



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

"DIATOMEAS FÓSILES DEL
DEXTHÍ, HIDALGO".

TESIS PROFESIONAL

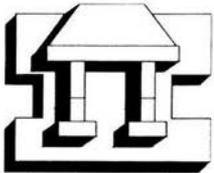
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

JESÚS GUSTAVO VARGAS SOTO

DIRECTOR DE TESIS:
BIÓL.MA. DELROSARIO FERNÁNDEZ BARAJAS



I Z T A C A L A

MEXICO, D.F.

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Biól. María del Rosario Fernández Barajas por la dirección del presente trabajo, así como por todo el apoyo recibido durante el mismo.

Al Profesor Roberto Rico Montiel por los consejos y sugerencias para la preparación del trabajo, en la identificación de las especies, así como por su valiosísima amistad.

A la Biól. Leticia Martínez por sus sugerencias en la realización de esta tesis.

A los revisores de tesis: M en C. Gloria Garduño Solórzano, Biól. Amulfo Reyes Mata, Biól. Mario Miranda Herrera y Ma de los Ángeles García Gómez, por sus sugerencias para la preparación de este trabajo.

Al Biól. Francisco López por proporcionar el material utilizado en la realización de esta tesis. Así como sus sugerencias y consejos.

A la M. en C. Jacqueline Cañetas Ortega (Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido, Departamento de Física experimental del IFUNAM), por su ayuda en la obtención de las microfotografías utilizadas en la identificación taxonómica.

Al M. en C. Gerardo Ortiz Montiel por el apoyo brindado desde que nos conocemos, así como por su amistad.

Al Dr. José Luis Andrade Torres por el apoyo brindado, por su amistad y por hacerme recordar mi verdadera vocación.

Al Dr. Sergio González, Dr. Ismael Ledesma, M. en C. Hugo Perales, M. en C. Manuel Mandujano y M. en C. Martha Salcedo, por haber formado parte de los pilares en mi formación académica.

A la UNAM y a la FES Iztacala por la enseñanza recibida a lo largo de mi carrera académica.

DEDICATORIA

A mi Papá José Moisés Vargas Calderón(†). Por su apoyo, comprensión, dedicación, por sus enseñanzas y sobre todo por su Amor. Te recuerdo

A mi Mamá Maria Soto por su amor, comprensión y apoyo en los momentos difíciles.

A mis Hermanos: Valentín, Juana, Gerardo, Miguel, Alberto, Mari y en especial a Moy por todo ese apoyo durante mi vida académica.

A Gera y Leti por hacerme sentir parte de esa maravillosa familia que tienen.

A Ernesto por ser mi hermano, amigo e inseparable compañero de infancia, por ser como eres, por ayudarme cuando es necesario y haberme aceptado en tu familia.

A Ricardo por ser mi hermano y amigo inseparable.

A mis sobrinos: Osvaldo, Víctor, Miguel, Flor, Chucho, Daniel, Moisés, Lucero, Tito, Ale, Juan, Cristian, Evelyn, Maren, Eric, Emmoe, Moy, Vale, Denis, Mariel y Mayito. Por recordarme lo fantástico que ser Niño.

A Abraham por ser amigo y hermano

A mis compañeros y amigos de la FES Iztacala: Alfredo, Balby, Lalo, Quique, Francisco, Renata, Beatriz, Tere y Miriam. Y todos aquellos que compartieron la carrera conmigo.

A Alejandro, Cometa, Mauricio y Rosa por su amistad

Al Profesor Roberto Rico Montiel por ser una de las bases en mi formación académica y un ejemplo de amistad.

Y en especial a la persona que más quiero: Claudia por todos esos momentos de apoyo, de comprensión, de aventuras y sobre todo su AMOR.

CONTENIDO

❖ Índice de figuras	i
❖ Índice de tablas	i
❖ Resumen	1
❖ Introducción	2
❖ Antecedentes	4
❖ Objetivos	5
❖ Área de estudio	6
❖ Material y métodos	8
A) Colecta de la muestra	8
B) Trabajo de laboratorio	8
B.1) Observación con microscopio contraste de fases	8
B.2) Observación con microscopio electrónico de barrido	9
❖ Resultados	10
1) Lista ficoflorística	10
2) Descripción de "flora"	13
3) Abundancia relativa de las especies	21
4) Principales clases de diatomeas y forma de vida	22
5) Preferencias ambientales	23
❖ Análisis de resultados y discusión	27
❖ Conclusiones	31
❖ Recomendaciones	32
❖ Glosario	33
❖ Referencias	35

IZT.

Índice de figuras

Fig. 1: Mapa de localización del depósito lacustre del Dexthí, Hidalgo, México.	7
Gráfica 1. Distribución porcentual de las especies en las tres principales clases de diatomeas	22
Gráfica 2. Distribución porcentual de las especies para el parámetro de salinidad	24
Gráfica 3. Distribución porcentual de las especies para el parámetro de alcalinidad.	25
Gráfica 4. Distribución porcentual de las especies para el parámetro de trofismo.	26

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación de las 33 especies de acuerdo a su abundancia relativa	21
Tabla 2: Distribución de las 15 especies representativas para algunos parámetros ambientales	23

RESUMEN

En las investigaciones de reconstrucción de medios ambientes, el uso de las diatomeas fósiles ha sido una herramienta muy importante para llevar a cabo interpretaciones paleoambientales, paleoecológicas y paleolimnológicas de depósitos lacustres en todo el mundo. En el caso de México estas han sido de igual importancia para conocer los cambios ambientales de nuestro territorio, tal es el caso de los depósitos lacustres que se han encontrado desde la zona maya, el centro y la cuenca de México, hasta el noroeste, en los estados de Chihuahua y Sonora. El uso de diatomeas fósiles como herramienta en la reconstrucción de medios ambientes, ha servido para conocer las características ambientales, físicas, químicas de estos ambientes acuáticos antiguos e inclusive cambios en la vegetación terrestre. Por lo cual este trabajo tuvo como objetivo: reconstruir e interpretar las condiciones paleoambientales de una sección de 10 cm en la parte media del depósito de diatomita del Dexthí, Hidalgo. Que se encuentra ubicado geográficamente entre los paralelos 20° 33' y 20° 35' de latitud norte y los meridianos 99° 14' y 99° 15' de longitud oeste, con una altitud de 1760 msnm. Las muestras tomadas de dicha sección se utilizaron para realizar conteos mediante técnicas de microscopía óptica y observaciones en microscopía electrónica de barrido (MEB).

Con estas observaciones se determinaron características morfológicas y se hicieron mediciones para su determinación, así como la abundancia relativa de las diatomeas ($\geq 2\%$). Obteniendo, una cantidad representativa de especies rafiideas (bentico-epifitas) como: *Amphora libyca*, *Cymbella cystula*, *C. lanceolata*, *C. muelleri*, *C. mexicana*, *Denticula elegans*, entre otras. También se observaron especies arrafiideas (pláncticas en cuerpos de agua poco profundos), como: *Staurosira construens* y *Synedra ulna*. Con respecto a sus preferencias ambientales, se obtuvo que la mayoría de las especies representativas, pudieran haber existido en condiciones de salinidad tipo oligohalobio, alcalinidad de tipo alcalífila y un grado de trofismo de carácter eutrófico. Por lo que se podría decir que la sección de 10 cm del área de estudio, presentó condiciones de tipo oligohalobio, alcalífila y eutrófico. Además condiciones de un cuerpo de agua somero por la presencia de especies béntico-epifitas y ticopláncticas, que posiblemente se encontraron en aguas euritemales, con en un clima templado y seco.

INTRODUCCIÓN

El análisis de sedimentos y sus restos fósiles son una herramienta muy importante para la reconstrucción de cambios en ambientes pasados. En este tipo de estudios una disciplina muy importante por la cantidad de información que puede aportar es la paleolimnología, que tiene por objetivo el análisis de los sedimentos lacustres provenientes de cuerpos de agua antiguos (Watts y Bradbury, 1982). La paleolimnología centra su interés en los cambios sedimentarios y procesos diagenéticos que pueden alterar dicho registro, con el objetivo final de descubrir las condiciones pasadas (Wetzel, 1981). En estos trabajos la información que pueden aportar los microfósiles de: esporas, espículas de esponjas, restos de crustáceos, diatomeas y otro tipo de indicadores biológicos son considerables (Margalef, 1957). Sin duda los microfósiles considerados como los más relevantes para este tipo de interpretaciones paleoambientales son las diatomeas, que según Bradbury (1988) son la herramienta paleolimnológica esencial en las investigaciones realizadas para conocer la evolución de los ecosistemas de lagos antiguos. Por esto el estudio de depósitos de diatomeas ha sido durante décadas una de las técnicas más utilizadas en la reconstrucción de cambios ambientales en el pasado, en ausencia de un largo monitoreo de factores físicos y químicos; esto se debe a que muchas especies de diatomeas presentan un nivel óptimo de crecimiento y supervivencia de acuerdo a condiciones específicas de su ambiente (Dixit *et al.*, 1992).

La aparición de las diatomeas en el registro fósil de origen continental es muy reciente, datan del terciario (Eoceno-Mioceno), lo cual permite que muchas o la mayoría de los géneros y especies fósiles correspondan a las actuales (Round *et al.*, 1990). Es por esto, que se pueden utilizar como indicadores de condiciones ambientales específicas, con base en el estudio de los organismos actuales. El primer conjunto de diatomeas continentales en Norte América parece ser del Eoceno-Mioceno, estas diatomeas ya presentaban una morfología moderna y muchas de las especies actuales se encontraban presentes en esos tiempos (Díaz Lozano, 1917). Se dice que las diatomeas continentales tuvieron una gran expansión del mioceno-hasta el pleistoceno, y que prácticamente no existen especies continentales extintos, lo cual indica que las diatomeas continentales han tenido poca evolución en los continentes o lo han hecho solo entre especies (Round *et al.*, 1990). Debido a las características morfológicas y las preferencias ambientales de las diatomeas se han convertido en una herramienta muy importante para llevar a cabo interpretaciones paleolimnológicas, paleoecológicas y paleoambientales estas se han llevado a cabo en años recientes en una gran cantidad de sedimentos que pertenecieron a lagos antiguos, de los cuales se han obtenido datos importantes de condiciones climáticas, temperatura del cuerpo de agua, concentración de nutrientes, minerales y pH (Pienitz R. *et al.*, 1995). Este tipo de interpretaciones se obtiene gracias a que los cuerpos de agua (lagos, ríos, lagunas, etc.) responden física, química y biológicamente a los cambios en el clima y estas respuestas son conservadas en la mayoría de los casos en los sedimentos (Battarbee, 2000). Todos los datos físicos, químicos y ambientales de un cuerpo de agua, obtenidos de manera indirecta se lo debemos a la observación y estudio de diatomeas actuales; tanto en su hábitat, como forma de vida, taxonomía y preferencias ecológicas que nos don a conocer la existencia de condiciones ambientales específicas para que puedan sobrevivir.

La eficiencia en las interpretaciones se debe a la frústula la cual se fosiliza conservando todas las características taxonómicas de los individuos. Pudiendo entonces identificar las especies en los depósitos para conocer las siguientes condiciones: pH del lago (Flower y Battarbee, 1983; Bradbury, 1988), salinidad (Kejmerud, 1981; Bradbury, 1988), estado trófico (Bradbury, 1975; Brugam, 1980; Agbeti, 1992), condiciones físicas como profundidad (Stager, 1982), erosión y entrada de material clástico (Haworth, 1977), turbidez (Haworth, 1977; Bradbury, 1988) y el grado de turbulencia y estratificación (Bradbury, 1975; Dean *et al.*, 1984; Bradbury, 1988).

Las interpretaciones paleoambientales y paleolimnológicas con diatomeas se han extendido hasta relacionarse con los cambios en vegetación terrestre y suelos locales (Renberg, 1976; Bradbury, 1988), impacto de incendios forestales (Bradbury, 1975 y 1988), tectonismo (Bradbury y Blair, 1979; Bradbury 1988) y cambio climático (Haworth, 1976; Brugam, 1980; Gasse y Tekai, 1982; Servant-Vildary, 1982; Dean *et al.*, 1984; Bradbury, 1988; últimamente han sido de mucha utilidad para conocer fluctuaciones climáticas de periodo corto como "El Niño- Southern Oscillation" y de escala más larga como la última glaciación (Caballero y Ortega, 1998; Caballero *et al.*, 1999 y 2000).

Por todas estas razones el uso de las diatomeas en las interpretaciones paleoambientales es el de instrumento base para conocer los cambios medioambientales de los depósitos lacustres. En referencia a lo antes mencionado y a la relevancia de este tipo de estudios para el conocimiento de los cambios en un medio ambiente, ecológicos y geológicos que se han registrado a lo largo de los años para el territorio nacional: es muy importante que se realicen estudios de este tipo para conocer el pasado geológico y paleontológico de nuestro país; por lo cual este trabajo tiene como objetivo la reconstrucción e Interpretación de las condiciones paleoambientales de una sección del depósito de diatomita, en el Dexthí, Hidalgo, México. En este caso la sección estudiada, forma parte del primer estudio del depósito y se eligió una sola sección para confirmar la presencia de diatomeas fósiles y realizar una interpretación del medio ambiente y dar así conocimiento de la presencia de un depósito de diatomeas en la zona del Dexthí en el estado de Hidalgo.

ANTECEDENTES

En México se han realizado estudios importantes sobre yacimientos diatomíferos que van de 1838 a la actualidad. Durante este tiempo se han realizado diversos trabajos con la finalidad de describir y elaborar listas de especies fósiles. Los primeros estudios fueron realizados por investigadores extranjeros, principalmente europeos; por lo que hoy se tienen ilustraciones y catálogos (Ortega y Mercado, 1982).

A continuación, se mencionan algunas citas de trabajos realizados con algunos depósitos diatomíferos del país: Ehrenberg (1846, 1854, 1866 y 1869); Díaz Lozano (1917), Santacruz. (1948), Velasco-Hernández (1954). En la actualidad se han tratado de realizar estudios con otra finalidad, como es la interpretación de condiciones ambientales. Se pueden mencionar: Bradbury (1971, 1974 y 1982), Caballero (1991, 1995, 1996, 1997 y 2000), Lozano-García, (1989, 1991 y 1993), Metcalfe (1986, 1988, 1991 y 1992), Rico *et al.*, (1993, 1995 y 1997), Urrutia *et al.*, (1995) y Vilaclara *et al.*, (1997 y 1998).

En México distintas instituciones llevan a cabo trabajos de interpretaciones paleoambientales y paleoecológicas, como: la Universidad Michoacana que lleva acabo el muestreo e identificación de *taxa* observados en el paleolago Cuitzeo, a cargo de la Dra. Isabel Israde Alcántara en conjunto con las Universidades de Orsay, Francia y Milano, Italia. El material estudiado pertenece a la zona del eje volcánico mexicano en Michoacán entre la zona Morelia-Charo-Queréndaro. Las dataciones obtenidas sobre la base y cima de los depósitos evidencian que la secuencia tiene una edad de 3.6 a 8.2 m.a., perteneciente al Neogeno (Mioceno superior- Plioceno inferior).

En el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) principalmente en el laboratorio de Palinología y Micropaleontología, a cargo del Dr. Javier Helenes Escamilla, se encuentran laborando en un proyecto de interpretaciones paleoclimáticas mediante fósiles de diatomeas de los alrededores de la península de Baja California, México. También existe un grupo universitario de estudios paleoambientales que está formado por académicos de varias instituciones dentro y fuera de la UNAM. Podemos encontrar al Instituto de Geofísica que ha trabajado entre sus proyectos: Registros de fluctuaciones climáticas de variación corta en sedimentos lacustres de la cuenca oriental, Puebla, en los años de 1998-1999; Evolución paleoambiental de la cuenca alta del río Lerma (Estado de México). Durante el cuaternario tardío y el proyecto paleoclimas y paleoambientes del centro de México y sus implicaciones interhemisféricas todos ellos a cargo de la Dra. Margarita Caballero.

En la FES- Iztacala (UNAM) estudios realizados en el laboratorio de Geología y Paleontología a cargo del profesor Roberto Rico, se han llevado a cabo con interpretaciones paleoecológicas y paleoambientales de distintos depósitos lacustres como son: El origen de las laminaciones en el Paleolago Tlaxcala, al igual que el estudio de las asociaciones de sus diatomeas fósiles. También se han realizado estudios en El Arenal Jalisco, en los depósitos lacustres de Babicora Chihuahua que pertenecen al Pleistoceno tardío y Holoceno y actualmente un depósito en el Dexthí, Hidalgo que pertenece al Plioceno.

Todos estos estudios en el país, han tomado relevancia en los últimos años, por lo que se están llevando a cabo en casi todos los rincones del mismo, desde la zona Maya, el Centro, la cuenca de México, hasta el Noroeste, en los estados de Chihuahua y Sonora (Caballero, 1998; Metcalfe *et al.*, 2000).

OBJETIVOS:

Objetivo general

- Reconstruir e interpretar las condiciones paleoambientales de una sección de 10 cm, de la parte media del depósito de diatomeas del Dexthí, Hidalgo.

Objetivos Particulares

- Determinar taxonómicamente las diatomeas en la sección estudiada.
- Determinar la abundancia relativa de las diatomeas en la sección estudiada.
- Determinar las condiciones medio ambientales, sobre las que pudieron presentarse las especies de diatomeas representativas, para llevar a cabo una interpretación paleoambiental de la sección.

ÁREA DE ESTUDIO

Los sedimentos lacustres del Dexthí se encuentran ubicados en el estado de Hidalgo; geográficamente entre los paralelos 20° 33' y 20° 35' de latitud norte y los meridianos 99° 14' y 99° 15' de longitud oeste (INEGI, 1998). Dicho sitio es perteneciente al municipio de Ixmiquilpan, encontrándose a 15 km de la cabecera municipal, las vías de acceso son los caminos vecinales hacia San Juanico y Orizabita. Con una ubicación al norte del municipio de Ixmiquilpan, los sedimentos están conformados por un depósito de diatomita que aflora de manera irregular a 2 Km al Noroeste de esta localidad (Rico *et al.*, 1998).

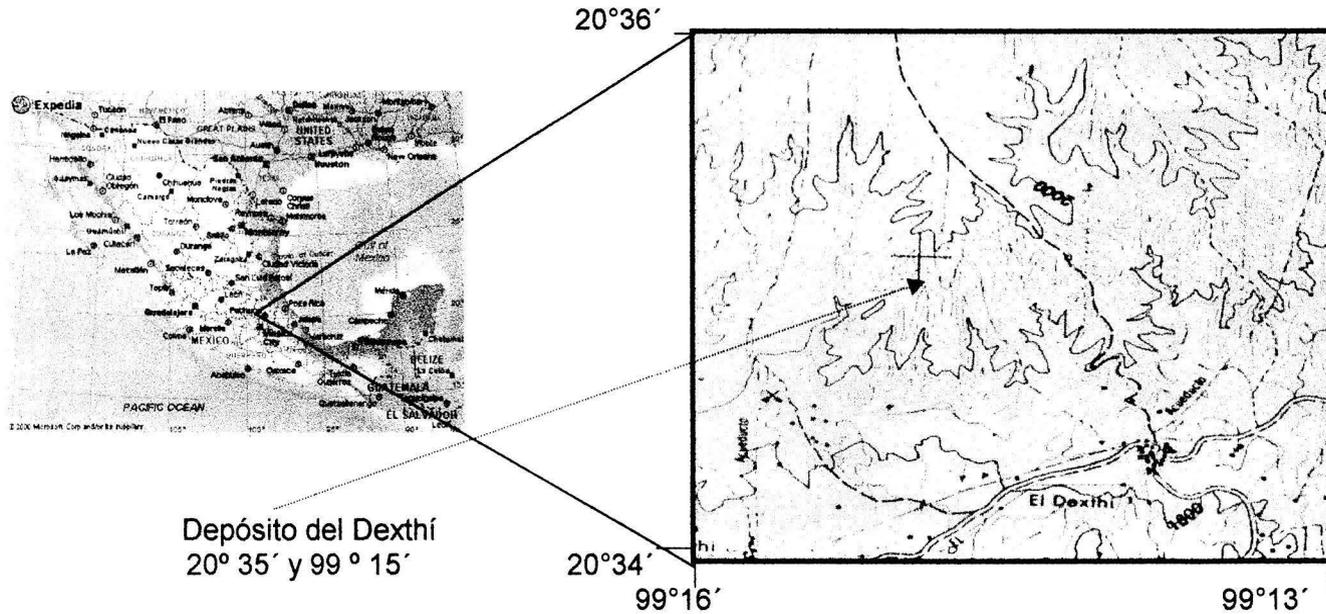
El Dexthí se encuentra conformando una microcuenca de cerca de 3,205 hectáreas que se caracteriza por presentar áreas de planicies, mesetas, laderas pronunciadas, con materiales vulcano-sedimentarios, conglomerados y areniscas, suelos poco desarrollados: leptosoles, feozems, regosoles y fluvisoles. La diatomita se encuentra depositada sobre rocas ígneas del terciario superior y la cubre un conglomerado de edad incierta, por lo que se cree que estos depósitos pertenecen al plioceno, su espesor va desde 1 hasta 5 m (Rico *et al.* 1998). Con una altitud de 1760 msnm, la zona pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y a la subprovincia llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo. Se ubica en la región hidrológica 26 y la Subcuenca del río Tula. El clima es Seco-Estepario (BSk), con una temperatura media de 16° C y precipitación anual de 450 mm (INEGI, 1999; SEMARNAT, 1998).

La vegetación esta constituida por especies arbustivas que conforman matorrales principalmente, así como por gramíneas que dan lugar a pastizales; ambos tipos de vegetación se caracterizan por una alta adaptación a las condiciones adversas típicas de la región. En el Dexthí, la vegetación representativa es el matorral espinoso deciduo de ocotillo (*Fouquieria splendens*) y biznaga (*Echinocactus ingens*), con 744.45 ha y el matorral xerófilo de crasicaules donde domina el garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y nopales (*Opuntia streptocantha*); espinosos como mezquite (*Prosopis laevigata*) con uña de gato (*Mimosa biuncifera*) y *Karwinskia humboldtiana*, que conforman 883,32 ha (INEGI, 1995; SEMARNAT, 1998).

La zona del Dexthí, tiene 607.08 ha de agricultura de temporal, 308 ha de cultivos de lechuguilla, 128.77 ha con erosión grave y 61.68 ha de asentamientos humanos. La población total es de aproximadamente 600 habitantes, en su mayoría perteneciente al grupo étnico Nahuatl que en términos generales se dedican a la tala de la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), la agricultura de temporal de granos básicos para autoconsumo, ganadería extensiva de caprinos y la manufactura de implementos de fibra de ixtle y fabricación de champú de especies naturales. Los niveles de ingresos y marginación los ubican como de extrema pobreza (López *et al.*, 1999).

Desde 1993 esta zona ha sido estudiada por investigadores del laboratorio de suelos de la ENEP Iztacala, UNAM. Además se ha establecido un centro piloto "Dexthí" desde 1996, como parte de un sistema nacional de proyectos pilotos ubicados en regiones representativas de diferentes ecosistemas y formas de uso de la tierra con la finalidad de impulsar, validar y difundir las tecnologías necesarias para la conservación, restauración de suelos y el mejoramiento productivo de cada región. El proyecto del centro piloto es coordinado por la delegación federal de la SEMARNAT en el estado de Hidalgo y con la participación de la Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos, Dirección General de Programas Regionales y el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (SEMARNAT, 1998).

ÁREA DE ESTUDIO



**Mapa de localización del depósito de diatomita del Dexthí, Hidalgo, México.
(Escala 1:50,000)**

Material y Métodos

A) Colecta de la muestra

La muestra se colectó sobre la sección media del depósito de diatomita, esta sección se encuentra en la cara principal de dicho depósito, aproximadamente a 250 cm de la base del suelo. Se tomó una porción *in situ* de 10 cm de espesor. Posteriormente la sección se guardó en una bolsa de plástico, sellándola con cinta adhesiva para evitar la pérdida y desmoronamiento de la muestra, posteriormente se etiquetó y se transportó al laboratorio.

B) Trabajo de laboratorio

El montaje de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de geología y paleontología de la FES- Iztacala, UNAM. Se tomó una pequeña cantidad de material (muestras), estas se tomaron a cada centímetro de los 10 que conforman a la sección con la finalidad de observar la uniformidad y presencia de las especies en la sección. Posteriormente las muestras se colocó en un cubre objetos de 22 x 22 mm, que contenía una gota de agua destilada, para dispersar el material. Posteriormente se secó con calor proporcionado con una parrilla (marca Lindberg, modelo 53100), se dejó enfriar el cubre objetos, posteriormente se agregó una gota de bálsamo de Canadá sobre un porta objetos (previamente etiquetado, con localidad y fecha de realización), enseguida se colocó de manera invertida el cubre objetos con la muestra, y se dejó secar por 20 días.

B.1) Observación con microscopio óptico (Contraste de fases)

Las muestras se utilizaron con la finalidad de observar las características morfológicas evidentes en microscopía óptica (M.O. contraste de fases marca Nikon modelo Optiphot, con sistema de fotografía marca Nikon modelo HFX-DX), las imágenes de diatomeas obtenidas en el microscopio se revelaron en un rollo fotográfico marca "Kodak" ASA 32. También se tomaron mediciones para su determinación taxonómica y de igual manera para realizar conteos relativos (Porcentaje sobre 800 valvas) en 40 campos según el índice de Andrews (1972 modificado).

La abundancia relativa se dividió en: especies muy dominantes aquellas con $\geq 30\%$; dominantes aquellas con una abundancia relativa $\geq 10-29\%$, especies comunes con abundancia relativa entre 2 y 9%, y especies presentes pero no representativas aquellas con $< 2\%$ (modificado de Caballero, 1997). Para la determinación taxonómica, se tomó en cuenta forma de la valva, longitud, anchura y tipo de rafe (extremos distales y proximales).

B.2) Observación con Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Para poder llevar a cabo observaciones más precisas y poder determinar con mayor exactitud las especies. Se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca JEOL, modelo JSM-5300, con distancia de foco de 10 mm, proporcionado por el Departamento de Física Experimental del IFUNAM. El montaje de las muestras, se llevo a cabo sobre una platina circular de aluminio, recubriendo las muestras de plata pura 0.999. La utilización de este microscopio se llevo a cabo con la ayuda de la M en C Jaqueline Cafetas Ortega (Laboratorio de microscopia electrónica de barrido).

Como soporte y ayuda en la identificación de las especies y la información ecológica y ambiental, se utilizaron las siguientes referencias: Andrews (1972); Bradbury (1971); Johansen y Rushforth (1981); Kolbe (1927), Krammer y Lange- Bertalot (1986, 1989, 1991 a y b); Lowe (1974); Margalef (1983), Patrick y Reimer (1966 y 1975); Pyle *et al.*, (1998); Round *et al.*, (1990 y 1996); Sládeček *et al.*, (1981); Terao *et al.*, (1993); Van Dam y Mertens (1993); Vos y de Wolf (1993).

IZT.



RESULTADOS

1) Lista ficoflorística

Las especies determinadas en la sección de 10 cm de la parte media del depósito del Dexthí, Hidalgo. Se clasificaron de acuerdo al criterio de Round *et al.*, (1990). Se identificaron un total de 33 especies, las cuales se enlistan a continuación: la lista esta subdividida en 3 Clases: *Coscinodiscophyceae* (Centrales), *Fragilariophyceae* (Penales sin rafe) y *Bacillariophyceae* (Penales con rafe). Distribuidas en 10 órdenes, 13 familias y 19 géneros.

División *BACILLARIOPHYTA*
Clase *COSCINODISCOPHYCEAE*
Subclase *THALASSIOSIROPHYCIDAE*
Orden *THALASSIOSIRALES*
Familia *Stephanodiscaceae*
Género *Cyclotella*
Cyclotella meneghiniana Kützinger 1844

Orden *AULACOSEIRALES*
Familia *Aulacoseiraceae*
Género *Aulacoseira*
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen 1979
Aulacoseira ambligua (Grunow) Simonsen 1979

Clase *FRAGILARIOPHYCEAE*
Subclase *FRAGILARIOPHYCIDAE*
Orden *Fragilariales*
Familia *Fragilariaceae*
Género *Fragilaria*
Fragilaria capucina Desmazieres 1825

Género *Pseudostaurosira*
Pseudostaurosira brevistriata (Grunow) Williams y Round 1987

Género *Staurosira*
Staurosira construens (Ehrenberg) Williams y Round 1987

Género *Staurosirella*
Staurosirella pinnata (Ehrenberg) Williams y Round 1987

Género *Synedra*
Synedra ulna (Nitzsch) Ehrenberg 1830

Clase *BACILLARIOPHYCEAE*
Subclase *BACILLARIOPHYCIDAE*
Orden *MASTOGLOIALES*
Familia *Mastogloiaceae*
Género *Mastogloia*
Mastogloia smithii Thwaites ex W. Smith 1856

Orden CYMBELLALES
Familia Anomoeoneidaceae
Género Anomoeoneis
Anomoeoneis costata (Kützing) Hustedt 1959
Anomoeoneis sphaerophora Pfitzer 1871

Familia Cymbellaceae
Género Cymbella
Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878
Cymbella lanceolata C. Agardh 1830
Cymbella mexicana Ehrenberg 1844
Cymbella muelleri Hustedt 1938

Familia Gomphonemataceae
Género Gomphonema
Gomphonema gracile Ehrenberg 1838
Gomphonema parvulum Kützing 1849

Orden ACHNANTHALES
Familia Cocconeidaceae
Género Cocconeis
Cocconeis placentula Ehrenberg 1838

Orden NAVICULALES
Suborden Naviculineae
Familia Naviculaceae
Género Navicula
Navicula pupula Kützing 1844

Suborden Sallaphorineae
Familia Pinnulariaceae
Género Pinnularia
Pinnularia viridis Ehrenberg 1843

Orden THALASSIOPHYSALES
Familia Catenulaceae
Género Amphora
Amphora ovalis Kützing 1844
Amphora illyca Ehrenberg 1840

Orden BACILLARIALES
Familia Bacillariaceae
Género Nitzschia
Nitzschia amphibia Grunow 1862
Nitzschia angustata Grunow 1880
Nitzschia denticula Grunow 1862
Nitzschia frustulum Cleve y Grunow 1880
Nitzschia hungarica Grunow 1862

Género Denticula
Denticula elegans Kützing 1844

Orden *RHOPALODIALES*

Familia *Rhopalodiaceae*

Género *Epithemia*

Epithemia adnata Brébisson 1838

Epithemia sorex Kützing 1844

Epithemia zebra (Ehrenberg) Kützing 1862

Género *Rhopalodia*

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Müller 1895

Rhopalodia giberula (Ehrenberg) O. Müller 1900

2) Descripción de "flora" 15 especies representativas

A continuación se presenta una descripción de las características morfológicas y ecológicas de cada una de las diatomeas consideradas en el intervalo de importancia o representativas (Abundancia relativa $\geq 2\%$); Caballero, 1995; Metcalfe *et al.*, 1992; Rico *et al.*, 1997; Vos y de Wolf, 1993.

Amphora libyca Ehrenberg 1840

Valvas semilanceoladas, extremos ligeramente rostrados, longitud de 25-88 μm y 18 μm de ancho, presenta 10-12 estrías en 10 μm . Las cuales se encuentran separadas de manera ininterrumpida por una zona hialina central. El rafe es filiforme, excéntrico muy cerca de la parte central de la valva, los extremos proximales dirigidos al dorso y los extremos distales dirigidos hacia la parte ventral.

Ecología: cosmopolita, que se puede observar en ríos, lagos y en aguas con poca profundidad y poca corriente, tiene preferencia por zonas lénticas o de corrientes lentas. Es perifítica y epifítica. Es un organismo alcalófilo, con un intervalo de pH de 4.5 - 9.0 y un preferente de 8. Oligohalobia indiferente, eutrófica y oligosaprobia (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975; Vos y de Wolf, 1993).

Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner 1878

Valvas semilanceoladas que tienen una longitud entre los 43-125 μm y 13-20 de ancho, presentan de 12-14 estrías en 10 μm y 19 punteaduras. Tienen margen dorsal convexo y ventral recto o ligeramente convexo con giba en la parte media; sus estrías son paralelas, sin embargo cuando se acercan a los extremos toman una forma radial. El rafe es central, filiforme, donde los extremos proximales de uno de los filamentos terminan en la dirección contraria al resto del rafe. Presentan 5 estigmas de los cuales los que se encuentran en la posición central.

Ecología: cosmopolita, que se puede encontrar en aguas de bajo nivel, en litorales y en ocasiones en aguas con poca corriente. Es perifítica o epifítica. Es considerada como indicador de alto contenido mineral. Alcalófila con un intervalo de 6.0- 8.6 y un óptimo de 8. Oligohalobia indiferente, de oligo a eutrófica (Bradbury, 1971; Johansen y Rushforth, 1981; Krammer y Lange-Bertalot, 1986; Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975).



Cymbella cistula 100 X

***Cymbella lanceolata* C. Agardh 1830**

Valvas semilanceoladas de 125-140 μm de largo y de 23-28 μm de ancho. Con margen dorsal convexo y margen central recto, extremos delgados y muy redondeados. Estrías paralelas, las cercanas al centro de la valva aparecen como radiales, 10 en 10 μm y 10-14 punteaduras. El rafe tiene extremos proximales bulbosos, los extremos distales terminan en forma de guadaña y se orientan hacia el margen dorsal.

Ecología: Se encuentra en agua con poca profundidad como ríos, canales poco profundos o aguas de poca corriente. Es epifítica o epipélica y epilítica (Round *et al.*, 1990 y 1996).

***Cymbella mexicana* Ehrenberg 1844**

Valvas semilanceoladas, arqueadas dorsiventralmente que van de los 93-157 μm de longitud y 20-35 μm de ancho. Tienen un margen dorsal convexo y margen ventral recto, sus extremos están adelgazados, bien redondeados. Presenta de 6 a 10 estrías en el dorso en 10 μm de 6-8 estrías ventrales en 10 μm , con 8 punteaduras y un estigma. El rafe es lateral, con extremos proximales terminados en un punto bien marcado y el distal curvado hacia el vientre en forma de guadaña. El estigma está bien marcado en la posición central entre los dos extremos proximales del rafe.



***Cymbella mexicana* 100 X**

Ecología: Es un organismo del que se conoce poco sobre sus preferencias ecológicas, sin embargo se reporta en aguas estancadas, haciendo colonias sobre rocas y con preferencia por aguas salobres, es epifítica o epilítica y al parecer alcalífila (Bradbury, 1971; Patrick y Reimer, 1975; Terao *et al.*, 1993).

Cymbella muelleri Hustedt 1938

Valvas semilanceoladas, margen dorsal convexo y margen ventral poco convexo, extremos adelgazados y redondeados. Tiene una longitud entre los 39-112 μm y 9-18 ancho, 7-10 estrías en 10 μm en el dorso y 9-12 en el extremo. Las estrías de la parte ventral con un arreglo radial y son paralelas conforme esta cerca de los ápices, en la parte dorsal se muestra un arreglo tipo radial en toda la valva. El rafe es doble, donde los filamentos se encuentran de manera paralela, los extremos proximales son bulbosos y los extremos distales se encuentran en forma de guadafia.



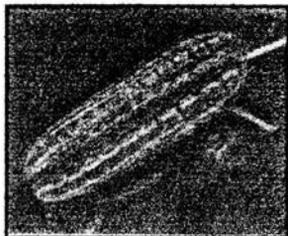
Cymbella muelleri 100 X

Ecología: Es cosmopolita, perifítica se encuentra en lagos alcalinos, algunas veces arroyos, manantiales y ríos, alcalífila con pH que va de 6 a 8.8 y óptimo en el 7.5 oligohalobia indiferente y oligosaprobia (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975).

Denticula elegans Kützing 1844

Valvas linear-lanceoladas o linear elípticas, que miden de 28-101 μm de longitud y de 4 a 12 μm de ancho, presentan de 2 a 6 costillas en 10 μm , con 3 a 6 areolas por costilla. Las valvas presentan márgenes que van de convexos a casi paralelos, los extremos están bien redondeados. Presentan un canal rafidiano muy excéntrico; las estrías son visibles y las areolas pueden o no ser evidentes, costillas muy gruesas y perpendiculares al eje apical, tanto que atraviesan la valva.

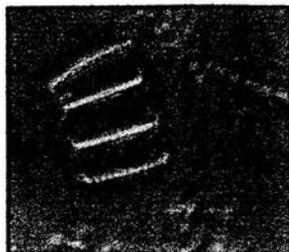
Ecología: Cosmopolita, se ha encontrado en aguas templadas a cálidas, así como en aguas con temperaturas más extremas como las termales. Se menciona como una de las especies que prefieren aguas calientes y con alta conductividad. Es aerófila, alcalífila, con un pH óptimo de 8.0 (Bradbury, 1971; Lowe 1974; Patrick y Reimer, 1975).



Denticula elegans 100 X

***Staurosira construens* (Ehrenberg) Williams y Round 1987**

Valvas bipolares, cruciformes refiriéndose a un abutamiento en los márgenes del centro de la valva, raramente triangulares. Presenta una longitud de 5-16 μm y 3-11 μm de ancho, con un total de 12 a 17 estrías en 10 μm . Sus estrías son finas, las cuales se alternan de un margen a otro, se presentan de forma radial y las únicas estrías paralelas son las que se encuentran en la parte central de la valva.



***Staurosira construens* 100 X**

Ecología: Cosmopolita que se puede encontrar en estanques, arroyos, ríos y lagos. Es indicadora de cuerpos de agua con mucho oxígeno. Es perifítico, ticolpláctico. Euritermal con presencia en otoño. Se presenta en aguas levemente alcalinas, es alcalífila, con un intervalo de pH de 7 a 9 y un óptimo de 7.8-7.9. Oligohalobia indiferente, meso-eutrónica a eutrónica, en algunas ocasiones se ha considerado como xenosaprobia. (Bradbury, 1971; Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975; Van Dam y Mertens, 1993; Vos y de Wolf, 1993).

***Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1830**

Valvas isopolares, lineares con unos extremos delgados y redondeados. Las valvas presentan una longitud de 35-80 μm y 2-5 μm de ancho, de 10-12 estrías en 10 μm . Las estrías son paralelas sobre la valva, punteadas y de manera perpendicular. Presentan un área central de manera muy regular y un área axial estrecha.

Ecología: Es cosmopolita, se puede encontrar en agua dulce de corriente o estancada, no se utiliza como indicador biológico, planctica de vida libre o epifítica. Euritermal, con distribución de primavera a otoño. Es circumneutral a alcalífila, con un pH de 5 a 9 y un óptimo de 8; oligohalobia indiferente; meso a eutrónica; oligo a mesosaprobia (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1966; Round, *et al.*, 1990 y 1996).

Mastogloia smithii (Thwaites) W. Smith 1856

Valvas elíptico-lanceoladas, márgenes rostrados. El área axial es lineal, las valvas miden entre los 20-95 μm de largo y 7-19 μm de ancho, el rafe está muy levemente separado del centro hacia uno de los costados laterales y es filiforme, los extremos distales se encuentran curvados en dirección de los extremos de la valva, se presenta una pequeña área central de forma elíptica a cuadrangular, las estrías son paralelas y ligeramente radiales, se pueden contar de 17-18 estrías en 10 μm .



Mastogloia smithii 100 X

Ecología: Se han reportado en aguas continentales, que van de lagos, ríos y lagunas hasta su presencia en aguas salobres. Es un organismo alcalófilo que se encuentra en pH cercano al 8.0, es oligohalobia indiferente, es epilítica y epipélica. Oligo a eutrófica (Bradbury, 1971; Patrick y Reimer, 1966 y 1975; Van Dam y Mertens, 1993).

Navicula pupula Kützing 1844

Valvas isopolares, lineares con márgenes paralelos y ligeramente convexos, las valvas miden de 20-38 μm de longitud y 6-9 μm de ancho, 16-20 estrías en 10 μm . Las estrías adyacentes al centro son levemente curvas, lo cual da una imagen de carácter radial. El rafe es filiforme, lineal, con extremos proximales bulbosos y muy ligeramente curvados y extremos distales en forma de gancho. Área axial lanceolada, área central transversal, debido al efecto que causa el acortamiento de las estrías del centro.

Ecología: Es cosmopolita en regiones de amplia variación ecológica, pero prefiere las aguas dulces, principalmente cuerpos de agua lénticos como estanques, aunque se encuentra en ríos y algunos lagos. Es epipélica, pero se ha encontrado como perífítica es muy común en aguas de alto contenido electrolítico. Es circumneutral a alcalífila, con un pH óptimo de 8. Oligohalobia de halófila a indiferente; meso-eutrófica a eutrófica; $\alpha\beta$ -mesosaprobia, común en aguas con mucha contaminación (Bradbury, 1971; Johannsen y Rushforth, 1981; Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1966 y 1975; Pillsbury, 1999; Round *et al.*, 1996; Vos y de Wolf, 1993).

***Nitzschia amphibia* Grunow 1862**

Valvas isopolares, lineares o linear lanceoladas. Miden de 17-60 μm de longitud y 4-9 μm de ancho, presentan 14-19 estrías en 10 μm . Las estrías son gruesas, con areolas grandes. El rafe es excéntrico soportado por la carina que se conforma de las estructuras transversales unidas entre si, llamadas fibulas (6 a 8 fibulas en 10 μm), las cuales son de forma afilada, se presentan cada 2 estrías.



***Nitzschia amphibia* 100 X**

Ecología: Cosmopolita, resiste una gran variación de cambios ambientales, se puede encontrar en ambientes lénticos como lagos, estanques y lóticos como arroyos y ríos. Es una heterótrofa facultativa del nitrógeno. Perifítica, béntica- epifítica. Euritermal, se encuentra en aguas de bajo hasta muy elevado contenido de electrolitos. Alcalífila a alcalinobiótica, con un pH en el intervalo de 4.3 a 9.0 y el óptimo arriba de 8. Oligohalobia indiferente; eutrófica; α -mesosaprobia (Bradbury, 1971; Johansen y Rushforth, 1981; Lowe, 1974; Round *et al.*, 1996; Vos y de Wolf, 1993).

***Nitzschia denticula* Grunow 1862**

La frústula es de forma rectangular, moderadamente convexa, con valvas linear lanceoladas curvadas en la mitad, los extremos redondeados en la punta. Mide de 105- 120 μm de longitud y de 31 -35 μm de ancho, sus estrías son muy gruesas, con areolas muy grandes que aparentan huecos. El rafe es excéntrico que se encuentra sobre la carina donde las fibulas son moderadamente alargadas con 6 -11 fibulas en 10 μm , se pueden observar de 13-15 estrías en 10 μm .

Ecología: Es cosmopolita que se puede observar en aguas más calientes, euritermal. Es perifítica, béntica-epifita, se encuentran en aguas de alto contenido electrolítico. Alcalífila, con un pH de 8.2- 8.5 y un óptimo cercano al 8. Oligohalobia y eutrófica (Bradbury, 1971; Patrick y Reimer, 1975).

Nitzschia frustulum (Cleve) Grunow 1880

Valvas lanceoladas, los extremos son delgados subrostrados y redondos en la punta. Las valvas miden de 29-45 μm de largo y de 2-3.5 μm de ancho. Presenta de 20-22 estrías en 10 μm , que son delgadas pero visibles. El rafe es excéntrico soportado por la carina, que a su vez presenta de 9-12 fíbulas en 10 μm .

Ecología: Se puede observar en aguas continentales, que van desde lagos, ríos, cuerpos de agua de baja profundidad, preferentemente en aguas salobres. Se menciona como tolerante a cierto nivel de eutrofismo y condiciones de alto contenido de electrolitos. Alcalífila, prefiere pH de entre 7.0 -9.0, es epifítica, perifítica y en algunas ocasiones ticoplanctica (Bradbury, 1971; Caballero, 1997; Johansen y Rushforth, 1981; Pyle *et al.*, 1998).

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) O. Müller 1895

Valvas linear lanceoladas o más o menos elíptica si se observa por la vista cingular, los ápices son muy anchos, pero la terminación en el centro esta orientada hacia la región ventral. La frústula mide entre los 80 y 300 μm de largo y 17-30 μm de ancho. El rafe es totalmente excéntrico, que cierra sobre el margen dorsal, el rafe se comunica por medio de un canal con unos pequeños óvalos (portula) y entre la mayor de las costillas (fibula). Se pueden observar de 10-12 filas de alvéolo entre las costillas y de 12-15 filas de alvéolo en 10 μm .



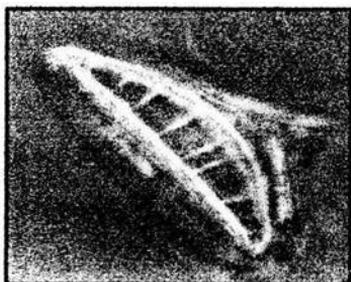
***Rhopalodia gibba* 100 X**

Ecología: Usualmente se encuentra en aguas de lagos y cuerpos de agua salobres, inclusive se pueden observar algunas variedades marinas. Prefiere aguas que van de una moderada a alta conductividad es alcalífila, oligohalobia, con un intervalo de preferencia de pH de 7.5 a 8.5, epipélica, epifítica y eutrófica (Bradbury, 1971; Patrick y Reimer, 1975; Round *et al.*, 1996; Vos y de Wolf, 1993).

Rhopalodia gibberula (Ehrenberg) O. Müller 1900

Valvas lanceoladas a linear-elíptica. La valva es convexa, y sobre el margen dorsal se hace una muesca en la parte media. La valva esta doblada al igual que los ápices, miden entre los 40 y 70 μm de largo y de 7 a 14 μm de ancho. El rafe se encuentra sobre la parte dorsal de la valva, presenta de 15 a 16 estrías en 10 μm y de 3 a 4 costillas en 10 μm .

Ecología: Cosmopolita, se presenta en aguas que van desde lagos hasta cuerpos de agua pequeños, tiene preferencia por aguas con ligera conductividad, se menciona que es un *taxa* altamente tolerante. Es epifita, de meso a oligohalobia, alcalífila, con un pH alrededor de 7 a 7.5., eutrófica (Bradbury, 1971; Johansen y Rushforth, 1981; Patrick y Reimer, 1975; Pillsbury, 1999; Vos y de Wolf, 1993).



Rhopalodia gibberula 100 X

3) Abundancia relativa de las especies

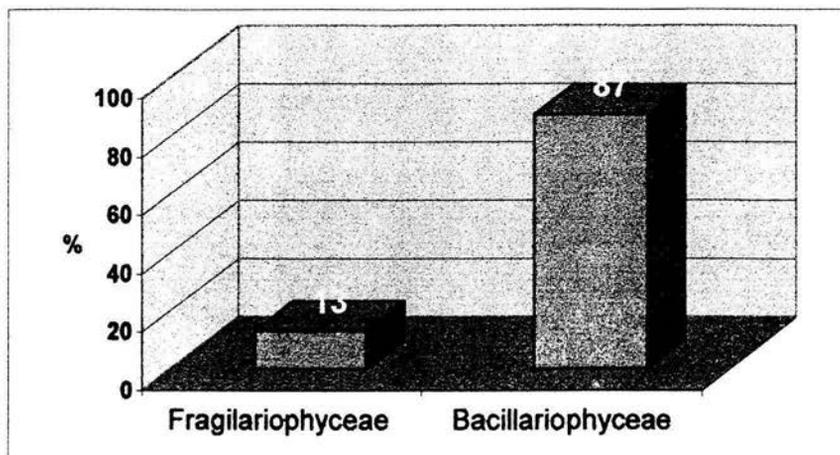
A continuación se presentan las 33 especies determinadas y se organizan de acuerdo al valor en porcentaje de abundancia relativa.

Dominantes Abundancia \geq 10-20% (1 especie)	Comunes Abundancia \geq 2-9 % (14 especies)	Presentes Abundancia $<$ 2% (18 especies)
<i>Cymbella muelleri</i>	<i>Amphora libyca</i> <i>Cymbella cistula</i> <i>Cymbella lanceolata</i> <i>Cymbella mexicana</i> <i>Denticula elegans</i> <i>Staurósira construens</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Mastogloia smithii</i> <i>Navicula pupula</i> <i>Nitzschia amphibia</i> <i>Nitzschia denticula</i> <i>Nitzschia frustulum</i> <i>Rhopalodia gibba</i> <i>Rhopalodia gibberula</i>	<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> <i>Anomoeoneis costata</i> <i>Amphora ovalis</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Aulacoseira ambigua</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Cyclotella meneghiniana</i> <i>Ephitemia adnata</i> <i>Ephitemia sorex</i> <i>Ephitemia zebra</i> <i>Pseudostaurosira brevistriata</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Staurósirella pinnata</i> <i>Gomphonema parvulum</i> <i>Gomphonema gracile</i> <i>Nitzschia angustata</i> <i>Nitzschia hungarica</i> <i>Pinnularia gibba</i>

Tabla 1. Listado de las 33 especies de acuerdo a su abundancia relativa.

4) Principales Clases de diatomeas

Las 15 especies representativas ($\geq 2\%$) pertenecen a la sumatoria de dominantes y comunes. Donde se observaron dos de las tres clases según Round *et al.*, 1990. La más abundante: *Bacillariophyceae* es conocida por presentar diatomeas rafídeas (béntico-epífitas de aguas poco profundas) y la clase *Fragilariophyceae*, arrafídeas pláncnicas en cuerpos de agua poco profundos (Bradbury, 1988).



Gráfica 1. Distribución porcentual de especies representativas en las tres clases de diatomeas (Round *et al.*, 1990).

En esta gráfica podemos observar que la clase *Bacillariophyceae* es la más característica de la sección, ya que representa un 87% de las diatomeas fósiles representativas ($\geq 2\%$) y la clase *Fragilariophyceae* representa el 13% restante de las especies representativas. Por lo que estaríamos hablando posiblemente de un cuerpo de agua somero, que en el momento de su existencia presentaba en su mayoría diatomeas béntico-epífitas.

5) Preferencias ambientales

Para llevar acabo una interpretación paleoambiental, se debe tomar en cuenta que las diatomeas poseen tolerancias específicas a ciertos parámetros medio ambientales. Por lo cual, estos parámetros son la herramienta que nos ayudará a llevar acabo nuestras interpretaciones. Se puede mencionar la salinidad (Kjemperud, 1981), alcalinidad (Gasee y Tekaia, 1982), nutrientes (Bradbury, 1971; Brugam, 1980), entre otros. Por lo que el hecho de conocer la preferencia de una especie puede colaborar a una interpretación más adecuada y si se menciona que los cambios en los depósitos de diatomeas, son característicos de los cambios en el cuerpo de agua predecesor (Barrón, 1993) se puede llegar a una mejor interpretación.

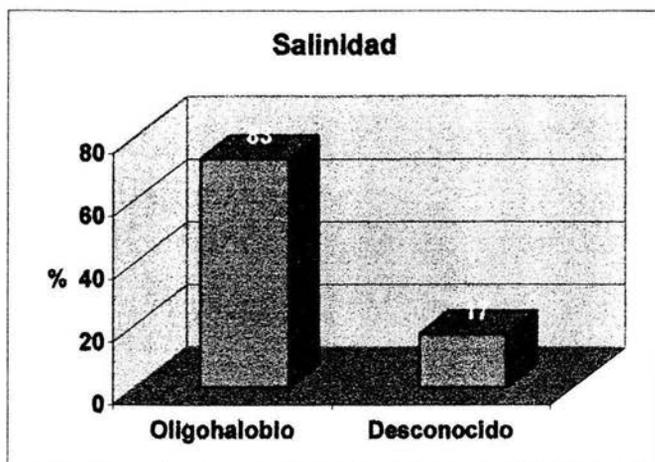
A continuación se mencionan la distribución en porcentaje de las especies representativas ($\geq 2\%$), de acuerdo a algunas preferencias ambientales.

Salinidad		Alcalinidad		Trofismo	
Oligohalobio	83%	Circumneutral	13%	Eutrófico	80%
Desconocido	17%	Alcalifilia	80%	Desconocido	20%
		Desconocido	7%		

Tabla 2. Distribución porcentual de las especies representativas con respecto a algunas preferencias ambientales.

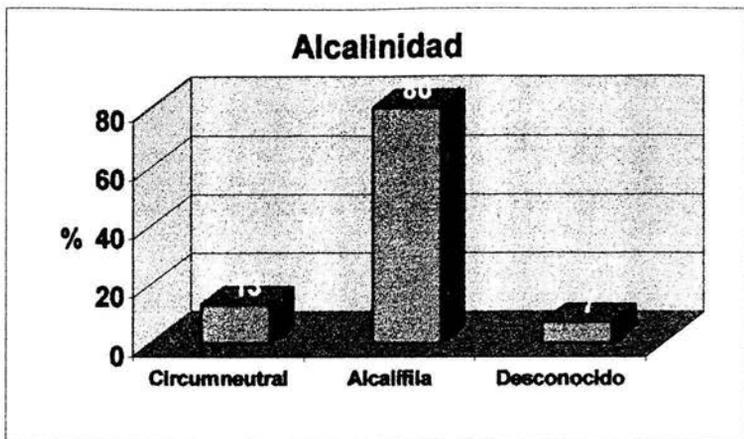
Con los datos de la tabla anterior de distribución porcentual de las especies representativas y sus preferencias ambientales, se homogenizó la información para obtener las siguientes gráficas con la finalidad de dar un mejor entendimiento visual de las posibles condiciones en las que pudieron existir, las distintas especies de diatomeas observadas en esta sección.

La presentación de las graficas, Inicia con el parámetro de salinidad, seguida de la alcalinidad y finalizan con el grado de trofismo.



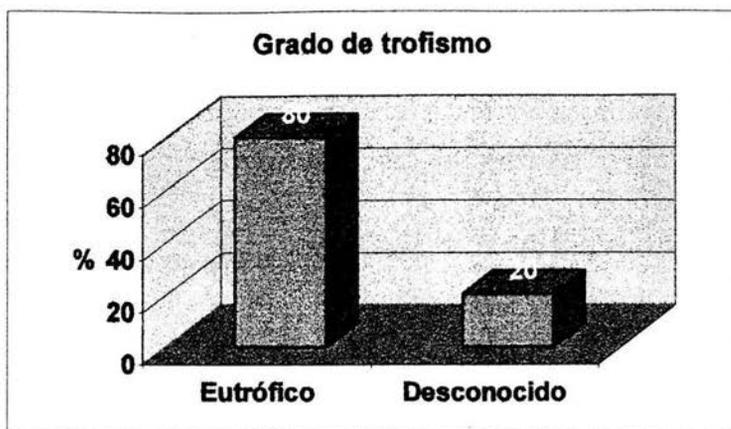
Gráfica 2. Porcentaje de especies representativas en el parámetro de salinidad

En el parámetro ambiental de salinidad como lo muestra esta gráfica. El 83% de las especies representativas preferían aguas de tipo Oligohalobio por lo que estamos hablando de especies presentes en salinidades menores a los 500mg/l, es decir con muy baja concentración electrolítica. El restante 13% no se conoce muy bien sus preferencias en este parámetro, sin embargo podemos decir que estaban presentes.



Gráfica 3. Porcentaje de especies representativas en el parámetro de alcalinidad.

En esta gráfica podemos observar que el 80% de las especies representativas tienen preferencias por aguas de tipo alcalífilas, es decir especies que pueden desarrollarse mejor en pH de 7 o por arriba de 7. También podemos observar que el 13% de las especies representativas tienen preferencias por aguas circumneutrales es decir cercanas a un pH de 7, por lo que esta sección pudo haberse encontrado con un pH similar.



Gráfica 4. Porcentaje de especies representativas para el grado de trofismo

En el caso del parámetro de trofismo podemos observar un 80% de especies representativas con preferencias eutróficas es decir especies que prefieren aguas con un amplio intervalo de nutrimentos, el restante 20% es desconocido o no se tienen bien establecidos sus preferencias tróficas.

Como podemos observar en estas tres gráficas la preferencia por un factor ambiental es muy marcada, esto se debe a que las diatomeas necesitan de un ambiente muy específico para su desarrollo, por esto son fundamentales como herramienta en las interpretaciones de reconstrucción de medios ambientes (Bradbury, 1988).

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la abundancia relativa, se pudieron determinar 33 especies de diatomeas fósiles que pertenecen a tres clases (*Coscinodiscophyceae*, *Fragilariophyceae* y *Bacillariophyceae*), 10 órdenes, 13 familias y 19 géneros. Solo 15 de estas resultaron representativas ($\geq 2\%$), en la sección estudiada y esto hace que solo dos clases de las antes mencionadas, sean las relevantes para el estudio (*Fragilariophyceae* y *Bacillariophyceae*). Para el caso de *Cymbella muelleri*, esta sobrepasa una abundancia $\geq 10-29\%$; por lo que se podría decir que es la más abundante de la sección. Las siguientes especies representativas (14) se encontraron entre $\geq 2-9\%$, por lo que se consideran especies comunes, las 18 restantes se encontraron por debajo del 2% considerándose especies presentes pero no representativas (Tabla 1).

Se observó que el número de especies determinados en la sección de 10 cm puede ser bajo, si se compara con otros depósitos, además se hace referencia a la ausencia de bandeado es decir se presentaba un color gris claro de manera uniforme sobre los 10 cm de dicha sección; aunque el bandeado no es un requisito en la depositación de las diatomeas. Por lo que se piensa, sea un depósito diatomífero con características diferentes a los conocidos como el Paleolago Tlaxcala el cual presenta una cantidad enorme de bandas tan solo en 10 cm y cada centímetro es diferente al anterior con respecto a la asociación de diatomeas fósiles, de igual manera el arenal Jalisco o Depósitos del Lago de Chapala presentan bandas muy pequeñas con asociaciones de diatomeas diferentes que representan en este caso condiciones ambientales de igual manera diferentes. Por otro lado a parte de las frústulas de diatomeas se pudieron observar otro grupo de microfósiles como: fitolitos, quistes de crisofitas y espiculas de esponja. En esta sección, la mayoría de las frústulas no se encontraban bien conservadas, principalmente las de gran tamaño; al igual que no se observaban de manera eficiente debido a la presencia de restos de sedimento en la muestra, que no se pudieron eliminar eficientemente con la presencia de peróxido de hidrogeno, ya que se perdía la muestra de diatomeas, por lo que se decidió montar la muestra tal y como se encontraban en la sección (Rico, com. personal).

La agrupación en clases para las especies se puede observar en la Gráfica 1, donde se muestra que el 87% de las representativas pertenecen a la clase *Bacillariophyceae*, lo cual nos muestra principalmente especies con una forma de vida béntico-epifitas, que además de ser las más frecuentes, también son los más diversos en la sección. Por otro lado, las especies restantes (13%), pertenecen a la clase *Fragilariophyceae* lo cual nos indica especies con preferencias plancticas en un cuerpo de agua somero (Round *et al.*, 1990).

Por último la clase *Coscinodiscophyceae* no se encuentra dentro de las especies representativas, para ser tomadas en cuenta, situación que hasta el momento se entiende ya que esta clase es característica de organismo plancticos y de cuerpos de agua con cierta profundidad. Por lo que hasta el momento, la presencia de las dos clases anteriores muestra una sección que fue en su momento un cuerpo de agua somero, con especies de diatomeas que son principalmente béntico-epifitas y especies con una forma de vida de tipo ticopláctico como las pertenecientes a la clase *Fragilariophyceae*. Las condiciones someras de la sección la podemos confirmar debido a la presencia en la sección estudiada de diatomeas como: *Cymbella muelleri* la especie más abundante y que tiene una forma de vida perifítica, que hace referencia a cuerpos de agua someros (Patrick y Reimer, 1975).

De igual manera el registro de *Amphora libyca*, *Cymbella cystula*, *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum* y *Rhopalodia gibberula* indican ambientes someros y formas de vida perifítica (Caballero, 1997; Israde Alcántara, 1997; Metcalfe *et al.*, 1991; Reed *et al.*, 1999; Vos y de Wolf, 1993).

Continuando con las especies con preferencias bénticas, *Cymbella mexicana* y *Mastogloia smithii*, prefieren adherirse principalmente en rocas (epilíticas). Por otro lado *Cymbella lanceolata*, *Nitzschia denticula* y *Rhopalodia gibba* son reportadas como especies Epifíticas (Bradbury, 2000). Lo que se asocia con la presencia de macrofitas; situación que se confirma con *Staurosira construens*, la cual esta relacionada con vegetación acuática (Bradbury, 1988; Caballero, 1997 y Reed *et al.*, 1999). Por otro lado *Navicula pupula*, en este caso considerada como epipélica, nos confirma un posible nivel bajo del cuerpo de agua (para esta sección), por la aparente formación de lodos (probablemente hábitats de orilla), misma situación que *Denticula elegans* aunque considerada aerófila su presencia y un aumento de abundancia puede ser un indicador del bajo nivel y posible desecación del cuerpo de agua (Metcalfe *et al.* 1991). Por último *Synedra ulna* y *Staurosira construens* ambas arafídeas son ticoplánticas, especies características de cuerpos de agua someros (Patrick y Reimer, 1975).

Por otro lado, la interpretación paleoambiental necesita integrar la forma de vida del organismo haciendo referencia a sus preferencias ambientales para la reconstrucción del medio ambiente, por lo que el primer parámetro ambiental en analizar será la salinidad, en la cual podemos observar que el 83% de las especies representativas ($\geq 2\%$) tiene una preferencia oligohalobia, es decir que son especies que se presentaron en una zona con salinidad menor a los 500 mg/l (Lowe, 1974). Esto quiere decir que la sección presentaba una baja concentración de electrolitos, el restante 17 % se desconoce o no se encuentra reportado aun, sin embargo no altera el resultado ya que la diferencia en porcentajes es mayor (Gráfica 2). De igual manera que en la forma de vida; *Staurosira construens* es considerada como una especie importante para este parámetro, ya que para estar presente requiere de condiciones relativamente diluidas y/o bajas de salinidad para poder ser observada (Metcalfe, 1991). Por lo que su presencia pueda estar relacionada con cambios en el nivel del cuerpo de agua. Sin embargo el resto de las especies presentes son oligohalobias o en algunos casos indiferentes a la condición oligohalobia como es *Cymbella cystula* y *Cymbella mexicana* (Patrick y Reimer, 1975).

Con respecto a la alcalinidad podemos observar que una condición predominante en la sección es netamente alcalífila, como se corrobora con el 80% de las especies observadas (Gráfica 3), esto quiere decir que la sección presentaba condiciones con un pH alrededor de 7.0 u 8.0, con lo que se habla de especies con un mejor desarrollo en aguas con pH por arriba de 7.0 (Round *et al.*, 1990). Aunque se presentan especies con carácter circumneutral (*Synedra ulna* y *Navicula pupula*) con un 13% de distribución, es decir especies que se asocian a condiciones de presencia de carbonatos, lo que se refiere a valores de pH alrededor de 7.0 (Margalef, 1957).

Sin embargo estas últimas también son reportadas como especies que pueden estar tanto en aguas circumneutrales como alcalifilas (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1966; Round *et al.*, 1990 y 1996, Van Dam y Mertens, 1993; Vos y de Wolf, 1993). *Cymbella muelleri* es un organismo alcalifilo con preferencias de pH por debajo de 7.5 (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975). De igual manera se reportan a *Nitzschia amphibia*, *N. frustulum* y *Rhopalodia gibberula* como organismo que prefieren aguas con un pH por arriba de 7.0 a 7.5 (Caballero, 1997).

Por otro lado, Metcalfe, *et al.*, (1991) mencionan a *Cymbella lanceolata* como una especie cercana al pH de 8.0. Sin embargo la presencia de *Synedra ulna* y *Staurosira construens* hace referencia a un pH \approx 7.0 (Caballero, 1997; Israde-Alcántara, 1997) por lo que se podría considerar como un organismo circumneutral.

En cuanto al grado de trofismo podemos decir que la sección presentaba agua de carácter eutrófico (Gráfica 4). Dado que el 80% de las especies presentaba este tipo de preferencias. Podemos decir así, que la condición del cuerpo de agua que prevaleció por lo menos en esta sección era eutrófica es decir, de una alta concentración de nutrientes disueltos (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975). Con respecto al porcentaje restante 20% no se conoce o no se ha reportado. Podemos decir entonces que la sección estudiada era de carácter eutrófico, como lo demuestran (*Navicula pupula*) que es considerada por Pillsbury, (1999), como una especie indicadora de condiciones eutróficas, de igual manera sucede con *Rhopalodia gibberula* y *Synedra ulna*. Por otro lado, Bradbury, (1988) considera que *Staurosira construens*, se relaciona con el bajo y el progresivo incremento en el nivel de un cuerpo de agua y por lo tanto un cambio en la concentración de nutrientes. De manera semejante se dice que existe una relación entre géneros de diatomeas alternando periodos de trofismo, tenemos el ejemplo de *Nitzschia* para ambientes eutróficos y para ambientes oligotróficos a *Staurosira*, *Pseudostaurosira* y *Synedra*. Por lo cual la presencia de *Staurosira construens*, abre la posibilidad de cambios en el grado de trofismo para el cuerpo de agua (Istrade-Alcántara, 1997).

Con base en algunas diatomeas observadas y reportadas en otros ambientes antiguos podemos decir que la temperatura posiblemente se encontraba entre los 15 y 30 °C. Es decir de carácter euritermal (Lowe, 1974), ya que se observan especies descritas a esta temperatura como son: *Denticula elegans* la primera de ellas, que se ha reportado como característica de aguas templadas a ternaes en los Estados Unidos (Patrick y Reimer, 1975). Al igual que en lagos con aguas geotermales con temperaturas entre los 15 y 30 °C en Vallejo, California. EUA (Furnish, 1992). De igual manera sucede con *Nitzschia amphibia* reportada como euritermal, *Nitzschia denticula*, *Staurosira construens* y *Synedra ulna* estas últimas frecuentes de primavera a otoño (Lowe, 1974; Patrick y Reimer, 1975). En el caso de *Navicula pupula*, *Nitzschia frustulum* y *Rhopalodia gibberula*, son consideradas como especies muy comunes en las primaveras, por lo que habitan cuerpos de agua con temperaturas algo elevadas (Telford y Lamb, 1999).

IZT.

Con todos estos aspectos analizados podemos decir que durante la depositación de la sección estudiada es muy probable que hayan predominado las condiciones someras, indicado por la alta presencia de especies con forma de vida bentico-epífitas y perifíticas (*Bacillariophyceae*), así como la presencia de especies ticopláncticas de aguas someras como las que pertenecen a la clase *Fragilariophyceae* (Gráfica 1). También podemos afirmar que las preferencias ambientales indican la presencia de un cuerpo de agua de tipo oligohalobio, alcalífilo y eutrófico (Gráficas 2-4). Además de un clima, que al parecer fue seco y de templado a cálido, lo que se debe el posible nivel somero del agua.



Por último se han estado mencionado cambios potenciales en la sección estudiada, posiblemente por un cambio estacional, esto lo podemos relacionar con la presencia de *Staurosira construens* que es una especie tolerante a las condiciones antes mencionadas y que es observada en el otoño, sin embargo es reportada como una diatomea que requiere de condiciones más diluidas en el caso de salinidad, alcalinidad y nutrientes, además de que su presencia en cuerpos de agua esta relacionada con un aumento en el nivel (Bradbury, 1988; Caballero, 1997; Israde Alcántara, 1997; Metcalfe, 1991). Por otro lado podemos hacer referencia a algunas de las especies que se reportan en un menor porcentaje (<2%), las cuales tienen netamente preferencias pláncicas y por lo tanto niveles altos en el cuerpo de agua,. Estas son: *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua* y *Cyclotella meneghiniana*, las cuales posiblemente indiquen la sucesión de algunas especies de acuerdo a los cambios graduales en el nivel de agua de la sección, posiblemente ocasionados por lluvias (Rico com. personal).

CONCLUSIONES

En la actualidad el estudio de los depósitos de diatomeas fósiles ha sido una fuente de información bastante relevante en la reconstrucción de cuerpos de agua antiguos, por lo que las interpretaciones paleolimnológicas y paleoambientales se han convertido en el medio para comprender la forma de vida y las preferencias en el medio ambiente de estos organismos, en el momento en que se encontraban presentes.

De forma muy concreta la reconstrucción e interpretación paleoambiental de la sección de 10 cm (parte media) del depósito de diatomita del Dextí, Hidalgo. Indica la presencia de 33 diatomeas fósiles que pertenecen a tres clases: *Coscinodiscophyceae*, *Fragilariophyceae* y *Bacillariophyceae*. Donde, 15 de ellas resultaron como representativas en la sección, perteneciendo a dos clases *Fragilariophyceae* y *Bacillariophyceae*, esto parece indicar que se encontraban en un cuerpo de agua somero dado que la forma de vida de las especies representativas ($\geq 2\%$) era principalmente béntico; además de la presencia de algunas con preferencias ticoplancticas, es decir de aguas someras. Se distribuyeron en 10 órdenes, 13 familias y 19 géneros.

También se puede decir que esta sección del depósito, se caracterizó por ser un cuerpo de agua que presentó especies de diatomeas con preferencias ambientales de tipo oligohalobio, es decir aguas con bajas concentraciones de sales. Estas mismas especies indican que durante su depositación existían aguas con un grado alcalino, ya que su preferencia en este parámetro son principalmente de un cuerpo de agua alcalifilo. Con respecto a las condiciones tróficas del cuerpo de agua podemos decir que eran de carácter eutrófico como lo confirman las preferencias de la mayoría de las especies encontradas. Posiblemente la temperatura del cuerpo de agua era de carácter euritermal (arriba de los 15° C), como lo confirman algunas especies determinadas y reportadas como presentes en estas temperaturas.

Por todo lo anterior podemos deducir que las diatomeas se depositaron en un cuerpo de agua somero, de tipo oligohalobio, alcalifilo, eutrófico y euritermal. Donde las condiciones someras probablemente se debían a la ausencia de precipitaciones pluviales, y a la posibilidad de altas temperaturas en la región donde se ubicaba el cuerpo de agua. Sin embargo en el momento de la depositación de las diatomeas se estaban dando cambios en las condiciones ambientales y se estaban modificando las condiciones físicas y químicas del cuerpo de agua. Situación que se ve confirmada por la presencia de especies ticoplancticas y plancticas que se asocian a cambios en el nivel del cuerpo de agua.

RECOMENDACIONES

Al parecer las investigaciones con diatomeas fósiles para la interpretación y reconstrucción de cuerpos de agua antiguos, se ha favorecido conforme al tiempo. Sin embargo aún no se conocen a fondo la mayoría de los depósitos potenciales en el país, por lo que se recomienda la creación de espacios de investigación para estudios posteriores y así fomentar la creación de archivos de imágenes, manuales y bancos de datos, que proporcionen la información más importante de las diatomeas en cuanto a características morfológicas, ecológicas y distribución de las especies presentes en México.

Además de la información ecológica y ambiental que pueden proporcionar los cuerpos de agua extintos, es necesario realizar estudios para obtener datos que colaboren a su interpretación como son fechación radiactiva y paleomagnetismo, así como un registro de los trabajos realizados en todo el país.

En el caso del depósito de diatomeas del Dexthí, Hidalgo se recomienda el realizar futuros estudios paleoambientales, paleoecológicos y paleolimnológicos en las distintas secciones que conforman al depósito, para poder reconstruirlo e interpretar su origen.

GLOSARIO

- Aerófila:** Organismo de hábitat húmedo pero no sumergidos (Lowe, 1974).
- Alcalifila:** Relativo a las especies que aparecen en un pH alrededor de 7, pero con mejor desarrollo en aguas por arriba de pH 7 (Lowe, 1974)
- Alcalinidad:** contenido de carbonatos y bicarbonatos, así como aniones asociados con metales alcalinos (Na y K) en un cuerpo de agua (Margalef, 1957).
- Alcalinoblóntico:** Se refiere a especies que solo se encuentran en aguas alcalinas (Lowe, 1974).
- Área axial:** espacio entre la línea media (rafe) y las estrías, sin ornamentaciones (Round, 1990).
- Área central:** zona media de la valva que se encuentra libre de estrías, que puede o no estar cerca de la valva (Round, 1990).
- Área hialina:** zona de la frústula donde no hay presencia de estrías u ornamentaciones (Patrick y Reimer, 1975)
- Areola:** Perforación regular cubierta por una membrana de finos poros (Barber y Haworth, 1981).
- Béntico:** Se refiere a especies que se adhieren a un sustrato.
- Canal Rafidiano:** Hueco engrosado debajo del rafe que se prolonga en forma de costillas (Round *et al.*, 1990).
- Carina:** Engrosamiento del rafe que se proyecta hacia el centro de la valva disminuyendo el engrosamiento paulatinamente (Round *et al.*, 1990).
- Circumneutral:** Se refiere a aguas con pH alrededor de 7.0 (Lowe, 1974).
- Cosmopolita:** Especies que se pueden encontrar en cualquier parte de la tierra en condiciones propicias sin restricciones biogeográficas (Margalef, 1957).
- Cruciforme:** Valva en forma de cruz presente en diatomeas del género *Fragilaria* (Barber y Haworth, 1981).
- Diatomita:** Roca sedimentaria de origen tanto marino como lacustre con utilidad industrial compuestas fundamentalmente por un 86 al 92% de óxido de sílice y hasta 4% de agua (Vilaclara, 1997).
- Epifítico:** Organismo que vive adherido sobre plantas (Lowe, 1974).
- Epilítico:** Organismo que vive adherido sobre rocas (Lowe, 1974)
- Epipélico:** organismo que vive sobre lodo (Lowe, 1974).
- Estría:** se refiere a una línea que recorre lo largo de la valva formada por areolas o alvéolos que son amplios o finos y que corren en forma transversal en diatomeas penadas y en forma radial en diatomeas centrales (Barber y Haworth, 1981; Round *et al.*, 1990).
- Euritermal:** Especies que se encuentran en temperaturas mayores a los 15°C (Lowe, 1974).
- Eutrófico:** Cuerpos de agua con alta concentración de nutrimentos disueltos (Lowe, 1974).
- Extremo proximal:** Forma en que termina el rafe en la zona central de la valva (Round *et al.*, 1990).
- Fíbula:** Engrosamiento silíceo del rafe que se proyecta al centro de la valva disminuyendo su engrosamiento paulatinamente (se presenta en género *Nitzschia* y *Hantzschia*) al conjunto de fíbulas se les llama carina (Round *et al.*, 1990).
- Frústula:** Unión de valva, formada de sílice, y que conforman parte de la pared de la celular de la mayoría de las diatomeas (Round *et al.*, 1990)
- Halófila:** Especies presentes en cuerpos de agua con pequeñas cantidades de sales disueltas (Lowe, 1974).
- Isopolar:** Organismos con extremos de la valva iguales en forma y tamaño (Barber y Haworth, 1981).

- Mesosaprobio:** Organismos que viven en medios que tienen baja cantidad de materia orgánica (Margalef, 1957).
- Mesotrófico:** Condición de un cuerpo de agua con moderada concentración de nutrimentos (Lowe, 1974).
- Oligohalobio:** Relativo a especies presentes en salinidades menores a 500 mg/l (Lowe, 1974).
- Oligotrófico:** condición de un cuerpo de agua con baja concentración de nutrimentos disueltos (Lowe, 1974).
- Perifítica:** Organismos que viven alrededor de un sustrato sólido (Margalef, 1957).
- Plánctico:** Se refiere a organismos que se encuentran suspendidos en un cuerpo de agua
- Rafe:** Fisura longitudinal que se ubica en el área axial (Round *et al.*, 1990). Generalmente se compone de dos partes separadas en el área central, aunque existen géneros en los que el rafe corre en toda la periferia de la valva. Se conocen dos extremos o nódulos que se ubican en el centro o en los polos de la valva (Barber y Haworth, 1981).
- Rafe reversa lateral:** Rafe doble en el cual una de sus fisuras forma un pequeño zig-zag en la parte media proximal terminando del lado contrario al resto del rafe (Round *et al.*, 1990).
- Rostrado:** pequeño engrosamiento de un ápice sin la presencia de un cuello adelgazado que lo una con el resto de la frústula. (Round *et al.*, 1990).
- Salinidad:** Contenido de algunos iones en el agua por ejemplo sodio y potasio (Margalef, 1957).
- Ticoplánctico:** Especies que se encuentran suspendidas en el plancton por arrastre y turbulencia, pero que son de origen epifítico o béntico
- Valva:** Se refiere a cada una de las dos estructuras compuestas de sílice que conforman la frústula (Round *et al.*, 1990).
- Xenosaprobio:** Relativo a aguas con ausencia total de materia orgánica (Sladeczek *et al.*, 1981).

REFERENCIAS

- Agbeti, D. M. (1992). Relationship between diatom assemblages and tropic variables: A comparison of old and new approaches. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Sciences* 49: 1117-1175.
- Andrews, G. W. (1972). Some fallacies of quantitative diatom paleontology. pp. 285-294 in: Simonsen y Reimer (Eds): first symposium on recent and fossil marine diatom. Nova Haedwigia. Heft 39.
- Barber, G.H. y E. Haworth. (1981). A guide to the morphology of diatom frustule with a key to the British freshwater genera. The freshwater biological association. Scientific Publication No 14. Great Britain. 112 pp.
- Barrón, A. J. (1993). Diatoms. Pág. 155-167 in Lipps, H.J. (Eds): Fossil prokaryotes and Protists. Blackwell Scientific Publications. U.S.A. 342 pp.
- in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Battarbee, R. W. (2000). Paleolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary science reviews* 19:107-124.
- Bradbury, J.P. (1971). Paleolimnology of lake Texcoco, Mexico. Evidence from diatoms. *Limnology Oceanographic* 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. Instituto. Geología, UNAM-ENCB-IPN. Sociedad Botánica de México. p. 10.
- Bradbury, J.P. (1975). Diatom Stratigraphy and human settlement in Minnesota. *Geology Society American*. 171:1-74.
- Bradbury, J.P. (1982). Palaeoecological studies at lake Patzcuaro, Mexican Plateau and Chalco in the basin of Mexico. *Quaternary Research* 17:56-70.
- Bradbury, J. P. (1988). Fossil diatoms and Neogene paleolimnology. *Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology* 62:299-316
- Bradbury, J.P. y Blair, W.N. (1979). Paleoecology of the upper miocene Hualapai limestone member of the muddy creek formation northwestern Arizona in: Rocky Mountain Assoc. Geology Utah Geology. Assoc. Basin and range symposium. 293-303.
- Brugam, R. B. (1980). Diatom stratigraphy of Kirchner Marsh, Minnesota. *Quaternary Research* 13: 133-146.
- Caballero, M.M. (1991). Resultados preliminares del análisis de diatomeas en sedimentos del lago de Chalco, México. p. 21-30. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Caballero, M.M. (1995). Late Quaternary Paleolimnology of Lake Chalco, the basin of Mexico: New evidence for paleoenvironmental and paleoclimatic change in central Mexico during the last 45, 000 years. Tesis de Doctorado. The University of Hull, England. 286. pp. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- 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. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.

- Caballero, M.M. (1998). Paleolimnología. La historia como la cuentan los lagos. 5ª. Conferencia dentro del ciclo: Conferencias de divulgación del Instituto de Geofísica. Geonoticias Instituto de Geofísica UNAM. Año 5, Número 40.
- Caballero, M.M. y B. Ortega. (1998). Lake levels since about 40, 000 years ago at Lake Chalco, near Mexico, City. *Quaternary Research* 50: 69-79.
- Caballero, M.M., S. Lozano, B. Ortega, J. Urrutia y J. L. Macías. (1999). Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years. *Journal of Paleolimnology* 22:399-411.
- Caballero, M. M., G. Vilaclara, A. Juárez, D. Soler y J. Urrutia. (2000). Registro de fluctuaciones climáticas de variación corta en sedimentos lacustres de la cuenca de Oriental México (En prensa).
- Dean, W. E., J. P. Bradbury, R. Anderson y C.W. Barnowsky. (1984). The variability of Holocene climate change: Evidence from varved lake sediments. *Science* 226: 1191-1194.
- Díaz-Lozano, E. (1917) Diatomeas Fósiles Mexicanas. *Anales Instituto Geología. Mexico* 1: 1-27.
- Dixit, S. S., S. Aruna. y P. J. Smol. (1992). Assessment of changes in lake water chemistry in Sudbury area lakes since preindustrial times. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* 49(2):8-16.
- Ehrenberg, C. G. (1846). On The remains of infusoria animalcula in volcanic rocks. *Geol. Soc. London Quart. Jour.* 73-91.
- Ehrenberg, C. G. (1854). Mikrogeologie das erden und Felsen sachaffende wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der erde. Leipzig XXVIII, 374-388 pp. mit tafeln.
- Ehrenberg, C. G. (1866). Mitteilung der einen Phytolitharien-Tuff als Gebirgsart im Toluca-Thale von Mexiko-Monatsb. d.k. Preuss Akad. d. Wiss. z. Berlin 30-31.158-169 und 324-345. 1 Tafel.
- Ehrenberg, C. G. (1869). Über mächtige Gebirgs-Schichten vorherrschend aus mikroskopischen Bacillarien unter und bie der Standt Mexiko. Abh. d.k.k. Aked. D. Wiss. z. Berlin 66pp. 3 Tafeln.
- Flower, R.J. y R.W. Battarbee. (1983). Diatom evidence for recent acidification of two Scottish lochs. *Nature* 305(5930):130-133.
- Furnish, J. L. (1992). Algae and invertebrates of geothermally- influenced great basin desert hot lake. USDA Forest Service Pacific Southwest Region Vallejo, CA. Forestall report 1:1-5.
- Gasse, F. Y F. Tekaiia. (1982). Tentative definition, comparison and interpretation of fossil diatom assemblages from eastern Africa. *Acta Geology. Academy Sciences. Hungry* 25(1-2): 135-147.
- Haworth, E. (1976). Two late glacial (Late Devesian) diatom assemblage profiles from northern Scotland. *New Phytology* 77: 227-256.
- Haworth, E. (1977). The sediments of Lake George (Uganda). V. The diatom assemblages in relation to the ecological history. *Archives. Hydrobiology* 80(2): 200-215.
- Helenes, J., A. M. Esparza. y G. Herguera. (1999). Variabilidad de la comunidad de diatomeas en los sedimentos de la cuenca de San Lázaro, Baja California Sur, México. 24-29 octubre. Puerto Vallarta, Jal. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana. GEOS. Vol. 19, No. 4, 282. pp. (CEGOQ9932)
- INEGI. (1983). Carta geológica. 1:250 000 (Pachuca F14-11). Primera impresión.
- INEGI. (1985). Carta uso del suelo y vegetación. 1: 250 000 (Pachuca F14-11). Primera edición.
- INEGI. (1990). Carta topográfica. 1:50,000 (Tasquillo F14-C69). Segunda impresión.
- INEGI. (1998). Carta topográfica. 1:250 000 (Pachuca F14-11). Primera impresión.

- INEGI. (1999). Carta edafológica. 1:250 000 (Pachuca F14-11). Segunda impresión.
- INEGI. (2000). Marco Geoestadístico.
- Israde-Alcántara, I. (1997). Noegene Diatoms of Cuitzeo Lake, Central sector of the Trans-Mexican volcanic belt and their relationship with the volcano-tectonic evolution. *Quaternary International* 43/44: 137-143.
- Johansen, J. R. Y S. R. Rushforth. (1981). Diatoms of surfaces waters and soils of selected oil shale lease areas of eastern Utah. *Nova Hedwigia*. Band XXXIV. Braunschweig.
- Juárez, B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Kjemperud, A. (1981). Diatom Changes in the sediments of basin possessing marine/lacustrine transactions in Frosta. Nord-Trøndelag. Norway, *Boreas* 10:27-38.
- Kolbe, R. W. (1927). Zür Ökologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen. Pflanzenforschung, Heft7. Verlag von Gustav fisher, Jena. 143: 3 Tfln.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1986). Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart. 876. pp.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1989). Bacillariophyceae. 2 Teil. Bacillariaceae. Epithemiaceae, Surirellaceae. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart. 596. pp.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1991) a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart. 575 pp.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. (1991) b. Bacillariophyceae. 4. Teil. Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (lineolatae) und Gomphonema. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart. 437. pp.
- López, G. F., M.M. Hernández., I. D. Muñoz. y A. A. Soler. (1999). El caso Dexthí-San Juanico, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Experiencias locales de lucha contra la desertificación en zonas semiáridas pobres de América Latina y el Caribe. Convenio de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación- mecanismo global. Sistemas de Información y conocimientos para comunidades rurales pobres- FIDAMERICA.
- Lowe, R. L. (1974). Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms. EPA Report #EPA-670/4-74-005, Cincinnati OH. 333
- Lozano, G. S. (1989). Palinología y Paleoambientes Pleistocénicos de la cuenca de México. *Instituto Geología*. UNAM. 28(2):335-363.
- Lozano, G. S., J. Urrutia., M. M. Caballero y B. G. Ortega. (1991). Paleomagnetismo, Palinología, Paleolimnología y magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la cuenca de México. Comunicaciones Técnicas. Series de Investigación. No 124. Instituto de Geofísica, UNAM. 52 pp.
- Lozano, G. S., B. G. Ortega., M. M. Caballero y J. Urrutia. (1993). Late pleistocene and holocene paleoenvironments of Chalco Lake, Central Mexico. *Quaternary research* 40:332-342. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Margalef, R. (1957). Los Microfósiles del Lago del Mioceno de La Cerdafia como indicadores ecológicos. Cursos y Conferencias del Instituto. "Lucas Mallada", Fascículo 4:13-17.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Omega, Barcelona España. 1010 pp.
- Metcalfe, S.E. (1986). Diatoms in a core From Laguna Zacapu, Michoacan, Mexico. 9th Diatom-Symposium. 251-264. in: Metcalfe, S. E., S. L. O'Hara., M. M. Caballero y S. J. Davies. (2000). Records of Late Pleistocene -Holocene climatic change in Mexico—a Review. *Quaternary Research* 1(9): 699-721.

- Metcalfe, S. E. (1988). Modern diatom assemblages in Central Mexico: the role of water and other environmental factors as indicated by TWINSPAN and DECORANA. *Freshwater Biology*. 19:217-233. in: Metcalfe, S. E., O'Hara, S. L., Caballero M. M. y Davies, S. J. (2000). Records of Late Pleistocene - Holocene climatic change in Mexico— a Review. *Quaternary Research* 1(9): 699-721.
- Metcalfe, S. E. (1991). Paleolimnology of the upper Lerma Basin, Central Mexico: a record climatic change and anthropogenic disturbance since 11 600 yr BP. *Journal Paleolimnology* 5: 197-218.
- Metcalfe, S. E. (1992) Changing environments of the Zacapu, Basin Central Mexico: A diatom- based history spanning the last 30, 000 years. Research Paper 48. School Of Geography. University of Oxford. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Metcalfe, S. E., S. L. O'Hara., M. M. Caballero y S. J. Davies. (2000). Records of Late Pleistocene -Holocene climatic change in Mexico— a Review. *Quaternary Research* 1(9): 699-721.
- Ortega, M. M. y R. E. Mercado. (1982). Bacillariophyceae. In: Aquatic Biota Of Mexico, Central América and the West Indies, S.Hurlbert and A. Villalobos-Figueroa, Eds. San Diego State University, San Diego California. P. 18-21
- Patrick, R. y Reimer, C. W. (1966). *The diatoms of the United States*. Volume I. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, NAS. Philadelphia. 688 pp.
- Patrick, R. y Reimer, C. W. (1975). *The diatoms of the United States*. Volume II. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. NAS. Philadelphia. 231 pp.
- Pyle, L., R. S. Cooper. y K. J. Huvane. (1998). Diatom paleoecology Pass Key core 37, Everglades national park, Florida Bay. Open file report 98-522. USGS. 41 pp.
- Pienitz, R., J. P. Smol y H. J. Birks. (1995). Assessment of freshwater diatoms as quantitative indicators of past climatic change in the Yukon and northwest territories, Canada. *Journal Paleolimnology* 13(1):1-27.
- Pillsbury, R. W. (1999). Periphyton community structure and biomass within the river channel. Report of the Channelization of the Kissimmee River Basin. Junio 22. Government of Florida, U.S.A. pp. 8
- Renberg, I. (1976). Paleolimnological investigations in lake Prästsjön. Early Norrtand, 9:113-159.
- Reed, J. M., N. Roberts y M. J. Leng. (1999). An evaluation of the diatom response to late quaternary environmental change in two lakes in the Konya Basin, Turkey, by comparison with stable isotope data. *Quaternary Science Reviews* 18: 631-646.
- Rico, R., G. Vilaclara., R. Carrillo y M. A. Centeno. (1993). Methodological proposal for lacustrine sediment analysis applied to Tlaxcala diatomite. Mexico. *Verein. International. Verein. Limnology*. 23(2):1072-1074.
- Rico, R., L. Martínez., M. R. Fernández y G. Vilaclara. (1995). Los lagos muertos de México. 195-209 in G de la Lanza y J. L. García (comp.): Lagos y presas de México. Centro de Ecología y Desarrollo México. 320 pp.
- Rico, R., G. Vilaclara., J. Miranda y J. Cafetas. (1997). Origin of lamination in Tlaxcala Paleolake, Mexico. *Verein. International. Verein. Limnology*. 26(2):838-841.

- Rico, R., L. Sánchez-Paredes., P. Mendoza., A. Reyes-Mata., M. R. Fernández., L. Martínez y J. Cañetas. (1998). Determinación de condiciones Paleolimnológicas a partir de las diatomeas de los depósitos lacustres de Dexthí - Hidalgo. Memorias del 1er Congreso Nacional de Limnología. Morelia, Michoacán, México. 87 pp.
- Round, F. E., R. M. Crawford y D. G. Mann. (1990). *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press. London, 747 pp.
- Round, F. E., R. M. Crawford y D. G. Mann. (1996). *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press. London, 747 pp.
- Santacruz, A. (1948). Estudios del proyecto de abastos de agua de Lerma y recomendaciones para su tratamiento. Órgano oficial de la asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria 1(3):287-299.
- SEMARNAT. (1998). Centro Piloto de conservación de suelos y desarrollo rural el Dexthí, Hidalgo. Reportes Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Servant-Vildary, S. (1982). Altitudinal zonation of mountainous diatom flora in Bolivia: Application to the study of the Quaternary. *Acta Geology. Academy Sciences, Hungary* 25(1-2):179-210.
- Sládeček, V., M. Zelinka., J. Rothschein y V. Maravcova. (1981). Análisis biológico de las aguas superficiales. Comentario a la norma estatal Checa 830532-parte 6: Determinación del índice saprobio (Traducción del Checo) *Vydavatelství, Praga*. 186 pp. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Stager, J. C. (1982). The diatom records of lake Victoria (East Africa) the last 17, 000 years. In: Mann, D. G. (Editor) *Proceedings of the seventh international diatom symposium*. Philadelphia. August 22-27, 1982. Koeltz. Koenigstein, pp. 455-476.
- Telford, J. R. y H. F. Lamb. (1999). Groundwater-mediated response to Holocene climatic change recorded by the diatom stratigraphy of an Ethiopian crater lake. *Quaternary Research* 52: 63-75.
- Terao, K., S. Mayama y H. Kobayasi. (1993). Observations on *Cymbella mexicana* (Ehrenb.) Cleve. Var. *Mexicana* (Bacillariophyceae). With special reference to the band structure. *Hydrobiology* 269/270:75-80.
- Urrutia, J., S. J. Lozano., B. Ortega y M. M. Caballero. (1995). Paleomagnetic and paleoenvironmental studies in the southern basin of Mexico. II Late Pleistocene- holocene Chalco lacustrine record. *Geofísica Internacional* 34(1):33-53. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Van Dam, H. y A. Mertens. (1993). Diatoms on herbarium macrophytes as indicators for water quality. *Hydrobiology* 269/270: 437-445.
- Velasco, H. A. (1954). Las diatomitas mexicanas y su empleo industrial. Trabajo presentado en la convención geológica nacional 1-4 Junio 1954.
- Vilaclara, G. (1997). Registro de erupciones volcánicas en las diatomitas lacustres de Tlaxcala, México. Tesis Doctoral, FAC. Biología, Universidad de Barcelona, España. pp 212. in: Juárez B. D. (1998). Estudio de las diatomitas de la sección inferior de la mina "El Lucero", Tlaxcala. Tesis licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM.
- Vilaclara, G., G. Miranda., E. Martínez-Mekler., A. R. Cuna y M. A. Centeno. (1998). Computerized axial tomography: standardization of a quick for lamination characterization in diatomaceous sediments. *Memoria del 15th. Biennial AMQUA Meeting*: 175.

- Vos, C. P. y Wolf, H. (1993). Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269/270:285-296.
- Watts, W. A. y J. P. Bradbury. (1982). Paleoecological studies at lake Patzcuaro on the west- central Mexican plateau and at Chalco in the basin of Mexico. *Quaternary Research* 17:56-70.
- Wetzel, R. G. (1981). *Limnología*. Omega. Barcelona, España. 563-596.
- Williams, D. M. y F.E. Round. (1987). Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research*. 2:267-288. in: Round, F. E., Crawford, R. M. y Mann, D. G. (1990). *The Diatoms*. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. London, 747 pp.