valor mínimo de lectura es de 0.001 mg, ubicada en el departamento de Física Experimental del IFUNAM). Una vez pesadas las muestras, se colocaron en frascos de 50 ml. Posteriormente se agregaron 50 ml de agua destilada, con el fin de disgregar los frústulos y permitir -tras un lapso de 72 hrs. de sedimentación- una distribución homogénea de la muestra en el fondo de cámaras de Utermhöl compuestas de 50 ml. Pasado el tiempo de sedimentación se retiró el cilindro vertical y se procedió a realizar el conteo de valvas. Las especies de mayor tamaño (mayores a 30 μm) se contaron en todo el fondo de la cámara (a 128X); las de menor tamaño (menores a 30 μm) se contaron por transectos hasta alcanzar 400 valvas de la especie más abundante (entre 320 y 504X) (modificado de Battarbee 1986; la estandarización de la técnica para diatomita se encuentra en el anexo I).

2.5. TRATAMIENTO DE DATOS

Las especies más abundantes de la sección muestreada se representaron gráficamente tomando en consideración su posición en las laminaciones de la zona muestreada (profundidad en m), la abundancia relativa por especie (%), sus valores de concentración absoluta y el número de taxa, la diversidad y la equitatividad, usando los programas para computadora TILIA y TILIAGRAPH (versión 2.0. b. 4, Grimm 1991). Dicho arreglo de los datos permite observar con claridad la fluctuación de los organismos representativos ($\% > 2\%$).

Con el fin de detectar cambios significativos en las laminaciones, tomando en cuenta todos los taxa determinados, en el presente estudio se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (1949 *in* Margalef, 1983). Este índice nos permite comparar la diversidad calculada para cada especie sobre la diversidad obtenida en cada laminación:

$$H' = -\sum_{i=1} P_i \lg_2 P_i$$

Con este índice se espera encontrar valores menores en las laminaciones asociadas con perturbaciones

Asimismo, también se utilizó el índice de equitatividad (J') de Pielou (1975), ya que representa la uniformidad de las distribuciones de los individuos entre las especies de una muestra, un componente relacionado con la diversidad, al que también se le considera como una diversidad relativa (Brower y Zar, 1979).

$$J' = H' / \ln S \quad \text{donde: } S = \text{No. de especies}$$

Donde si J' tiende a 0, una especie es muy abundante; si J' tiende a 1, las especies se distribuyen en número de organismos de manera equitativa. Con este índice, se espera asimismo encontrar valores bajos en las perturbaciones.

Se realizó un análisis estadístico de factores con los conteos absolutos de las diatomeas en cada laminación ($\% > 2$), con el fin de buscar indicios acerca del comportamiento asociativo de los taxa, es decir, la manera en que se relacionan los taxa en conjunto. Asimismo, se realizó un análisis de Cluster con la finalidad de obtener una ordenación de las laminaciones basada en los valores absolutos, obtenidos por los principales taxa en cada laminación (Programa Statistica 6.0 versión 1998).

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS LAMINACIONES ANALIZADAS

A lo largo de los 5.05 metros analizados (106 laminaciones), se identificaron tres tipos de laminaciones, las cuales se clasificaron de acuerdo con el color* aparente en muestra seca (48 laminaciones de color blanco -8/1, 5Y-, 51 laminaciones de color amarillo pálido -8/2, 2.5Y y 8/3, 2.5Y- y 6 laminaciones de color gris claro -7/2, 2.5-, los colores fueron obtenidos mediante la tabla de Munsell, 2000). Dichas laminaciones contienen en mayor o menor medida diatomeas, así como números de taxa y porcentajes de especies de diferente hábitat, como se observa en la Tabla 3.1

Tabla 3. 1 Relación entre las diferentes laminaciones, los valores absolutos, No. de taxa y los índices de diversidad (H') y equitatividad (J').

Profundidad (m)	Valvas/ mg	No. de Taxa	Diversidad (H')	Equitatividad (J')	% de taxa planctónicos	% de taxa epi-bentónicas
0.00	114,565	26	1.84	0.56	55	44
0.05	74,613	32	2.86	0.82	21	67
0.10	68,111	23	1.99	0.63	20	79
0.15	1,464	26	2.26	0.69	27	70
0.20	96,602	22	1.66	0.54	65	33
0.25	58,301	24	2.14	0.67	41	57
0.30	57,181	15	1.93	0.71	26	73
0.35	70,301	28	2.22	0.67	49	50
0.40	40,614	27	2.19	0.67	49	48
0.45	58,166	24	1.79	0.56	53	45
0.50	44,280	24	1.95	0.61	65	33
0.55	11,094	28	1.95	0.58	28	69
0.60	8,921	6	1.39	0.78	69	31
0.65	6,492	12	1.65	0.66	80	70
0.69	52,588	11	0.73	0.31	93	7
0.70	23,362	21	2.27	0.74	53	46
0.75	55,108	20	1.94	0.65	57	42
0.80	71,756	27	2.45	0.74	52	46
0.85	63,624	20	1.59	0.53	72	28
0.90	104,821	22	1.63	0.53	57	41
0.95	48,555	17	1.53	0.54	59	41
1.00	43,809	25	1.93	0.60	49	50
1.05	129,721	22	1.83	0.59	49	50
1.10	12,019	14	1.77	0.67	74	25
1.15	98,154	16	0.87	0.31	81	18
1.20	87,211	18	1.19	0.41	76	23
1.25	60,455	14	1.77	0.67	83	17

1.30	53,626	26	2.43	0.75	34	64
1.35	27,267	22	1.78	0.58	36	62
1.40	36,451	15	1.05	0.39	74	26
1.45	160,596	30	1.80	0.53	49	49
1.50	14,408,233	28	2.11	0.63	7	91
1.55	52,268	29	2.09	0.62	33	65
1.60	108,092	26	1.44	0.44	79	18
1.65	176,518	27	1.44	0.44	66	33
1.70	131,197	16	0.93	0.33	81	18
1.75	124,963	17	1.38	0.49	68	31
1.80	147,537	24	1.82	0.57	45	53
1.85	156,445	19	1.33	0.45	70	29
1.90	115,633	17	1.08	0.38	77	23
1.95	93,250	18	1.42	0.49	66	33
2.00	163,878	14	0.96	0.37	79	20
2.05	195,715	12	0.88	0.35	77	22
2.10	623,005	24	0.42	0.13	94	6
2.15	133,371	17	1.06	0.37	79	20
2.20	91,260	24	2.03	0.64	35	65
2.25	211,465	14	0.82	0.31	85	15
2.30	116,802	15	1.20	0.44	72	27
2.35	207,018	18	1.15	0.40	73	27
2.40	368,660	12	0.81	0.33	87	13
2.45	39,497	16	1.57	0.57	63	37
2.50	69,046	22	1.87	0.61	51	48
2.55	56,474	21	1.40	0.46	72	27
2.60	119,345	14	1.44	0.54	39	60
2.65	24,698	23	2.20	0.70	40	58
2.70	22,441	22	2.22	0.72	28	72
2.75	114,669	13	0.92	0.36	80	19
2.80	62,956	18	1.79	0.62	50	50
2.85	316,344	19	0.76	0.26	4	96
2.90	61,020	20	2.07	0.69	43	57
2.95	69,636	16	1.75	0.63	62	37
3.00	37,283	19	1.29	0.44	77	22
3.05	0	0	0.00	0.00	0	0
3.10	9,887	17	1.74	0.61	57	42
3.15	46,200	13	1.06	0.41	81	19
3.20	32,135	12	1.09	0.44	82	18
3.25	27,169	14	1.53	0.58	67	32
3.30	32,111	13	1.21	0.47	76	23
3.35	58,497	12	1.11	0.45	84	16
3.40	20,499	19	2.06	0.70	54	44
3.41	8,304	16	2.15	0.78	58	41
3.45	5,517	14	1.39	0.50	50	50
3.50	33,716	9	1.03	0.47	80	19
3.55	6,844	10	1.58	0.68	59	40
3.60	31,037	15	1.83	0.68	65	34
3.65	23,387	18	1.92	0.66	68	32

3.70	21,097	12	1.66	0.67	79	21
3.75	936	12	1.84	0.74	52	48
3.76	80,218	16	1.12	0.40	88	11
3.80	291,862	17	1.29	0.45	86	14
3.85	2,189	10	1.99	0.86	52	46
3.90	13,386	9	1.73	0.79	59	39
3.95	43,631	17	1.95	0.69	50	50
4.00	127,601	19	0.45	0.15	94	6
4.05	238,804	24	2.50	0.79	69	28
4.10	9,191	15	1.92	0.71	58	42
4.15	18,154	16	2.07	0.75	67	33
4.20	9,263	14	2.17	0.82	57	43
4.25	89,882	20	2.37	0.79	51	49
4.30	86,997	11	0.36	0.15	90	10
4.35	34,989	22	2.47	0.80	47	52
4.40	10,978	16	1.88	0.68	50	49
4.45	111,634	14	1.00	0.38	88	11
4.50	21,525	22	2.43	0.79	44	56
4.55	242,936	10	0.42	0.18	94	6
4.60	13,386	9	1.73	0.79	59	39
4.65	7,953	17	2.62	0.92	40	59
4.70	12,995	17	2.48	0.88	32	67
4.75	6,808	13	2.23	0.87	14	82
4.80	59,469	16	2.50	0.90	20	79
4.85	29,233	17	1.81	0.64	77	22
4.87	20,896	25	2.90	0.90	33	65
4.90	46,955	19	1.33	0.45	83	16
4.95	38,437	13	0.87	0.34	82	18
5.00	20,946	13	1.09	0.42	81	19
5.05	14,952	9	0.68	0.31	89	10

Blanco*

Amarillo*
pálido

gris claro

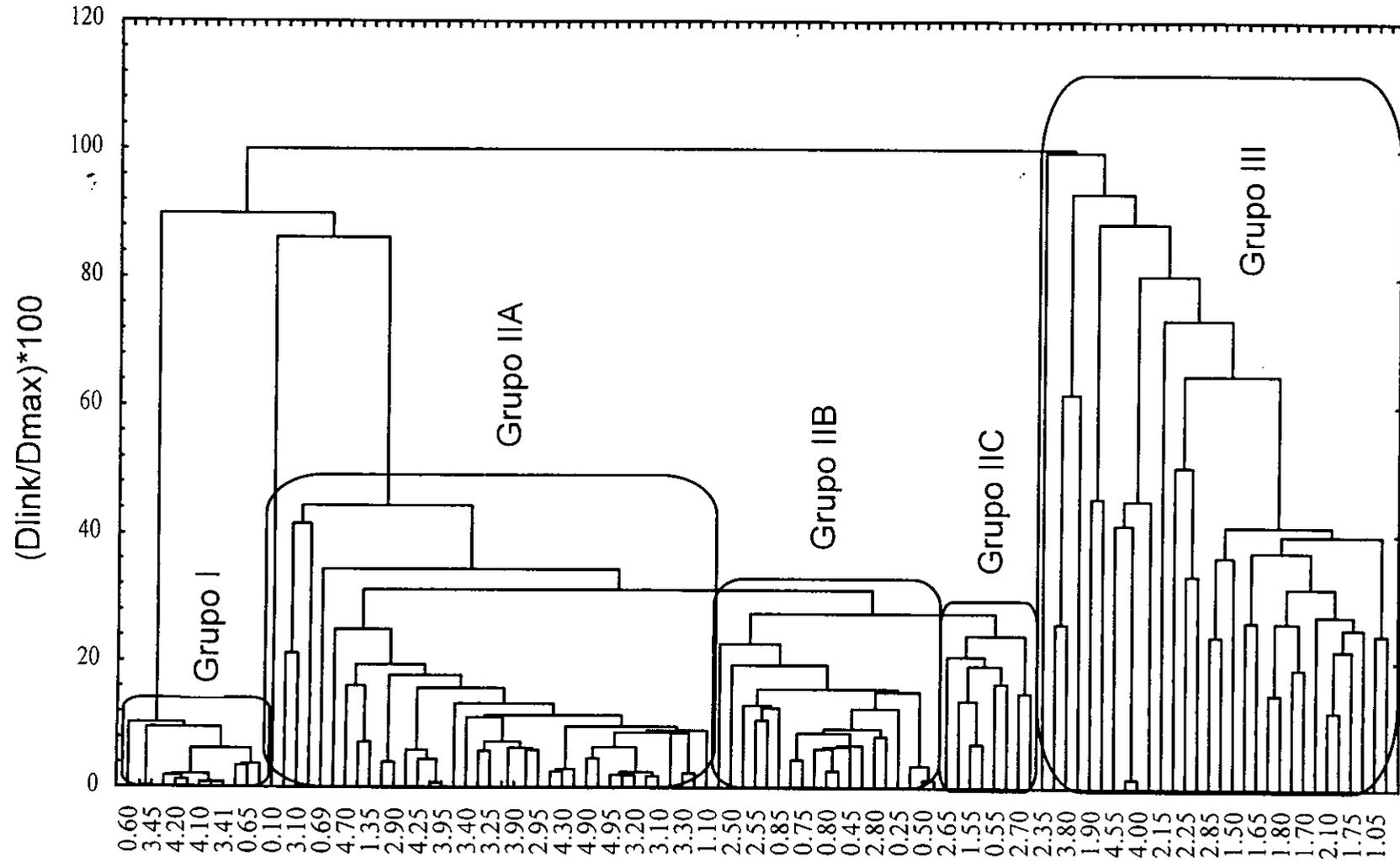
*Colores obtenidos mediante las Tablas de Munsell (2000).

Se realizó un análisis de Cluster con la finalidad de obtener una ordenación de las laminaciones basada en los valores absolutos, obtenidos por los principales taxa en cada laminación (fig. 3.1). En este análisis se observa la agrupación de las 106 laminaciones (considerando su posición con respecto a la cima de la mina) en 3 grupos; a su vez, el segundo grupo se divide en 3 subgrupos: Grupo I, laminaciones 0.60 - 0.15; Grupo IIa, laminaciones 0.10 - 1.10; Grupo IIb, laminaciones 2.45 - 0.50; Grupo IIc, laminaciones 2.65 - 0.05; Grupo III, laminaciones 2.45 - 0.00.

Fig.: 3.1 Análisis de Cluster para las 106 laminaciones

muestreadas

Distancias euclidianas



3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

En la sección de 5.05 m estudiada se determinó un total de 82 taxa de diatomeas – entre géneros, especies y variedades. La lista preliminar de especies agrupadas, para su clasificación taxonómica se muestra en el anexo II. Otros restos de microorganismos fósiles observados fueron estomatoquistes de crisofíceas y espículas de esponjas. Los quistes de crisofíceas pertenecen a tres tipos diferentes, parecidos en morfología a los denominados estomatoquiste 46, 116A y 143 (Duff *et al.* 1995). En el caso particular de las espículas de esponja, sólo se observaron megaescleras y la mayoría aparecieron rotas; por tal razón, fue imposible establecer géneros.

3.3 ABUNDANCIAS RELATIVAS

Para la interpretación paleolimnológica, los datos obtenidos en los conteos (reportados como valvas de diatomeas x mg de diatomita en peso seco) fueron transformados a porcentajes y reportados como abundancias relativas. Posteriormente, se agruparon los taxa con base en su frecuencia relativa dentro de tres categorías (modificado de Gasse, 1986): Especies raras –aquellas que presentaron valores de abundancia relativa menor al 2%-; especies comunes –cuya abundancia relativa fue igual o menor al 30% en, por lo menos, una laminación-; especies dominantes –cuya abundancia relativa fue mayor al 30% en, por lo menos, una laminación-.

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

Especies raras (con abundancia relativa menor al 2%)

Anomoeoneis sphaerophora var. *costata*; *Achnanthes exigua* var. *exigua*, *Achnanthes* sp. 1; *Achnanthidium lanceolata* var. *frequentissima* (+ *Achnanthidium lanceolata* var. *abbreviata* + *Achnanthidium lanceolata* ssp. *robusta* var. *abbreviata*); *Amphora veneta*, *Amphora* sp. 1; *Caloneis* sp. 1, *Caloneis* sp.2; *Ctenophora pulchella*; *Cymbella microcephala*, *C. schimanskii*, *Cymbella* sp.1; *Cymbellonitzschia diluviana*; *Cymatopleura solea* var. *apiculata*; *Denticula elegans*, *D. kutzingii*; *Encyonema muellerii* var. 1; *Eolimna minima*; *Epithemia turgida*, *E. intermedia*, *E. argus*; *Eucocconeis* f. *flexella*; *Fragilaria* sp. 1; *Gomphonema angustatum*, *G. aff. insigne*, *G. subclavatum* var. *mexicanum*, *G. olivaceum*, *Gomphonema* sp. 1; *Hantzschia amphioxys*; *Navicula* sp. 1.; *Neidium ampliatum*; *Nitzschia amphibia*, *N. amphibia* f. *fraunfeldii*, *N. angustata*, *N. cf. frustulum*, *N. linearis*, *N. palea*, *N. tropica*, *N. cf. vermicularis*, *Nitzschia* sp.1, *Nitzschia* sp. 2; *Pinnularia braunii*; *P. viridis*; *Placoneis porifera* var. *opportuna*; *Sellaphora laevisissima* var. *laevisissima*; *Stauroneis phoenicenteron*; *Staurosirella leptostaurum* var. *leptostaurum*; *Surirella ovalis*; *Stephanodiscus* cf. *minutulus*; *Synedra ulna*, *Synedra* sp.1; *Rhopalodia gibba*; *Rhopalodia gibberula* var. *vanheurckii*.

Especies comunes (abundancia relativa del 2 al 30 %)

Anomoeoneis sphaerophora f. *sphaerophora*; *Amphora ovalis* var. *pediculus*; *Cocconeis pediculus* var. *pediculus*; *Craticula cuspidata*; *Cymbella cymbiformis* var. *cymbiformis*, *C. mexicana*; *Cocconeis placentula* var. (var. *lineata* + var. *pseudolineata* + var. *tenuistriata*); *Diatoma* cf. *vulgare*; *Fragilaria capucina*, *Encyonema muellerii* var. *muellerii*; *Epithemia adnata*; *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*; *Navicula cryptotenella* var. *cryptotenella*; *N. amphibioides*; *Pinnularia* cf. *maior*, *Pseudostaurosira brevistriata*; *Punctastriata pinnata* var. *pinata*; *Sellaphora pupula*; *Staurosira* cf. *construens*; *Stephanodiscus* cf. *neoastraea*.

Especies dominantes (abundancia relativa mayor al 30 %)

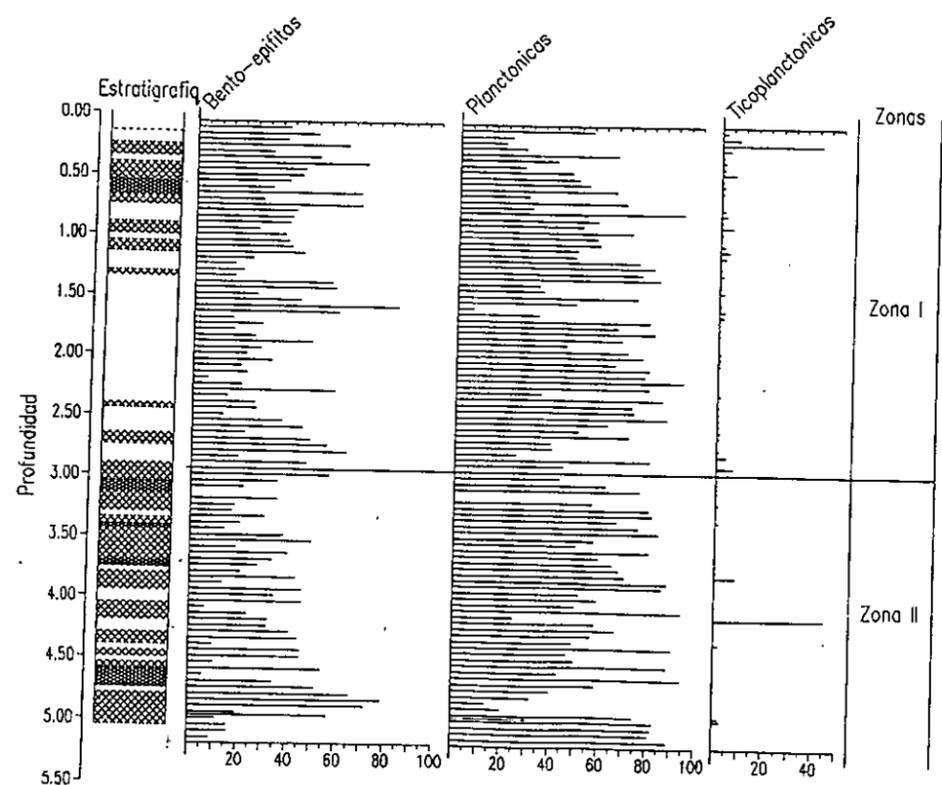
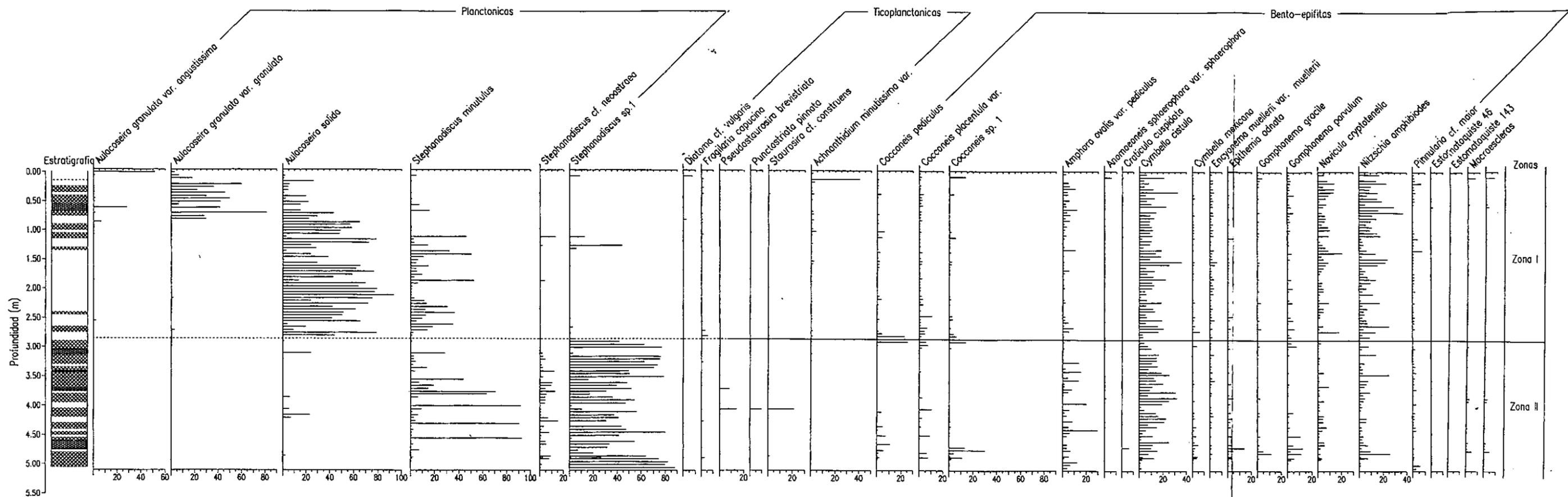
Achnantheidium minutissima var. *minutissima* + *A. minutissima* var. *gracillima*; *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*, *A. solida*; *Cymbella cistula*; *Cocconeis* sp.1; *Stephanodiscus minutulus*, *Stephanodiscus* sp.1.

En cuanto a la abundancia relativa para los estomatoquistes de crisofíceas, en ninguna muestra la presentaron mayor del 2%; en el caso de las espículas de esponjas, se observaron valores del 6% en la laminación correspondiente a los 0.10 m de profundidad.

Calcular la abundancia relativa de cada uno de los taxa determinados dio una idea de la forma en que éstos se encuentran distribuidos a lo largo de la sección estudiada; al mismo tiempo, permitió separar los taxa considerados como representativos (comunes y dominantes). De esta manera, del total de taxa identificados en el presente estudio (82), sólo 32 presentaron una abundancia relativa mayor o igual al 2% en alguna laminación, es decir, menos de la mitad del total de taxa presentes en esta zona llegan a ser representativos de las condiciones paleoambientales de la misma, lo cual coincide con lo que otros autores encuentran en sedimentos lacustres (Abbot *et al.*, 1972; Cholnoky, 1968; Metcalfe, 1986, 1992, 1993, 1997 y 1994; Metcalfe *et al.*, 1991). Debido a lo anterior, se realizó una descripción taxonómica (con datos ecológicos cuando los hubo) de las especies que presentaron una abundancia relativa mayor al 2% (ver anexo I).

Las especies comunes y dominantes de la zona se representaron gráficamente tomando en consideración su posición en las laminaciones de la zona muestreada (profundidad en m), la abundancia relativa por especie (%) (Fig. 3.2a), sus valores de concentración absoluta y diversidad (Fig. 3.2b).

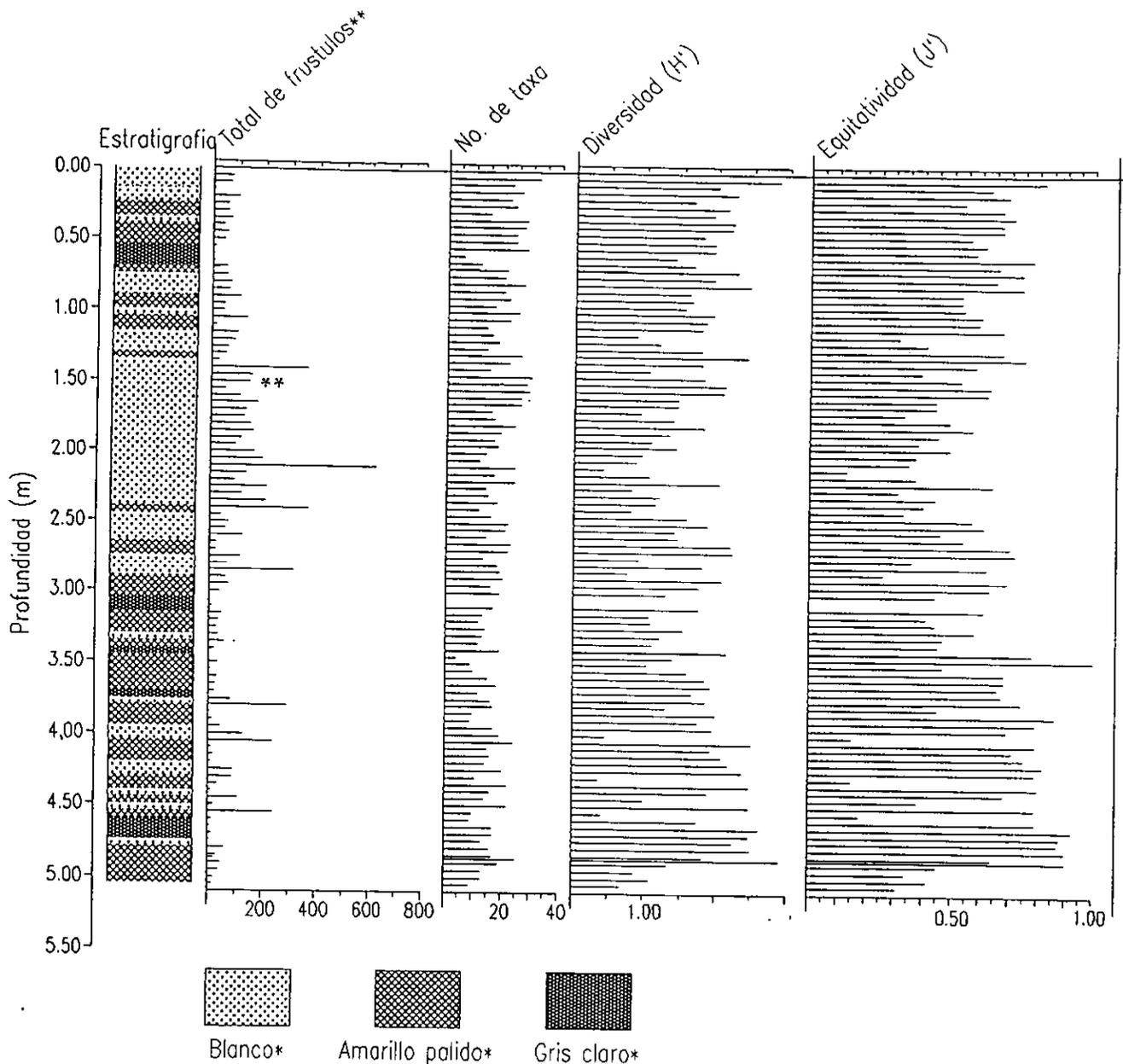
Fig. 3. 2a: Diagrama de la distribución vertical de las diatomeas representativas (>2% en abundancia relativa) presentes en la zona estudiada, agrupadas según su hábitat.



Blanco* Amarillo pálido* Gris claro

* Colores obtenidos de acuerdo a las tablas de Munsell

Fig. 3. 2b: Diagrama de la distribución vertical de las diatomeas representativas (>2%) presentes en la zona estudiada, tomando en consideración sus valores absolutos, la cantidad de taxa, sus valores de diversidad y equitatividad.



* Colores obtenidos de acuerdo a las tablas de Munsell (2000).

** valor/1000

3.4 CLASIFICACIÓN POR PREFERENCIAS ECOLÓGICAS

Los cambios en la composición de los grupos de diatomeas constituyen la principal respuesta a los cambios ambientales (Van Damm, 1982; Niederlehner y Cairn, 1994), porque la distribución de sus especies está estrechamente relacionada con las variables ambientales, principalmente el pH, la salinidad y el estado trófico (Dixit *et al.*, 1998; Fritz *et al.*, 1991 y 1993). Cada medio estará caracterizado por agrupaciones específicas de diatomeas, algunas de ellas con requerimientos ecológicos característicos (consideradas como buenas indicadoras, Gasse, 1986; Fritz *et al.*, 1991 y 1993). Dado lo anterior, se analizaron las adaptaciones ecológicas de las diatomeas comunes o dominantes y se realizó la agrupación de estas especies representativas, con base en sus requerimientos ecológicos, según los autores consultados (ver anexo II). Estas agrupaciones se muestran en la siguientes tabla:

Tabla 3.2 Diatomeas (%>2) presentes en el paleolago Tlaxcala (Sección Santa Bárbara) agrupadas según su intervalo de adaptación ecológica⁴.

Intervalo de adaptación al pH	Especie	Intervalo trófico	Hábitat*
Acidófilas			
Alcalófilas-circumneutrales	<i>Achnantidium minutissima</i> var.	eutrófica, oligo-mesosaprobia	T
	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> var. <i>sphaerophora</i>	-----	B-E
	<i>Aulacoseira solida</i>	-----	-----
	<i>Cocconeis placentula</i> var.	-----	B-E
	<i>Cymbella cystula</i>	oligotrófica a eutrófica	B-E
	<i>Cymbella cymbiformis</i> var. <i>cymbiformis</i>	-----	B-E
	<i>Diatoma</i> cf. <i>vulgare</i>	eutrófica	B-E
	<i>Encyonema muellerii</i> var. <i>muellerii</i>	-----	B-E
	<i>Epithemia adnata</i> var.	-----	B-E
	<i>Gomphonema parvulum</i>	eutrófica, oligo-mesosaprobia	B-E
	<i>Navicula cryptotenella</i> var. <i>cryptotenella</i>	β-mesosaprobia	B-E
	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	-----	T
	<i>Punctastriata pinnata</i>	-----	T
Alcalófilas	<i>Amphora ovalis</i> var. <i>pediculus</i>	-----	B-E
	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>granulata</i>	eutrófica, oligo-mesosaprobia	P
	<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	eutrófica, mesosaprobia	P
	<i>Craticula cuspidata</i> var. <i>cuspidata</i>	-----	B-E
	<i>Cymbella mexicana</i>	-----	B-E
	<i>Nitzschia amphibiodes</i> var. <i>amphibiodes</i>	-----	B-E
	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	eutrófica	P
	<i>Stephanodiscus</i> cf. <i>neoastraea</i>	eutrófica	P
circumneutrales	<i>Cocconeis pediculus</i> var. <i>pediculus</i>	-----	B-E
	<i>Gomphonema gracile</i>	oligosaprobia	B-E
	<i>Pinnularia</i> cf. <i>maior</i>	distróficas, xeno-mesosaprobia	B-E
	<i>Sellaphora pupula</i>	eutrófica	B-E
	<i>Staurosira</i> cf. <i>construens</i>	Oligo-mesosaprobia	T

*Hábitat: T = Ticoplancton, P = Plancton, B-E = Bentónica-epífita

⁴ Los autores con base en los cuales se ha realizado esta clasificación se encuentran referidos en el anexo I. Sólo se reporta la información de aquellas especies indicadoras para las cuales los diferentes autores consultados no mostraron contradicciones.

3.5 AGRUPACION DE TAXA POR ANÁLISIS DE FACTORES

Las especies de diatomeas comunes y abundantes (>2%) y los restos de microfósiles acompañantes (estomatoquistes y megaescleras) fueron sometidos a un análisis de factores, con el fin de obtener agrupaciones características de los cambios observados en la zona de estudio.

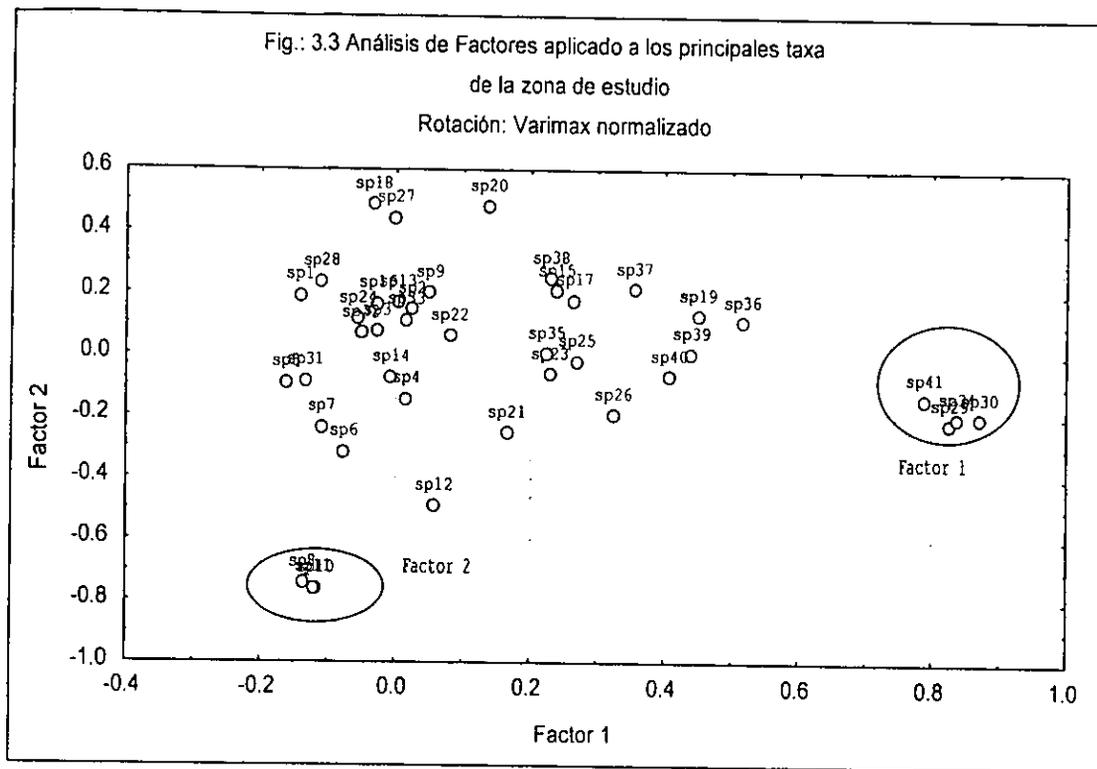


Tabla 3.3 Especies significativas según el análisis de factores:

Factor 1		Factor 2	
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	-0.74412811	<i>Anomooneis sphaerophora</i> var.	0.82621941
<i>Staurosira</i> cf. <i>construens</i>	-0.76343102	<i>Diatoma</i> cf. <i>vulgare</i>	0.83709155
<i>Punctastriata pinnata</i>	-0.76009359	Megascleras de esponja	0.78879887

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS LAMINACIONES ANALIZADAS

En el análisis del Clúster obtenido para las laminaciones, basado en los valores absolutos del conteo de diatomeas (Fig. 3.1), se observa la agrupación de las diferentes laminaciones dentro de tres grandes grupos (valores absolutos en número de valvas x mg de diatomita en peso seco):

- I) Grupo formado por 4 laminaciones de color gris claro y 8 de color amarillo-pálido, con un intervalo de valores absolutos de 517 (laminación gris claro) a 9,263 (laminación amarillo pálido) valvas/mg. Este grupo de laminaciones poseen menos de 15 taxa cada una y las especies dominantes estuvieron constituidas por diatomeas planctónicas.
- II) Grupo formado a su vez por 3 subgrupos:
 - A) Caracterizado por 29 laminaciones amarillo pálido y 7 blancas, con un intervalo de valores absolutos de 10,978 (laminación amarillo-pálido) a 89,882 (laminación blanca). Las especies que predominaron fueron de tipo planctónicas.
 - B) Caracterizado por 9 laminaciones amarillo pálido y 9 blancas, con un intervalo de valores absolutos de 23,362 (laminación amarillo-pálido) a 98,154 (laminación blanca). En este grupo, la mayoría de las laminaciones presentó una distribución equitativa entre especies planctónicas y bentónicas.

En los dos grupos anteriores el número de taxa por laminación no excede de 25.

 - C) Este grupo esta conformado por 4 laminaciones amarillo-pálido y 4 blancas, con un intervalo de valores absolutos de 11,094 (laminación amarilla) a 91,260 (laminación blanca), en este grupo el número de taxa son inferiores a 38, con una dominancia total de especies bentónicas-epifitas.
- III) Grupo formado por 30 laminaciones blancas, con un intervalo de valores absolutos de 104,821 a 14,408,233, con predominancia de especies planctónicas.

Al analizar la tabla 3.1 y las figuras 3.2a y b, se observa que los valores absolutos y el número de taxa de diatomeas disminuyen considerablemente en las laminaciones de color gris claro; asimismo, se presenta una alternancia entre laminaciones amarillo-pálido y blancas en cuanto a sus valores absolutos y número de taxa (se observa que las muestras donde predominan las especies bentónicas-epifitas presentan un mayor número de taxa) y una tendencia a que se alternen planctónicas y bentónico-epifitas en las zonas blancas y amarillo-pálido.

Los trabajos anteriormente realizados en esta zona (Miranda *et al.*, 1996; Rico *et al.*, 1997; Vilaclara, 1997) mencionan que las laminaciones blancas contienen una cantidad relativamente alta de sílice (mayor a 454 mg/g ó 45.4%). Las de color amarillo

claro contienen cantidades algo menores de Si (353-444 mg/g) y bajas cantidades de Al (13-36 mg/g). Las laminaciones gris claro -aparentemente perturbaciones- tienen una cantidad variable de Si (desde 155 mg/g hasta valores característicos de las capas de color gris claro, 385 mg/g), mientras que el Al aumenta con relación a las otras laminaciones (45-155 mg/g). En las de color blanco y amarillo-pálido domina una fase amorfa, la cual corresponde a los frústulos de diatomeas (ópalo biogénico).

Lo anterior se corresponde con los datos obtenidos en los conteos absolutos para las laminaciones blancas y amarillo pálido, ya que -como vemos- estas capas son las que arrojan los valores más altos (entre 680 valvas/mg, laminación amarillo-pálido, grupo IIA y 14,408,200 valvas/mg, laminación blanca, grupo III). Con base en esto, se refuerza la aseveración de que los procesos que dieron lugar a los dos tipos de laminaciones (con menos terrígenos) son de origen biogénico, propios del lago (autogénicos). En cuanto a las laminaciones gris claras, éstas presentan los valores más bajos obtenidos en los conteos absolutos (inferior a 9,986 valvas/mg, grupo I), por lo que -de nuevo- hay coincidencia con los autores consultados, en que estas capas son de origen alóctono (con materiales volcánicos producto de la depositación directa de material).

4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS POBLACIONES DE DIATOMEAS PRESENTES EN LA SECCIÓN ANALIZADA, UTILIZANDO SU ABUNDANCIA RELATIVA Y PREFERENCIAS ECOLÓGICAS

Como se observa en la tabla 3.2 y en la figura 3.2a, en la mina Santa Bárbara dominaron las especies centrales consideradas como planctónicas (Krammer y Lange-Bertalot, 1991; Gasse, 1986): *Stephanodiscus neoastraea*, *S. minutulus*, *Stephanodiscus* sp. 1; *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, *A. granulata* var. *angustissima* y *A. solida*. Estas especies se alternaron con algunos picos de abundancia esporádicos de las especies arrafídeas *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira* cf. *construens*, *Punctastriata pinnata*, y la monorrafídea *Achnanthisidium minutissima* var., consideradas todas ellas como especies ticoplanctónicas (Hürliman, 1991; Patrick, 1971 en Weber, 1971). Importantes pero menos abundantes resultaron las especies epifito-bentónicas *Amphora ovalis* var. *pediculus*, *Cymbella cistula*, *Cocconeis placentula* var., *Cocconeis pediculus* var., *Cocconeis* sp. 1, *Epithemia adnata*, *Gomphonema gracile*; *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptotenella* y *Nitzschia amphibioides*.

Al analizar la tabla 3.2 y la figura 3.2a, se observa que las diatomeas circumneutrales-alcalófilas son las que dominan el conjunto, habiendo una ausencia total de especies representativas con óptimo desarrollo en condiciones de pH menores a 7 (acidófilas). Esto nos indica que, en la sección estudiada, el paleolago de Tlaxcala presentaba condiciones de aguas dulces y tendencia alcalina (pH básico, probablemente inferior a 8.3, que es el valor frontera donde empiezan a formarse los carbonatos, Margalef 1983).

En relación con el estado saprotrofico, la mayoría de las especies determinadas son de aguas meso-eutróficas, es decir, adaptadas a cantidades de nutrientes de

intermedias a elevadas (Krammer y Lange-Bertalot, 1986, 1988 y 1991); van de oligo- a mesosaprobias, es decir, estarían adaptadas a pequeñas cantidades de materia orgánica en el medio (Sládeček *et al.*, 1981). Por lo tanto, se puede decir que el paleolago presentaba una productividad de moderada a alta, la cual permaneció con mínimas variaciones en el lapso de la sección estudiada, pues no se interrumpió la depositación de diatomita. Esto se ratifica por la gran abundancia que presentaban las especies de *Stephanodiscus* y *Aulacoseira* (indicadoras de meso-eutrofia) y de especies perifíticas, *Achnanthydium minutissima*, *Cymbella cistula*, *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia amphibiodes*, las cuales se han asociado con un aporte de nutrimentos a través de arrastres por lluvias (Whitmore, 1989; Schrader *et al.*, 1993).

Como ya se había mencionado en la figura 3.2a, se observa la preponderancia de las especies planctónicas: *Stephanodiscus* spp. y *Aulacoseira* spp., lo cual evidencia la importancia de estas especies en la zona de estudio ($\% > 2$ en todas las laminaciones analizadas) y refuerza la interpretación de que el lago mantuvo un tirante de agua suficiente para mantener especies planctónicas, incluso grandes (*Stephanodiscus* sp.), durante el lapso de depositación de la sección estudiada.

Con base en las especies planctónicas dominantes, se dividió la sección de la mina analizada en dos zonas (ver fig. 3.2a):

Zona I, donde las especies dominantes son *Aulacoseira* (*A. solida*, *A. granulata* var. *granulata*, *A. granulata* var. *angustissima*). Ésta abarca desde la cima de la mina hasta una profundidad de 3.00 m.

Zona II, cuyas especies dominantes son taxa de *Stephanodiscus* (fundamentalmente *S. minutulus* y *Stephanodiscus* sp. 1). Abarca desde los 3.05 m de profundidad hasta la base de la mina.

Se observó que esta división en la distribución de las especies planctónicas se relaciona con la perturbación más evidente en la mina (laminación gris indicadora, ubicada a los 3.05 m de la cima), pues es donde empiezan a ser importantes las *Aulacoseira*, y aunque los *Stepahnodiscus* muestran una corta recuperación, terminan por desaparecer casi completamente. Si consideramos que los materiales volcánicos localizados en las laminaciones gris claro aportaron Si al medio (análisis realizados por Miranda *et al.*, 1994 y Vilaclara, 1997), esta mayor disponibilidad de Si podría explicar el cambio en las poblaciones planctónicas, ya que las especies de *Stephanodiscus* parecen estar adaptadas a relaciones Si/P más bajas que otros taxa de diatomeas, como son las especies de *Aulacoseira* (Anderson *et al.*, 1990; Gasse, 1986, y Kilham, 1971). Gasse (1986) menciona también que el desarrollo de las especies de *Aulacoseira* requiere de contenidos de sílice tan alto como 7 meq/l para su desarrollo.

Por otro lado, el género *Aulacoseira* ha sido utilizado como ejemplo de la presencia de diatomeas asociadas con regímenes de turbulencia, y se ha empleado para inferir cambios en el nivel del agua. Bradbury (1975 y 2000) menciona que este género, fuertemente silicificado, requiere de alta turbulencia para poderse mantener en la columna de agua. El incremento en la turbulencia y su correspondiente aumento en nutrientes durante estados someros del lago puede favorecer este género sobre otras especies planctónicas Bradbury (1975) y Anderson (*et al.* 1990) fundamentan esta relación, debido a que, en sus estudios, el género *Aulacoseira* dominó durante periodos

secos, cuando el nivel somero del agua y la alta exposición al viento provocó la turbulencia, facilitando la inyección de nutrientes en la zona fótica.

Por analogía con lo anterior, se infiere que el paleolago de Tlaxcala -Sección de Santa Bárbara- fue un lago de aguas más profundas en su Zona II, y que disminuyó su nivel en la Zona I debido probablemente a un cambio en las condiciones ambientales. Analizando con más detenimiento la distribución de *Aulacoseira*, la fase dominada por *A. solida* (Zona IA-*A. solida*) se corresponde con una diatomita más blanca, con menos terrígenos; *A. solida* es una especie de tamaño pequeño, de la cual no hay prácticamente información ecológica publicada, ni se ha reportado para México actualmente. Sin embargo, la sección de diatomita más blanca empieza antes de la segunda perturbación más importante, todavía en la Zona II (*Stephanodiscus*), y termina poco antes de que *A. granulata* inicie su dominancia. Esta especie sí se encuentra referida en la literatura (Anderson *et al.*, 1990; Bradbury, 1975; Killham, 1971; Gasse, 1986) como especie asociada con turbulencia, alta turbidez y nutrientes, y aumenta en laminaciones que -de nuevo- vuelven a tener una alta concentración de terrígenos -observable por el color, más oscuro-; por tal motivo, la Zona IB-*A. granulata* podría asociarse con un cuerpo de agua más somero que en las fases anteriores. Queda por elucidar la razón de un cambio tan brusco entre *Stephanodiscus* de diámetro grande y *Aulacoseira* de pequeño tamaño, variación mediatizada por un depósito de caída importante. Los materiales volcánicos son una fuente importante de silíceo en el agua (autores), por lo que una fluctuación tan brusca podría asociarse con un incremento súbito en la cantidad de silíceo, fenómeno que ha sido asociado con florecimientos de *Aulacoseira* (Gasse, 1986 y Killman, 1971); al parecer, las especies de *Aulacoseira* presentan una menor capacidad de aprovechar el silíceo disuelto en el agua cuando las concentraciones del mismo son bajas (inferiores a 7 meq/l), mientras que los *Stephanodiscus* se adaptan competitivamente a aprovechar bajas concentraciones de este elemento (Gasse, 1986 y Killman, 1971). Ésta podría ser la causa del cambio observado, considerando -además- que una especie grande de *Stephanodiscus* presenta mayores dificultades para mantenerse en flotación en la zona fótica (menor relación superficie/volumen, S/V) que una especie de menor tamaño⁵.

A lo largo de toda la profundidad de la sección de la mina estudiada se presentaron alternancias entre las agrupaciones planctónicas y las agrupaciones bentónico-epifíticas. Esto refleja la típica sucesión que se da en los diferentes grupos de diatomeas: usualmente las Centrales (planctónicas) presentan picos con el inicio de la época de mezcla (turbulencia) (Margalef, 1983; Reynolds, 1997); si la laminación muestreada corresponde a este pulso, se explica el por qué del pico correspondiente de Centrales en la columna estratigráfica. Contrariamente a lo anterior, las diatomeas bentónico-epifíticas viven en el litoral o áreas someras, usualmente en condiciones de mayor estabilidad que sus congéneres planctónicos, por lo que la aportación de frústulos al sedimento a lo largo del año es más constante; si la laminación muestreada corresponde a una época donde no ha habido pico de planctónicas, obviamente, las que

⁵ La flotabilidad del fitoplancton se relaciona a menudo con un incremento en la relación S/V. Este aumento viene dado o por el desarrollo de prolongaciones, o por la formación de colonias, o por la disminución del tamaño en células individuales. Tal disminución afecta mucho más el volumen que la superficie, por lo cual aumenta S/V (Margalef 1983).

dominarán serán las bentónico-epífitas. Sin embargo, cuando hay una persistencia en las laminaciones dominadas por Centrales o por rafidiadas, la explicación ha de ir más allá que una ritmicidad asociada con el régimen térmico del lago. En esta sección, la mayor parte de las laminaciones analizadas están dominadas por Centrales –algunas de ellas de tamaño mediano y grande (20-70 μm)–, lo cual señala que el paleolago de Tlaxcala no se vio afectado por fluctuaciones importantes en su nivel de agua (no llegó a ser tan somero como se infiere en el caso de la sección El Lucero, Cuna, 1997), ya que las especies de diatomeas aerófilas (*A. exigua*, *A. lanceolata*, *C. microcephala*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula atomus*, *N. mutica*, *Nitzschia amphibia*, *P. borealis*, *P. braunii*, *P. viridis*; según Camburn 1982; Johansen *et al.*, 1983; Spaulding *et al.*, 1997, son raras). Dado que las especies planctónicas dominantes en esta zona (*Stephanodiscus* y *Aulacoseira*) han sido reportadas como persistentes, con una abundancia moderada (5%) en aguas de profundidades tan bajas como 4 a 5 m (Wilson *et al.* 1997), ésta es la menor profundidad que pudo tener el lago, aunque probablemente fue mayor porque las especies grandes necesitan tirantes superiores (20 m ó más) de agua.

Aunque no es posible inferir cambios climáticos únicamente con la composición de diatomeas, el hecho de encontrar consistentemente especies (*Stephanodiscus* sp. 1) características de lagos de larga duración y con tirante permanente de agua, podría permitir inferir una mayor humedad que la actual, que pudo mantener especies planctónicas de tamaño grande. Sin embargo, la existencia de lagos permanentes y profundos se debe no sólo a la existencia de suficiente precipitación, sino también a características de la cuenca que facilita el acúmulo de agua: en cuencas cerradas llegan a observarse lagos profundos en zonas semiáridas producto de la alimentación del lago por el manto freático, como –por ejemplo– el lago de Alchichica (Alcocer y Williams, 1993; Alcocer *et al.*, 1998; Vilaclara *et al.*, 1993); pero es importante tomar en cuenta, que condiciones favorables de la cuenca asociadas con climas semi-áridos resultan en aguas salobres con una composición característica de diatomeas mesohalobas que en el paleolago no se encuentra, por lo cual se deduce que había unas condiciones más húmedas en la época en que se formaron las diatomitas de la sección Sta. Bárbara.

4.3 ANÁLISIS DE LAS AGRUPACIONES CARACTERÍSTICAS

Se observa que el análisis de factores (Fig. 3.3) resaltó eventos raros en la evolución lacustre, tanto el pico de taxa aerófilos y restos de esponjas (0.10 m), como el de arrafideas (4.10 m). Se interpretan estos picos de la siguiente manera:

Los taxa relacionados con el primer factor son *Anomoeoneis sphaerophora* var., *Diatoma* cf. *vulgare* y espículas de esponja. Estos tres taxa presentan un único pico de dominancia en toda la sección estudiada (a los 0.10 m de profundidad) (7.3, 5 y 6 % respectivamente).

Si analizamos los elementos de este grupo, tenemos que *Diatoma vulgare* indica niveles someros de agua, con poco movimiento, alta conductividad, niveles eutróficos, (Hustedt y Jensen, 1985, Reed 1998, Gasse 1986 y Håkansson 1993), es una especie alcalifilo-indiferente. La mayoría de los ambientes donde se localiza *A. sphaerophora*

como especie común (más del 5%) son fuertemente alcalinos, por lo que la especie muestra una clara preferencia por aguas con un alto valor de pH y alcalinidad (especie alcalífila-alcalibionte; Baudrimont 1974; Chohnoky 1968; Håkansson 1993; Gasse, 1986; Hustedt 1957; Jörgensen 1948; Ricahrdson *et al.* 1978).

En cuanto a las espículas de esponja, su distribución puede estar correlacionada con las propiedades químicas del hábitat y las tolerancias individuales de cada especie. La concentración de sílice, calcio y el pH parecen ser los factores químicos más importantes relacionados con la presencia y abundancia de las esponjas en un hábitat (Harrison, 1974); sin embargo, en el presente caso sólo se encontraron megascleras, las cuales no pueden utilizarse para identificar una especie en particular, por lo que no podemos deducir sus requerimientos ecológicos. A pesar de ello y de manera general, la bibliografía menciona que en aguas muy turbias no suelen encontrarse esponjas, probablemente debido a que las partículas en suspensión obstruyen sus poros, impidiendo la filtración. Las esponjas que presentan algas simbioses se encuentran en lugares iluminados y debido al mayor aporte de nutrientes, pueden competir mejor en la ocupación del sustrato que las que no presentan simbioses (Rasmont, 1970; Harrison, 1974; Traveset, 1986).

Por todo lo analizado, se podría inferir que estas especies de diatomeas alcalífilas a 0.10 m señalan un corto periodo de condiciones químicas más concentradas, asociadas quizá con un incremento en la tasa evaporación/precipitación, y sin un aumento importante en la turbiedad, ya que la presencia común (6%) de megascleras en esta lámina indica que las aguas conservaron su transparencia⁶.

Los taxa relacionados con el segundo factor son *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira construens* var. *venter* y *Punctastriata pinnata*.

Estas especies presentan una amplia distribución ecológica, son principalmente epipélicas, comunes en los litorales someros de lagos alcalinos (Hickman & White, 1989). Su habilidad para tolerar fluctuaciones ambientales se evidencia por su abundancia y frecuente dominancia en lagos con condiciones ambientales variables, incluyendo el estado trófico (Wilson *et al.*, 1997). Es destacable observar que, en la sección Sta. Bárbara, prácticamente no se presentan las arrafideas, mientras que en la sección anterior -El Lucero- son muy abundantes (Cuna, 1997; Robledo, 1997; Juárez, 1997). La diferencia fundamental entre ambas secciones es el número de perturbaciones, muy superior en El Lucero, y la relación entre planctónicas y bentónico-epífitas, muy inferior en El Lucero. Estas diferencias podrían atribuirse a condiciones más someras en El Lucero y más profundas en Sta. Bárbara, apoyando la existencia de condiciones más húmedas para esta sección.

4.4 INTERPRETACIÓN DE LOS CAMBIOS BASÁNDOSE EN LA DIVERSIDAD DE LAS ESPECIES

Los valores obtenidos para estos índices en las laminaciones analizadas se presentan en la tabla 3.1 y en la figura 3.2b. Al analizar los datos se observa que el índice de diversidad (H') en la mayoría de las laminaciones fluctúa entre 1 y 2, lo que -según los

⁶ Todas estas condiciones parecerían apuntar hacia la existencia puntual de unas condiciones más someras.

diferentes autores- nos indicaría condiciones de meso- a eutrofia; el índice de equitatividad (J') varía entre 0 y 1, si J' tiende a 0, una especie es muy abundante; si J' tiende a 1, las especies se distribuyen en número de organismos de manera equitativa.

En las laminaciones que presentan valores bajos de especies (consideradas como perturbaciones, a profundidades de 0.60, 0.65, 1.10, 3.45, 3.75, 3.85, 3.90, 4.20, 4.60 m a partir de la cima), los valores estimados para J' fueron altos, mientras que los valores de H' fueron relativamente bajos; lo cual refleja una uniformidad en la distribución de individuos entre los pocos taxa. Cabe resaltar que estas laminaciones son de color gris claro o amarillo claro.

De las 106 muestras analizadas, en 15 de ellas (11 de color blanco y 3 amarillo claro), se obtuvieron valores de diversidad por debajo de 1 (0.92-0.36), con una equitatividad igual de baja (0.36 y 0.15 respectivamente), lo cual nos indica que una especie dominó sobre las demás; esto concuerda con las altas frecuencias relativas correspondientes a los taxa planctónicos (*S. minutulus* y *Aulacoseira* spp., con valores alrededor del 90%). Según Margalef (1983), se pueden presentar valores bajos de diversidad en comunidades transitorias, explotadas o bajo condiciones ambientales muy fluctuantes; en el estudio de secuencias fósiles, se ha observado que a cambios del ambiente o a un ambiente inestable, corresponde una diversidad baja, y que ésta aumenta cuando ha transcurrido más tiempo en condiciones suficientemente estables para el desarrollo de una flora armónica. Sin embargo, esta situación no se observa en la mina, pues en la zona de diatomita con menos terrígenos, se encuentran laminaciones dominadas totalmente por una única especie ($H' = 0.4$), usualmente planctónica. En esta situación, indudablemente la laminación está registrando florecimientos puntuales – probablemente estacionales, asociados con el inicio de mezcla- de una especie –o *Stephanodiscus minutulus* o *Aulacoseira solida*- que temporalmente dominó en la zona fótica del lago. La distribución estudiada de laminaciones no permite reconocer pulsos rítmicos de estas especies, que podrían asociarse con varvas, las cuales –de hecho- no se observan en el patrón de laminaciones (Vilaclara 1997).

Si realizamos una comparación en cuanto al número de taxa presentes en las dos secciones del paleolago de Tlaxcala: Santa Bárbara (con menos perturbaciones, 82 taxa en una sección estudiada de 505 cm) y El Lucero (muy perturbada, 121 taxa en una sección de sólo 2.5 cm; Cuna, 1997), con el yacimiento de diatomita de Zacoalco, Jalisco (ausencia de laminaciones consideradas como perturbaciones, con un número de taxa de diatomeas inferior a 20, Rico *et al.*, 1995), observamos que una mayor incidencia de perturbaciones aumenta la cantidad de taxa presentes en un lago a lo largo del tiempo, aunque puntualmente la diversidad puede caer drásticamente, como ocurre en las laminaciones que carecen de diatomeas, o bien éstas se presentan en bajo número. Es decir, a más perturbado el sistema acuático, mayor riqueza específica global.

Esto se debe a que los cambios rápidos en la composición de las especies tienden a ser la más importante respuesta de las poblaciones de diatomeas a los cambios ambientales (Van Dam, 1982; Niederlehner & Cairn, 1994). Cuando el cambio es muy brusco (perturbación), se da un cambio de especies más fuerte y pueden manifestarse especies raras que son tolerantes al estrés ambiental (Stevenson, 1997), o bien están mejor adaptadas a las nuevas circunstancias (Hutchinson, 1961), explicando así el

número de taxa observados en este paleolago (laminaciones de origen alóctono – perturbaciones- frecuentes).

4.5 CONCLUSIONES

En el paleolago de Tlaxcala –mina Santa Bárbara- se determinó un total de 82 taxa de diatomeas –entre géneros, especies y variedades-. Dominaron las especies centrales consideradas como planctónicas: *Stephanodiscus neoastraea*, *S. minutulus*, *Stephanodiscus* sp. 1; *Aulacoseira granulata* var. *granulata*, *A. granulata* var. *angustissima* y *A. solida*. El análisis de factores –realizado sobre valores absolutos- destacan dos picos de abundancia raros caracterizados por las especies arrafideas: *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira* cf. *construens*, *Punctastriata pinnata* y la monorrafidea *Achnantheidium minutissima* var. (consideradas como ticoplanctónicas), y el de *Diatoma* cf. *vulgaris*, *Anomoeoneis sphaerophora* var. y megascleras (características de aguas someras). Menos abundantes resultaron las especies epifito-bentónicas (*Amphora ovalis* var. *pediculus*, *Cymbella cistula*, *Cocconeis placentula* var., *Cocconeis pediculus* var., *Cocconeis* sp. 1, *Epithemia adnata*, *Gomphonema gracile*; *Gomphonema parvulum*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibioides*.

Con base en el análisis cualitativo y cuantitativo de la composición de estas asociaciones de diatomeas fósiles fue posible dar respuesta a la serie de preguntas que dieron origen a este estudio.

Las diatomeas circumneutrales-alcalófilas son las que dominaron en la zona, habiendo una ausencia de especies representativas con óptimo desarrollo en valores de pH menores a 7 (acidófilas). Esto nos indica que en la sección estudiada, el paleolago Tlaxcala presentaba condiciones de aguas dulces a oligohalinas, era un lago alcalino con un pH inferior a 8.3.

En relación con el estado saprotrófico, la mayoría de las especies determinadas son de aguas meso-eutróficas y van de oligo- a mesosaprobias. Por lo tanto, se puede decir que el paleolago presentaba una productividad de moderada a alta, la cual permaneció con mínimas variaciones en el lapso de la sección estudiada. Esto se ratifica por la gran abundancia que presentaban las especies de *Stephanodiscus* y *Aulacoseira* (indicadoras de meso-eutrofia) y de especies perifíticas, *Achnantheidium minutissima*, *Cymbella cistula*, *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia amphibioides*, las cuales se han asociado con un aporte de nutrientes a través de un arrastre por lluvias.

Durante el tiempo de depositación, el paleolago se vio afectado por perturbaciones alogénicas, caracterizadas por su abundancia en material de tipo volcánico, las cuales quedaron representadas en la composición de las laminaciones gris claro (material de origen volcánico y valores de conteo absoluto de valvas de diatomeas bajos); se puede considerar que, básicamente, estas perturbaciones no alteraron el funcionamiento del lago. Sólo se observó una perturbación muy impactante (laminación marcadora a 3.05 m de la cima) que interrumpió la sedimentación normal de las diatomeas, eliminándolas prácticamente en su totalidad y fomentando la presencia de otras especies (dinámica no tan evidente como en la Sección El Lucero -más perturbada-, donde este cambio de especies es muy notorio).

En cuanto a su nivel de agua, se puede decir que el paleolago fue un lago de aguas profundas en su base (Zona II), y que disminuyó su nivel de agua hacia la cima del paleolago (Zona I) debido probablemente a un cambio en las condiciones ambientales; dicho cambio pudo deberse a un importante aporte de Si procedente de los depósitos de caída que conforman la perturbación más visible de la sección, y que divide la fase *Stephanodiscus* de la fase *Aulacoseira*. Sin embargo, también se contempla un cambio de nivel hacia la someridad, que impide el desarrollo de especies planctónicas de tamaño grande y favorece la turbulencia y la turbidez.

En relación con el proceso que dio fin a este lago, Rico *et al.* (1997) favorecen la hipótesis de que las sucesivas deformaciones, plegamientos y alzamientos (incluido un cono monogenético cuyos derrames de lava cubrieron parte de las diatomitas) que afectaron la zona donde se localizaba este paleolago, contribuyeron a que la antigua cuenca lacustre desapareciera. Esta hipótesis es cuestionable, ya que la secuencia de diatomita no indica el desarrollo normal de un lago (tendencia a la eutrofia e hipereutrofia por azolve progresivo del lago); una explicación alternativa -que no implica el vaciamiento brusco del lago (Rico *et al.* 1997)- para la falta de registro de etapas maduras de un lago, en las que ya no se acumulan frústulos de diatomeas en forma predominante, sería que a la bitácora de este paleolago le arrancaron las últimas páginas, es decir, hay un hiato en la parte culminante del registro. Integrantes del laboratorio de edafología del Instituto de geología⁷ están realizando estudios de los suelos que se localizan inmediatamente por encima de las diatomitas, y comentan que estos suelos provienen del Holoceno, por lo que es lógico pensar que la parte final del registro sedimentario del paleolago fue erosionado, aportando evidencia de que la historia del paleolago de Tlaxcala en sus fases más maduras quedó borrada del registro geológico.

Aunque no constituyó un objetivo de estudio, se identificaron y describieron taxa (*Stephanodiscus* sp. 1, *Cocconeis* sp. 1, *Cymbella* sp.1, *Gomphonema* aff. *insigne*) que aparentemente constituyen especies no conocidas en las referencias consultadas, y que requerirán definirse de cara a su clasificación futura.

Considerando la relevancia de los conteos absolutos de diatomeas dentro de los trabajos de caracterización y/o reconstrucción de ambientes lacustres, se valoró la técnica de Utermhöl ("sedimentación"), la cual presenta valores altos de repetibilidad, en estudios de interpretación paleoecológica. Es necesario profundizar en estos resultados, pues al compararla con del método tradicional de conteo ("alícuota", por sucesivas diluciones y colocación de una alícuota en preparaciones permanentes), ésta da valores mucho más altos y riquezas específicas menores que con el uso de cámaras de sedimentación (método de Utermhoel).

⁷ Los Dres. Elizabeth Solleiro, Sergey Sedov y Jorge E. Gama, laboratorio de edafología del Instituto de geología de la UNAM.

BIBLIOGRAFIA

- Abbot, W. H. & S. Van Landingham. 1972. Micropaleontology and paleoecology of Miocene non-marine diatoms from the Harper District, Malheur County, Oregon. *Nova Hedwigia* 23: 847-906.
- Alcocer, J., A. Lugo, M. R. Sánchez, M. Chávez y E. Escobar. 1998. Threats to the saline lakes of the Oriental Basin, Mexico, by human activities. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1383-1386.
- Alcocer, J. y W. D. Williams. 1993. Lagos salinos mexicanos. pp 849-865 en *Biodiversidad Marina y Costera de México*. S. I. Salazar-Vallejo y N. E. Gonzáles (eds.). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.
- Anderson, J. N., 1990. Variability of diatom concentrations and accumulation rates in sediments of a small lake basin. *Limnol. Oceanogr.* 35 (2): 497-508.
- Anderson, J. N., B. Rippey & A. C. Stevenson. 1990. Diatom assemblage changes in a eutrophic lake following point source nutrient re-direction: a palaeolimnological approach. *Freshwat. Biol.* 23: 205-217.
- Andrews, G. W., 1966. *Late Pleistocene diatoms from the Trempeleau Valley, Wisconsin*. Geol. Surv. Prof. Paper 523-A.
- Andrews, G. W., 1972. Some fallacies of quantitative diatom paleontology. *Nova Hedwigia, Beih.* 39: 285-295.
- Auboun, J., R. Browsee & J. Lehmon. 1980. *Tratado de Geología: Tectónica, Tectonofísica y morfología*. Omega, Barcelona, 640 pp.
- Battarbee, R. W., 1973. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers with reference especially to diatoms. *Limnology and Oceanography* 18 (4): 647-653.
- Battarbee, R. W., 1986. Diatom analysis. pp. 527-570 en B.E. Berglund (Ed.): *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 869 pp.
- Baudrimont, R., 1974. *Recherches sur les diatomées des eaux continentales de l'Algérie : écologie et paléoécologie*. Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. Du Nord. R, N. S. : 249 pp.
- Beadle, L. C., 1981. *The inland waters of tropical Africa. An introduction to tropical limnology*. 2nd. ed., Longman, London, 475 pp.
- Bradbury, J. P., 1971. Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnol. Oceanogr.* 16(2): 180-200.
- Bradbury, J. P., 1974. Correlation of Pleistocene and Holocene deposits in the Cuenca of Mexico. *Resúmenes del Segundo Encuentro de Paleobotánica y Palinología en México*, Ito. Geología, UNAM-ENCB-IPN-Sociedad Botánica de México, p. 10.
- Bradbury, J. P., 1975. Diatom stratigraphy and human settlement in Minnesota. *Spec. Pap. Geol. Soc. Am. U.S.A.* 171:1-74.
- Bradbury, J. P., 1982a. Holocene chronostratigraphy of Mexico and Central America. pp. 46-48 en J. Mangerund, H.J.B. Birks & K.-D. Jaeger (Eds.): *Chronostratigraphic subdivision of the Holocene Striae*. Vol. 16, Uppsala.
- Bradbury, J. P., 1982b. Paleoecological studies at lake Patzcuaro, Mexican Plateau, and at Chalco in the basin of Mexico. *Quat. Res.* 17: 56-70.

- Bradbury, J. P., 1988. Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62: 299-316.
- Bradbury, J. P., 1991. The late Cenozoic diatom stratigraphy and paleolimnology of Tule lake, Siskiyou Co. California. *Journal of Paleolimnology* 6: 205-255.
- Brower, J. E. & J. H. Zar. 1979. *Field and laboratory methods for general ecology*. Wn. C. Brown Co. Publ, Dubuque. Iowa. 194 pp.
- Brugam, R. B., 1979. Are-evaluation of the Araphidineae/Centrales) ratio in high and low alkalinity lakes in eastern Minnesota. *Freshwater Biology*. 13: 47-55.
- Brugam, R. B., 1980. Postglacial diatom stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. *Quat. Res.* 13: 133-146.
- Caballero, M. M., 1991. Resultados preliminares del análisis de diatomeas en sedimentos del lago de Chalco, México. p. 21 - 30 In S. Lozano et al.: *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la cuenca de México*. Comunicaciones Técnicas del Ito. Geofísica, UNAM. Contribución IGF No. PN - 1991 - 1.
- Caballero, M. M., 1995. *Late Quaternary Paleolimnology of lake Chalco, the basin of Mexico: New evidence for palaeoenvironmental and palaeoclimatic change in Central Mexico during the last 45,000 years*. Tesis de Doctorado. The University of Hull. England. 286 pp.
- Caballero, M. M., 1996. The diatom flora of two acid lakes in Central Mexico. *Diatom Research* 11 (2): 227 - 240
- Caballero, M. M., 1997. The last glacial maximum in the basin of Mexico: The diatom record between 34, 000 and 15,000 years BP from lake Chalco. *Quaternary International* 43/44: 125 - 136.
- Caballero, M. M., S. Lozano, B. Ortega y J. Urrutia. 1995. Historia ambiental del sistema lacustre del sureste de la Cuenca de México. p. 12 -26 In Stephan E. (Coord.): *Memoria del Segundo Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco*. Tomo I
- Caballero, M. M., J. L. Macías, S. Lozano y J. Urrutia. Late Pleistocene - Holocene volcanic stratigraphy and palaeoenvironments of the upper Lerna basin, Mexico. *Journal of Sedimentology*. En prensa.
- Camburn, K. E., 1982. Subaral Diatom communities in Eastern Kentucky. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 101(4):375-387.
- Cholnoky, J. B., 1968. *Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern*. Cramer, Lehre. 699 pp.
- Cholnoky, B. J., 1970. Die Diatomeenassoziationen in Nonoti-Bach in Natal (Südafrika). *Nova Hedwigia* 31:313-329.
- Clark, R. L. & R. J. Wasson. 1986. Reservoir sediments. pp. 497-507 in P. De Decker & W. D. Williams (Eds.): *Limnology in Australia*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 671 pp.
- Cleve-Euler, A., 1952. Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Part. V. *K. svenska Vetensk.-Akad. Handl.* 3(3):1-153.
- Cocquyt, C., 1998. *Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika*. Bibliotheca Diatomologica, J. Cramer. Berlin-Stuttgart. 274 pp.

- Cuna, P. E., 1997. *Estudio comparado de las metodologías para el análisis de diatomitas, aplicadas a una fracción del paleolago Tlaxcala (mina El Lucero, Tlaxcala)*. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México. 66 pp.
- Delcourt, H. R. & P.A. Delcourt. 1991. *Quaternary ecology. A paleoecological perspective*. Chapman & Hall, London, 242 pp.
- Díaz-Lozano. E., 1917. *Diatomeas Fósiles Mexicanas*. Anales del Instituto Geológico de México. Secretaría de Fomento, Colonización e Industria; Dirección de Minas y Petróleo. México. 31 pp.
- Dixit, S. S., J. P. Smol, D. F. Charles, R. M. Hughes, S. G. Paulsen & G. B. Collins. 1998. Assessing water quality changes in the lakes of the northeastern United States using sediment diatoms. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 131-152.
- Donahue, J. G., 1970. Pleistocene diatoms as climate indicators in North Pacific sediments. *The Geological Society of America, Inc. Memoir 126*: 121-138.
- Duff, K. E., B. A. Zeeb & Jonh P. Smol. 1995. *Atlas of Chrysophycean cysts*. Kluwer Academic, Londres, 188 pp.
- Ehrenberg, C. G., 1846. On the remains of infusoria animalcula in volcanic rocks. *Geol. Soc. London Quat. Jour.*: 73-91.
- Ehrenberg, C. G., 1854. Mikrogeologie das Erden und Felsen schaffende wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde. *Leipzig XXVIII, 374*, 88 pp., mit Taffeln.
- Ehrenberg, C. G., 1866. Mitteilung der einen Phytolitharien-Tuff als Gebirgsart im Toluca-Thale von Mexiko. *Monatsb. d. k. Preuss Akad. d. Wiss. z. Berlin* 30-31, 158-169 und 324-345, 1 Taffel.
- Ehrenberg, C. G., 1869. Über mächtige Gebirgs-Schichten vorherrschend ausmikroskopischen Bacillarien unter und bei der Stadt Mexiko. *Abh. d.k.k. Akad. d. Wiss. z. Berlin*, 66 pp., 3 Taffeln.
- Ehrenberg, C. G., 1876. de la toba fitolitaria del Valle de Toluca. *La naturaleza III (1874-1876)*: 118-132.
- Foged, N., 1964. *Freshwater diatoms from Spitsbergen*. Tromso Museums Skrifter 11. 204 pp.
- Foged, N., 1993: Some diatoms from siberia especially from lake Baikal. *Diatom Research* 8 (2): 231-279.
- Fourtanier, E. C. & P. Kociolek. 1999. Catalogue of tje diatom genera. *Diatom Research* 14(1): 1-190.
- Frenguelli, J., 1941. Diatomeas del río de La Plata. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Tomo III, Sección Botánica*: 213-334.
- Fritz, S. C., 1990. Twentieth-Century salinity and water-level fluctuations in Devils Lake, North Dakota: Test of a diatom-based transfer functuon. *Limnol. Oceanogr.* 35: 1771-1781.
- Fritz, S. C., S. Juggins & D. R. Engstrom. 1991. Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. *Nature* 352: 706-708.
- Fritz, S. C., S. Juggins & R. W. Battarbee. 1993. Diatom Assemblages and Ionic Characterization of Lakes of the Northern Great Plains, North America ; A Tool for Reconstructing Past Salinity and Climate Fluctuations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:1844-1855.

- Gasse, F., 1986. East African diatoms: taxonomy, ecological distribution. *Bibliotheca diatomologica*. Band II. J. Crammer. Berling-Stuttgart. 203 pp.
- Genkal, S. I. & H. Håkansson. 1990. The problem of distinguishing the newly described diatom genus *Pseudostephanodiscus*. *Diatom Research* 5 (1): 15-23.
- Genkal, S. I., 1993. Large-celled, undulate species of the genus *Stephanodiscus* Her. In USSR reservoirs: Morphology, ecology and distribution. *Diatom Research* 8(1): 45-64.
- Germain, H., 1981. *Flore des diatomées. Diatomophycées*. Societé Nouvelle des Editions Boubée, Paris, 443 pp.
- Grimm, E. C., 1991. TILIA versión 2.1 TILIAGRAPH versión 2.1 In: *A Users Notebook* (ed. A. Gear). Illinois State Museum, Springfield, U.S.A.
- Håkansson, H., 1981: A taxonomic reappraisal of some *Stephanodiscus* species (Bacillariophyta). *Bt. Phycol. J.* 21: 25-288.
- Håkansson, H., 1986. A taxonomic reappraisal of some *Stephanodiscus* species (Bacillariophyta). *Bt. Phycol. J.* 21: 25-37.
- Håkansson, H & H. Kling. 1989: A light and electron microscope study of previously described and new *Stephanodiscus* species (Bacillariophyceae) from Central & Northern Canadian lakes, with ecological notes on the species. *Diatom Research* 4(2): 269-288.
- Håkansson, H. & H. Kling. 1990: The current status of some very small fresh diatom of the genera *Stephanodiscus* and *Cyclostephanos*. *Diatom Research Vol. 5(2)*: 273-287.
- Håkansson, H. & B. Mayer. 1994: A comparative study of species in the *Stephanodiscus niagarae*-complex and a description of *S. heterotylus* sp. nov. *Diatoma Research Volume 9 (1)*: 65-85
- Håkansson, H., E. C. Theriot & E. F. Stoermer. 1986: Morphology and taxonomy of *Stephanodiscus vestibulis* sp. nov. (Bacillariophyta). *Nord J. Bot.* 6(4): 501-505.
- Håkansson, H., 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in southern swedwn- A progress report. *Diatom Research* 8(2): 349-370.
- Hasle, G. R. & G. A. Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Amer. Microsc. Soc.* 89 (4): 469-474.
- Harrison, F. W., 1974. *Sponges (Porifera, Spongillidae)*. In: *Polution Ecology of Freshwater invertebrates*. Harrison & Fuller, eds. Acad. Press. NY & London. 29-66p.
- Haworth, E. Y., 1976. Two later-glacial (Late Devensian) diatom assemblage profiles from Northern Scotland. *New Phytol.* 77:227-256.
- Haworth, E. Y., 1983. A scanning electron microscope study of *Cyclotella stelligera* and relates taxa. *Bot. Mus. Rapp.* 33: 15-25.
- Heine, K., 1973. Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7: 51-58.
- Hernández-Velasco, A., 1955. Minerales no metálicos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana XVIII. (1)*: 34-53
- Hickman, M & J. M. White. 1989. Late Quaternary palaeoenvironment of Spring Lake, Alberta, Canada. *J. Paleolimnology* 2:305-317.

- Huber-Pestalozzi, G., 1942. Das Phytoplankton des Süßwassers. *Diatomeen unter Mitwirkung von Dr. F. Hustedt. Die Binnengewässer*, 16, 2, 2, 1-10: 367-549.
- Hustedt, F., 1930. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (ed.): *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas*. 2nd. ed. Gustav Fischer Verlag, Jena, 466 pp.
- Hustedt, F., 1949. Diatomeen von der Sinai-Halbinsel und aus dem Libanon-Gebiet. *Hydrobiologia* 2: 24-55.
- Hustedt, F., 1957. Die Diatomeenflora des Flusssystem der Weser in Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abh. Naturw. Ver. Bremen* 34 (3):18-140.
- Hustedt, F., 1959. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora. Band VII Die Kieselalgen. 2 Teil: Pennatae*. Otto Koeltz Science Publishers (1977). Koenigstein. 816 pp.
- Hustedt, F., 1927-1966. *Rabenhorst's Kryptogamen-Flora, Band VII Die Kieselalgen. 3 Teil: Gattung Navicula*. Otto Koeltz Science Publishers (1977), Koenigstein. 816 pp.
- Hustedt, F. y N. G. Jensen. 1985. *The pennate diatoms*. Koeltz Scientific Books. Koenigstein 918 pp.
- Hutchinson, G. E., 1961. The paradox of the plankton. *The Am. Nat.* XCV, 882: 137-145.
- Hürlimann J., 1991. Morphologische und ökologische charakterisierung von sippen um den *Fragilaria capucina* Komplex *sensu* Lange-Bertalot, 1980. *Diatom Research* 6 (1): 21-47.
- Iltis, A., 1973. Algues des eaux natronées du Kanem (Tchad). Part. 2. *Hydrobiologia* 7 (1): 25-54.
- Israde, A. I., 1995. *Bacini lacustri del settore centrale del arco volcanico messicano. Bacino de Cuitzeo. Stratigrafia de evoluzione sedimentaria basata sulle diatomee*. Tesis doctoral. Università degli Studi di Milano.
- Israde, A. I., 1997. Neogene diatoms of Cuitzeo Lake, central sector of the Trans-mexican volcanic belt and relationship with the volcano - tectonic evolution. *Quaternary International*, Vol. 43 - 44, pp.137 - 143.
- Israde, A. I. & V. H. Garduño. 1999. Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting: The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin System (Central Western Mexico). Special Issue. Ancient and recent lacustrine systems in convergent margins. Cabrera & Saez (eds). *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 151(1-3): 209-227.
- Izaguirre, A. I. & A. H. Vinocur. 1994. Typology of shallow lakes of the Salado River basin (Argentina), based on phytoplankton communities. *Hydrobiologia* 277: 49-62.
- Johansen, J. R., S. R. Rushforth & J. D. Brotherson. 1983. The algal flora of Navajo National Monument, Arizona, U. S. A. *Nova Hewigia* 38: 501-553.
- Jones, B. F & Bowser, C. J., 1978. The Mineralogy and related chemistry of lake sediments. In *Lakes Chemistry, Geology, Physics*. A Lerman de. Springer Verlag, pp 179 - 235.
- Jørgensen, E. G., 1948. Diatom communities in some Danish lakes and ponds Kogl. *Daske Vidensk. Selk. Biol. Skr.* 5(2):1-40.
- Juárez, B. D., G. Vilaclara, A. Rodríguez, R. Rico, J. Miranda y J. Cañetas. 1997. Estudio de las comunidades de diatomeas fósiles de la mina El Lucero, Tlaxcala. *XVII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*: Resumen 257.
- Juárez, B. D., G. Vilaclara, A. Rodríguez y J. Cañetas. 1998. Fósil diatoms in Tlaxcala paleolake, mine "El Lucero". *Memoria del 15th. Bienal AMQUA Meeting*:123.

- Kaland, P. E. & B. Stabell. 1981. Methods for absolute diatom frequency analysis and combined diatom and pollen analysis in sediments. *Nord. J. Bot.* 1: 697-700.
- Khursevich, G. K., 1988. Classification the Genus *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) on the basis of morphological features. *10th Diatom Symposium*: 61-71.
- Kilham, P., 1971. A hypothesis concerning silica and the freshwater planctonic diatoms. *Limnol. Oceanogr.* 16: 10-18.
- Klaus, D., 1973. Las fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 7:59-62.
- Klee, R. & Schmitt. 1987. Eutrophication of Mondsee (Upper Austria) as indicated by the diatom stratigraphy of a sediment by the diatom stratigraphy of a sediment core: *Diatom Resear* 2(1): 55-76.
- Kobayasi, H & H. Kobayashi. 1987. Fine structure and taxonomy of the small and finy *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in japan 5. *S. delicatus* Genkel and the characters useful in identifying five small species. *Journal of Phycology*. Vol. 35 (4): 268-276.
- Kociolek, J. P. & E. F. Stoermer. 1990. Diatoms from the Upper Miocene Hot Springs Limestone, Snake River Plain, Idaho (U.S.A.). *Micropaleontology* 26 (4): 331-352.
- Kociolek, J. P. & E. F. Stoermer. 1991. Taxonomy and ultrastructure of some *Gomphonema* and *Gomphoneis* taxa from the upper Laurentian Great lakes. *Can. J. Bot* 69: 1557-1576.
- Kociolek, J. P., 1992. Valve ultrastructure and systematic position of *Gomphonema kaznakowi* Mereschkowsky. *Diatom Research* 7(2): 259-265.
- Kociolek, J. P. & E. F. Stoermer. 1993. Freshwater gomphonemoid diatom phylogeny : preliminary results. *Hydrobiologia* 269/270: 31-38.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1986. *Suesswasserflora von mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer verlag, Stuttgart, 440 pp.
- Krammer, k. & H. Lange-Bertalot. 1988. *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 2 Teil: Epithemiaceae, Surerillaceae, Band 2/2*:. Gustav Fischer verlag, Stuttgart, 437 pp.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1991: *Suesswasserflora von Mitteln/Europa. Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 pp.
- Kukal, Z., 1971. *Geology of recent sediments*. Czechoslovak Acad. Sc. Praja. 490 pp.
- Laird, K., S. Fritz & B. Cumming. 1998. A diatom-based reconstruction of drought intensity, duration, and frequency from Moon Lake, North Dakota : a sub-decadal record of the last 2300 years. *Journal of Paleolimnology* 19: 161-179.
- Lange-Bertalot, H., 1980. Zur systematischen Bewertung der bandförmigen kolonienbei *Navicula* und *Fragilaria*: Kriterien fürdie Verinigung von *Synedra* (subgen *Synedra*) Ehrenberg mit *Fragilaria* Lyngbye. Nova Hedwigia Band XXXIII. Braunschweig. J. Cramer. 723-784.
- Lauer, W., 1979. Medio ambiente y desarrollo cultural en la región de Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 16: 69-73.
- Lipsej Jr., L. L., 1988. Preliminary results of a classification of fifty-one selected northeastern Wisconsin lakes (USA) using indicator diatom species. *Hydrobiologia* 166: 205-216.

- Lohman, K. E., 1960. The ubiquitous diatom.- A brief survey of the present state of knowlwdge. *Am. J. of Science, Bradley*, 258-A: 180-191.
- Lowe, R. L., 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. EPA Report # EPA-670/4-74-005, Cincinnati OH, 333 pp.
- Lozano-García, R., 1946. *El tizar y su distribución en México*. Estudios Geológicos-Económicos, Serie de minerales no-metálicos. Ito. de Geología, UNAM, México.
- Lozano, G. S. y B. Ortega. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of lake Chalco, Central Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 109 : 177 - 191.
- Lozano, G. S., B. Ortega, M. caballero & J. Urrutia. 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco lake, central Mexico. *Quat. Research* 40: 332 - 342.
- Lund, J. W. G., C. Kipling & E. D. Le Cren. 1958. The Inverted Microscope Method of Estimating Algal Numbers and the Statical Basis of estimations by Counting. *Hydrobiologia* 11(2): 143-170.
- Mann, D. G., 1976. The Diatom Genus *Hantzschia* Grunow –an Appraisal. Fourth Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms. Oslo
- Mann, D. G., 1981. Studies in the Diatom Genus *Hantzschia*. Intraspecific Variation in *H. virgata*. *Ann. Bot.* 47:377-395.
- Mann, D. G., 1982. The Use of the central Raphe Endings as a Taxonomic Character. *Plant Systematics and evolution*. 141: 143-152.
- Mann, D. G., 1989. The Diatom Genus *Sellaphora*: Separation from *Navicula*. *Br. Phycol. J.* 24:1-20.
- Mann, D. G. & A. J. Stickle. 1991. The genus *Craticula*. *Diatom Research* 6(1): 79-107.
- Mann, D.G., 1993. Patterns of sexual reproduction in diatoms. *Hydrobiologia* 269/270:1-20.
- Margalef, R., 1957. Los microfósiles del lago miocénico de la Cerdaña como y indicadores ecológicos. *Cursillos y Conferencias del Ito. "Lucas Mallada", fasc. 4*: 13-17.
- Margalef, R., 1962. Registro fósil de fluctuaciones climáticas de corto periodo en el área pirenaica y en época miocénica. *Actas del Tercer Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos*: 217-226.
- Margalef, R., 1969. Size of centric diatoms as an ecological indicator. *Mitt. Internat. Verein Limnol.* 17: 202-210.
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta.* 1(4): 493-509.
- Margalef, R., 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona. 1010 pp.
- Margalef, R., 1997. *Our Biosphere*. Ecology Institute, D-21385 Oldendorf/Luhe. Germany. 176 pp.
- Martínez - Mekler, G., E. Ugalde y G. Vilaclara. 1998. Scale invariance in paleoecology: from turbulence to fossils. *Memoria del 15. Biennial AMQUA Meetig*: 129.
- Metcalfé, S.E., 1986. Diatoms in a core from Laguna zacapu, Michoacán, México. *9th Diatom Symposium*: 251-264.
- Metcalfé, S. E., F. A Street-Parrott, R. A. Perrot & D.D. Harkness. 1986. Environmental changes during the Late Quaternary in the Upper lerma Basin, Mexico Estate. *8th International Diatom Symposium*: 471-482.

- Metcalfe, S., 1988. Modern diatom assemblages in Central México: the role of water chemistry and other environmental factor as indicated by TWINSPAN & DECORANA. *Freshwater Biology* 19: 217-233.
- Metcalfe, S. E., F. A. Street-Perrot, R. B. Brown, P. E. Hasles, R. A. Perrot & F. M. Steininger. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in Central Mexico. *Geoarchaeology* 4: 119-141.
- Metcalfe, S., Street-Perrot, A., Perrot, A & D. Harkness. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma Basin, Central Mexico: a record of climatic change and antropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology* 5: 197-218.
- Metcalfe, S., 1992. *Changing environments of the Zacapu Basin, central Mexico: a diatom-based history spanning the last 30,000 years*. Research Paper 48. School of Geography, University of Oxford.
- Metcalfe, S., 1993. Evolution of the Pretoria Saltpan –a diatom record spanning a full glacial-interglacial cycle. *Hydrobiología* 269/270: 159-166.
- Metcalfe, S., 1994. Estudio de las diatomeas de la cuenca de zacapu, Michoacán: punto 1 y 4. p.100-112 in Pierre Pétrequin (Ed.): *800 años de la cuenca de Zacapu. Evolución de los paisajes y primeros desmontes*. Cuadernos de Estudios Michoacanos 6. Centre d'études Mexicaines et Centraméricaines, México.
- Metcalfe, S., 1997. Climate change at the monsoon/Westerly boundary in Northern Mexico. *Journal of Paleolimnology* 17: 155-171.
- Metzeltin, D. & H. Lange-Bertalot. 1998. *Tropical Diatoms of South America I*. Koeltz Scientific Books. Germany. 695 pp.
- Miranda, J., A. Oliver, G. Vilaclara, R. Rico-Montiel, V.M. Macías, J.L. Ruvalcaba & M.A. Zenteno. 1994. Analysis of diatomite sediments from a paleolake in central Mexico using PIXE, X-ray tomography and X-ray diffraction. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 85: 886-889.
- Miranda, J., G. Vilaclara, R. Rico-Montiel, J. Cañetas, M. Lugo, E. Hernández-Juárez y M.A. Zenteno. 1996. Caracterización de sedimentos diatomíferos por medio de PIXE, difracción de rayos X, Tomografía de rayos X y microscopía electrónica de barrido. *Memorias de la Reunión latinoamericana de Metodos Fisicos, Chile.* 24-27-10-94.
- Munsell Soil Color Charts. 2000. 617 Little Britain Road, New Windsor, N.Y. GretagMacbeth.
- Niessen, H., 1956. Okologische Untersuchungen über die Diatomeen und Desmidiaceen des Murnauer Moores. *Arch. Hydrol.* 51:281-375.
- Ontiveros-Hernández, A., 1964. Estudio económico de un yacimiento de diatomita en la región central del Estado de Tlaxcala. Tesis de Licenciatura, ESIA-IPN, México, 60 pp.
- Paasche, E., 1973. The influence of cell size on growth rate, silica content and some other properties of four diatom species. *Norw. J. Bot.* 20: 197-204.
- Pankow, H., D., Haendel & W. Richter. 1991. *Die Algenflora der Schirmacheroase (Ostantarktika)*. J. Cramer. Berlin-Stuttgart, 158 pp.
- Patrick, R. & C. W. Reimer. 1966. *The diatoms of the United States. Volume I*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia # 13, NAS, Philadelphia, 688 pp.

- Patrick, R., 1968. The structure of diatom communities in similar ecological conditions. *The American Naturalist* 102(924): 173-183.
- Patrick, R. & C. W. Reimer. 1975. *The Diatom of the United States. Exclusive of Alaska And States Volume II*. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia · 13, NAS, Philadelphia, 213 pp.
- Peet, P. K., 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15:285-307.
- Pielou, E. C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley Inter-Science, New York. 286 pp.
- Prescott, G. W. 1973. *Algae of the Western Great Lakes Area*. Otto Koeltz Science Publishers (1982), W-Germany, 978 pp.
- Rasmont, R., 1970. Some new aspects of the physiology of freshwater sponges. *Symp. Zool. Soc. London* 25: 415-422.
- Reed, J. M. 1998. A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. *Journal of Paleolimnology* 19:399-416.
- Richardson, J. L., T. J. Harvey & S. A. Holdship. 1978. Diatom in the history of shallow East African lakes. *Pol. Arch. Hidrobiol* 25 (1-21): 341-353.
- Rico, R., L. Martínez, A. Reyes y J. Castillo. 1991. Fauna fósil de la Barranca Huexoyucan, Edo. Tlaxcala. *XI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*, resumen 254.
- Rico, R., L. Martínez, M. R. Fernández, J. L. Aragon. 1992. Esponjas fósiles de algunos depósitos lacustres del Cuaternario de México. *XII Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM*, resumen 144: 74.
- Rico, R., G. Vilaclara, R. Carrillo & M. A. Zenteno. 1993. Methodological proposal for lacustrine sediment analyses applied to Tlaxcala diatomite, Mexico. *Ver. Internat. Limnol.* 25 (2): 1072-1074.
- Rico, R., J. Cañetas, G. Vilaclara, J. Aragón, R. Fernández y L. Martínez. 1994. Análisis de las estructuras valvares de diatomeas fósiles del género *Stephanodiscus* Ehrenberg con microscopía electrónica de barrido. *2o. Congreso Mexicano de Microscopia Electrónica*. en preparación.
- Rico, R., L. Martínez, M. R. Fernández y G. Vilaclara. 1995. Los lagos muertos de México. en : de la Lanza, E. G., y J. L. García calderon (compiladores) *Lagos y presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. 319 pp.
- Rico, R., G. Vilaclara, J. Miranda & J. Cañetas. 1997. Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein Limnol.* 26(2):838-841.
- Rivera, R. P., 1974. Diatomeas de agua dulce de Concepción y alrededores (Chile). *Gayana Botánica* 28: 1-134.
- Rivera, P., O. O. Parra, M. González, V. Dellarossa y M. Orellana. 1982. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae*. Universidad de Concepción, Chile, 90 pp.
- Robledo, T. R., 1997. *Estudio paleolimnológico mediante un análisis comparado de diatomeas en una secuencia estratigráfica de la sección inferior del paleolago Tlaxcala*. Tesis de Licenciatura, E.N.E.P. Iztacala, UNAM. México. 57 pp.
- Robledo, T. R., G. Vilaclara, R. Rico, M. Gaytán y J. Miranda. 1996. *Estudio paleolimnológico de la sección inferior del yacimiento diatomífero de "El Lucero"*,

- paleolago Tlaxcala*. XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: Resumen 299.
- Rodríguez, R. A., 1998. *Microanálisis de laminaciones en el depósito diatomífero de la mina de Santa Bárbara, Paleolago Tlaxcala, Tlax.* Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala, UNAM, México. 58 pp.
- Rodríguez, R. A., G. Vilaclara, J. Miranda, J. Cañetas y R. Rico. 1996. Microanálisis de laminaciones en la sección del depósito diatomífero de "Santa Bárbara", paleolago Tlaxcala. *XVII Coloquio de investigación ENEP- Iztacala, UNAM*: Resumen 300.
- Rodríguez, R. A., G. Vilaclara, D. Juárez, R. Rico, J. Miranda y J. Cañetas. 1997. registro de condiciones paleoambientales locales en sedimentos lacustres. *XVII Coloquio de Investigación ENEP_ Iztacala, UNAM*: Resumen 256.
- Ross, R., 1993. Nomenclature for Diatomists. *Diatom research* 8(2): 429-438.
- Round, F. E., 1982: *Cyclostephanos*; a new genus within the skeletonemaceae. *Arch. protistenk.* 125: 323-329.
- Round, F. E., 1991. On stria patterns in *Fragilaria* and *Synedra*. *Diatom Research* 6(1):147-154.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D. G. Mann. 1990. *The diatoms. Biology and morphology of the genera..* Cambridge University Press, London, 747 pp.
- Round, F. E., 1992. A reinvestigation of some fragilaroid diatoms in the provasoli/guillard culture collection. *Diatom Research* 7(2):303-311.
- Round, F. E. & H. Håkansson. 1992: *Cyclotelloid* species from a diatomite in the Harz mountains, Germany, including *Pliocaenicus* gen. nov. *Diatom Research*, 7 (1): 109-125.
- Sabater, S., 1991. Size as a factor in centric diatoms distribution. The spanish reservoirs as an example. pp. 45-60 in J.D. Ros & N. Prat (Eds.): *Homage to Ramón Margalef; or why there is such pleasure in studying nature.* Publicacions de la Universitat de Barcelona, 439 pp.
- Selley, R. C., 1970. *Ancient sedimentary environments.* Chapman & Hall, 237 pp.
- Schoeman, F. R., 1973. *A systematical and ecological study of the diatom flora of Lesotho with special reference of water quality.* Printers. Pretoria. 355 pp.
- Schrader, H., N. Swanberg, K. Lycke, M. Paetzl, T. Schrader, T. Schrader. 1993. Diatom inferred productivity changes in the eastern equatorial Pacific; The Quaternary record of ODP leg III, site 677. *Hydrobiology* 269/270: 137-151.
- Simonsen, R., 1962. Untersuchungen zur Systematik und Ökologie der Bodendiatomeen der westlichen Ostsee. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie. Systematische beihefte* 1: 1-144.
- Siqueiros-Beltrones, D. A., 1990. A view of the indices used to assess species diversity in benthic diatom associations: Una nota sobre los índices usados para valorar la diversidad de especies en asociaciones de diatomeas bentónicas. *Ciencias marinas* 16 (1): 91-99.
- Siver, P. A., 1999. Development of paleolimnological inference models for pH, total nitrogen and specific conductivity based on planktonic diatoms. *Journal of Paleolimnology* 21: 45-59.
- Sládeček, V., 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 14(5): 555-566.

- Sládeček, V., M. Zelinka, J. Rothschein, & V. Moravcová. 1981. *Biologicky Rozbor Povrchové Vody: Komentár k CSN 83 0532-cásti 6: Stanovení saproního indexu*. Vydavatelství Uradu pro normalizaci a merení. Praga, 186 pp.
- Sládecková, A. & V. Sládeček. 1994. Corixidae as indicators of organic pollution. *Freshwater Forum* 4 (3): 211-213.
- Smith, G. M., 1950. *The freshwater algae of the United States*. MacGraw-Hill Book Co., Inc., N.Y., 719 pp.
- Spaulding, S. A., D. M. Mcknight, E. F. Stoermer & P. T. Doran. 1997. Diatoms in sediments of perennially ice-covered Lake Hoare, and implications for interpreting lake history in the McMurdo Dry Valleys of Antarctica. *Journal of Paleolimnology* 17: 403-420.
- Secretaría de Programación y Presupuestos. 1981. *Síntesis Geográfica de Tlacala*. México D. F., 91 pp.
- Stephen, J. M., 1994. Morphological Variation in *Diploneis smithii* and *D. fusca* (Bacillariophyceae). *Arch. Protistenkd* 144: 249-270.
- Stevenson, R. J., 1997. Scale-dependent causal frameworks and the consequences of benthic algal heterogeneity. *Journal of the North American benthological Society* 16: 248-262.
- Stoermer, E. F., J. A. Wolin, C. L. Scheleske & D. J. Conley, 1985. Variations in *melosira islandica* valve morphology related to eutrophication and silica depletion. *Limnol & Oceanogr.* 30(2): 414-418.
- Stoermer, E. F., H. Håkansson. & E. C. Theriot. 1987. *Cyclostephanos* species newly reported from North America: *C. tholiformis* sp. nov. and *C. costalimbus* comb. nov. *Bt. Phicol. J.* 22: 349-358.
- Stoermer, E. F., G. Emmert & C. Scheleske. 1989. Morphological variation of *Stephanodiscus niagarae* Ehr. (Bacillariophyta) in a lake Ontario sediment core. *Journal of Paleolimnology* 2:227-236.
- Taliaferro, N. L., 1933. The relation of vulcanism to diatomaceous and asociate. *Bull. Univ. Calif. (Dpto. Geol. Sci.)* 23 (1): 1-56.
- Terao, K.; S. Mayama & H. Kobayasi. 1993. Observations on *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Cleve var. *mexicana* (Bacillariophyceae) with special reference to the band structure. *Hydrobiologia* 269/270: 75-80.
- Theriot, E. & E. F. Stoermer. 1981. Some aspects of morphological variation in *niagarae* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 17: 64-72.
- Theriot, E. & E. F. Stoermer. 1982. Observations on North American populations of *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species attributed to Friedrich Hustedt. *Trans. Am. Microsc. (Soc. 1014)*: 368-374.
- Theriot, E. & E. F. Stoermer. 1984. Morphological and Ecological Evidence for two Varieties of the Diatom *Stephanodiscus niagarae*. *8th Diatom-Symposium* 385-393.
- Theriot, E. & E. F. Stoermer. 1986. Morphological and ecological evidence for two varieties of the diatom *Stephanodiscus niagarae*. *8th Diatom Symposium*:385-394.
- Theriot, E. & P. Kocielek. 1986. Two new pliocene species of *Cyclostephanos* (Bacillariophyceae) with comments on the classification of freshwater *Thalassiosiraceae*. *Journal of Phycology*. 22: 121-128.

- Theriot, E., Stoermer, E. & H. Håkansson. 1987. Taxonomic interpretation of the rimoportula of freshwater genera in the centric diatom family Thalassiosiraceae. *Diatom Research*, 2: 251-265.
- Traveset, A., 1986. Clave de identificación de las esponjas de agua dulce de la Península Ibérica. Asociación Española de Limnología. barcelona. 25 pp.
- Urrutia, F. J. y S. Lozano. 1991. Descripción del proyecto de investigaciones paleomagnéticas, palinológicas, magnetoestratigráficas y paleolimnológicas en sedimentos lacustres de la Cuenca de México. p. 1 - 9 in S. Lozano *et al.* *Paleomagnetismo, palinología, paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la Cuenca de México.* comunicaciones Técnicas del Ito. Geofísica. UNAM. Contribución IGF No. PN - 1991-1.
- Van Dam, H., 1982. On the use of measures of structure and diversity in applied diatom ecology. *Nova Hedwigia* 73: 97-115.
- Van Heurck, H., 1899. *Traité des Diatomées.* J.-E. Buschmann. Reimpresión (1963), J.R. Hansen, Bruxelles, 574 pp., 35 pl.
- Vilaclara, G., M. Chavez., A. Lugo., H. Gonzáles y M. Gaytán. 1993: Comparative description of crater-lakes basic chemistry in Puebla State, Mexico. *Verh. internat. Verein. Limnol* 25: 435-440.
- Vilaclara, G., A. Rodríguez, R. Rico, J. Urrutia, P. SCAF y T. Jernández. 1996. Estudio estratigráfico del paleolago Tlaxcala. *XVI Coloquio de Investigación ENEP-Iztacala, UNAM: Resumen* 298.
- Vilaclara, G., 1997a. *Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México.* Tesis Doctoral. Fac. de Biología, Universidad de Barcelona, España. 212 pp.
- Vilaclara, G., R. Rico & J. Miranda. 1997b. Effects of perturbations on diatom assemblages in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Ver. Internat. Verein. Limnol* 26(2):846-851.
- Vilaclara, G., J. Miranda, G. Martínez-Mekler, E. Cuna, A. Rodríguez y M. A. Centeno. 1998. *Computerized axial tomography: standarization of a quick technique for lamination characterization in diatomaceous sediments.* Memoria del 15th. *Bienal AMQUA Meeting*: 1975.
- Von Erfaa, A. W. Hilger, K. Knoblic y R. Weyl. 1976. Geología de la cuenca alta de Puebla-Tlaxcala y sus contornos. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 13: 99-118.
- Watts, W. A. & J. P. Bradbury. 1982. Paleoecological studies at lake Patzcuaro on the West-Central Mexican Plateau and at Chalco in the basin of México. *Quat Res.* 17: 56-70.
- Weber, C. I., 1971. *A guide to the common diatoms at Water Pollution Surveillance System stations.* US-EPA, Cincinnati, 108 pp.
- Werner, D., 1977. *The biology of diatoms. Botanical Monographs. Vol. B.* University of California Press, 498 pp.
- Weyl, R., 1976. Determinación y clasificación de las rocas volcánicas en la región Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala* 10: 69-73.
- Whitmore, T., 1989. Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. *Limnol Oceanogr.* 34(5): 882-895.

- Williams, D. M. & F. E. Round. 1987. Revision of the Genus *Fragilaria*. *Diatom Research* 2(2): 267-288.
- Wilson, S. E., J. P. Smol & J. S. David. 1997. A Holocene paleosalinity diatom record from southwestern Saskatchewan, Canada: Harris lake revisited. *Journal of Paleolimnology* 17: 23-31.
- Wolfe, A. P., 1997. On diatom concentrations in the lake sediments: result from an inter-laboratory comparison and other tests performed on a uniform sample. *Journal of Paleolimnology* 18: 261-268.
- Yang, Jin-Rong & H. C. Duthie. 1993. Morphology and ultrastructure of teratological forms of the diatoms *Stephanodiscus niagarae* and *S. parvus* (Bacillariophyceae) from Hamilton Harbour (Lake Ontario, Canada). *Hydrobiology* 269/270:57-66.
- Zoto, G. A. & H. E. Schlichting. 1973. A rapid method for clearing diatoms for taxonomic and ecological studies. *Phycologia* 12 (1/2)

ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO DE UTERMHÖL (SEDIMENTACIÓN Y CONTEO CON INVERTOSCOPIO)

INTRODUCCIÓN

Los resultados del análisis de diatomeas de los sedimentos lacustres usualmente se presentan en forma de diagramas de porcentajes, en los cuales la variación en la frecuencia relativa de los taxa individuales o en grupos se grafica en niveles sucesivos en relación con la columna estratigráfica (Nygaard, 1956; Behre, 1962 en Battarbee, 1973). Estos análisis de porcentajes son relativamente fáciles de realizar y los diagramas obtenidos frecuentemente dan una buena representación de los cambios en la estructura de las comunidades fósiles. Sin embargo, ello no permite observar la abundancia absoluta de diatomeas en los sedimentos (Battarbee, 1973).

La estimación de la concentración de valvas de diatomeas (el número de valvas por unidad de masa o volumen de sedimento, también referido como abundancia absoluta) es un componente importante de muchas investigaciones paleolimnológicas (Anderson, 1990; Wolfe, 1997) que requieren consideraciones cuidadosas de procesos biológicos, químicos y físicos que pueden influenciar la concentración de diatomeas en un ambiente sedimentario. Las concentraciones absolutas pueden ser aplicadas a la reconstrucción de paleoproductividades de las diatomeas, a la historia de la sedimentación y, en ciertos casos, a la preservación de los frústulos (Wolfe, 1997). La concentración de diatomeas puede variar entre 0 y $> 10^9$ valvas por gramo de sedimento, un intervalo que se encuentra bien reflejado en la literatura paleoecológica (Wolfe, 1997).

Algunos de los métodos más usados para calcular la abundancia absoluta de las diatomeas son: La técnica de evaporación (Battarbee, 1973), el uso de granos de polen marcadores (Kaland y Stabell, 1981), la utilización de microesferas (Moore, 1973 en Battarbee, 1973) y la técnica de Utermhöl (usada para fitoplancton, Lund *et al.*, 1958).

Antes de realizar los conteos absolutos necesarios para este trabajo, se llevó a cabo la estandarización de la técnica de Utermhöl en relación con la técnica de la alícuota empleada usualmente en el Laboratorio de Diatomeas del Inst. de Geofísica, UNAM (método de la evaporación, modificado por Battarbee, 1973).

PRECISIÓN ANALÍTICA DEL MÉTODO DE UTERMHÖL

De los conteos en invertoscopio se hicieron 5 repeticiones de 5 muestras, para realizar un análisis de repetibilidad o precisión analítica (P%) de resultados, hasta lograr que el cociente de variabilidad ($P\% = [\text{Repetición más baja} / \text{Repetición más alta}] \times 100$) fuera menor al 5 %. Los resultados se muestran en la tabla I, en la cual se puede observar que con el método de Utermhöl se obtiene precisión aceptable (mayor al 90 %).

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CONTEOS ABSOLUTOS ENTRE EL MÉTODO DE UTERMHÖL Y EL DE LA ALÍCUOTA (EVAPORACIÓN, MODIFICADO POR BATTARBEE 1973).

Se realizó una comparación entre la técnica de Utermhöl (cámaras de sedimentación para el fitoplancton) y el método de la alícuota, con el objeto de establecer las ventajas y desventajas de ambas técnicas y la validez del método de Utermhöl empleado en este trabajo.

Para el método de Utermhöl se pesaron entre 0.0025 y 0.003 g de material seco con una balanza analítica OHAUS de precisión 0.01 mg. El material se suspendió en 50 ml de agua destilada, y se dejó sedimentando por un mínimo de 30 horas en cámaras compuestas de plancton de 50 ml de volumen. La columna de sedimentación de la cámara se retiró, colocando en su lugar un vidrio especial-portaobjetos, y se colocó en el invertoscopio. Los especímenes grandes se contaron en todo el fondo de la cámara a 128X y los pequeños se contaron en transectos independientes a 504X hasta alcanzar un mínimo de 400 valvas de un mismo taxon.

Para el método de la alícuota, se usó un volumen conocido de suspensión (1ml=1mg), el cual fue colocado homogéneamente sobre toda la superficie de un cubreobjetos convenientemente limpio; se dejó evaporar sobre la parrilla a una temperatura relativamente baja, se agregó una gota de un medio de alta refringencia (Naphrax), y se colocaron los cubreobjetos así preparados encima del portaobjetos (previamente limpio y marcado). Cada muestra se preparó con una réplica. El conteo se realizó en transectos independientes hasta alcanzar un mínimo de 400 valvas de un mismo taxon. Caso de no alcanzar el número mínimo, se realizaban conteos en la réplica.

En ambos conteos se mantuvieron los siguientes criterios:

- 1) Los frústulos enteros se contaron como 2 valvas.
- 2) En las cadenas se contaron las valvas individuales.
- 3) Con el fin de excluir la posibilidad de conteos dobles o múltiples, se contaron como una valva únicamente los fragmentos que incluyeron la porción central o algún rasgo único característico de la valva (como el extremo mayor en algunas especies heteropolares); en el caso de especies sin centros ni rasgos únicos, la alternativa fue contar el número de extremos y luego dividir por 2 para obtener el número de valvas.

Los resultados se muestran en la tabla II. Como se observa en dicha tabla, el método de la alícuota da resultados muy elevados, en comparación con el método de sedimentación o invertoscopio (se triplican o duplican), a excepción de las muestras 1 y 19; asimismo, en el método de la alícuota la repetibilidad para las muestras, es muy baja en la mayoría de ellas. Esto tal vez se deba a que el método de la alícuota no distribuye suficientemente al azar las valvas. Battarbee (1986), al realizar una comparación de la concentración de diatomeas en muestras de sedimentos según los

métodos de estimación de la alícuota, cubeta de evaporación (utiliza el mismo principio que el del invertoscopio) y las microesferas, reportó resultados similares a lo encontrado en este trabajo, como se observa en la tabla III:

Técnica empleada	Valvas contadas ($\times 10^6$)
Microesferas	1000
Alícuota	4145
Cubeta de evaporación	1193

Tabla III : Comparación del número de valvas según tres métodos diferentes (Battarbee, 1986)

Parece no ser totalmente válido el conteo de campos o transectos al azar, y –en caso de aplicarlo– el recuento de todos los especímenes presentes en una preparación es tedioso e implica un elevado número de horas/hombre. Por ello, esta técnica es laboriosa, especialmente si se hacen réplicas, y más aún aumentan los errores cuando se pipetea volúmenes muy reducidos. Esto se puede aminorar contando con microscopio invertido.

Este último método es estadísticamente más preciso, debido a que la sedimentación permite la distribución homogénea del material en las cámaras, lo que facilita el conteo en transectos o campos elegidos al azar. En cuanto al tiempo empleado en el conteo, en los dos métodos son muy similares (aproximadamente 45 minutos por cada muestra).

Tabla I Resultados de la estandarización de la técnica del invertoscopio

No. de muestra	Color *	No. Total de valvas / mg			P %
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	
1	Blanca	42,849	39,498	-----	92
2	Blanca	21,144	20,649	20,377	96
3	Amarillo pálido	19,608	20,487	-----	96
4	Blanca	38,600	41,114	-----	94
5	Amarillo pálido	18,953	17,670	-----	93
6	Gris claro	0	0	0	
7	Gris claro	0	0	0	
8	Gris claro	2,165	1,991	-----	92
9	Blanca	316,292	346,053	327,628	91
10	Blanca	157,427	157,482	142,116	90
11	Amarillo pálido	49,439	45,200	-----	91
12	Amarillo pálido	68,212	62,849	66,927	92
13	Blanca	52,625	57,615	-----	91
14	Amarillo pálido	55,411	56,826	53,522	94
15	Blanca	177,543	175,158	164,915	93
16	Amarillo pálido	81,800	73,451	80,613	90
17	Blanca	120,754	115,964	129,136	90
18	Blanca	24,401	24,927	25,541	96

* Colores obtenidos de acuerdo a las tablas de Munsell (2000).

Tabla II Comparación entre el método de la alicuota y del invertoscopio

Método		Invertoscopio		Alicuota				Promedio	P%
No. de muestra	Color *	No. total de valvas / mg.	No. de taxa	No. total de valvas / lmg	No. de taxa	No. total de valvas / lmg	No. de taxa		
1	amarillo pálido	36,297	22	34,598	11	38,305	8	36,452	90
2	amarillo pálido	70,115	21	234,551	18	180,562	16	207,557	77
6	blanco	114,459	20	307,773	16	226,468	17	267,101	73
7	amarillo pálido	9,000	30	220,677	26	176,301	24	198,489	80
9	blanco	130,056	19	307,678	17	434,401	16	371,040	70
13	blanco	475,397	24	1,186,787	20	1,584,782	21	1,735,785	84
14	Blanco	210,620	27	465,636	23	349,227	21	407,432	75
16	blanco	211,465	24	473,279	18	503,567	22	488,423	94
17	amarillo pálido	91,3113	34	106,207	31	148,713	30	127,460	71
19	blanco	623,904	22	646,665	19	640,120	2	783,493	86

* Colores obtenidos de acuerdo a las tablas de Munsell.(2000).

CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS TAXONÓMICO

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Las especies presentes en este estudio se agruparon siguiendo la clasificación taxonómica propuesta por Round *et al.* (1990), Fourtanier y Kociolek (1999).

División Bacillariophyta

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

Subclase: Thalassiosirophyceidae Round & Crawford *in* Round *et al.* 1990.

Orden Thalassiosirales Glezeer & Makarova 1986.

Familia Stephanodiscaceae Glezer & Makarova 1986.

Género *Stephanodiscus* Ehrenberg 1845

Especie *S. minutulus* (Kützing) Cleve & Müller 1878

S. cf. minutulus (Kützing) Cleve & Müller 1878

S. cf. neoastraea Håkansson & Hickel 1986

Stephanodiscus sp. 1

Subclase: Coscinodiscophycidae Round & Crawford *in* Round *et al.* 1990

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

Familia Aulacoseiraceae Crawford *in* Round *et al.* 1990

Género *Aulacoseira* Thwaites 1848

Especie *A. granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979

A. granulata var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen 1979

A. granulata var. *granulata* (Ehrenberg) Simonsen 1979

A. solida (Eulenstein) Krammer *in* Bradbury 1991

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

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

Orden Fragilariales Silva 1962 *sensu emend.*

Familia Fragilariaceae Greville 1833

Género *Ctenophora* (Grunow) Williams & Round 1986

Especie *C. pulchella* (Ralfs ex Kützing) Williams & Round 1986

Género *Diatoma* Bory 1824

Especie *D. cf. vulgaris* Bory 1824

Género *Fragilaria* Lyngbye 1819

Especie *F. capucina* Desmazières 1825

Fragilaria sp.1

Género *Pseudostaurosira* (Grunow) Williams & Round 1988

Especie *P. brevistriata* (Grunow *in* Van Heurck) Williams & Round 1988

Género *Punctastriata* Williams & Round 1987

Especie *P. pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round 1987

Género *Staurosira* Ehrenberg 1843

Especie *S. cf. construens* Ehrenberg 1843

Género *Staurosirella* Williams & Round 1988

Especie *S. leptostauron* (Ehrenberg) Williams & Round 1988

Género *Synedra* Ehrenberg 1830

Especie *S. cf. ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832

Synedra sp.1

- Clase: Bacillariophyceae Haeckel 1878 *emend* Mann *in* Round *et al.* 1990
 Subclase: Bacillariophycidae Mann *in* Round *et al.* 1990.
 Orden Cymbellales Mann *in* Round *et al.* 1990.
 Familia Anomoeidaceae Mann *in* Round *et al.* 1990.
 Género *Anomoeneis* Pfitzer 1871
 Especie *A. sphaerophora* (Kützing) Pfitzer 1871
A. f. costata (Kützing) Schmid 1977
A. f. sphaerophora (Kützing) Pfintner 1871
- Familia Cymbellaceae Greville 1833.
 Género *Cymbella* Agardh 1830
 Especie *C. cistula* (Ehrenberg) Ehrenberg 1830
C. cymbiformis Agardh 1830 var. *cymbiformis* Agardh 1830
C. mexicana (Ehrenberg) Cleve 1894
C. mexicana var. *mexicana* (Ehrenberg) Cleve 1894
C. microcephala Grunow *in* Van Heurck 1880
C. schimanskii Krammer 1982
Cymbella sp. 1
 Género *Encyonema* Kützing 1833
 Especie *E. muellerii* (Hustedt) Mann 1990
E. muellerii var. 1
- Familia Gomphonemataceae Kützing 1844
 Género *Gomphonema* Ehrenberg 1832 (nom. cons.)
 Especie *G. angustatum* (Kützing) Rabenhorst 1864
G. gracile Ehrenberg 1838
G. aff. insigne Gregory 1856
G. cf. olivaceum (Hornemann) Brébisson 1838
G. parvulum Kützing 1849
G. subclavatum (Grunow) Grunow 1880
G. subclavatum var. *mexicanum* (Grunow) Patrick 1961
- Familia Sellaphorineae Mann *in* Round *et al.* 1990.
 Subfamilia Sellaphoraceae Mereschkowsky 1902
 Género *Sellaphora* Mereschkowsky 1902
 Especie *S. laevisima* (Kützing) Mann 1989
S. pupula (Kützing) Mereschkowsky 1902
S. seminulum (Grunow) Mann 1989
- Familia Pinnulariaceae Mann *in* Round *et al.* 1990.
 Género *Pinnularia* Ehrenberg 1843 Ehrenberg (nom. cons.)
 Especie *P. braunii* (Grunow) Cleve 1895
P. cf. maior (Kützing) Rabenhorst 1853
P. viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1843
 Género *Caloneis* Cleve 1894
 Especie *Caloneis* sp.1
Caloneis sp.2
- Orden Naviculales Bessey 1907 *sensu emend*
 Familia Naviculinae Hendey 1937
 Subfamilia Naviculaceae Kützing 1844.
 Género *Eolimna* Lange–Bertalot & Schiller 1997
 Especie *E. minima* (Grunow *in* Van Heurck) Lange – Bertalot & Schiller 1998
 Género *Navicula* Bory 1822

Especie *N. cryptotenella* Lange-Bertalot 1985
Navicula sp. 1

Familia Neidiaceae Mereschkowsky 1903
Género *Neidium* Pfitzer 1871
Especie *N. ampliatum* (Ehrenberg) Krammer 1985

Familia Mayamaeae Lange-Bertalot 1997
Género *Mayamaea* Lange-Bertalot 1997
Especie *M. atumus* (Kützing) Lange-Bertalot 1997
Género *Placoneis* Mereschkowsky 1903
Especie *P. porifera* (Hustedt) Mereschkowsky 1903
P. porifera var. *opportuna* (Hustedt) Lange-Bertalot 1985

Familia Stauroneidaceae Mann in Round *et al.* 1990.
Género *Craticula* Mann 1991
Especie *C. cuspidata* (Kützing) Mann 1991
Género *Stauroneis* Ehrenberg 1843
Especie *S. phoenicenteron* (Nitzsch) Ehrenberg 1843

Orden Achnanthes Silva 1962

Familia Achnantheaceae Kützing 1844 sensu emend.
Género *Achnanthes* Bory 1822
Especie *A. exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880
A. exigua var. *exigua* Grunow in Cleve & Grunow 1880
Achnanthes sp. 1

Familia Cocconeidaceae Kützing 1844
Género *Cocconeis* Ehrenberg 1838
Especie *C. pediculus* Ehrenberg 1838
C. placentula Ehrenberg 1838
C. placentula var. *lineata* (Ehrenberg 1843) Van Heurck 1880-1885
C. placentula pseudolineata Geitler 1927
C. placentula tenuistriata Geitler 1932
Cocconeis sp. 1

Familia Achnanthidiaceae Mann in Round *et al.* 1990.
Género *Achnanthidium* Kützing 1844
Especie *A. lanceolata* Brébisson in Kützing, 1849
A. lanceolata var. *frequentissima* (Kützing) Lange-Bertalot 1991
A. lanceolata var. *abbreviata* (Reimer) Lange-Bertalot 1991
A. lanceolata spp. *robusta* (Hustedt) Lange-Bertalot 1991
A. minutissima (Kützing) Kützing 1844
A. minutissima var. *minutissima* (Kützing) Kützing 1844
A. minutissima var. *gracillima* (Meister) Lange-Bertalot 1989
Género *Eucoconeis* Cleve ex Meister 1912
Especie *E. cf. flexella* (Kützing) Meister 1912

Orden Thalassiophysales Mann in Round *et al.* 1990.

Familia Catenulaceae Mereschkowsky 1902
Género *Amphora* Ehrenberg 1840
Especie *A. ovalis* (Kützing) Kützing 1844
A. ovalis var. *pediculus* (Kützing) Cleve 1985
A. veneta Kützing 1844
Amphora sp. 1

Orden Bacillariales Hendey 1937 *sensu emend*

Familia Bacillariaceae Ehrenberg 18311.

Género *Cymbellonitzschia* Hustedt in A. Schmidt *et al.* 1924

Especie *C. diluviana* Hustedt 1950

Género *Denticula* Kützing 1844

Especie *D. elegans* Kützing 1844

D. kuetzingii Grunow 1862

Género *Hantzschia* Grunow 1877 (nom. cons.)

Especie *amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow 1877

Género *Nitzschia* Hassall 1845 (nom. cons.)

Especie *N. amphibia* Grunow 1862

N. amphibia var. *amphibia* Grunow 1862

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

N. amphibioides Hustedt 1942

N. cf. frustulum (Kützing) Grunow in Van Heurck 1881

N. palea (Kützing) W. Smith 1856

N. cf. linearis (Agardh) W. Smith 1853

N. tropica Hustedt 1949

N. cf. vermicularis (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1860

Nitzschia sp. 1

Nitzschia sp. 2

Orden Rhopalodiales Mann in Round *et al.* 1990.

Familia Rhopalodiaceae (Karsten) Topachevskij & Oksiyuk 1960.

Género *Epithemia* Brébisson 1838

Especie *E. adnata* (Kützing) Rabenh 1853

Género *Rhopalodia* O. Müller 1895

Especie *E. gibba* (Ehrenberg) O. Müller 1895

E. gibberula (Ehrenberg) O. Müller 1900

E. gibberula var. *vanheurckii* Surirellales Mann in Round *et al.* 1990

Orden Surirellales Mann in Round *et al.* 1990.

Familia Surirellaceae Kützing 1844.

Género *Cymatopleura* W. Smith 1851

Especie *C. solea* (Brébisson) Smith 1851

C. solea var. *apiculata* (W. Smith) Ralf in Pritchard 1861

Género *Surirella* Turpin 1828

Especie *ovalis* Brébisson 1828

En cuanto a los estomatoquistes de crisofíceas, éstos se parecen a los denominados estomatoquistes 46, 116^a y 143, según la clasificación propuesta por Duff *et al.* (1995). Y en relación a las megascleras de esponja, no fue posible determinar géneros por la ausencia de microescleras.

ANÁLISIS TAXONÓMICO

A continuación se presenta la lista comentada de las especies cuya abundancia (>2%) permitió tomar datos suficientes de su morfología, con información de distribución y ecológicas, cuando la hubo en la bibliografía consultada. La lista se presenta en orden alfabético para facilitar la ubicación de las especies.

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen 1979

Fotos: 1-7

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 22-23; Fig: 16-18).

Sinonimia: *Gallionella granulata* Ehrenberg 1843; *Gallionella decussata* Ehrenberg 1843; *Orthosira punctata* W. Smith 1856; *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard 1861; *Melosira lineolata* Grunow in Van Heurck 1881 (Krammer & Lange-Bertalot, 1991).

Morfología: Células cilíndricas, en vista conectiva unidas formando filamentos largos; presenta sulcus. Medidas obtenidas (n=10): 6.0-8.5 μm (diámetro) x 17.5-19.0 μm (longitud). Estrías peralvares: 7-11/10 μm , formadas por grandes poros alineados en estrías longitudinales, con 10-12 poros/10 μm .

Ecología según autores: *Aulacoseira granulata* var. *granulata* es una especie planctónica de agua dulce (Gasse, 1986), alcalífila (Hustedt, 1957; Foged, 1964; Lowe, 1974). De acuerdo con Cholnoky (1970) y Gasse (1986), su pH óptimo está entre 7.2 y 8.2. Se ha localizado abundantemente en pH=7.9 y a una conductividad específica de 150 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Siver, 1999), la cual es baja para una especie alcalífila. Gasse (1986) menciona que esta especie se presenta en aguas de alcalinidades cercanas a 2.1 $\text{mcq}\cdot\text{l}^{-1}$ y conductividad baja (320 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); también que es una especie común en aguas neutrales a muy poco ácidas; sin embargo, la misma autora menciona que esta especie se ha encontrado como componente del plancton en aguas ricas en carbonatos-bicarbonatos (es decir, aguas alcalinas, lo cual parece una contradicción con la baja alcalinidad y conductividades mencionadas anteriormente), pero no muestra una preferencia catiónica, siendo una especie poco común o rara en aguas con fuertes condiciones alcalinas. Para Lowe (1974) es una especie eutrófica, oligosaprobia a mesosaprobia; se localiza en lagos y ríos, euplanctónica. Es una especie característica de aguas dulces a oligohalinas (Reed, 1998).

En conclusión, con base a los diferentes autores consultados, se deduce que esta especie puede ser una buena indicadora de aguas circumneutrales a ligeramente básicas y de baja salinidad.

Aulacoseira granulata var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen 1979

Sinonimia: *Melosira granulata* var. *angustissima* Müller 1899 (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

Morfología: Medidas obtenidas (n=10): 2.5-6.0 μm (diámetro) x 13.0-22.0 μm (longitud). Estrías, 14-16/10 μm . Algunos autores sugieren, después de realizar estudios de cultivos de esta especie, que la variedad *angustissima* es una pequeña

variación morfológica de *A. granulata* y no una forma genéticamente distinta (Cholnoky, 1963).

Ecología según autores: *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* es una variedad planctónica que parece tener un óptimo crecimiento en lagos someros y presentar tolerancia a aguas muy turbias. Para Gasse (1986), sus condiciones óptimas son: conductividad media a alta (para aguas dulces, 500-1200 μScm^{-1}), pH alrededor de 8-8.5, alcalinidad de alrededor de 7-10 meq l^{-1} y altas cantidades de sodio. Sin embargo este mismo autor también ha reportado esta variedad en aguas con bajo contenido de sales, conductividad de 79-119 μScm^{-1} , alcalinidad ($<1 \text{ meq l}^{-1}$), y en aguas de tipo calcio-magnesio, carbonato-bicarbonato. Para Lowe (1975) es una especie alcalífila (intervalo pH: 6.2-9.0), eutrófica, indiferente a la salinidad, mesosaprobia, limnobiótica, euplanctónica y cosmopolita.

Basándose en lo anterior, se catalogó esta especie como una forma planctónica, de aguas someras, circumneutrales a ligeramente básicas, indiferente a la salinidad en niveles de baja concentración iónica.

Aulacoseira solida Grunow in Van Heurck (Bradbury, 1991)

Fotos: 8-12

Morfología: Valvas cilíndricas, unidas en largos filamentos. Zona de unión entre células muy evidente. Vista valvar con zona central lisa, hacia el margen presenta areolas. Presentan sulcus muy estrecho. En el manto valvar se observa areolas en hileras rectas a ligeramente anguladas, dejando espacios entre sí. Medidas obtenidas (n = 10): 6.0-11.0 x 7.0-10.0 μm . Estrías perivalvares: 8-12/10 μm , formadas por hileras de grandes poroides redondos o cuadrangulares.

Ecología según autores: Insuficientemente conocida (Bradbury, 1991). Wilson *et al.*, (1997) mencionan que, en general, el género *Aulacoseira* se presenta como una forma planctónica, en aguas con un intervalo de pH de 5.1-7.9 y una conductividad específica de 28-150 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Reed (1998) cita este género como propio de aguas dulces.

Achnanthes exigua var. *exigua* Grunow 1980

Hustedt (1930, pág. 201; Fig. 286).

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

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, extremos desde fuertemente rostrados a ligeramente capitados, borde de la valva casi paralelo. Hipovalva con estrías muy finas, ligeramente radiales, interrumpidas en el centro, donde se marca un estauro; la epivalva presenta estrías más marcadas, con estrías centrales cortas. Medidas obtenidas (n=5): 12.0-16.5 x 5.5-6.0 μm . Estrías 22-26/10 μm .

Ecología según autores: Especie alcalinófila. Común en aguas corrientes y estancadas, perifítica (Lowe, 1974). Especie alcalífila (Håkansson, 1993).

Achnanthidium lanceolatum Brébisson in Kützing 1949

Esta especie constituye la especie tipo del género *Planothidium* Round & Bukhtiyarova, por lo que se ha reportado como *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round & Bukhtiyarova 1996; sin embargo, según el "Catálogo de Géneros de

Diatomeas" (Fourtanier & Kociolek, 1999), esta combinación es inválida (ver Art. 33.2).

En el presente estudio se han detectado tres variedades de *Achnantheidium lanceolatum*, según Krammer & Lange-Bertalot, las dos más representativas son:

ssp. *frecuentissima* Lange-Bertalot 1991 var. *frecuentissima* Lange-Bertalot, 1991 Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 78; Figs. 44: 3, 18, 21, 23).

Sinonimia: *Achnanthes lanceolata* ssp. *frecuentissima* Lange-Bertalot 1991 var. *frecuentissima* Lange-Bertalot, 1991.

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, extremos desde redondeados hasta ligeramente rostrados. Epivalva con área axial más área central formando una zona lanceolada, estrecha; en el área central presenta una depresión en forma de herradura y una estría central opuesta más pequeña. Hipovalva con área axial más área central formando una zona lanceolada. Rafe recta, termina cuando empieza el área central, estriás todas de igual longitud. Medidas obtenidas (n=3): 12.5-13.0 x 7.0-8.0 µm. Estriás radiales, gruesas, 12-13/10 µm.

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

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 79; Fig. 46:4 - ejemplar fósil -, 6).

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

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, extremos ligeramente adelgazados. Epivalva con estriás gruesas, cortas, ligeramente radiales en los extremos, paralelas en el centro. Presenta una huella (depresión) circular pegada al margen valvar en el área central. Área axial más área central forman una zona lanceolada. Medidas obtenidas (n=5): 15.0-16.5 x 7.0-8.0 µm. Estriás 10-12/10 µm.

Ecología según autores: Se localiza en aguas oligosaprobias con cantidades intermedias de electrolitos (Krammer y Lange-Bertalot, 1991). Especie alcalífila (Håkansson, 1993)

Achnantheidium minutissima (Kützing 1833) Kützing 1844

Fotos: 13-14

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág.56-57; Figs. 33: 1-9).

Sinonimia: *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* Kützing 1833.

Morfología: Valvas elíptico-lineares, extremos rostrados. En la hipovalva presenta un área axial linear, pequeña, y un área central asimétrica. Un lado de la hipovalva presenta un mayor número de estriás cortas en comparación con el lado contrario. La epivalva no presenta rafe; en un lado de la misma se observa un estauro y estriás cortas en el contrario. Rafe filiforme con extremos terminales inconspicuos. Medidas obtenidas (n=10): 14.0-20.0 x 2.5-3.5 µm. Estriás radiales muy finas, alrededor de 30/10 µm.

Ecología según autores: Esta especie muestra una clara preferencia por hábitats epífitos, sobre algas o macrofitas, y por aguas bien aereadas (Schoeman,1973). Cholnoky (1968) menciona esta especie como una buena indicadora de condiciones

ricas en oxígeno. Gasse (1986) reporta que tiene un buen desarrollo en ríos, pero que también es una especie común en el plancton y perifiton de los lagos; es una especie abundante en aguas de ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas (pH 6-<8.5), alcalinidad 2-<50 meq.l⁻¹, de baja a moderada conductividad <300-<3,000 μS.cm⁻¹. Sin embargo, tolera concentraciones mayores, con conductividades de 5,000 μS⁻¹ y pH 9.6. Tiene un buen desarrollo en aguas con un pH de 4.3-9.2, y un óptimo de 7.5-7.8. Tolerar pequeñas concentraciones iónicas. Se presenta en zonas con oxidación de desechos de origen orgánico o en zonas con una alta concentración de nutrientes inorgánicos. Común en aguas corrientes y estancadas, perifítica, euritermal (Lowe, 1974). Especie de aguas dulces a oligohalinas (Reed, 1998), indiferente a la salinidad (Håkansson, 1993). Asociada con altas concentraciones de nutrimentos (Brugham, 1979).

De lo anterior deducimos que es una especie indiferente al pH, de hábitats someros, donde se comporta como una forma epifítica o como ticoplancton de agua dulce, tolerante a salinidades bajas.

Amphora ovalis var. *pediculus* (Kützing) Cleve 1985

Foto: 15-16

Hustedt (1930, pág. 343; Fig. 629), Krammer y Lange-Bertalot (1986, pag. 345; Fig. 149: 4,5,7,8).

Sinonimia: *Amphora lybica* Ehrenberg (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas elípticas, arqueadas en sentido transapical, con extremos redondeados. Rafe arqueada hacia la parte ventral. Medidas obtenidas (n=10): 24.0-45.5 x 6.0-9.0 μm. Estrías ligeramente radiales, punteadas, 10-12/10 μm.

Ecología según autores: Sus representantes viven solitarios o reunidos en grupos, comúnmente sobre algas, rocas, etc. (Germain, 1981). Prefiere aguas con contenido electrolítico medio y también se presenta en aguas con contenido electrolítico bajo (Krammer & Lange-Bertalot, 1986). Calcífila, alcalífila, en pH de 4.5-9 (con un óptimo desarrollo en aguas con pH de 7.0 a 8.5); tolera pequeñas concentraciones iónicas. Característica de zonas con oxidación de componentes biodegradables (Lowe, 1974; Foged, 1993); epífita, se halla tanto en lagos como en ríos, generalmente en arroyos y manantiales, su mayor abundancia se registra durante el otoño (Lowe, 1974); oligosaprobia (Sládeček *et al.*, 1981). Según Gasse (1986), es una especie de ríos con corriente lenta y lagos, generalmente como una forma perifítica. Ocasionalmente forma parte del plancton. De común a rara en aguas diluidas, de muy baja a baja conductividad (<300-<1,000 μS.cm⁻¹), pH medio (6.0-<8.5), y baja a media alcalinidad (<2-<50 meq.l⁻¹). La asociación *Amphora ovalis* y *Cocconeis placentula* se presenta en aguas de baja a media conductividad (306-1200 μS.cm⁻¹, promedio 470 μS.cm⁻¹; pH 6.9-9.7, promedio 8.2). Es una especie calcífila de acuerdo con Niessen (1956). Variedad epifítica, de agua dulce (Reed, 1998), bentónica (Fritz *et al.* 1993), habita aguas estancadas (Hustedt, 1930; Cholnoky, 1968) o niveles someros de agua (Gasse, 1986). Son formas alcalífilas (Hustedt, 1930; Jörgensen, 1948; Foged, 1964).

Con base en los autores consultados, se concluye que esta especie es alcalífila, en aguas con concentraciones iónicas bajas; forma peri-epifítica y también como ticoplancton en aguas someras; prefiere aguas ricas en calcio.

Anomoeoneis sphaerophora (Ehrenberg) Pfitzer 1871

Hustedt (1930, pág. 262-264; Fig: 422).

Sinonimia: *Navicula sphaerophora* Ehrenberg 1843 (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, con ápices capitados. Área axial estrecha, área central asimétrica, ya que en un lado de la valva –transversalmente- se forma un estauro completo, mientras que en el lado contrario no llega a formarse debido a la presencia de estrías cortas. Rafe recta. Medidas obtenidas (n=3): 55.0-75.0 x 16.5-23.0 μm . Estrías radiales punteadas, 16-18/10 μm . Gasse (1986) menciona esta forma como altamente polimórfica y frecuentemente difícil de distinguir de la forma *costata*, afirma incluso que las dos valvas de la frústula a veces son diferentes en su ornamentación (en la hipovalva la estría transapical no está claramente punteada y los ejemplares se asemejan a *Navicula*).

Ecología según autores: Frecuente en aguas contaminadas con desechos humanos. Se encuentra en aguas alcalinas. Habita en aguas corrientes o estancadas (Lowe, 1974). Esta especie está citada como alcalífila por Baudrimont (1974) y Hustedt (1957). Jörgensen (1948) la menciona como alcalibióntica. Chohnoky (1968) cita que su pH óptimo está probablemente por arriba de 8.5. Ricahrdson *et al.* (1978) consideran *A. sphaerophora* como una buena indicadora de media a alta alcalinidad ($>10 \text{ meq.l}^{-1}$) en lagos someros del Este de África. Esta especie habita biotopos hipersalinos cerca del Lago Chad, donde su mejor desarrollo se presenta en aguas con alto contenido de sales (10 a 80 g.l^{-1}). Es reconocida como halófila (Husted, 1957), eurihalobia (Iltis, 1973), o mesaohalobia (Baudrimont, 1974). La especie prefiere aguas fuertemente alcalinas (donde esta especie fue localizada de manera abundante), conductividad mayor a 10,000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, pH mayor a 9.4, alcalinidad 50 meq.l^{-1} , con dominancia de Na-HCO_3 (Gasse, 1986). La mayoría de los ambientes donde se localiza *A. sphaerophora* como especie común son fuertemente alcalinos, por lo que la especie muestra una clara preferencia por aguas con un alto valor de pH y alcalinidad. *A. sphaerophora* puede ser reconocida como buena indicadora de contenido iónico medio a alto (conductividad mayor a 2,500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), en donde se encontró que su frecuencia fue superior del 5%. En aguas fuertemente alcalinas, donde esta especie es abundante, se encuentra asociada con otras especies alcalibiontes. La especie es común o rara en biotopos con un amplio intervalo de contenido iónico, pH y alcalinidad, aunque no corresponden a sus condiciones óptimas (Gasse, 1986). *A. sphaerophora* se localiza generalmente como una forma béntica, pero llega a ser abundante en las muestras de plancton de los lagos alcalinos someros, tal como el Lago Abiyata. Esta especie es euritermal y una temperatura de 40-50°C no inhibe su crecimiento (Gasse, 1986). Especie alcalibionte (Håkansson, 1993).

Con base en los diferentes autores, se concluye que esta especie es buena indicadora de ambientes alcalinos y pH alto, indiferente a la salinidad en el intervalo de aguas dulces a ligeramente salobres; forma bentónica o ticoplanctónica en lagos someros.

Cocconeis pediculus Ehrenberg 1838

Hustedt (1927-1966, pág. 350. Fig. 804)

Morfología: Valvas elípticas, curvadas fuertemente sobre el eje transapical. Contorno valvar ligeramente rómbico. La valvocópula de la hipovalva se observa en MO como doblez hialino más ancho. Epivalva con rafe recta, con nódulos centrales conspicuos, área axial estrecha y área central ligeramente redondeada. Medidas obtenidas (n=10): 6.0-25.0 x 5.0-20.0 μm . Estrías radiales -hacia el margen ligeramente curvas-, 18-22/10 μm . Los puntos de las estrías se observan alargados, la ordenación de los mismos deja hileras "ondulantes" paralelas al eje apical. Por esta última característica se asemeja a *Cocconeis placentula* var. *lineata*, excepto porque las valvas de la var. *lineata* son planas y no presentan la característica tridimensionalidad y curvatura, de lo que también hace referencia Krammer y Lange-Bertalot (1991).

Ecología según autores: Especie epífita, de aguas continentales con contenido electrolítico de medio a elevado, así como en aguas salobres costeras (Krammer y Lange-Bertalot, 1991). Según Hustedt (1957), esta especie está menos distribuida que *Cocconeis placentula*. Muy común en ríos y, en particular, sobre filamentos algales (Germain, 1981).

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

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 87; Figs. 49:1; 50:2).

Sinonimia: *Cocconeis lineata* Ehrenberg (Krammer y Lange Bertalot, 1991).

Morfología: Valvas ampliamente elípticas, extremos redondeados. Hipovalva con doble anillo libre de estrías en el margen valvar. Rafe recta, estrecha. Área axial estrecha, linear, y área central pequeña, redondeada. Estrías constituidas por puntos muy alargados, que forman líneas con separaciones claras. La epivalva presenta un área axial muy estrecha, no tiene área central y no presenta el doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 15.5-25.0 x 7.5-13.0 μm . Estrías radiales, formadas por puntos muy alargados, 20/10 μm en la hipovalva, 18-20/10 μm en la epivalva.

La ecología es semejante a la anterior.

Cocconeis placentula Ehrenberg 1838 var. *pseudolineata* Geitler 1927

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 87.; Figs. 59: 3,4, 7 y 11).

Morfología: Valvas ampliamente elípticas, con extremos redondeados. Rafe estrecha, recta. Área axial estrecha, linear; área central pequeña, redondeada; el área central es asimétrica en algunos ejemplares, debido a que un lado de la valva carece de una hilera de estrías. Hipovalva con doble margen hialino y estrías finas. Epivalva con estrías más gruesas y más separadas, no tiene área central, tampoco presenta doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 13.0-18.0 x 7.5-10 μm . Estrías punteadas, 12-19/10 μm .

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

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 87).

Morfología: Valvas elípticas, extremos redondeados. Rafe estrecha, recta. Área axial linear, área central pequeña, redondeada. Hipovalva con estrías ligeramente punteadas y. doble anillo libre de estrías en el margen. Epivalva con estrías más gruesas, más

separadas; no existe área central, ni presenta doble margen. Medidas obtenidas (n=10): 22.0-37.0 x 13.0-27.0 μm . Estrías ligeramente punteadas, 26-32/10 μm .

Ecología según autores para *Cocconeis placentula* y sus variedades: De acuerdo con Hustedt (1957), estas variedades son ecológicamente idénticas a la forma nominal, tienen un buen desarrollo en el perifiton de los lagos y en ríos lentos, muestra una clara preferencia por hábitats epifíticos. Estas especies son oligohalobias-indiferentes, alcalinofilas e indiferentes al pH (Jórgensen, 1948; Hustedt, 1957; Foged, 1964; Haworth, 1976 y Rivera, 1974). El desarrollo óptimo de *C. placentula* y sus variedades parece estar unido a las siguientes condiciones: conductividad de 40-1200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pH de 6.5-8.6 (con preferencia por pH > 8), baja alcalinidad (< 6.3 meq.l⁻¹). *C. placentula* es un componente en aguas ricas en sodio, aunque parece preferir ambientes ricos también en calcio-magnesio (Gasse, 1986). Especie epífita de agua dulce (Reed, 1998). Tomando como referencia lo anterior, se concluye que ésta es una especie epi-perifítica, circumneutral a alcalífila y de indiferente a oligohalobia.

Cocconeis sp.1

Fotos: 17-18

Morfología: Esta especie presenta características intermedias entre las especies de *Cocconeis pediculus* y *C. placentula*. Se asemeja a *C. pediculus* porque presenta valvas elípticas, fuertemente curvas sobre el eje transapical, un contorno valvar ligeramente rómbico, la valvocópula de la hipovalva se observa en MO como doblez hialino más ancho. Sin embargo, la epivalva de esta especie presenta una zona hialina submarginal, característica que no se ha reportado en la bibliografía para la especie *pediculus*. En cuanto a la especie *placentula*, dicha característica es distintiva, pero en ninguna variedad de esta especie se reporta un contorno valvar ligeramente rómbico, ni la curvatura (Krammer y Lange-Bertalot, 1991). *Cocconeis* sp.1 presenta una rafe recta, con nódulos centrales conspicuos, área axial estrecha y área central ligeramente redondeada. Medidas obtenidas (n=10): 13.0-35.0 x 8.0-32.0 μm . Estrías radiales, hacia el margen ligeramente curvas, 15-18/10 μm (hipovalva) y 16-19/10 μm . Los puntos de las estrías se observan alargados, la ordenación de los mismos deja hileras "ondulantes" paralelas al eje apical.

Craticula cuspidata (Kützing) Mann 1991

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 126; Figs. 43: 2-4).

Sinonimia: *Navicula cuspidata* (Kützing) Kützing 1844 (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas grandes, lanceoladas, con extremos adelgazados, ligeramente redondeados. Área axial estrecha, linear, área central pequeña. Rafe recta, estrecha, con fisuras proximales en forma de gancho. Sólo se han observado frústulas incompletas, con medidas (n=3): > 100.0 x 28.0 μm . Estrías paralelas, punteadas, 12-14/10 μm .

Ecología según autores: Especie alcalífila; se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítica (Lowe, 1974). La especie y sus variedades usualmente se mencionan como oligohalobias-indiferente (Foged, 1979) y alcalifilas (Hustedt, 1957; Foged, 1979). De acuerdo con Cholnoky (1968), su pH óptimo se encuentra en el intervalo de 8.3 - 8.6. Gasse (1986) menciona que esta especie se presenta en aguas de

variado contenido electrolítico y se observa en porcentajes elevados en manantiales termales con alto contenido de sodio y carbonato. Es capaz de sobrevivir en ambientes de altas temperaturas (alrededor de 50° C).

De lo anterior podemos concluir que es una especie perifítica, alcalinófila e indiferente a la salinidad.

Cymatopleura solea var. *apiculata* (W. Smith) Ralf in Pritchard 1861

Foto: 19

Krammer y Lange Bertalot (198, pág. 168, Fig. 118: 2,4,6).

Sinonimia: *Cymatopleura apiculata* W. Smith 1853; *Cymatopleura pygmaeca* Pantocsek 1901; *Cymatopleura solea* var. *vulgaris* Meister 1912 (Krammer y Lange-Bertalot, 1988).

Morfología: Valvas en forma de "lengua de gato", anchas hacia los ápices y en la parte media se angostan; los extremos son más o menos redondeados, con la punta ligeramente afilada hacia las orillas. Fíbulas muy marcadas, radiales hacia los ápices y paralelas en la zona central. La valva se observa con poca profundidad; sin embargo, se marcan a lo largo de la misma ondulaciones que respetan la parte media. Medidas obtenidas (n=3): 64.0-105.0 x 20.0-26.0µm (ø⁸ mayor) y 15.0-18.0 µm (ø menor). Fíbulas, 8-12/10 µm. De 4 a 6 ondulaciones (pseudoinfundíbulas) en toda la valva.

Ecología según autores: Especie alcalifila, con un intervalo de pH entre 5.9-9.0 como óptimo, eutrófica, oligosaprobia, beta-mesosaprobia, indiferente a la concentración iónica, perifítica, oligotermal (Lowe, 1975). Para Krammer y Lange-Bertalot (1988), esta especie se propaga sobre el litoral, en forma epipélica y epifítica, así como en el plancton; de dulceacuícola a ligeramente alcalina. Según Hustedt (en Huber-Pestalozzi, 1942), esta especie se registra frecuentemente como forma planctónica en los lagos. En el Este de África se presenta como una forma bentónica, epífita o planctónica, en ríos y lagos, aunque en números bajos (Gasse, 1986). Esta especie es oligohalobia según, según Foged (1964), Håkanson (1993) y Hustedt (1957). De acuerdo con Niessen (1956), esta especie es indiferente al calcio.

Se concluye, con base en los autores citados, que ésta es una especie bento-planctónica, alcalifila, de ambientes con bajas concentraciones iónicas.

Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878

Fotos: 20-21

Krammer y Lange- Bertalot (1986, pág. 316; Figs. 127: 8-10; 128: 5).

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

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

⁸ ø = diámetro

Ecología según autores: Especie epífita, en aguas estancadas o corrientes, de oligo a eutróficas. Indicadoras de elevado contenido mineral (Krammer y Lange-Bertalot, 1986). Se encuentra en aguas con un pH alrededor de 7 (4.3-8.6), óptimo cercano a 8. Tolera pequeñas concentraciones de sal. Oligosaprobia, perifítica. Característica de aguas con saturación de oxígeno óptima (Lowe, 1974). *Cymbella cistula* es generalmente caracterizada como una especie oligohalobia o indiferente a la salinidad, y alcalífila (Schoeman, 1973). En el Este de África se localiza, en bajos números, en lagos someros de salinidades variables, con conductividades de muy bajas a muy alta (<300->10,000 μScm^{-1}) (Gasse, 1986).

De lo anterior deducimos que es una especie circumneutral a alcalífila, indiferente a la salinidad, con formas epi-perifíticas.

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

Fotos: 22-23

Husted (1930b, pág. 362; Fig. 672), Patrick & Reimer (1975, pág. 54-55; Fig. 10: 5).

Sinonimia: *Cymbella cymbiformis* Agardh., *Cocconema cymbiforme* (Agardh) Ehrenberg. (Patrick y Reimer, 1975).

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

Ecología según autores: Insuficientemente conocida, principalmente aparece en lagos, aunque existen unos pocos registros en arroyos y manantiales (Patrick y Reimer, 1966). Habita en aguas diluidas, de circumneutrales a ligeramente alcalinas. Especie rara en aguas de baja a medianamente alta conductividad (<300-<3,000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$), con pH de 6.0-<8.5, alcalinidad de muy baja a muy alta (<2->100 meq.l⁻¹), temperatura de 10°-<35°C (Gasse, 1986). Especie perifítica de agua dulce (Laird *et al.* 1998), alcalífila a indiferente (Håkasson, 1993).

Cymbella mexicana var. *mexicana* (Ehrenberg) Cleve 11894

Fotos: 24-27

Patrick y Reimer (1966, pág. 59-60; Fig. 12: 1-2).

Sinonimia: *Cocconema mexicanum* Ehrenberg. *Cymbella kamtschatica* Grunow, *C. mexicana* (Ehrenberg) Cleve (Patrick y Reimer 1966).

Morfología: Valvas con asimetría dorsoventral. Margen dorsal muy arqueado, margen ventral ligeramente abombado. Área axial arqueada, mediana, aproximadamente del mismo ancho a todo lo largo. Área central pequeña, circular, con estigma aislado central. Rafe lateral, llegando a ser filiforme cerca de los extremos proximal y distal. Extremos proximales de la rafe conspicuos, dirigidos hacia la parte ventral; extremos distales inclinados dorsalmente, alcanzando el margen dorsal. Medidas obtenidas

(n=10): 96.0-145.0 x 25.0-33.0 μm . Estrías radiales conspicuamente punteadas, de longitud variable en el centro, 6-7/10 μm en el centro y 8-10/10 μm en los extremos.
Ecología según los autores: Insuficientemente conocida, frecuentemente reportada para aguas duras (alcalinófila) (Patrick y Reimer, 1966).

Cymbella microcephala Grunow in Van Heurck 1880

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 327; Figs. 134: 25-29).

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

Morfología: Valvas dorso-ventrales, linear-lanceoladas, con extremos ligeramente capitados. Área axial estrecha, área central redondeada. Rafe ligeramente inclinada hacia el dorso, arqueada. Medidas obtenidas (n= 5): 15.5-16.5 x 3.0-3.5 μm . Estrías muy finas, no es posible contarlas con el microscopio óptico.

Ecología según los autores: Esta especie se localiza en aguas con pH alrededor de 7, tolera pequeñas concentraciones iónicas. β -mesosaprobia. Se presenta en aguas corrientes y estancadas, perifítica (Lowe, 1974). Especie de aguas dulces a oligohalinas (Reed, 1998), indiferentes (Håkansson, 1993).

Denticula elegans Kützing 1844

Foto: 28

Krammer y Lange-Bertalot (1988, pág. 141; Figs. 94: 1, 2; 96: 10-13; 97: 1-5).

Sinonimia: *Denticula ocellata* W. Smith (Krammer y Lange-Bertalot, 1988).

Morfología: Frústulos en vista conectiva lineares o rectangulares, costillas con finales redondeados. En vista valvar, valvas linear-elípticas hasta linear-lanceoladas, extremos ligeramente redondeados. En algunos ejemplares, el margen de la valva presenta la zona media ligeramente cóncava. Rafe excéntrica, desde totalmente pegada al margen de la valva hasta cercana al mismo. Las fibulas forman gruesas costillas, dentro de las cuales se observan hileras de estrías punteadas. Medidas obtenidas (n=10): 20.0-34.0 x 5.0-7.0 μm . Estrías, 15-18/10 μm . Costillas, 3-4/10 μm ; entre cada costilla se observan de 3 a 4 hileras de areolas

Ecología según autores: Frústulos formando largas cadenas o en una masa gelatinosa, típica de fondos en litoral de lagos y corrientes (Patrick, 1975). Especie aerófila, se presenta en aguas con contenido iónico de medio a alto. Se encuentra frecuentemente junto con *D. Kuetzingii*. Especie circumneutral, con un buen desarrollo en aguas con pH alrededor de 7 (óptimo alrededor de 8) (Lowe, 1974). Especie hiposalina (Laird *et al.*, 1998).

Diatoma cf. vulgare Bory 1828

Foto: 29

Hustedt Jensen (1985, pág. 94; Figs. 628 a y b).

Sinonimia: *Diatoma flocculosum* Agardh, *Bacillaria vulgaris* Ehrenberg, *Diatoma vulgare* var. *genuina* Grunow, *Diatoma vulgare* f. *Elliptica* Rabenhorst (Hustedt, 1985).

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, con extremos desde redondeados a ligeramente rostrados-capitados. Bandas intercalares sin septo. Área axial lineal, estrecha. Presenta una rimopórtula en cada extremo valvar. Medidas obtenidas (n=5): 35.0-45.0 x 8.0-13.0 μm . Estrías transapicales, 16-18/10 μm . Costillas 6-8/10 μm . Existen dudas en cuanto a la especie, ya que en las muestras analizadas, las frústulas siempre se observaron muy fragmentadas, por lo que las medidas obtenidas resultan algo dudosas.

Ecología según autores: Especie ampliamente distribuida en la zona de litoral de aguas dulces (Hustedt, 1985). Prefiere aguas con alta conductividad, eutrofizadas, de movimiento lento (Reed, 1998; Gasse, 1986). Alcalífila-indiferente (Håkansson, 1993).

Encyonema muellerii (Hustedt) Mann 1990

Fotos: 30-31

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 311, Fig.122: 10,15), Patrick y Reimer (1975, pág. 43-44).

Sinonimia: *Cymbella muellerii* Hustedt 1938, *Cymbella grossestriata* var. *obtususcula* O Müller; *C. turgida sensu* Hustedt (Krammer & Lange-Bertalot, 1986), *C. muelleri* Hustedt, *C. muelleri* var. *jaranica* Hustedt (Patrick & Reimer 1975).

Morfología: Valvas asimétricas, dorsoventrales. Extremos alargados, redondeados, curvos ventralmente. Margen dorsal muy convexo, margen ventral convexo en el centro. Área axial y área central formando una zona linear amplia. Rafe compleja, con los extremos centrales dirigidos hacia el dorso. Medidas obtenidas (n=10): 38.0-49.0 x 12.0-17.5 μm . Estrías paralelas en la parte media de la valva y ligeramente radiales hacia los extremos, punteadas, 8/10 μm en el centro y 10-12/10 μm en los extremos.

Ecología según autores: Especie usualmente perifítica, también se localiza en el plancton de lagos someros, euritermal, muestra tener una amplia tolerancia con respecto al contenido iónico, al pH y a la alcalinidad, aunque parece preferir una concentración moderada con respecto a la alcalinidad (Gasse, 1986). Según Patrick y Reimer (1975), es una especie alcalífila, quizá alcalibiótica.

Eolimna minima (Grunow in Van Heurck) Lange-Bertalot y Schiller 1998

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 229; Fig. 76:42).

Fotos: 32-33

Sinonimia: *Navicula minima* Grunow in Van Heurck 1880 (Krammer & Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas de redondeadas a elípticas, con extremos redondeados, raramente observé lineares. Rafe recta; área longitudinal estrecha, área central moderadamente amplia, determinada por el acortamiento de las estrías centrales. Estrías finas radiales en toda la valva, excepto en la parte central, donde tienden a ser paralelas. Medidas obtenidas (n = 5): 5.0-6.0 x 3.0-4.0 μm . Estrías 29/10 μm .

Ecología según autores: Especie frecuente en biotopos dulceacuícolas, oligosaprobias (Krammer y Lange-Bertalot, 1986). Patrick y Reimer (1966) la citan como una especie de aguas dulceacuícolas a ligeramente alcalinas. Germain (1981) define *N. minima* como especie común netamente aerófila (pues la observó sobre rocas y acompañando en abundancia a *Frustulia vulgaris*). Especie bentónica, epifítica o aerófila, en aguas dulces de medio a bajo pH y alcalinidad. Oligohalobia y alcalífila (Jørgensen, 1948,

Morfología: Valvas lineares, márgenes laterales rectos, extremos bien redondeados. Medidas obtenidas (n = 5): 27-37 x 7-10µm. Estrías 14-16/10µm, generalmente radiadas, ligeramente arqueadas, en el área central son más cortas. Areolación no visible en el microscopio óptico. Área axial estrecha, área central ensanchada en forma rectangular por el acortamiento de las estrías centrales. Rafe filiforme con nódulos proximales bulbosos, curvados ambos hacia el mismo lado, al igual que los extremos distales, los cuales terminan en forma de gancho. La variedad *laevissima* se distingue por la ausencia de dos pequeños puntos situados al lado de los nódulos centrales del rafe.

Ecología según autores: Tal vez sea una especie con tendencia oligotrófica, aunque se ha encontrado en un amplio espectro ecológico, desde alcalino en manantiales con alto contenido de sales hasta turberas (Krammer y Lange-Bertalot 1986). Amplia distribución en aguas circumneutrales (Patrick y Reimer 1966).

Sellaphora pupula var. *pupula* (Kützing) Mereschkowsky 1902

Foto: 49

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pag 90; Fig: 16 – 26).

Sinonimia: *Navicula pupula* Kützing. var. *pupula* (Patrick y Reimer, 1966).

Morfología: Valvas lineal-lanceoladas con extremos arrodillados o rostrados. La valva tiende a ser más ancha hacia la parte central. El área axial se presenta estrecha y en algunos ejemplares el área central, se observa cuadrada; lo anterior debido a que las estrías se acortan y a veces se arquean pudiendo dar origen a la formación de un verdadero estauro; pero en otros, la superficie del área central puede reducirse bastante debido a la irregularidad en la longitud de las estrías centrales, y no es posible observar dicho estauro. Las estrías son radiales y algo arqueadas a lo largo de toda la valva. La rafe se observa recta, con las fisuras proximales de aspecto algo variable (con forma redonda, triangular, gota, etc.). Medidas obtenidas (n=5): 28-55 x:9-11 µm. Estrías 14-19/10 µm.

Ecología según autores: Especie perifítica, halobia-indiferente, eutrófica, de pH indiferente (Lowe, 1974). De acuerdo con Patrick y Reimer (1966), esta especie parece preferir ambientes de agua dulce, circumneutral, de medianamente a alto contenido mineral y halófila. Simonsen (1962) menciona esta especie como eurihalobia. Gasse (1986) apoya la opinión de Simonsen, ya que la reporta como una especie frecuente en ambientes entre mesohalinos y oligohalinos. Su pH óptimo es alrededor de 8 (Cholnoky, 1968). La mayoría de los autores la mencionan como especie indiferente al pH (Jørgensen, 1948; Hustedt, 1957 y Lowe, 1974). Para Gasse (1986) las especies no se localizan en aguas con muy altos valores de pH y alcalinidad. No parece mostrar una preferencia por los componentes iónicos. Parece ser euritermal y tolerar temperaturas tan altas como 45° C en algunos manantiales termales. Sugiere que *N. pupula* tolera o prefiere altas concentraciones de nitrógeno orgánico. Especie oligohalina (Hustedt, 1959).

De lo anterior se concluye que es una especie indiferente al pH y a la salinidad.

Staurosira cf. *construens* Ehrenberg 1843

Krammer & Lange-Bertalot (1991, pág.153; Fig. 132: 9-16

paralelas al centro, muy punteadas, cortas (alrededor de 4 puntos por estría), 14-16/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden prácticamente en todo con la descripción y la figura dada por Krammer y Lange-Bertalot (1986), excepto en la longitud, ya que estos autores la mencionan de 12 a 28 μm , siendo estos ejemplares más pequeños.

Ecología según autores: *P. brevistriata* tiene un buen desarrollo en el plancton o perifiton de lagos someros. Esta especie es común en agua diluida de circumneutral a ligeramente alcalina de diferentes tipos químicos (Gasse, 1986). Richardson *et al.* (1978) menciona a esta especie como un buen indicador de media a baja alcalinidad (2-10 meq.l^{-1}). Crece, sin embargo, bajo varias condiciones ambientales. En el área estudiada por Gasse (1986), esta especie se presentó en varios biotopos alcalinos con un alto contenido iónicos (lagos Kilotes, Chiltu o Abiyata), así como en aguas fuertemente ácidas. Tiene un buen desarrollo en aguas corrientes y de acuerdo a Schoeman (1973), no es una buena indicadora de biotopos ricos en oxígeno. Especie común en aguas de conductividad baja (<300 - $<1,000 \mu\text{S.cm}^{-1}$), pH de bajo a medio (6- <8.5), alcalinidad de baja a media (<2 - $<50 \text{meq.l}^{-1} \text{Na-HCO}_3$ o Ca-HCO_3) (Gasse, 1986). Es una especie bentónica-epipélica, ampliamente adaptable, común en lagos alcalinos de aguas someras (Hickman & White, 1989).

Punctastriata pinnata Ehrenberg 1843

Foto: 48

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 157; Figs. 19, 21).

Sinonimia: *Fragilaria pinnata* var. *pinnata* Ehrenberg 1843, *F. striolata* Ehrenberg, *Odontidium pinnatum* Kützing, *O. striolatu* Kützing, *O. mutable* W. Smith, *Fragialria minutissima* Grunow f. *pinnata* var. *elliptica* Carlson, *F. pinnata* var. *paralela* y var. *inflata* A. Mayer (Krammer y Lange-Bertalot, 1988).

Morfología: Valvas linear-elípticas, extremos adelgazados, redondeados. Área axial más área central formando una zona lanceolada. Medidas obtenidas (n=10): 8-11.5 x 3-5 μm . Estrías ligeramente radiales al centro, gruesas, 8-14/10 μm .

Ecología según autores: Especie de aguas alcalinas, tolera pequeñas cantidades de sal, se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifíticas (Lowe, 1974). Planctónica de lagos someros, su hábitat óptimo parece ser agua dulce (conductividad de muy baja a baja <300 - $<1,000 \mu\text{S.cm}^{-1}$). De acuerdo con Chohnoky (1968), esta especie es capaz de sobrevivir con variaciones de presión osmótica. Se considera alcalífila (Hustedt 1957; Abbott y Van Landingham 1972) y como un buen indicador de baja alcalinidad (alcalinidad menor a 2 meq.l^{-1} , Richardson *et al.* 1978). Gasse (1986) menciona que esta especie tiene preferencia por aguas de circumneutrales a ligeramente alcalinas, pH de muy bajo a medio (<6 - <8.5) y una alcalinidad por debajo de 4 meq.l^{-1} (Na^+ - HCO_3^- o $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{HCO}_3^-$). Richardson *et al.* (1978) mencionan que frecuentemente se localiza en lagos fríos de alta montaña (temperaturas menores a 12° C).

Sellaphora laevissima var. *laevissima* (Kützing) Mann 1989

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 189; Fig. 67: 6,7,9).

Sinonimia: *Navicula laevissima* var. *laevissima* Kützing 1844, *Navicula wittrockii* (Lagerstedt 1873) Tempere & Peragallo 1909; *Navicula bacilliformis* Grun. in Cleve & Grunow 1880; *Navicula fusticulus* Østrup 1910 (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

hacia los extremos y paralelas en todo el resto de la valva, 6-8/10µm. Se diferencia de *Pinnularia viridis* por el tamaño de las sus áreas axial y central, por la disposición de las estrías y el contorno de los márgenes valvares.

Ecología según los autores: Especie con óptimo desarrollo en aguas distróficas con bajo contenido de electrolitos (Krammer y Lange-Bertalot 1986, Patrick y Reimer 1966). Frecuente en regiones nórdicas en cuerpos de agua con bajo contenido en sales (Krammer y Lange-Bertalot 1986). Especie bentónica indicadora de condiciones xenosaprobias hasta mesosaprobias (Sládeček 1981).

Pinnularia viridis (Nitzsch) Ehrenberg 1843

Krammer & Lange-Bertalot (1986, pág.428; Figs. 194: 1-4; 195: 1-5).

Sinonimia: *Bacillaria viridis* Nitzsch (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas amplias, lineares, margen valvar irregular, ligeramente abultado en los extremos y en el centro. Extremos redondeados. Área axial amplia, área central ligeramente redondeada. Rafe sinuosa, con las fisuras proximales conspicuas y las fisuras distales divididas en dos secciones, una recta y la segunda enrollada formando una "lengua". Nódulo central reforzado. Estrías aparentemente gruesas, debido a la presencia de cámaras internas, visibles en microscopía electrónica; cerca del margen se refuerzan, observándose en el microscopio óptico como una banda oscura alrededor de todo el margen. Medidas obtenidas (n=10): 150.0-210.0 x 23.0-30.0 µm. Estrías 6-8/10 µm.

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

Placoneis porifera (Hustedt) Lange-Bertalot 1985

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 142; Fig. 49:4).

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

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, extremos rostrados. Área axial estrecha, área central redondeada, asimétrica. Estrías centrales irregulares en longitud (alternativamente largas y cortas), la estría mediana puede ser mucho más larga que las otras. Medidas obtenidas (n=3): 15.0-23.0 x 9.5-11.5 µm. Estrías radiales en toda la valva, levemente punteadas, 8/10 µm en el centro, 12/10 µm en los extremos.

Ecología según autores: Especie alcalinofila, perifítica (Lowe, 1974).

Pseudostaurosira brevistriata (Grunow in Van Heurck) Williams & Round 1988

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 162-163; Fig. 130: 9-16).

Sinonimia: *Fragilaria brevistriata* Grunow 1881, *F. acuta* Ehrenberg, *F. brevistriata* var. *subacuta* y var. *pusilla* Grunow, *F. brevistriata* var. *linearis* A. Mayer (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas linear-elípticas, con extremos alargados, redondeados, hasta ligeramente rostrados. Área axial más área central formando una zona lanceolada. Medidas obtenidas (n=10): 7.0-10.5 x 3.0-4.5 µm. Estrías radiales en los extremos,

parte del ancho valvar. Según Krammer y Lange-Bertalot (1988), esta variedad puede tener una longitud de hasta 120 μm , lo que la distingue de la especie tipo.

Nitzschia amphibioides Hustedt 1942

Fotos: 42-44

Krammer y Lange-Bertalot (1988, pág. 109; Figs. 78: 27-28), Hustedt (1930, pág. 407-408; Fig. 780).

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

Morfología: Valvas lanceoladas, con extremos no alargados, adelgazados, redondeados. Rafe lateral, pegada al margen valvar. Fíbulas prolongadas en costillas, las cuales pueden alcanzar hasta la mitad del ancho valvar. Medidas obtenidas (n=10): 10.0-42.0 x 4.5-5.5 μm . Estrías punteadas, 16-18/10 μm . Fíbulas 8-10/10 μm . Nuestros ejemplares coinciden con la descripción y figuras dadas por Krammer y Lange-Bertalot (1988, pág. 109; Figs. 78: 27-28) para *Nitzschia amphibioides*. Sólo difiere en el número de estrías y fíbulas. Nuestros ejemplares coinciden asimismo con las medidas dadas por Hustedt (1930, pág. 407-408; Fig. 780) para *Nitzschia denticula*, pero difieren en la longitud de las fíbulas; en la figura dada por Hustedt alcanzan más de la mitad del ancho valvar y, en los ejemplares de Tlaxcala, las fíbulas no sobrepasan la mitad de este ancho, por lo que sugerimos que estos ejemplares son una variedad entre *Nitzschia amphibioides* y la que se denominaba *Nitzschia denticula* (ahora *Denticula kützingii*, según Krammer y Lange-Bertalot, 1988).

Ecología según los autores: *N. amphibioides* vive en forma epipélica y epífita o planctónica en varios biotopos (ríos, manantiales, lagos) (Foged, 1974). Haworth (1976) menciona esta especie como oligohalina, alcalífila. De acuerdo con Cleve-Euler (1952), usualmente vive en aguas dulces a ligeramente salinas, alcalinas. Su pH óptimo está entre 8.2 y 8.5 (Cholnoky, 1968). Gasse (1986) la reporta como una especie rara en aguas con una conductividad muy baja (<300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH 6-<7, temperatura 10°-<27°C.

Con base en los autores anteriores, se concluye que es una especie alcalinófila, oligohalina, bentónica-ticoplantónica.

Pinnularia cf. maior (Kützing) Rabenhorst 1853

Fotos: 45-47

Patrick & Reimer (1966, pág. 653; Fig. 4), Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 429; Fig. 196:1-3).

Sinonimia: *Frustulia maior* Kützing 1833 (Krammer & Lange-Bertalot, 1986).

Morfología: Valvas lineares, con extremos redondeados, se pueden apreciar tres suaves ondulaciones en el contorno valvar. Presentan un área axial de aproximadamente un tercio de la anchura total de la valva, un área central un poco más ensanchada y de forma ovalada. Medidas obtenidas (n = 5): 145-169 x 24-30 μm Rafe reverso-lateral con extremos terminales en forma de gancho, extremos proximales engrosados y levemente curvos hacia un lado de la valva. Medidas obtenidas (n = 5): 145-169 x 24-30 μm . Estrías centrales levemente radiales, ligeramente convergentes

Morfología: Valvas lanceoladas, con extremos adelgazados, redondeados. Área axial estrecha, área central pequeña, asimétrica. Rafe filiforme. Medidas obtenidas (n=10): 29.0-42.0 x 5.5-8.0 μm . Estrías radiales y generalmente curvas en el centro, convergentes en los extremos, 13-15/10 μm .

Ecología según autores: Especie relativamente indiferente al pH y al contenido iónico, más sensible al contenido de materia orgánica, β -mesosaprobia. Presenta muchas formas, difíciles de diferenciar (Krammer y Lange-Bertalot 1986). Gasse (1986) menciona que la especie y sus variedades prefieren aguas de bajo contenido mineral, de baja alcalinidad a aguas circumneutrales. Parece no mostrar una preferencia catiónica. En cuerpos de agua con temperatura media. La mayoría de los autores sigue la opinión de Hustedt (1957) en considerar *N. cryptotenella* como una especie de oligohalobia a indiferente, e indiferente al pH. De acuerdo con Cholnoky (1968), *N. radiosa* tiene su crecimiento óptimo en un pH entre 6.5 y 7.0.

Nitzschia amphibia var. *amphibia* Grunow 1962

Foto: 40

Krammer y Lange-Bertalot (1988, pág. 108; Fig. 20).

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

Morfología: Valvas elíptico-lanceoladas, extremos de ligeramente redondeados a aguzados. Quilla de la rafe marginal, con fibulas cortas. Medidas obtenidas (n=10): 11.0-36.5 x 3.9-6.0 μm . Estrías punteadas, 14-20/10 μm . Fibulas, 6-9/10 μm .

Ecología según autores: Especie que gusta de aguas con alto contenido electrolítico, en condiciones α -mesosaprobias? a oligosaprobias (Krammer y Lange-Bertalot, 1986). Especie alcalífila a alcalibiónica (intervalo 4.0-9.3, óptimo ligeramente sobre 8.5). Eutrófica. Tolera pequeñas concentraciones iónicas. Se encuentran en aguas corrientes y estancada (lagos, pequeños cuerpos de agua estancada, ríos y arroyos). Perifítica. Euritermal, oligotermal o mesotermal (Lowe, 1974). Especie epifítica de agua dulce (Reed, 1998; Laird *et al.* 1998), eutrófica (Huber-Pestalozzi, 1942).

Concluimos, con base a lo anterior, que es una especie epi-perifítica, alcalinófila a alcalibionte, indiferente a la salinidad.

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

Foto: 41

Krammer y Lange-Bertalot (1988, pág. 108; Figs. 78: 25-26).

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

Morfología: Valvas con contorno variable, de linear a linear-lanceolada. Extremos adelgazados en forma de cuña, redondeados. Rafe lateral, pegada al margen valvar. Fibulas cortas, no sobrepasan ni la tercera parte del ancho valvar. Medidas obtenidas (n=10): 20.0-110.0 x 4.5-5.5 μm . Estrías punteadas, 16-18/10 μm . Esta especie puede confundirse con *N. amphibioides*, de la cual difiere por el número de estrías en 10 μm y por las fibulas, las cuales en *N. amphibioides* pueden alcanzar o sobrepasar una tercera

Ecología según autores: Aparentemente es una especie que prefiere aguas duras, mesotróficas hasta eutróficas. No se ha registrado en aguas muy ácidas o extremadamente blandas (Patrick y Reimer, 1975). Se la encuentra generalmente distribuida en aguas con contenido mineral (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

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

Krammer y Lange Bertalot (1986, pág. 358-359; Figs. 154: 7, 11-12).

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

Morfología: Valvas linear-lanceoladas, con ápices adelgazados. Área axial estrecha, área central longitudinalmente asimétrica en tamaño, debido a que un lado de la valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que en el lado contrario la estría central es más corta. Rafe ligeramente curva y lateral hacia el lado del estigma, sin extremos terminales conspicuos. Medidas obtenidas (n=10): 29.0-33.0 x 5.0-6.0 μm . Estrias poco radiales en el centro, más radiales en los extremos, gruesas (sin que se observan muy claramente los puntos), 16/10 μm . Es difícil de distinguir de *G. angustatum*, ya que algunos morfotipos de estas dos especies se solapan en forma y medidas, por lo que no logramos separar ambas especies en estos conteos.

Ecología según autores: Se desarrollan mejor en aguas ricas en nutrientes, particularmente con desechos sanitarios o de alguna granja (Patrick y Reimer 1966). Sládeček *et al.* (1981) la reporta distribuida en un amplio intervalo saprobio, desde aguas xeno- y oligosaprobias (rara) hasta aguas β - y α -mesosaprobias (más abundante); sólo no se ha reportado en aguas muy contaminadas (sin oxígeno, polisaprobias, Sládečková y Sládeček, 1994). Tienen un buen desarrollo en aguas con un pH alrededor de 7 (intervalo 4.2-9.0, óptimo 7.0-8.2). Tolera pequeñas concentraciones iónicas. Mesosaprobia. Perifítica, mesotermal y estenotermal. Su gran adaptabilidad explica el por qué de su gran variabilidad morfológica (Lowe 1974). Es altamente tolerante a la contaminación (Lange-Bertalot, 1979). Forma perifítica, oligohalobia-indiferente (Hustedt, 1957; Foged, 1979), pero capaz de sobrevivir ocasionalmente a variaciones ligeras de presión osmótica (Cholnoky, 1968). De acuerdo con Jørgensen (1948), Hustedt (1957) y Foged (1964) es indiferente al pH. Para Cholnoky (1968), su pH óptimo varía entre 7.2 y 7.8. Según Schoeman (1973), esta especie es capaz de tolerar grandes fluctuaciones de pH. Gasse (1986) menciona que muestra una clara preferencia por aguas de bajo contenido mineral (conductividad menor a 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) y pH circumneutral.

Los datos anteriores la señalan como una especie tolerante a diferentes condiciones ambientales y, por ello, con un bajo valor indicador.

***Navicula cryptotenella* var. *cryptotenella* Lange – Bertalot 1985**

Fotos: 37-39

Hustedt (1930b, pág. 299; Fig. 513), Germain (1981, pág. 184; Figs. 30: 9-10), Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 203 Fig.33: 9,11).

Sinonimia: *Navicula tenella* Brébisson ex Kützing 1849 *sensu* Grunow 1880; *Navicula radiosa* var. *tenella* (Brébisson ex Kützing) Van Heurk 1885 (V.H. Type de Synopsis 107, non Cleve & Müller 1881, Nr 224) (Krammer y Lange-Bertalot, 1986).

valva presenta un estigma aislado encima de la estría central, mientras que en el lado contrario la estría central es más corta. Rafe moderadamente lateral, con los extremos terminales dirigidos hacia el lado con el estigma. Tamaños observados (n=10): 19.5-25.0 x 5.0-6.3 μm . Estrías radiales, punteadas, 10/10 μm .

Ecología según autores: Especie alcalinófila (intervalo de 6-9, con un óptimo de 7.5-7.7). Eutrófica. Tolera pequeñas concentraciones iónicas. Oligosaprobia. Se encuentra en aguas corrientes y estancadas. Perifítica. En climas templados, presenta un alto crecimiento durante el otoño y el invierno, oligotermal o mesotermal (Lowe 1974). Especie no común en aguas con alcalinidad, conductividad, pH y temperatura con valores muy bajos (Gasse, 1986). De acuerdo con Jörgensen (1948) y Hustedt (1957), esta especie es alcalífila. Cholnoky (1968) menciona que su pH óptimo varía entre 7.5 y 7.7. De acuerdo con Patrick y Reimer (1966), es típica de aguas circumneutrales a ligeramente alcalinas y de oligotróficas a ligeramente mesotróficas.

Concluimos que esta especie corresponde a aguas circumneutrales con bajas concentraciones de sales.

***Gomphonema gracile* Ehrenberg 1838**

Krammer & Lange-Bertalot (1991; pág. 361-362; Figs.156: 1-3, 8-9).

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

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

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

***Gomphonema* aff. *insigne* Gregory 1856**

Krammer y Lange-Bertalot (1991, pág. 413; Figs. 1-3).

Sinonimia: *Gomphonema affine* var. *insigne* (Greg.) Andrews; *Gomphonema lanceolatum* var. *insignis* (Greg.); *Gomphonema affine* var. *insignis* (Greg.) (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

Morfología: Valvas lanceoladas con los ápices redondeados, uno de ellos más delgado que el otro. Áreas central y axial amplias. Rafe lateral filiforme. Estrías fuertemente punteadas, paralelas y cortas en el centro, radiadas hacia los ápices. En el área central puede presentar de uno a cuatro estigmas conspicuos. Medidas obtenidas (n=5): 50-78 x 7.5-11 μm , estrías 8-10/10 μm . Ninguno de los autores consultados menciona que esta especie presente más de un estigma en el área central. Sin embargo, las características de nuestros ejemplares coinciden en las demás características, por lo que no se descarta que pudiese tratarse de una o más variedades.

Hustedt, 1957).

Según lo anterior, *E. minima* es una especie de aguas circumneutrales a ligeramente alcalinas, aerófila; forma epífita-bentónica.

***Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson 1938**

En la sección analizada predominaron dos variedades de *Epithemia zebra* (Ehrenberg) Kützing 1844 (sinónimo de *E. adnata*, según Krammer y Lange-Bertalot).

Foto: 34

***E. zebra* var. *porcellus* (Kützing) Grunow 1862**

Hustedt (1930b, pág. 385; Fig. 31), Germain (1981, Pág. 316; Fig. 116: 11-14).

Morfología: Valvas asimétricas dorso-ventralmente. Margen dorsal ligeramente convexo, margen ventral ligeramente cóncavo hasta recto. Extremos adelgazados, ligeramente rostrados. Canal de la rafe marginal, hacia el centro forma una V invertida. Fíbulas largas formando gruesas costillas, radiales, con estrías en forma de areolas, de 3 a 4 hileras entre cada costilla. Medidas obtenidas (n=10): 30.0-60.0 x 10.0-12.0 μm . Estrías areoladas, 15/10 μm . Costillas de 3 a 4/10 μm .

Fotos: 35-36

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

Hustedt (1930b, pág. 384-385; Figs. 729-731).

Morfología: Valvas asimétricas dorso-ventralmente, curvas, extremos más o menos rostrados. El ángulo de la rafe se mete en el interior de la superficie valvar, en el borde ventral, formando una V invertida. Fíbulas formando gruesas costillas, radiales, con estrías en forma de areolas. Medidas obtenidas (n=10): 55.0-65.0 x 8.0-12.0 μm . Areolas, 12-15/10 μm . Fíbulas, 2-4/10 μm .

Ecología según autores para *Epithemia zebra* y variedades: Esta especie vive epífita en plantas acuáticas o adherida a sustratos varios del litoral. Frecuente en el litoral o entre el lodo en los lagos someros (Patrick & Reimer, 1975). *E. zebra* y sus variedades se mencionan usualmente como oligohalobias (Hustedt, 1957; Foged, 1976) y alcalifilas (Jørgensen, 1948) o alcalibiónticas (Hustedt, 1957; Foged, 1964; Haworth, 1976). De acuerdo con Patrick y Reimer (1975), *E. zebra* prefiere ambientes de ligera a moderada alcalinidad, con moderada cantidad de calcio. En el estudio realizado por Gasse (1986), las especies mostraron una clara preferencia por baja conductividad (300- $<1,000\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), pH por arriba de 7.0 y de baja a media-baja alcalinidad ($<10\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$).

Concluimos que *E. zebra* es una especie epífita-bentónica, alcalófila-alcalibióntica, de aguas con baja concentración iónica.

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

Krammer y Lange-Bertalot (1986, pág. 360; Figs. 155: 2, 13-14).

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

Morfología: Valvas linear-lanceoladas, asimétricas longitudinalmente -un lado de la valva más largo y adelgazado que el lado contrario-. Extremos redondeados. Área axial estrecha, área central longitudinalmente asimétrica en tamaño, debido a que un lado de la

Sinonimia: *Fragilaria contruens* (Ehrenberg) Grunow (Krammer y Lange-Bertalot, 1991).

Morfología: Valvas de forma lineal-lanceolada hasta redondeada, con ápices desde redondeados y ligeramente alargados hasta totalmente redondeados. Área axial estrecha, área central inexistente. Pseudorafe recto. Medidas obtenidas (n=10): 4.5-8.5 x 2.5-3.0 µm. Estrías ligeramente radiales, 14/10 µm. Las características observadas coinciden con la descripción de Krammer y Lange-Bertalot (1991), excepto por la disposición de las estrías, paralelas según los autores, ligeramente radiales en nuestros ejemplares. Sin embargo, Patrick y Reimer (1966) mencionan que las estrías son radiales.

Ecología según autores: Especie perifítica, frecuentemente suspendida en la columna de agua (ticoplancton), de oligotrófica a mesotrófica. Puede tolerar pequeñas concentraciones de sal. (Lowe, 1974). Presenta una amplia distribución geográfica, al perecer prefiere aguas con bajo contenido de nutrientes, oligotrófica a mesotrófica (Patrick y Reimer, 1966).

Stephanodiscus minutulus (Kützing) Cleve & Müller 1878

Fotos: 50-53

Kramer y Langer-Bertalot (1991, pág. 71; Figs. 7-10).

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

Morfología: Valvas redondeadas, circulares, con pequeñas elevaciones o depresiones en el centro, difíciles de observar con M.O. Estrías de areolas radiales de una sola hilera en el centro y de 2 a 3 hileras en el margen valvar; las areolas centrales ligeramente desordenadas. Estrías radiales, interestriás finas en cuyo extremo hay una espina. Se encuentra una fultopórtula en el centro del plano valvar en vista interior. Manto valvar plano, fultopórtulas marginales debajo de cada tercera a quinta espina. Rimopórtula en el manto valvar. Medidas obtenidas (n=30): 2.9-12.0 µm. La especie puede fácilmente confundirse con cualquier *Stephanodiscus* pequeño, por ejemplo, con *S. parvus*, del cual se diferencia porque éste último tiene las valvas planas; sin embargo, debido a su tamaño, dicha característica es difícil de observar en el microscopio óptico.

Ecología según los autores: Especie planctónica en aguas muy sucias, con alto contenido de electrolitos (Krammer y Lange-Bertalot, 1991). Especie planctónica de aguas muy eutróficas, elevado pH y conductividad (Håkansson y Kling 1990). Oligohalobia, alcalífila (Foged, 1993); Kobayasi y Kobayashi (1987) mencionan algunos parámetros fisicoquímicos propios de esta especie en algunos lagos de Japón (pH =7-9.6, salinidad =0-18 ‰, T= 12.8 – 26°C). Especie de agua dulce, forma planctónica (Laird et al., 1998), asociada con altas concentraciones de nutrimentos (Brugam, 1979), pH 8.1, conductividad específica 169 µScm⁻¹ (Siver, 1999).

Stephanodiscus cf. neoastreae Håkansson & Hickel 1986

Foto: 54

Krammer & Lange-Bertalot (1991; pág. 73; Fig. 69:3, 71: 3-5).

Morfología: Generalmente son las más largas que posee la esponja. Forman una red reticulada en el tejido entre el centro hacia el epitelio. Constituyen un criterio taxonómico de escaso valor debido a las variaciones ecomórficas y a que son muy parecidas o iguales en muchas especies diferentes (Traveset, 1986).

Por tales motivos, aunque se contabilizaron las megascleras observadas en las muestras, no fue posible asignarlas a ningún género particular de esponjas dulceacuícolas.

Ecología según autores: La distribución de las esponjas de agua dulce puede estar correlacionada con las propiedades químicas del hábitat y las tolerancias individuales de cada especie de estas. La concentración de sílice, calcio y el pH parecen ser los factores químicos más importantes relacionados con la presencia y abundancia de una especie en un hábitat (Harrison, 1974). Algunas esponjas de agua dulce pueden vivir en aguas salobres, especialmente en los lugares de baja salinidad como la de un estuario.

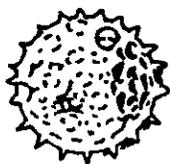
Fig. II Tipos de estomatoquistes (de acuerdo con Duff *et al.*, 1995) localizados en la mina Santa Bárbara (paleolago Tlaxcala).



IIA
Estomatoquiste 46



IIB
Estomatoquiste 116^a



IIC
Estomatoquiste 143

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotos 1-3, 6: Vista conectiva de *Aulacoseira granulata* var *granulata* (3,500X).

Fotos 4-5: Acercamiento a la huella de la espina de unión (20,000X foto 4 y 10,000X foto5).

Foto 7: Vista del arreglo de las areolas formando estrías longitudinales en *Aulacoseira granulata* var *granulata* (5,000X).

Fotos: 1-7

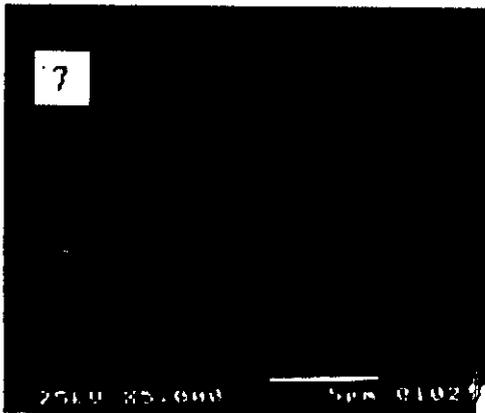
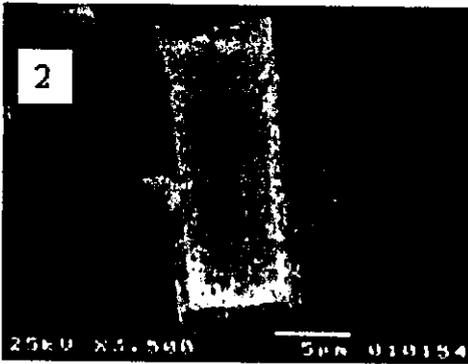
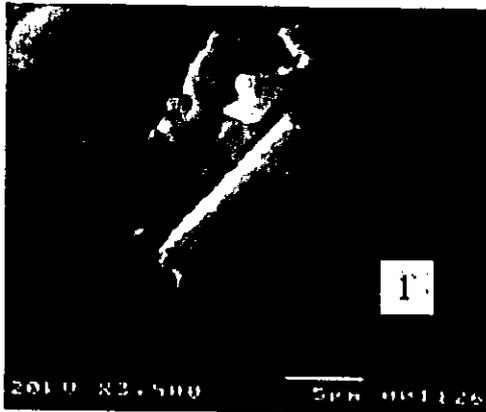


Foto 8: Vista del manto valvar en *Aulacoseira solida* (18,000X).

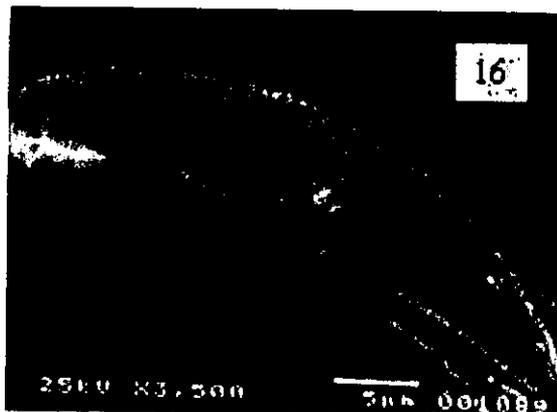
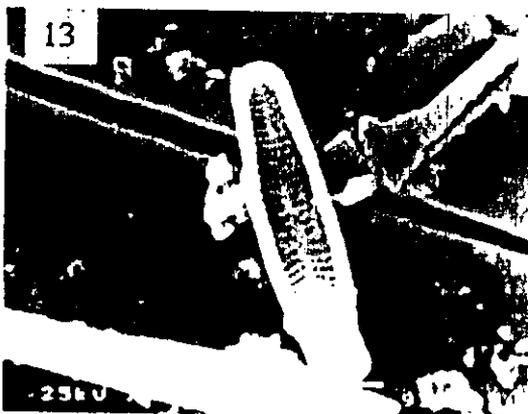
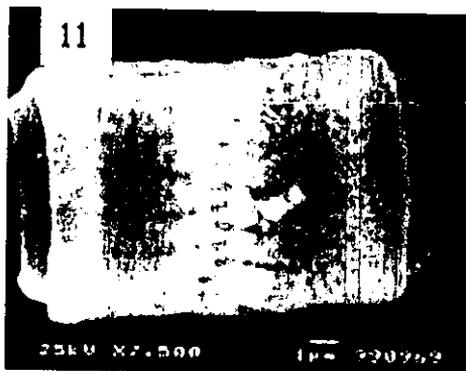
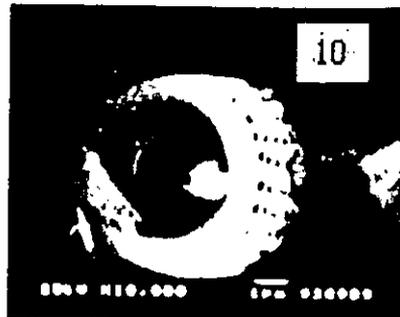
Fotos 9 y 10: Vista valvar de *Aulacoseira solida* (15,000X foto 9 y 10,000X foto 10) donde se puede observar el anillo de espinas, la superficie valvar lisa y el sulcus.

Foto 11 y 12: Vista conectiva de *Aulacoseira solida* (7,500X foto 11 y 10,000X foto 12), donde se observa la unión, por medio del anillo de espinas.

Foto 13: Vista valvar de *Achnanthidium minutissima* (7,500X).

Foto 14: Acercamiento a la vista valvar, donde se aprecia el arreglo de las areolas en la epivalva de *Achnanthidium minutissima* (15,000X).

Fotos 15 y 16: Vista valvar de *Amphora ovalis* var. *pediculus* (5,000X foto 15 y 3,500X foto 16).



Fotos 17 y 18: Vista valvar de *Cocconeis* sp.1 (5,000X foto 17 y 3,500X foto 18).

Foto 19: Vista valvar de *Cymatopleura solea* var. *apiculata* (2,000X).

Foto 20: Vista valvar de *Cymbella cistula* (750X).

Foto 21: Acercamiento al área central de *Cymbella cistula* (10,000X), donde se observan los extremos proximales de la rafe y los estigmas centrales.

Foto 22: Vista valvar de *Cymbella cymbiformis* (3,5000X).

Foto 23: Acercamiento al área central de *Cymbella cymbiformis* donde se observa su estigma central (10,000X).

Foto 24: Vista valvar exterior de *Cymbella mexicana* (750X).

Foto 25: Vista valvar interna de *Cymbella mexicana* (2,000X).

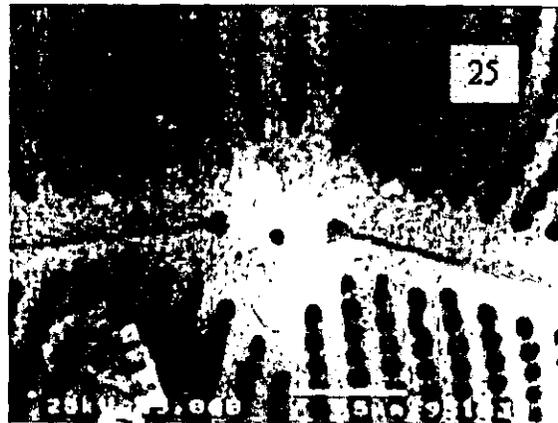
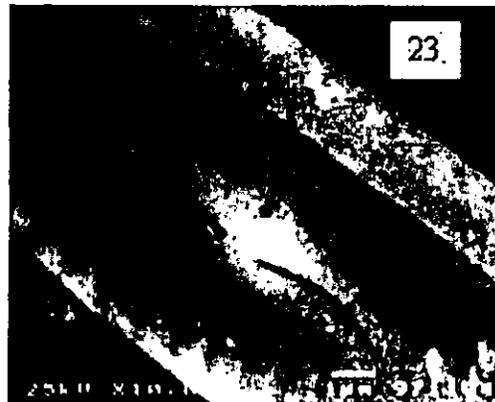
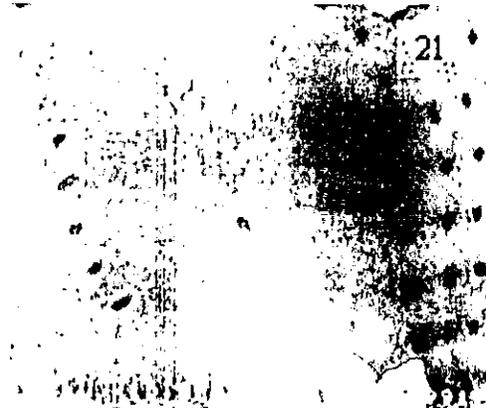
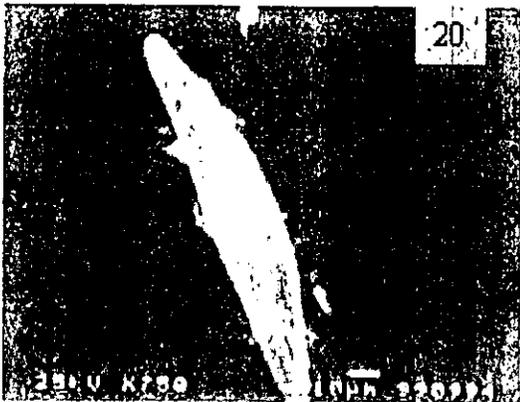


Foto 26: Acercamiento a la vista interna de *Cymbella mexicana* (7,500X) donde se observa el nódulos central y el estigma central.

Foto 27: Acercamiento de la vista valvar exterior de *Cymbella mexicana* (5,000X) donde se observa el arreglo de las areolas y la disposición de las estrías centrales, los extremos proximales de la rafe y el estigma característico de esta especie.

Foto 28: Vista valvar de *Denticula elegans* (1,500X).

Foto 29: Fragmento de la vista valvar de *Diatoma* cf. *vulgare* (7,500X).

Foto 30: Área central de la valva de *Encyonema muellerii* (10,000X).

Foto 31: Extremo de la valva de *Encyonema muellerii* (20,000X).

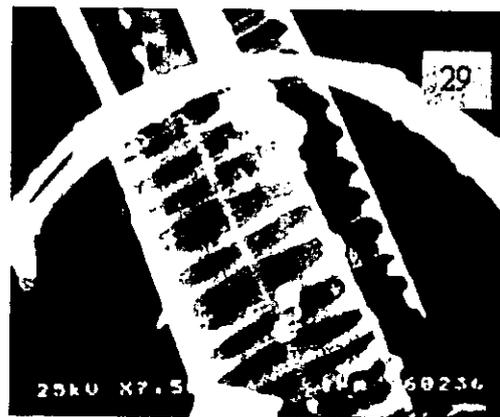
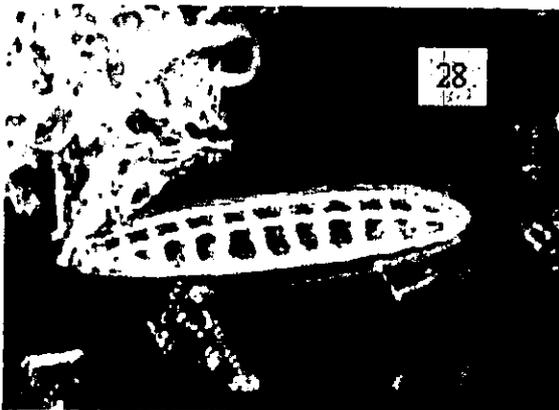
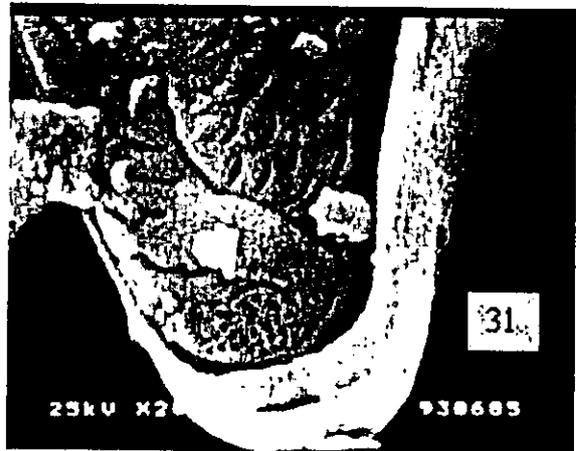
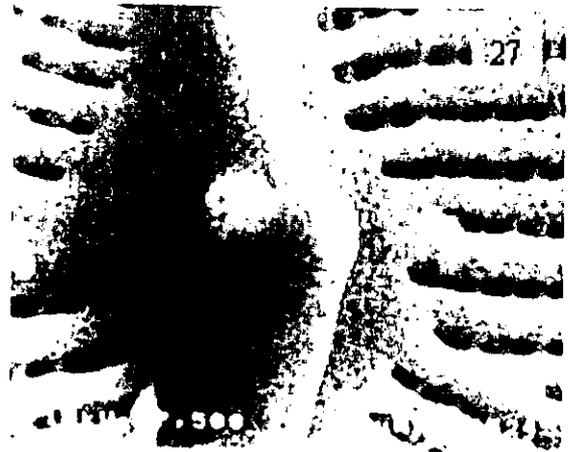
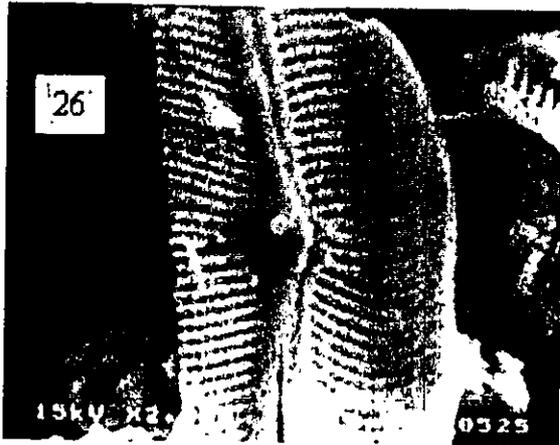


Foto 32: Vista valvar de *Eolimna minima* (10,000X).

Foto 33: Acercamiento al área central valvar de *Eolimna minima* (50,000X).

Foto 34: Vista valvar de *Epithemia adnata* (*Epithemia zebra* var. *porcellus*) (2,000X).

Foto 35: Vista valvar de *Epithemia adnata* (*Epithemia zebra* var. *zebra*) (1,500X).

Foto 36: Acercamiento al área central de *Epithemia adnata* (*Epithemia zebra* var. *zebra*) (5,000X).

Foto 37: Agrupación de *Navicula cryptotenella* (3,500X).

Foto 38: Vista valvar de *Navicula cryptotenella* (5,000X).

Foto 39: Acercamiento al área central de *Navicula cryptotenella* (15,000X), donde se observa el tipo de areolas característico del género *Navicula*..

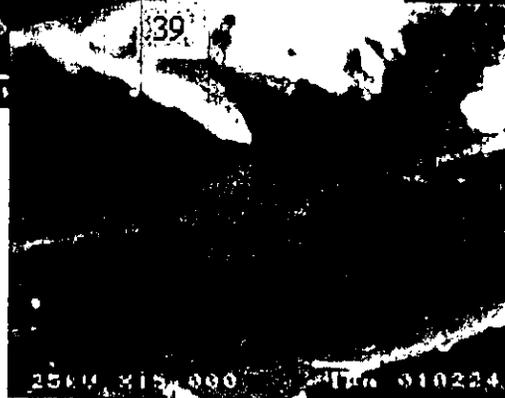
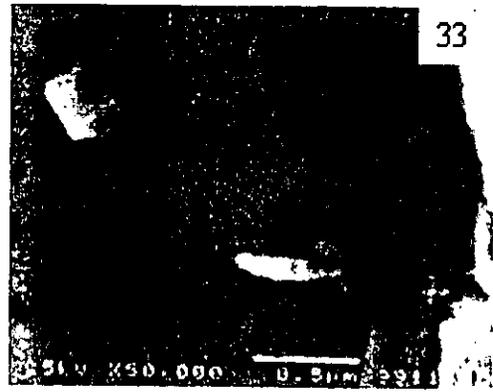
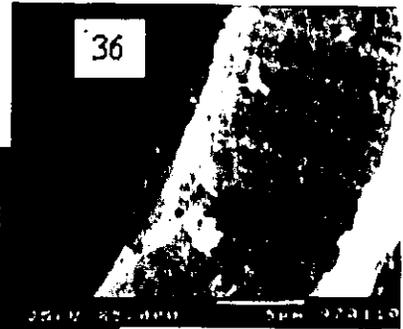
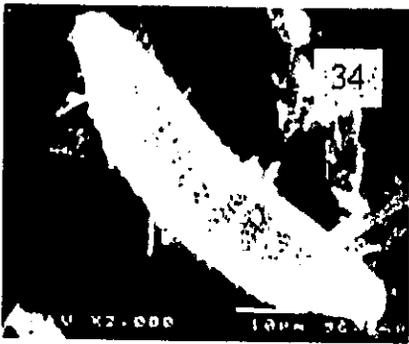


Foto 54: Vista valvar externa de *Stephanodiscus cf. neoastraea* (5,000X).

Foto 55: Vista valvar interna de *Stephanodiscus* sp.1 (3,500X), donde se observa el arreglo de las fultoportulas marginales.

Foto 56: Vista valvar interna de *Stephanodiscus* sp.1 (2,000X).

Foto 57: Acercamiento al área central interna de *Stephanodiscus* sp.1 (10,000X).

Foto 58: Acercamiento al margen valvar interno de *Stephanodiscus* sp.1 (10,000X), donde se observa el arreglo de las fultoportulas marginales y la presencia de una rimoportula en esta área.

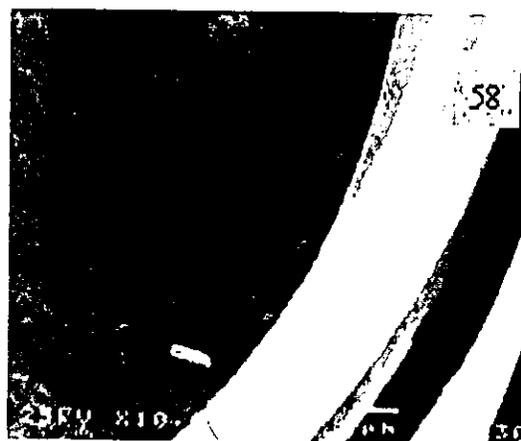
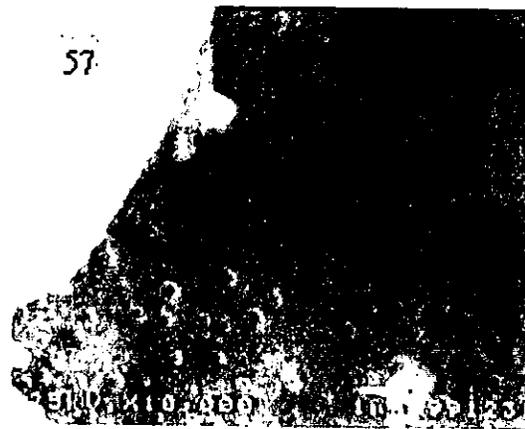
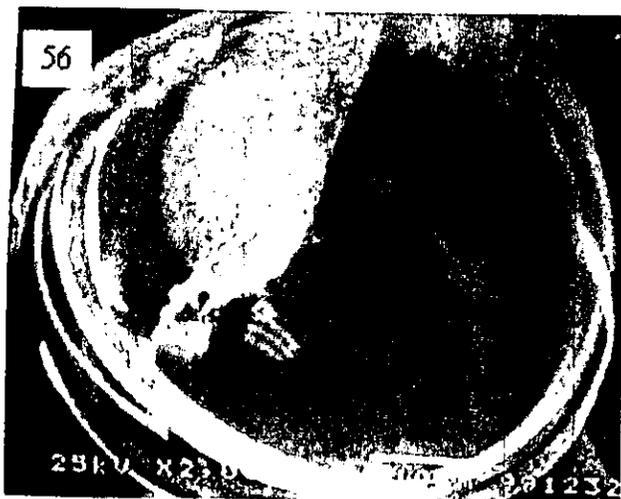
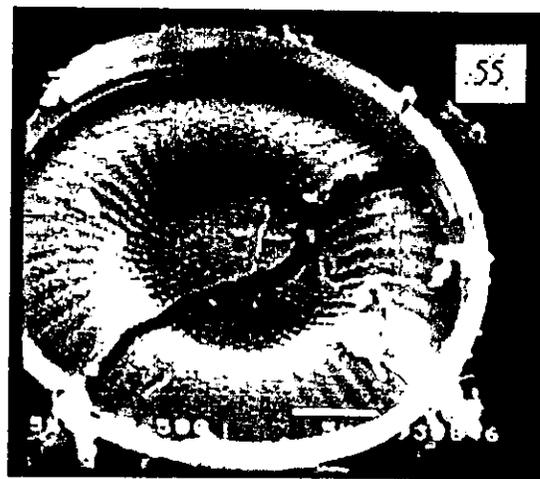
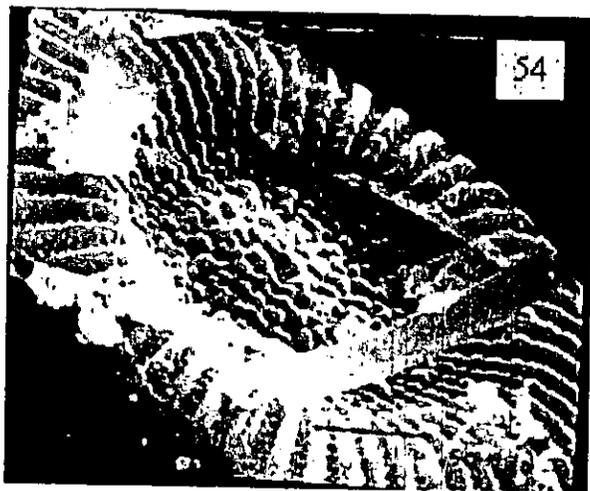


Foto 59: Vista valvar externa de *Stephanodiscus* sp.1 (2,000X).

Foto 60: Acercamiento al área central valvar de *Stephanodiscus* sp. 1 (10,000X).

Foto 61: Vista valvar interna de *Stephanodiscus* sp.1 (3,500X).

Foto 62: Vista interna del anillo de areolas centrales de *Stephanodiscus* sp.1 (35,000X).

