

173



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Cambios paleolimnológicos en el Lago de  
Texcoco durante los últimos ca. 34,000  
años con base al análisis de diatomeas

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G A  
P R E S E N T A :  
MARIPILI RAMÍREZ NAVA

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARGARITA CABALLERO MIRANDA



FACULTAD DE CIENCIAS  
UNAM

2002

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Maripili Ramírez Nava  
 FECHA: 23/09/02  
 FIRMA: [Firma manuscrita]

**M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA**

Jefa de la División de Estudios Profesionales de la Facultad de Ciencias  
 Presente

Comunico a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Cambios paleolimnológicos en el Lago de Texcoco durante los últimos ca. 34,000 años con base al análisis de diatomeas realizado por Maripili Ramírez Nava

con número de cuenta 9519825-9 , quién cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
 Propietario

Dra. Margarita Caballero Miranda

Propietario

Dra. María del Socorro Lozano García

Propietario

Dra. Beatriz Ortega Guerrero

Suplente

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

Suplente

Mtra. María Susana Sosa Nájera

*[Firmas manuscritas de los propietarios y suplentes]*

FACULTAD DE CIENCIAS  
 U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

*[Firma manuscrita]*

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez



DEPARTAMENTO  
 DE BIOLOGÍA

---

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Margarita Caballero por el tiempo dedicado a éste trabajo y por ser tan importante en mi formación profesional. Gracias por enseñarme lo importante que es creer en mis sueños.

Al Laboratorio de Paleolimnología del Instituto de Geofísica, UNAM por el apoyo brindado durante la realización de ésta tesis. En especial a la Dra. Gloria V., Alejandro R. y Francisco V. por su siempre valiosa ayuda.

Al Instituto de Geofísica, UNAM por brindarme todo el apoyo necesario para concluir éste proyecto.

A mis sinodales: Dra. Socorro Lozano, Dra. Margarita Caballero, Dra. Beatriz Ortega, Dr. Enrique Cantoral y Mtra. Susana Sosa por sus acertados consejos.

A la M. en C. Margarita Reyes, Q. Sonia Girón y Q. Patricia Angeles del Laboratorio de Microscopía del Instituto de Geología, UNAM por su ayuda en la realización de las micrografías.

A la Sra. Aida y a Martín E. por brindarme su amistad y estar haber estado conmigo a lo largo de ésta etapa.

---

A mis padres por haberme enseñado que los sueños sólo se realizan con el trabajo de todos los días.

A mi familia por que sin su ayuda no hubiera sido posible concluir una de mis principales metas.

A mis hermanos (Laura, Karla y Armando) y sobrinos (Fernanda, Daniela, Aranxa, Daniel y Diego) por todos lo momentos felices que hemos pasado juntos.

A Diego, por permitirme soñar a tu lado, por creer en mí, por todos los planes que juntos hemos emprendido y por enseñarme lo necesario que es disfrutar la vida.

A todos mis amigos de la Facultad de Ciencias con los día a día que he crecido.

## **Cambios paleolimnológicos en el Lago de Texcoco durante los últimos ca. 34,000 años con base al análisis de diatomeas**

### **RESUMEN**

El objetivo central de este trabajo es identificar eventos paleolimnológicos en el Cuaternario tardío en la subcuenca de Texcoco mediante el análisis de diatomeas en una secuencia estratigráfica (TXB), y asociarlos con eventos climáticos regionales. Se analizaron muestras de sedimento de una secuencia estratigráfica de 10.76 m de largo (TXB), extraída del Lago de Texcoco, Cuenca de México que abarca aproximadamente los últimos ca. 34 ka AP. La secuencia TXB fue dividida en cuatro zonas con base en un análisis de agrupamientos.

La actividad volcánica registrada en la zona central de la Cuenca de México antes de los ca. 34 ka AP y hasta los ca. 5 ka AP fue intensa. En el intervalo de los ca. 34 ka AP a los ca. 26 ka AP, el Lago de Texcoco fue principalmente somero, alcalino, de salinidad alta y con poca vegetación acuática. Hacia el fin del periodo se presentan fluctuaciones marcadas por un incremento de nivel lacustre, seguido por una disminución del tirante de agua. A los ca. 26 ka AP se presenta actividad volcánica que marca el fin de ésta fase.

Entre los ca. 26 ka AP y los ca. 23 ka AP se reduce levemente la salinidad del lago. En el intervalo de los ca. 23 ka AP y los ca. 19 ka AP se presenta un incremento en la salinidad, lo cual indica una fase de relativa sequía. Durante el intervalo de los ca. 19 ka AP a los ca. 17 ka AP el registro es interrumpido por la actividad volcánica.

En el registro de diatomeas de TXB entre los ca. 17 ka AP a los ca. 14.4 ka AP se sugiere una fase de poca salinidad y abundante cubierta de vegetación acuática y subacuática. Está es la fase menos salobre del registro, en la que se deduce que el cuerpo principal del Lago de Texcoco se redujo en extensión. Como consecuencia la zona donde se

## RESUMEN

---

recuperó la secuencia TXB se convirtió en un ambiente litoral con influencia de aportes estacionales de agua dulce, con acarreo de sedimentos muy finos.

Posterior al *hiatus* detectado entre los ca. 14.4 ka AP y los ca. 6.1 ka AP, se identificó un periodo en el que hay una pobre preservación de diatomeas, lo cual indica que entre ca. 6.1 ka AP y ca 1.5 ka AP Texcoco era un cuerpo de agua muy salobre e intermitente.

Para la época reciente se registra se registra una leve recuperación en el nivel lacustre entre los ca. 1.5 ka AP y los ca. 1.2 ka AP, hacia condiciones de un lago permanente, somero, de salinidad y alcalinidad elevadas, lo que indica el establecimiento de un pantano rico en vegetación acuática.

---

La presente tesis formó parte de las actividades desarrolladas en el taller "Cambio climático global y reconstrucción de ambientes cuaternarios lacustres" durante el periodo 2000-2001 dentro del Plan de Estudios 1997 de la Facultad de Ciencias para la Licenciatura de Biología. Los cuatro niveles del taller fueron impartidos en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México por :

Dra. Socorro Lozano García. Instituto de Geología, UNAM.

Dra. Margarita Caballero Miranda. Instituto de Geofísica, UNAM.

Dra. Beatriz Ortega Guerrero. Instituto de Geofísica, UNAM.

Mtra. María Susana Sosa Nájera. Instituto de Geología, UNAM.



---

## CONTENIDO

Pág.

<b>RESUMEN</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 MARCO TEÓRICO .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	5
1.3 ANTECEDENTES .....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	8
<b>2. AREA DE ESTUDIO</b>	
<b>LA CUENCA DE MÉXICO. SUBCUENCA DE TEXCOCO</b>	
2.1 LOCALIZACIÓN .....	10
2.2 FISIOGRAFÍA E HIDROLOGÍA .....	12
2.3 CLIMA Y VEGETACIÓN .....	12
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
3.1 EXTRACCIÓN DE LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA .....	14
3.2 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE SEDIMENTO .....	16
3.3 ELABORACIÓN DE PREPARACIONES Y ANÁLISIS AL MICROSCOPIO.....	16
3.4 PARÁMETROS ECOLÓGICOS .....	17
3.5 FOTOGRAFÍAS MICROGRAFÍAS .....	20
<b>4. RESULTADOS</b> .....	21
<b>5. DISCUSION</b> .....	32
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	39
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	41

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 MARCO TEÓRICO

Los lagos son sistemas en los que existe un balance hidrológico entre mecanismos de entrada (precipitación, aporte de ríos, deshielos en las montañas, etc.) y salida (evaporación, infiltración, etc.) en el cuerpo de agua. Este balance hidrológico depende en gran medida de la variabilidad del clima (Fritz *et al.*, 1999).

En las cuencas cerradas o endorreicas, los cambios en el nivel del lago están asociados fundamentalmente a cambios del balance hídrico, entre precipitación y evaporación. Las fluctuaciones en el nivel lacustre modifican la salinidad y la composición iónica del lago por concentración o dilución (Fritz *et al.*, 1999), lo cual tiene un efecto directo en sus comunidades biológicas, como por ejemplo en las diatomeas.

El clima es el promedio de las condiciones atmosféricas (temperatura, precipitación y presión) en un amplio intervalo de tiempo. Para fines estadísticos generalmente se utilizan promedios de 30 años, la variabilidad del clima resulta más o menos complejo ya que la superficie terrestre interacciona con los otros componentes del sistema climático (atmósfera, hidrósfera, criósfera y biosfera) en todas las escalas de tiempo. El clima es controlado fundamentalmente por mecanismos externos (actividad solar y parámetros orbitales o ciclos de Milancovitch) e internos (esfericidad de la Tierra, gases atmosféricos, albedo, circulación atmosférica global, distribución de masas continentales, etc.) que determinan los cambios en el clima, operando a distintas frecuencias (Fritts, 1991; Bryant, 1997; Bradley, 1999). Los factores que modifican el clima localmente son la latitud, la altitud, la orografía, las corrientes oceánicas y los vientos dominantes.

Las diatomeas, pertenecientes a la división Bacillariophyta, son algas unicelulares que presentan una pared celular silicificada denominada frústulo. Está constituido por dos valvas (hipovalva y epivalva) y una serie de bandas laterales que en conjunto se denominan cíngulo (Fig. 1). El tamaño de las diatomeas varía de 5-2000  $\mu\text{m}$  de longitud. Los frústulos de las diatomeas presentan muy diversas formas y ornamentaciones. Las características taxonómicas quedan establecidas con base en su morfología, de manera general se las clasifica en los ordenes Pennales (simetría bilateral) y Centrales (simetría radial). Las diatomeas como grupo presentan un amplio espectro de hábitats (planctónicos,

ticoplanctónicos y epifíticos) y viven en intervalos muy amplios de salinidad, pH y concentración de nutrimentos, en ambientes continentales o marinos.

Cada especie tiene intervalos estrechos en los que se desarrolla óptimamente; de manera que hay especies típicamente marinas, salobres y de aguas dulces más o menos diluidas. Las diatomeas son especialmente sensibles a los cambios en el nivel y composición química lacustre. Debido a ello son ampliamente usadas como indicadoras en estudios paleoambientales.

El estudio de la morfología de las valvas de las diatomeas nos permite la identificación taxonómica hasta el nivel de especie, es posible contar con registros de la distribución y abundancia de las diatomeas en perfiles estratigráficos que reflejan asociaciones ecológicas en el pasado, todo lo cual hace factible su utilidad como paleoindicadoras en reconstrucciones ambientales (Bradbury, 1971; Battarbee, 1986; Smol, 1990). Las asociaciones de las especies de diatomeas revelan indirectamente las cualidades químicas del lago como pH, salinidad, concentración de nutrientes, etc. (Battarbee, 1986).

No obstante, en algunos casos la identificación taxonómica y el registro de la abundancia de especies resulta difícil, debido a la disolución y fractura de las valvas provocada por la elevada alcalinidad del medio y por periodos de desecación en los lagos (Bradbury, 1989).

Los registros *proxy* son cualquier evidencia que permite medir indirectamente las condiciones ambientales o climáticas del pasado (Lowe and Walker, 1998), pueden ser de origen geológico, glaciológico y biológico (Williams *et al.*, 1994). Entre los principales registros *proxy* de origen biológico se encuentran las diatomeas, a lo largo del tiempo las valvas de las diatomeas pueden ser acumuladas en el fondo de los lagos al quedar preservadas en los sedimentos debido a su composición silíceas (Battarbee, 1986; Smol, 1990), nos proveen de información acerca de la química y del nivel lacustre (Bradley, 1999; Markgraf, 2001).

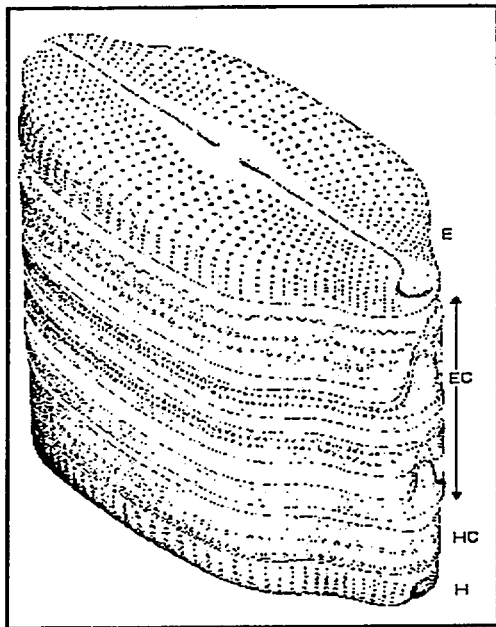


Figura 1. Esquema del frústulo de una diatomea pennada. Epivalva E. Epicingulo con 4 bandas EC. Hipocingulo incompleto HC. Hipovalva H (Tomado de Round *et al.*, 1992).

En ausencia de observaciones físicas directas, los registros *proxy* han sido empleados en las reconstrucciones paleoclimáticas, partiendo del hecho de que las relaciones que actualmente operan entre los sistemas naturales y el clima fueron similares en el pasado. Los registros *proxy* nos informan de las condiciones climáticas en unas cuantas décadas o en grandes periodos (Bradley, 1999). A través de los registros *proxy* es posible estimar las señales climáticas en un registro más o menos continuo. Los cambios en el registro climático son detectables dependiendo de la escala de tiempo empleada en las reconstrucciones climáticas (Bradley, 1999) y de la calidad de los datos.

A través de muchas décadas y mediante un enorme esfuerzo multidisciplinario, diferentes grupos de científicos de todo el mundo han empleado diferentes registros *proxy*. Sus trabajos en conjunto han hecho posible reconstruir eventos climáticos globales a lo largo del tiempo. Durante el último millón de años se han presentado ciclos de condiciones frías y cálidas (glaciar/interglaciar) con una frecuencia de ca. 100 ka AP (Lowe and Walker, 1998; Williams *et al.*, 1994). El último ciclo glacial/ interglacial inicia a los ca. 130 ka antes del presente (AP) y culmina a los 10 ka AP (Lowe and Walker, 1998), este ciclo presenta varias fases de enfriamiento. El máximo volumen de hielo en el planeta se ha documentado entre el intervalo de los ca. 20 y los ca. 18 ka AP que corresponde con OIS 2 (Oxygen Isotope Stage 2), este intervalo se conoce como el último máximo glacial. Hace ca. 15 ka AP- ca. 12 ka AP se inicia el deshielo de los casquetes glaciares. El límite entre el Pleistoceno y el Holoceno se establece en ca. 10 ka AP (Williams *et al.*, 1994), cuando condiciones más cálidas se establecen en el planeta. En el Holoceno temprano se ha registrado un intervalo comprendido entre los ca. 9 ka AP y los ca. 6 ka AP, que es considerado como el óptimo climático del hemisferio norte, en donde los veranos eran más cálidos que en la actualidad. Condiciones climáticas similares a las presentes se establecen alrededor de los ca. 4 ka AP.

Los registros paleoclimáticos regionales proporcionan evidencias y proveen las bases para validar las hipótesis acerca de las posibles causas del cambio climático (Bradley, 1999; Markgraf, 2001). Los datos de los registros en conjunto, nos permiten tener una apreciación de manera integral acerca del clima y de la dinámica de los sistemas naturales para comprender la variabilidad del clima, en una escala mayor de tiempo geológico (Fritts, 1991), adicionalmente proporciona las bases para elaborar modelos de simulación que nos permiten entrever condiciones climáticas futuras (Fritts, 1991).

## 1.2 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Identificar los eventos paleolimnológicos ocurridos en los últimos ca. 34 ka AP en la subcuenca de Texcoco, Cuenca de México mediante el análisis de diatomeas en una secuencia estratigráfica TXB y asociarlos con eventos climáticos regionales.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Identificación taxonómica de diatomeas en la secuencia estratigráfica TXB, subcuenca de Texcoco, Cuenca de México.
- 2) A través de la revisión de la ecología de especies de diatomeas actuales establecer analogías que permitan reconstruir las condiciones paleolimnológicas de la subcuenca de Texcoco en la secuencia estratigráfica TXB.
- 3) Comparar la reconstrucción paleolimnológica con base en diatomeas con los datos de litología, susceptibilidad magnética, cambios en la vegetación previamente analizados en la secuencia estratigráfica TXB, para reconstruir con mayor detalle la paleolimnología de los últimos ca. 34 ka AP en la subcuenca de Texcoco, interpretando los cambios en términos paleoclimáticos.

## 1.3 ANTECEDENTES

La Cuenca de México se localiza entre los 19° 00' y 20° 15' N y los 98° 15' y 99° 30' O en la región central de la Faja Volcánica Transmexicana. Los lagos de la Cuenca de México ubicados en la zona septentrional son: Zumpango al noreste y Xaltocan al noroeste; en la zona meridional se encuentra el Lago de Texcoco y en la parte nororiental se ubican los lagos de Xochimilco al suroeste y Chalco al sureste.

Debido a la importancia del subsuelo de la Cuenca de México en los trabajos de ingeniería, se han realizado estudios sobre la estratigrafía de la cuenca (Bryan, 1948;

Zeevat, 1952; Foreman, 1955). Las secuencias de Zeevat fueron empleadas para hacer los primeros estudios paleoambientales (Clisby y Sears, 1955; Bradbury, 1971), sin embargo, hasta los 80's se tuvo una visión integral de la evolución del sistema lacustre de la Cuenca de México, en la que se incluyen estudios del Lago de Texcoco (Bradbury, 1989; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1989) y Chalco (Bradbury, 1989; Caballero, 1995; Caballero y Ortega, 1998).

El registro paleolimnológico de Texcoco (Bradbury, 1989), incluye análisis de diatomeas, estratigrafía y tefras fechadas con radiocarbono de la secuencia Chapultepec en la orilla oeste, de 46 m de profundidad y en una zona central en Cruz del Lago, de 7.2 m de profundidad. La secuencia de Chapultepec, tiene los fechamientos de 27.2 ka AP (9m) y 4.3 ka AP (2m), mientras que para Cruz del Lago tiene 26.5 ka AP (7m), 18.7 ka AP (3.2m) y 11.68 ka AP (2.6m). El registro de Chapultepec tiene baja resolución cronológica, lo que dificulta su correlación con el núcleo de Cruz del Lago, además de que representa ambientes locales, litorales, con influencia de manantiales. Es por ello que la secuencia de Cruz del Lago es una mejor aproximación a una reconstrucción paleolimnológica del Lago de Texcoco.

Bradbury identifica varias etapas en el Lago de Texcoco; de los ca. 26.5 ka AP a los ca. 24 ka AP describe un lago somero y salino, en el que dominan *Anomoeoneis costata*, *Nitzschia frustulum* y *Navicula elkab*. Entre ca. 24-23 ka AP. describe a un lago alcalino, un poco menos salino y más abierto debido a la presencia de las especies ticiplanctónicas *Campylodiscus clypeus*, *Chaetoceros sp.*, *Surirella peisonis*, *Surirella hoffleri* y *Surirella striatula* que indican condiciones de menor salinidad. Una reconstrucción similar sugiere para los ca. 19 ka AP, con fluctuaciones en los porcentajes de *Anomoeoneis costata* de ambiente bentónico y salino y *Surirella peisonis* considerada ticiplanctónica. Posterior a este nivel se pierde la preservación de diatomeas, por lo que infiere condiciones de un lago intermitente con un clima seco por lo menos durante los últimos ca. 15 ka AP. Existe un *hiatus* en la secuencia entre los ca. 14.5 ka AP y los ca. 11.68 ka. AP. Para lo más reciente hay poca resolución de datos estratigráficos y mala preservación de diatomeas.

El registro palinológico, de susceptibilidad magnética y pérdida por calcinación de Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998) de la secuencia estratigráfica TXB de la subcuenca de Texcoco, fue estudiado con el propósito de registrar cambios

paleoambientales durante el Cuaternario tardío en la Cuenca de México (Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998). Las tefras Tlahuac (TI) y Tlapacoya 2 (T2) encontradas en la secuencia TXB fueron descritas y correlacionadas por Ortega y Newton (1998).

El registro polínico de la secuencia TXB sugiere un periodo de clima húmedo entre los ca. 34 ka AP y los ca. 23 ka AP (glacial temprano), seguido por condiciones secas y frías entre los ca. 23 ka AP a los ca. 18 ka AP (máximo glacial) con una reducida presencia de *taxa* subacuáticos y acuáticos. Las autoras sugieren que las condiciones frías y secas continuaron durante los ca. 18 AP a los ca. 14 ka AP (glacial tardío).

Lozano- García y Ortega-Guerrero registran un *hiatus* de sedimentación de los ca. 14.5 ka AP a los ca. 6.1 ka AP, e identifican en el Holoceno temprano – medio, como un periodo con una tasa alta de evaporación y un clima más cálido, pero que representa una etapa de mayor humedad comparada con el final del Pleistoceno. A los ca. 1.5 ka AP hay una reducción significativa de polen arbóreo y se incrementaron las asociaciones herbáceas debido a prácticas de deforestación.

El registro paleolimnológico en el Lago Chalco de Caballero y Ortega (1998) abarca más de ca. 40 ka AP. Las autoras sugieren que antes de los ca. 40 ka AP Chalco era un lago profundo, alcalino, salobre y con fluctuaciones de nivel posiblemente estacionales (Caballero 1995). A los ca. 39 ka AP el nivel lacustre descendió, con una breve recuperación entre ca. 35 ka AP y ca. 30 ka AP. Posteriormente ocurrió una transición entre los ca. 30 ka AP y los ca. 22.5 ka AP en la cual descendió considerablemente el nivel lacustre. Dentro de este intervalo Chalco era un lago pantanoso salino y alcalino. De los ca. 22.5 ka AP a los ca. 18.5 ka AP se recuperó el nivel lacustre moderadamente convirtiéndose en un lago de agua dulce, este cambio pudo no tener causas climatológicas, de cambios en el drenaje local. Entre los ca. 18.5 ka AP y hasta los ca. 14 ka AP el nivel lacustre volvió a reducirse, en este intervalo se registraron fluctuaciones entre aguas ácidas y neutras, posiblemente debido a la actividad volcánica. En el intervalo de los ca 14 ka AP a los ca. 10 ka AP hay una tendencia hacia una recuperación en el nivel lacustre con vegetación acuática y subacuática muy abundante. La transición entre el Pleistoceno y el Holoceno (ca. 10 ka AP) es marcada por un nivel bajo y condiciones salobres y alcalinas en Chalco que se extienden hasta los ca. 6 ka AP. Para el Holoceno tardío el registro de



Chalco carece de resolución, pero sugiere una recuperación del nivel lacustre posterior a los ca. 6 ka AP.

#### 1.4 JUSTIFICACIÓN

Para comprender eventos que dieron origen a la formación de la Cuenca de México, así como la evolución del extenso sistema lacustre que la caracterizó y su importancia como entorno de los primeros pobladores, es necesario ampliar y profundizar en las investigaciones paleoecológicas.

Existen diferentes estudios paleoclimáticos y paleoambientales en la Cuenca de México que han contribuido a la descripción de las fluctuaciones en las condiciones paleolimnológicas y paleoclimáticas de éste sistema lacustre de baja latitud durante el Cuaternario tardío. Estos estudios han sido: a) con base en estudios de paleomagnetismo y vulcanología (Urrutia-Fucugauchi y Martín del Pozzo, 1993); b) estratigrafía, tefracronología y palinología (Bryan, 1948; Zeevaert 1953; Mooser *et al.*, 1975; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998); c) paleolimnología (Bradbury, 1971; Bradbury, 1989, Caballero, 1998). Sin embargo, aún quedan preguntas por resolver, como por ejemplo detallar las fluctuaciones del nivel lacustre y la composición química en la zona central de la Cuenca de México.

Las reconstrucciones paleoclimáticas son de gran importancia ya que, en conjunto, el conocimiento que se genera a partir de estudios interdisciplinarios ofrece la posibilidad de reconstruir e interpretar eventos ocurridos en diferentes escalas de tiempo y en diferentes lugares para poder comprenderlos y correlacionarlos con procesos globales. La magnitud y duración de éstos procesos no siempre se registra de igual manera en todas las regiones, debido a la influencia de múltiples factores (latitud, altitud, orografía, actividad volcánica, etc.). De igual forma los diferentes registros *proxy* pueden ser más ó menos sensibles a las señales climáticas.

Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998) realizaron la reconstrucción paleoclimática de la secuencia TXB mediante el análisis de polen y susceptibilidad magnética. Sin embargo, considero necesario complementar los datos de la subcuenca de Texcoco con el empleo de diatomeas como paleoindicadoras para precisar el nivel del lago, salinidad y

alcalinidad ya que durante los últimos ca. 34 ka AP Texcoco ha presentado variabilidad como sistema lacustre reflejando cambios importantes asociados al clima. La naturaleza de esta variabilidad sin embargo, ha sido difícil de precisar debido a la complejidad del sistema.

## 2. AREA DE ESTUDIO

### 2.1 LOCALIZACIÓN

La Cuenca de México se localiza entre los 19° 00' y 20° 15' N y los 98° 15' y 99° 30' O en la porción central de la Faja Volcánica Transmexicana (Mooser, *et al.*, 1975). El Eje Volcánico Transversal atraviesa la República Mexicana a la altura de los 19° y 20° N, desde el océano Pacífico al océano Atlántico y en él se encuentran las principales elevaciones topográficas del país (Rzedowski, 1994). La Cuenca de México abarca una extensión superficial de 9,600 km<sup>2</sup> (Mooser *et al.* 1975), rodeada por un sistema montañoso que presenta una accidentada orografía. El rango altitudinal va de los ca. 2,220 m en las planicies centrales y hasta los ca. 5,450 m snm (García y Cardoso, 1982). Es una cuenca endorréica de tipo tectónico-volcánico formada probablemente hace menos de 0.78-0.79 Ma con el desarrollo de la Sierra del *Chichinautzin* en el extremo sur (Urrutia-Fucugauchi y Martín del Pozzo, 1993). Distintos eventos volcánicos han quedado registrados como acumulaciones de cenizas, lavas, tobas y brechas en la zona (Mooser *et al.*, 1975).

La Cuenca de México se encuentra delimitada al norte por la Sierra de Pachuca; al oeste, por la Sierra de Tepetzotlán, la Sierra de Monte Bajo, Sierra de Monte Alto y Sierra de las Cruces; al sur, por la Sierra del *Chichinautzin*; y al este, por la Sierra de Calpulalpan, Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada (SRH, 1971), en la que destacan los volcanes Popocatepetl (5,450 m) e Iztaccíhuatl (5,280 m) como resultado de una intensa actividad volcánica plio-cuaternaria (Mooser *et al.*, 1975; Demain, 1978).

En la planicie de la zona meridional de la Cuenca de México está situada la subcuenca de Texcoco, se encuentra localizada entre los 19° 22' y 19° 37' N y 98° 54' y 99° 03' O a una altitud promedio de 2,240 m snm (SRH, 1971; Mooser *et al.*, 1975) (Fig.2).

A 11

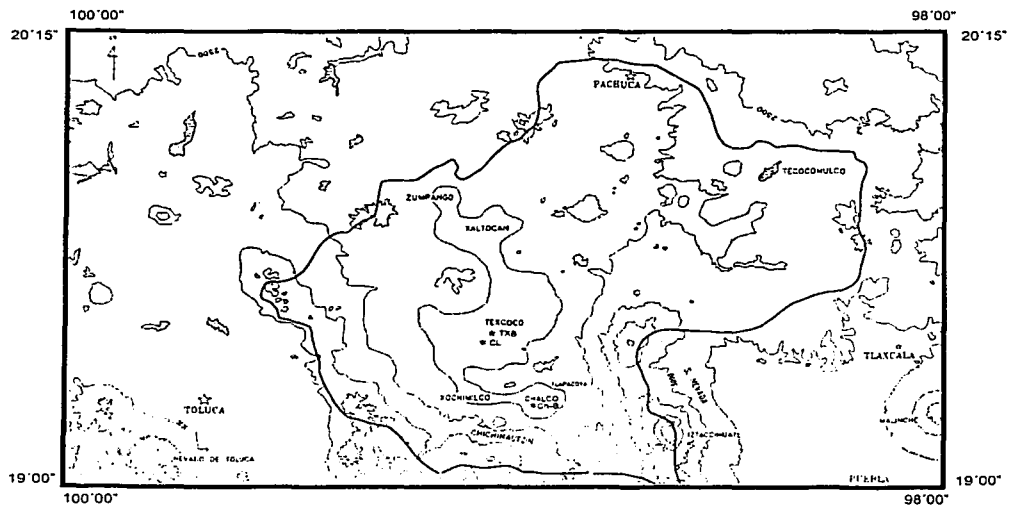


Figura 2. Mapa de la Cuenca de México. La estrella indica el sitio de perforación del núcleo TXB en Texcoco. El asterisco indica el sitio aproximado de perforación del núcleo Cruz del lago (CL) en Texcoco (Bradbury, 1989) y del núcleo Ch-B en Chalco (Caballero y Ortega, 1998).

## 2.2 FISIOGRAFÍA E HIDROLOGÍA

La Cuenca de México ha sido dividida en tres zonas fisiográficas: meridional, septentrional y nororiental. La zona meridional está limitada al este por la Sierra Nevada y la Sierra de Río Frío; al sur, por la Sierra del *Chichinautzin*; al oeste, por la Sierra de las Cruces; y al norte por la Sierra de Guadalupe, Cerro de Chiconautla y la Sierra Patlachique. La zona septentrional de la cuenca está conectada a la zona meridional por el estrecho de San Cristóbal, entre el Cerro de Chiconautla y la Sierra de Guadalupe y se extiende hacia el norte en dirección a la Sierra de Pachuca.

La zona nororiental presenta la menor superficie, está caracterizada por muchas elevaciones volcánicas menores y carente de drenaje bien definido, formando una franja al este que ocupa un espacio llano entre la Sierra de Río Frío y la Sierra de Pachuca (Mooser *et al.* 1975).

En la zona nororiental están localizados los lagos Zumpango al noreste y Xaltocan al noroeste; en tanto que en la zona meridional se encuentra el lago Texcoco (el más salino de todos) y en la parte septentrional Xochimilco al suroeste y Chalco al sureste.

El Lago de Texcoco es alimentado al oriente por los ríos San Juan Teotihuacan, Papalotla, Xalapango, Coxacoaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica y Coatepec; al sur por los ríos San Francisco, la Compañía (Canal de Ayotla) y Churubusco (SRH, 1971; Mooser *et al.*, 1975 ).

## 2.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima de la Cuenca de México se clasifica como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La precipitación no es homogénea, la más abundante se registra en los meses de mayo a octubre, los seis meses restantes suelen ser secos. La precipitación media anual es de 700 mm y la temperatura media anual de 15° C (Mooser, *et.al.* 1975). Los principales tipos de clima que existen en la Cuenca de México son BS<sub>1</sub>, Cw<sub>0</sub>, Cw<sub>1</sub>, Cw<sub>2</sub>b', Cw<sub>2</sub>c, ETH y EFT (García y Cardoso, 1982).

El clima en la subcuenca de Texcoco de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (SRH,1971) es BS<sub>1</sub>Kw(w)(1'), es semiseco con verano lluvioso fresco, temperatura del mes más caliente inferior a 18° C e invierno con total de lluvia menor al 5% del total anual. La precipitación media anual es de 600 mm. El periodo lluvioso queda comprendido de mayo a octubre (en él se registra el 87.8% de la precipitación media anual) y el periodo seco de noviembre a abril (comprende el 12.2% restante). La temperatura media anual es de 15.3° C.

Los principales tipos de vegetación presentes en la Cuenca de México son: asociación de *Opuntia* con arbustos, chaparral y pastizales, bosque de pino-encino, bosque de pino y bosque de pino-abeto (García y Cardoso, 1982). Se distinguen en términos generales el siguiente gradiente de humedad: entre las planicies y las sierras el matorral de *Opuntia*, en las zonas más secas, principalmente en el vaso de Texcoco; el pastizal y chaparral domina en las zonas bajas y en las sierras y en las zonas con mayor humedad domina los bosques de pino, pino-encino y pino-abeto.

En la subcuenca de Texcoco la vegetación es halófila y se caracteriza por habitar los sustratos con elevada concentración de sales y pH alcalino (6.5-12.0) que se encuentran a menos de 2,240 m de altitud. La mayor parte de la vegetación tiene la forma de pastizal bajo y denso, está formado por plantas herbáceas terrestres, encontrándose entre las especies dominantes a *Distichlis spicata* L (Greene) y *Eragrostis obtusiflora* (Fourn.) Scribn). Las comunidades típicas arraigadas y emergidas son los tulares de *Typha latifolia* L., *Scirpus lacustris* L. y *S. pungens* Vahl que alcanzan 2 a 3 metros de altura. De menor altura son las comunidades de *Juncus balticus* Willd y *Echinochloa crus-galli* (L.). La vegetación flotante generalmente consiste está formada por *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms), *Lemna giba* L., *L. valdiviana* Philipi y *Wolffia columbiana* Karsen (SRH,1971; Rzedowski y Rzedowski, 1979 y 1990).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 EXTRACCIÓN DE LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA

Los núcleos TXA y TXB, perforados en la zona central del Lago de Texcoco formaron parte de un proyecto para estudiar la evolución de la vegetación y de los lagos de la Cuenca de México durante el Cuaternario tardío. Las secuencias estratigráficas TXA (Sandoval, 2000) y TXB (Lozano-García y Ortega-Guerrero 1998) han sido objeto de diferentes estudios.

Los núcleos TXA y TXB fueron extraídos en 1991 por la Compañía TGC Geotecnia, se empleó un sistema de cono eléctrico programable dependiendo de la dureza del estrato a perforar, usando tubos *Shelby* (de acero) en los estratos de mayor resistencia y los tubos TGC (de aluminio) para los estratos más blandos. Para el manejo y la transportación, los núcleos se cubrieron con manta de cielo, parafina y tapas de plástico. En el presente estudio únicamente fue analizada la secuencia estratigráfica TXB por ser la de mayor longitud con 10.8 m de profundidad (Fig.3).

El núcleo fue cortado longitudinalmente en dos partes, se marcó la profundidad en cada una de las secciones y se describió la litoestratigrafía. El sedimento fue submuestreado cada 5 cm aproximadamente y el sedimento fue recuperado en bolsas de plástico. Las muestras de sedimento se emplearon para los análisis de polen, susceptibilidad magnética y pérdida por calcinación (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998).

Las muestras de sedimento también fueron utilizadas para ostrácodos y diatomeas en este trabajo. Cinco muestras de sedimento y tefra (ceniza volcánica) fueron fechadas con  $^{14}\text{C}$  (Accelerator Mass Spectrometry ó AMS radiocarbon) en el Laboratorio del Departamento de Física de la Universidad de Arizona (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998).

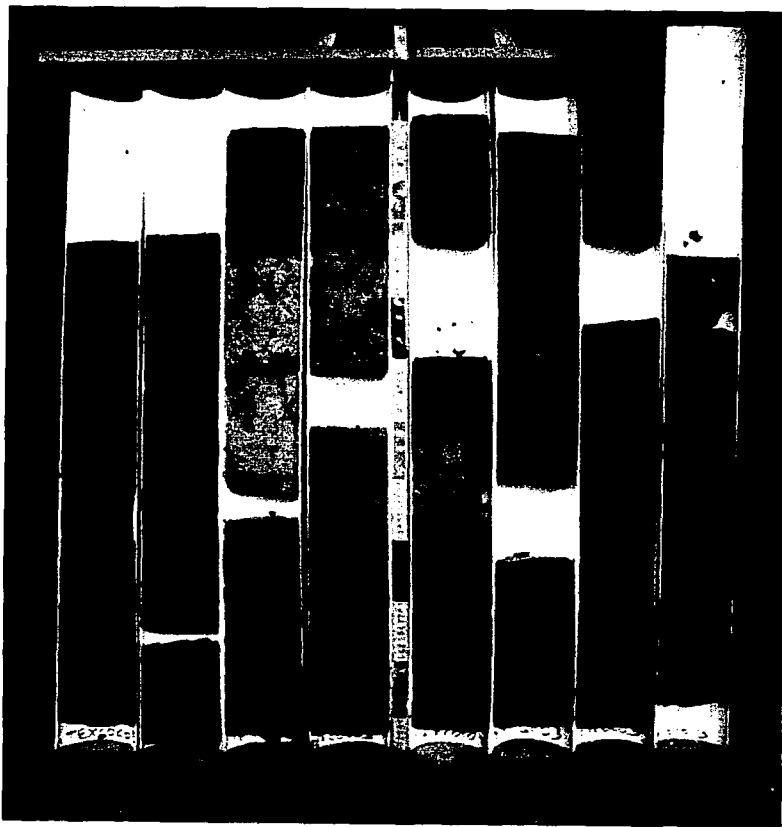


Figura 3. Secuencia estratigráfica TXB de 10.8 m de profundidad descrita por Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998). Se observan los cambios en la litoestratigrafía, entre los más importantes destaca la presencia de las tefras Tlapacoya 2 (T2) que se encuentra entre los 10.8 m y los 10.46 m con > ca. 34 ka AP y Tlahuac (TI) a los 4.87 m de ca. 14.4 ka AP. La secuencia fue fechada por Ortega y Newton (1998).



### 3.2 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE SEDIMENTO

Las muestras para diatomeas fueron secadas a 70° C durante 12 horas y se pesaron 0.50 g de cada una. Ya secas las muestras se trataron con ácido clorhídrico al 10% y peróxido de hidrógeno concentrado, calentadas a 90° C, para eliminar carbonatos y materia orgánica respectivamente. Cuando las muestras dejaron de reaccionar se les agregó una gota de detergente líquido (Extran®) como dispersante. Para neutralizar el pH las muestras procesadas se decantaron con agua destilada, dejando precipitar 24 horas entre cada decantación. El pH fue medido con tiras de papel indicador (pHydrion papers®) y posteriormente se envasaron en frascos de 30 ml y se etiquetaron.

### 3.3 ELABORACIÓN DE PREPARACIONES Y ANÁLISIS AL MICROSCOPIO

La preparación de las muestras se realizó con diluciones 1:5, colocando alícuotas de 200 µl de la dilución sobre los cubreobjetos dejando evaporar. Los portaobjetos se colocaron en una placa de calentamiento (parrilla eléctrica) durante 5 minutos. Cuando los portaobjetos estaban lo suficientemente calientes se les colocó una gota de resina de alto índice de refracción (Naphrax®) y se montaron los cubreobjetos con las alícuotas evaporadas.

La identificación taxonómica de las especies se llevó a cabo mediante la observación en los microscopios ópticos BH2 Olympus y BX50 a 1,000x (Lám. I y II) y en el microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-35C a diferentes aumentos (Lám. II). Se utilizó bibliografía especializada para diatomeas continentales como: Gassé, 1980 y 1986; Williams and Round, 1987; Hustedt, 1991; Round *et al.*, 1992; Krammer y Lange-Bertalot, 1997; Stormer *et al.*, 1999 y Lange-Bertalot, 2001.

Dada la baja abundancia de diatomeas en esta secuencia, se contó un mínimo de 100 valvas y posteriormente se expresó en porcentaje (abundancia relativa). En el caso de algunas preparaciones no fue posible contar 100 y se contaron 40 como mínimo. La abundancia total de diatomeas se obtuvo del promedio de cuatro transectos por preparación y se aplicó la siguiente fórmula (Battarbee, 1986) :

$$\text{Diatomeas por } 10^6 \text{ en } 1\text{g de sedimento} = \text{Pt} \frac{(A)Vt}{(a)(Vpp)(x)} (f)$$

Pt = diatomeas promedio por transecto

A= área del cubreobjetos

Vt=volumen final (30 ml)

a= área del campo visual del transecto

Vpp= alicuota de la preparación

f= dilución (1:5)

x= g iniciales de sedimento (0.50 g)

### 3.4 PARÁMETROS ECOLÓGICOS DE LAS DIATOMEAS

Los requerimientos específicos de pH, salinidad y hábitat definen las categorías que a continuación se describen:

-pH. Para definir los intervalos de distribución de pH se siguió la clasificación de Hustedt (1937-1938) modificada por Caballero (1995), de manera que la categoría indiferente se separa en circumneutral baja y circumneutral alta, únicamente fueron considerados los valores de  $\text{pH} \geq 7$  debido a que en el Lago de Texcoco las especies reportadas pertenecen a categorías por arriba de ese valor (Tab.1).

**Circumneutral baja:** especies que prefieren aguas poco turbias con pH cercano a 7 y sólidos disueltos totales (SDT) <250 mg/l.

**Circumneutral alta:** especies que prefieren aguas levemente turbias con pH alrededor 7, pero toleran  $\text{pH} \geq 7$  y SDT 250 mg/l.

**Alcalífila:** especies que toleran en aguas con pH 7, pero tienen mejor desarrollo a  $\text{pH} \geq 7$ .

**Alcalibionte:** especies que sólo se les puede encontrar en aguas alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ).

-Espectro de halobiión. Las categorías de halobiión es una modificación de Lowe (1974) (Tab. 1).

**Oligohaloba:** especies que viven en ambientes de agua dulce con concentración de sales de menos de 500 mg/l.

**Indiferente:** especie que tolera ambientes con concentración baja de sales.

**Halófila:** especie que prefiere ambientes con concentración baja de sales (hasta 500 mg/l).

**Mesohaloba:** especie que vive en ambientes salobres en concentraciones de 500 a 30,000 mg/l.

-Hábitat específico. La distribución específica de microhábitat de las diatomeas consistió en cuatro categorías, como una modificación a las categorías descritas por Lowe en 1974 (Tab. 1).

**Planctónica:** vive suspendida en la columna de agua, su movimiento y distribución dependen de las corrientes de agua.

**Ticoplanctónica:** normalmente vive adherida a un sustrato (perifítica) y ocasionalmente suspendida en la columna de agua.

**Perifítica:** vive fija sobre un sustrato, sin precisión sobre el tipo de sustrato (rocas, sedimento, plantas, etc.).

**Aerófila:** especie tolerante a ser expuesta al aire debido al descenso ocasional del nivel del agua.

Tabla 1. Cuadro de requerimientos específicos de hábitat, salinidad y pH de las diatomeas encontradas en el núcleo TXB.

Especie	Hábitat	Halobion	pH
<i>Achanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarn	Pf	If	Cn alta
<i>Alaucoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Pl	If	Af
<i>Amphora coffeaeformis</i> (Agardh) Kützing	Pf	Mh	Af
<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg	Pf	If	Af
<i>Amphora veneta</i> Kützing	Pf	If	Af
<i>Anomoeoneis sphaerophora</i> (Ehrenberg) Pfitzer	Pf	Mh	Ab
<i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenberg	Tp	Mh	Ab
<i>Chaetoceros sp.</i>	Pl	Mh	Cn alta
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	Pf	Hf	Af
<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve	Pf	Hf	Af
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Tp	Hf	Ab
<i>Cyclotella sp.</i>	Tp	?	?
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurk	Pf	If	Cn alta
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	Pf	If	Cn alta
<i>Craticula elkab</i> (O. Müller) Lange-Bertalot	Tp	Hf	Ab
<i>Denticula valida</i> (Pedicino) Grunow	Pf	If	Af
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	Pf	Hf	Cn alta
<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	Pf	Hf	Cn alta
<i>Stausosira capuchina</i> (Desmazières) Williams & Round	Tp	If	Af
<i>Stausosira construens</i> (Ehrenberg) Williams & Round	Tp	If	Cn alta
<i>Ghomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson	Pf	If	Ab
<i>Ghomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	Pf	If	Af
<i>Navicula veneta</i> Kützing	Tp	If	Af
<i>Navicula sp.</i>	Tp	?	?
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	Pf	If	Af
<i>Nitzschia constricta</i> (Kützing) Ralfs	Pf	Hf	Af
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow	Tp	Hf	Ab
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	Tp	In	Cn alta
<i>Pinnularia sp.</i>	Af	?	?
<i>Planolithidium lanceolatum</i> (Brébisson) Round & Bukht	Pf	If	Cn baja
<i>Pseudostausosira brevistriata</i> (Grunow in Van Heurk) Williams & Round	Tp	If	Cn alta
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	Pf	Hf	Af
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller	Pf	Hf	Af
<i>Rhopalodia musculus</i> (Kützing) O. Müller	Pf	Hf	Af
<i>Punctasiriata pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round	Tp	If	Cn alta
<i>Stephanodiscus sp.</i>	Pl	Mh	Cn alta
<i>Surirella aff. Peisonis Pantocsek</i>	Pf	Hf	Af
<i>Surirella striatula</i> Turpin	Pl	Mh	Cn alta

Hábitat. Plancónica (Pl), Ticoplancónica (Tp), Perifítica (Pf) y Aerófila (Af).

Halobion. Oligohaloba: Indiferente (If), Halófila (Hf), y Mesohaloba (Mh).

pH. Circumneutral (Cn alta), Circumneutral baja (Cn baja), Alcalófila (Al) y Alcalobionte (Ab).

### 3.5 FOTOGRAFÍAS Y MICROGRAFÍAS

Las diatomeas fueron observadas en el microscópico óptico mediante preparaciones y fotografiadas digitalmente con el *software Image-Pro Plus* en el Laboratorio de Paleolimnología en el Instituto de Geofísica, UNAM (Lám. I y II).

Las preparaciones para tomar microfotografías se obtuvieron utilizando muestras de algunas de las diluciones, obtenidas anteriormente. Se colocaron en portaobjetos de cristal y se dejaron evaporar. Las preparaciones fueron recubiertas, algunas con una capa de carbón y otras con oro. Las fotografías de microscopía electrónica de barrido fueron tomadas con el equipo JEOL JSM-35C en el Laboratorio de Microscopía del Instituto de Geología, UNAM (Lám. II).

#### 4. RESULTADOS

En la secuencia estratigráfica TXB los primeros 1.5 m corresponden a material de relleno reciente empleado en obras hidráulicas en el lago, por lo cual el submuestreo se inició a partir de esa profundidad. La estratigrafía (fechaada con  $^{14}\text{C}$ ), los datos de pérdida por calcinación y susceptibilidad magnética fueron presentados por Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998) y se resumen en la figura 4.

Las valvas de las diatomeas generalmente se encontraron fragmentadas y disueltas, producto de un medio alcalino y periodos de sequía en el Lago de Texcoco. En algunos casos esto hizo difícil la identificación taxonómica. La secuencia de diatomeas del núcleo TXB se caracteriza por la alternancia de dos especies con abundancias muy altas, que caracterizan las diferentes zonas del registro: *Cyclotella meneghiniana* y *Nitzschia* aff. *palea*. Estas especies son reportadas como abundantes en los sitios Jalapango y Lago Recreativo, ambos relictos del antiguo Lago de Texcoco (Caballero, 1995). Ambos cuerpos de agua son someros (<1m) y alcalinos (pH ca. 9), pero con características químicas diferentes. Jalapango es un pantano, formado por inundación por aguas de arroyos y de lluvia en las orillas de la zona de recuperación ecológica de Texcoco. Jalapango es rico en vegetación acuática, con aguas salobres (conductividad eléctrica de 2,360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), con sodio y carbonatos como iones dominantes. Lago Recreativo es un lago somero en la zona central de la cuenca de Texcoco, mantenido para la protección de aves migratorias. El Lago Recreativo es un cuerpo de agua abierto (sin vegetación acuática), muy salobre (conductividad eléctrica 7,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), con sodio y cloro como iones dominantes. Posiblemente estos parámetros químicos fueron similares en el Lago de Texcoco, por lo que se asume que el conjunto de diatomeas dominado por *Cyclotella meneghiniana* indica condiciones de lago somero, turbio, muy salobre y alcalino, propias del cuerpo lacustre principal del Lago de Texcoco. El conjunto dominado por *N.* aff. *palea* indica, en contraste condiciones de un pantano litoral, sostenido por el aporte de agua de lluvia y arroyos, de salinidad media y con abundante cubierta vegetal. Esto, junto con los datos ecológicos presentados en la Tabla 1, forman la base de la interpretación paleolimnológica del registro TXB.

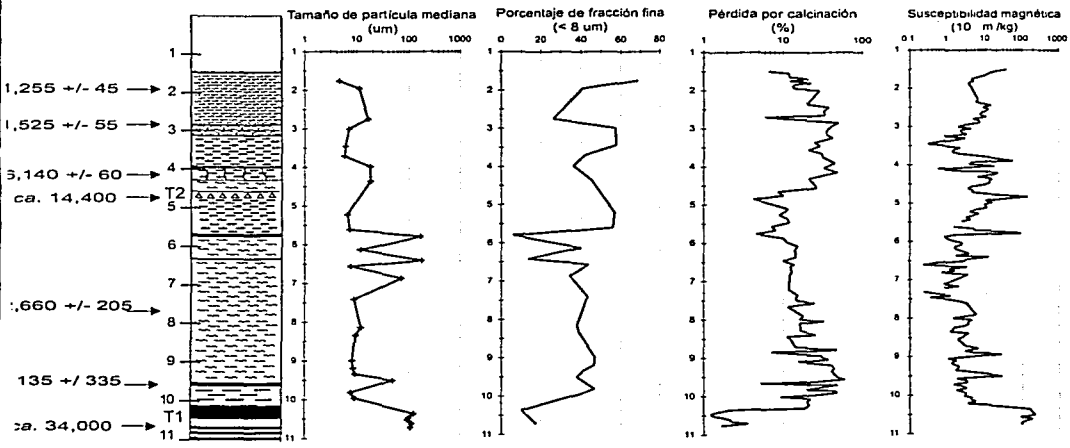


Figura 4. Análisis de variación de tamaño de partícula, pérdida por calcinación y susceptibilidad magnética de la secuencia estratigráfica TxB (modificado de Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998).

La secuencia TXB fue dividida en cuatro zonas con base en un análisis de grupos (CONISS, Grimm, 1993). Las zonas I y III fueron subdivididas en subzonas, se calcularon fechas aproximadas para las cuatro zonas de la secuencia mediante interpolación entre las fechas disponibles asumiendo tasas de sedimentación constantes entre los horizontes fechados.

**Zona IV:** abarca de 10.76 a 9.29 m ( $\geq$  ca. 34 ka AP - ca. 26 ka AP). Está delimitada por dos tefras. En la base, la ceniza basáltica que corresponde a la Tefra Tláhuac (Tl) de más de ca. 34 ka AP, descrita por Ortega-Guerrero y Newton (1998). En la cima están presentes 3 cm de ceniza negra y lapilli de color amarillo, fechados en ca. 26.13 ka AP (Fig. 5).

En esta zona se observan fluctuaciones drásticas en la abundancia de: *Cyclotella meneghiniana*, *Craticula elkab* (sin. *Navicula elkab*) y *Nitzschia frustulum*, todas ellas comunes de ambientes salobres y alcalinos (Tabla 1). En la base de la zona domina *C. meneghiniana* y con menor frecuencia se encuentran las especies *N. frustulum*, *N. aff. palea* y *Surirella* aff. *peisonis*. En la muestra 10.31 m la especie dominante es *Craticula elkab*, asociada con la diatomea planctónica *Chaetoceros* sp. y la especie perifítica *Amphora coffeaeformis*. Esta muestra tiene la abundancia total más alta del registro. En la parte superior codominan *N. aff. palea* y *Cyclotella meneghiniana* y posteriormente *N. frustulum* (Fig. 5).

Estos cambios en las asociaciones de diatomeas indican la presencia de un lago somero alcalino, de salinidad alta, con poca vegetación acuática y subacuática que presentó variabilidad en el nivel lacustre. Se marca un evento de incremento en el nivel, indicado por la abundancia de *Chaetoceros* el cual es seguido por una disminución en el tirante de agua y un incremento en la cubierta vegetal, indicada por la abundancia de *Nitzschia* aff. *palea* y *N. frustulum*.

**Zona III:** abarca de 9.29 a 5.76 m (ca. 26 ka AP - ca. 17 ka AP) y está subdividida en tres subzonas (Fig. 5).





La subzona III-c queda comprendida de 9.29 a 7.96 m (ca. 26 ka AP – ca. 23 ka AP). En esta subzona se observa una mayor diversidad de especies. *Cyclotella meneghiniana* es abundante, asociada a *Nitzschia* aff. *palea*. Otras especies ticoplanctónicas como, *Campylodiscus clypeus*, *Surirella striatula* también están presentes. Las perifíticas *Surirella* aff. *peisonis*, *Anomoeoneis sphaerophora*, *Rhopalodia musculus*, se encuentran con baja frecuencia. Las especies perifíticas de ambientes menos salobres como *Amphora libyca* y *Cocconeis placentula* var. *lineata* están presentes con una frecuencia mínima, pero significativa. La abundancia de *C. meneghiniana* en la subzona es constante, excepto por una baja frecuencia en la parte inferior que corresponde con un pico de abundancia de *N. aff. palea*.

Los conjuntos de diatomeas indican que este periodo inició con condiciones relativamente someras y con abundante vegetación acuática (pico de *N. aff. palea*). Las condiciones dominantes durante el periodo fueron, sin embargo, las de un lago salobre y alcalino. La presencia de especies perifíticas indiferentes (incluida *N. aff. palea*) indica abundante vegetación acuática y condiciones de salinidad levemente menor.

La subzona III-b abarca de los 7.96 a los 6.51 m (ca 23 ka AP – ca. 19 ka AP). Esta subzona es dominada por *Cyclotella meneghiniana*. El conjunto de las especies ticoplanctónicas *Nitzschia* aff. *palea*, *N. frustulum*, *Surirella* aff. *peisonis* y perifíticas *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Anomoeoneis sphaerophora*, *Rhopalodia musculus*, *Amphora libyca* y *Campylodiscus clypeus* presentan baja frecuencia.

Este conjunto indica condiciones similares a las de Lago Recreativo, es decir un lago somero, con salinidad alta, con presencia de vegetación acuática.

La subzona III-a abarca de los 6.51 a los 5.8 m (ca.19 ka AP - ca.17 ka AP). comprende dos horizontes de tefra, a los 6.4 m una negra con lapilli amarillo de 3 cm de espesor y a los 5.8 m una ceniza de 7 cm de espesor. En estos niveles la abundancia de especies decrece considerablemente en la secuencia estratigráfica y sólo se tiene una muestra positiva entre ambos horizontes de tefra.

Esta muestra tiene un conjunto de diatomeas similar a la zona III-c, sin embargo la interpretación limnológica es limitada dado que solo se tiene una muestra positiva. Se infiere un lago somero, salobre y alcalino, con presencia de vegetación acuática.

**Zona II:** comprende de los 5.8 a los 4.10 m (ca. 17 ka AP – ca. 6.1 ka AP). Incluye a la tefra Tlapacoya 2 (T2) presente a los 4.87 m, fechada en ca. 14.4 ka AP por  $^{14}\text{C}$  y descrita por Ortega-Guerrero y Newton (1998) (Fig. 5).

La zona II está caracterizada por una gran diversidad de diatomeas tanto de ambiente salobre como afines a salinidad un poco mas baja (Tabla 1, Fig. 5). En la zona domina *Nitzschia* aff. *palea*, a diferencia de las zonas anteriores en las que domina *Cyclotella meneghiniana*.

Esta asociación sugiere un ambiente similar a Xalapango, esto es un pantano de inundación estacional a las orillas del cuerpo lacustre principal y con menor salinidad.

En esta zona, arriba de los 4.87 m, está presente la tefra Tlapacoya (T2), no hay preservación de diatomeas, únicamente en la muestra 4.30 m existe registro dominado por *Cyclotella meneghiniana*. Esto sugiere la presencia de un lago somero y salino.

Las fechas con que se cuenta para éste intervalo (4.87-4.10 m) indican que existe un *hiatus* de sedimentación posterior a la tefra Tlapacoya 2 entre los ca. 14.4 ka AP y los ca. 6.1 ka AP. Sin saberse con mayor precisión la magnitud de la ausencia del registro sedimentario. Esto se interpreta como un periodo donde el nivel lacustre es muy bajo, ó inclusive seco (Fig. 5).

**Zona I:** comprende de los 4.30 a los 1.5 m ( ca. 6.1 ka AP - ca. 1.1 ka AP). Fue subdividida en dos subzonas (Fig. 5).

La **subzona I-b** comprende de los 4.10 a los 2.7 m (ca. 6.1 ka AP – ca. 1.5 ka AP), incluye un depósito de material volcánico de color amarillo de 2 cm. En esta subzona la abundancia de diatomeas es extremadamente baja por lo que fue imposible realizar conteos, esto se interpreta como un lago sumamente somero e intermitente, lo cual favorecía la falta de preservación de diatomeas en estos sedimentos.

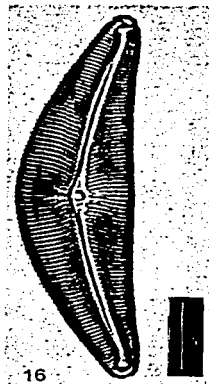
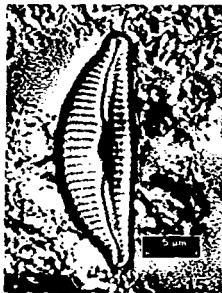
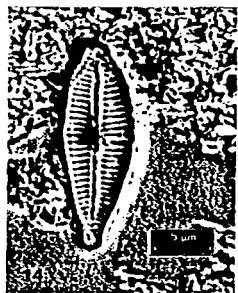
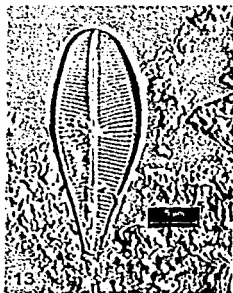
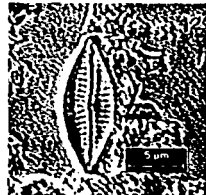
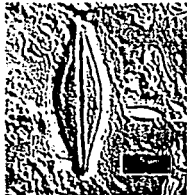
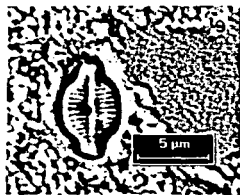
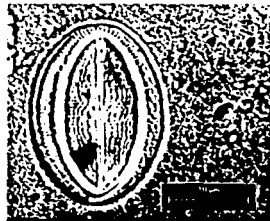
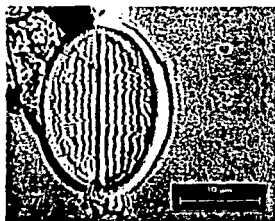
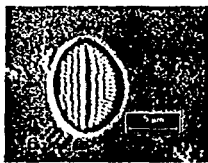
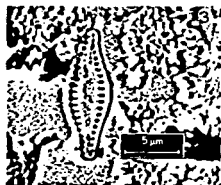
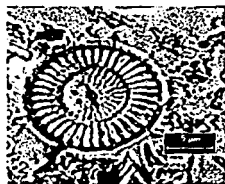
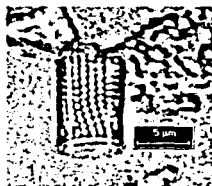
La subzona I-a comprende de los 2.7 a los 1.5 m (ca. 1.5 ka AP – ca. 1.1 ka AP). A lo largo de la subzona domina *Cyclotella meneghiniana*, es comparable a la abundancia observada en la base del registro (zona IV) y en la subzona III-b. La dominancia de *C. meneghiniana* en la subzona es constante, excepto por una baja frecuencia en la parte superior que corresponde con un pico de abundancia de *Nitzschia* aff. *palea*. En la base de la subzona las especies perifíticas *Amphora libyca*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Cymbella mexicana* y *Epithemia turgida* presentan una frecuencia baja. En la parte superior de la subzona se incrementa la abundancia de *N. aff. palea*, *Navicula veneta* y *Amphora veneta*, con una baja frecuencia se encuentran *Surirella* aff. *peisonis*, *Cocconeis placentula* var. *lineata* y *Pinnularia* sp.

La dominancia de *Cyclotella meneghiniana* sugiere condiciones lacustres de alta salinidad, alcalinidad elevada y escasa vegetación acuática. En la parte superior de la subzona las condiciones indican menor salinidad y mayor cubierta de vegetación acuática.(Fig. 5).

## LAMINA I

- Fig.1: *Alaucoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen  
Fig.2: *Cyclotella meneghiniana* Kützing  
Fig.3: *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow in Van Heurk) Williams & Round  
Fig.4: *Punctastriata pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round  
Fig.5: *Staurosira capuchina* (Desmazières) Williams & Round  
Fig.6: *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow  
Fig.7-8: *Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehrenberg) Van Heurk  
Fig.9: *Achanthidium exiguum* (Grunow) Czarn.  
Fig.10: *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round & Bukht  
Fig.11: *Craticula elkab* (O.Müller) Lange-Bertalot  
Fig.12: *Navicula veneta* Kützing  
Fig.13: *Ghomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson  
Fig.14: *Ghomphonema parvulum* (Kützing) Kützing  
Fig.15: *Cymbella affinis* Kützing  
Fig.16: *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve

(Fig. 1-18 1000x)



## LAMINA II

Fig.1: *Anomoeoneis sphaerophora* (Ehrenberg) Pfitzer

Fig.2: *Nitzschia* aff. *palea* (Kützing) W. Smith

Fig.3: *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow

Fig.4: *Nitzschia constricta* (Kützing) Ralfs

Fig.5: *Amphora libyca* Ehrenberg

Fig.6: *Amphora coffeaeformis* (Agardh) Kützing

Fig.7: *Denticula valida* (Pedicino) Grunow

Fig.8: *Rhopalodia musculus* (Kützing) O. Müller

Fig.9: *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller

Fig.10: *Surirella* aff. *peisonis* Pantocsek

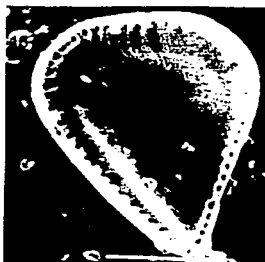
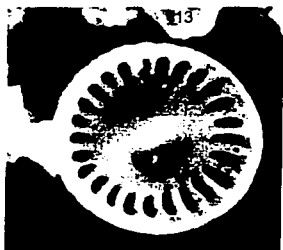
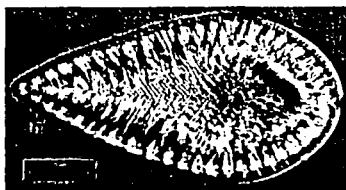
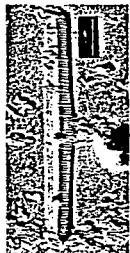
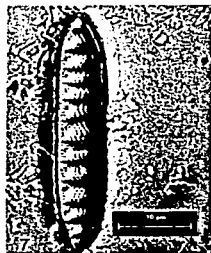
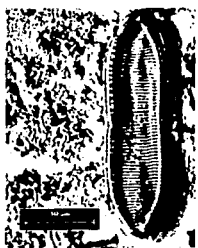
Fig.11: *Surirella striatula* Turpin

Fig.12: *Campylodiscus clypeus* Ehrenberg

Fig.13-15: *Cyclotella meneghiniana* Kützing, Fig. 15 Detalle de la fultopórtula central.

Fig.16-17: *Surirella* aff. *peisonis* Pantocsek, Fig. 17 Detalle de la superficie valvar.

(Fig.1-12 1,000x, MEB Fig. 13 3000 x, Fig. 14 8,600x, Fig. 15 13,000x, Fig. 16-17 3,000x)





## 5. DISCUSIÓN

### IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

La identificación taxonómica de diatomeas en el registro TXB resultó difícil debido a que las valvas se encontraban disueltas o fragmentadas, particularmente en el intervalo correspondiente a la zona I-b. Este mal estado de preservación se considera como resultado de periodos de elevada alcalinidad y sequía en el Lago de Texcoco (Bradbury, 1989). Las especies identificadas en TXB son muy similares a las reportadas por Bradbury (1989) para Cruz del Lago. La diferencia principal entre ambos registros radica en la abundancia de *Nitzschia* aff. *palea*, que no es reportada para Cruz del Lago, que en TXB forma una parte muy importante de las asociaciones estudiadas. La presencia de esta especie se toma como indicativa de condiciones de menor salinidad en el lago, tomando como base su distribución reciente en la zona de Texcoco (Caballero, 1995).

En especial, *Nitzschia* aff. *palea* y *Surirella* aff. *peisonis* presentaron mayor dificultad en su identificación taxonómica debido a la gran variación en la forma de las valvas. La longitud de *N. aff. palea* varía de < de 15 a 70  $\mu\text{m}$  y de 2.5 a 5  $\mu\text{m}$  de ancho. En cuanto a *Surirella*, en el registro de Cruz del Lago, Bradbury (1989) identifica a *Surirella striatula*, *S. peisonis* y *S. hoefleri*. *S. striatula* difiere de *S. peisonis* y *S. hoefleri*, entre otras características, por tener un margen valvar elíptico, y su identificación en TXB no fue problemática. En TXB existe también otra especie de *Surirella* (Lám. 2, Figs. 10 y 16) con margen valvar heteropolar con respecto al eje transapical (ovado-espatulado), común a *S. peisonis* y *S. hoefleri*. Las características de la especie presente en el registro TXB son más parecidas a *S. peisonis*. *Surirella peisonis*, pero difiere de esta especie dado que presenta una marcada depresión en forma semicircular en el plano valvar similar a *S. hoefleri*. Sin embargo la forma de ésta depresión difiere entre *S. hoefleri* y la forma presente en TXB, dado que en *S. hoefleri* la depresión se localiza en una mitad de la cara valvar con relación al eje apical, mientras que en la forma presente en TXB la depresión se presenta en una mitad de la cara valvar con respecto al eje transapical.

## INTERPRETACIÓN PALEOLIMNOLÓGICA

A continuación se integran el análisis de polen, pérdida por calcinación y susceptibilidad magnética del núcleo Texcoco B (TXB) publicado por Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998) y el análisis de diatomeas realizado en el presente trabajo. Los datos se comparan con los registros de diatomeas de Cruz del Lago de Texcoco (Bradbury, 1989) y Chalco (Caballero y Ortega, 1998).

En el registro TXB de diatomeas, la zona IV, que corresponde con el intervalo de más de los >ca. 34 ka AP a los ca. 26 ka AP, indica principalmente las condiciones de un lago somero, alcalino, de salinidad alta, con poca vegetación acuática; aunque el nivel lacustre en este intervalo es fluctuante. En general, la abundancia de diatomeas en la secuencia TXB es muy baja, excepto en la profundidad 10.31 m en donde es significativamente alta (Fig. 5); ésta muestra corresponde con un evento de incremento en el nivel lacustre, pero manteniendo sus características de alta salinidad, indicado por la presencia de *Chaetoceros sp.* Posterior a este evento el lago registra una disminución de nivel y un incremento en la cubierta de vegetación acuática.

La zona de diatomeas IV correlaciona estratigráficamente con la zona polínica TXB-D3 de Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998). Esta zona es interpretada como indicativa de condiciones relativamente húmedas. Nuestros datos apoyan la presencia de un cuerpo de agua permanente durante este periodo, pero de características salobres y con fluctuaciones de nivel. Este intervalo termina con la presencia de una tefra, marcada en el registro de susceptibilidad magnética como un máximo a los 9.61 m y fechada en ca. 26.14 ka AP.

La base del registro de Cruz del Lago (Bradbury, 1989) se caracteriza por la presencia de *Navicula elkab* y *Chaetoceros sp.*, lo que hace suponer que correlaciona con la parte superior de la zona IV (10.31 m) donde estas especies también son importantes. Bradbury (1989) interpreta el conjunto de la parte basal de Cruz del Lago (ca. 26.5 ka AP a ca. 25 ka AP) como indicativo de un lago somero y salino, pero con fluctuaciones en el nivel lacustre, lo cual correlaciona y apoya la interpretación realizada para la zona IV de TXB.

Durante el intervalo representado por la zona IV del núcleo TXB (> ca. 34 ka AP – ca. 26 ka AP) en el registro de Chalco (Caballero y Ortega, 1998), se reporta un lago salobre con la presencia de *Chaetoceros* y *Navicula elkab*, y con una tendencia hacia un menor nivel lacustre, el cual alcanzó un mínimo hacia los ca. 23 ka AP. La condición salobre de ambos lagos y las similitudes entre las floras de diatomeas, hace suponer que existía una conexión entre ambos durante el intervalo >34 – ca. 26 ka AP, posiblemente formando un solo espejo de agua.

En el registro de TXB durante entre los ca. 26 ka AP a los ca. 17 ka AP (zona III), el registro de diatomeas indica una fase inicial (III-c, ca. 26 – 23 ka AP) en donde domina un lago alcalino y salobre, pero de salinidad menor a la fase anterior y con mayor cubierta de vegetación acuática. Este intervalo es seguido por una fase de condiciones más salobres (III-b, ca. 23 ka AP – ca. 19 ka AP) que culmina con la caída de dos tefras entre ca. 19 ka AP y ca. 17 ka AP. La única muestra positiva entre las dos tefras (III-a) indica la presencia de un cuerpo de agua similar al de la zona III-c.

La subzona III-c correlaciona estratigráficamente con las subzonas polínicas TXB D2 y D1. Ambas subzonas son interpretadas como periodos húmedos, con la presencia de un cuerpo de agua permanente. El registro de diatomeas de TXB indica que el lago pasó por una fase levemente menos salobre entre ca. 26 ka AP y los ca. 23 ka AP. La correlación con el registro de polen sugiere que esta reducción en salinidad pudo estar ocasionada por un incremento en la precipitación en la zona, lo que favoreció una leve disminución en la salinidad del cuerpo de agua.

El final de la subzona polínica D1 traslapa con la subzona de diatomea III-b, y es marcado por una drástica reducción en la cubierta arbórea, que sugiere el inicio de una fase más seca. Las subzonas de diatomeas III-b y III-a (ca. 23 ka AP – ca. 17 ka AP) correlacionan con la zona polínica TXB-C (subzonas TXB-C2 y TXB-C1), que indica una fase de condiciones secas y una reducción en nivel lacustre. El registro de diatomeas indica la presencia de un lago de salinidad elevada, mayor a la fase precedente. La correlación con el registro de polen sugiere que este aumento de salinidad estuvo asociado a una reducción en la extensión lacustre, que favoreció el aumento de salinidad en el lago. Sin embargo se infiere la presencia de un cuerpo de agua permanente.

En el registro de Cruz del Lago, Bradbury (1989) indica que entre los ca. 24 ka AP a los ca. 23 ka AP se registra la presencia de *Surirella peisonis*, lo que interpreta como una señal de un leve incremento en la profundidad del lago. Esto es consistente con el registro de TXB ya que esta fase levemente más profunda correlaciona la subzona de diatomeas III-c y las subzonas polínicas D2 y D1 (ca. 26 ka AP a ca 23 ka AP), que han sido interpretadas como indicativas de un período de mayor humedad y condiciones de menor salinidad en el lago.

Entre ca. 23 ka AP y ca. 19 ka AP el registro de Cruz del Lago tiene una señal confusa, pero sin la presencia de *Surirella peisonis*, lo que es interpretado por Bradbury (1989) como indicativo de una disminución de nivel lacustre y aumento en la salinidad. Este intervalo corresponde con la subzona III-b, y zona polínica TXB-C2, que han sido interpretados como una fase de sequía, con la presencia de un lago de menor extensión y mayor salinidad. A los ca. 19 ka AP *Surirella peisonis* reaparece en el registro de Cruz del Lago, Bradbury interpreta esto como un evento breve de mayor nivel lacustre. En TXB solo se tiene una muestra que correlaciona con este evento, (III-a, ca. 19 ka AP- ca. 17 ka AP), por lo que la interpretación es limitada.

En Chalco, Caballero y Ortega (1998) indican la presencia de un lago salobre con una tendencia a la reducción de nivel lacustre entre los ca. 30 ka AP y los ca. 22.5 ka AP. Esta tendencia en Chalco hacia menor nivel lacustre contrasta con el registro de Texcoco, dado que para el intervalo entre ca. 26 ka y ca. 23 ka AP se registra un periodo relativamente húmedo con menor salinidad en el lago. Ambos lagos, sin embargo, tienen aguas salobres y niveles bajos. Entre los ca. 22.5 ka AP y los ca. 18.5 ka AP Chalco presentó un cambio a condiciones más profundas y de aguas dulces). Este cambio de salinidad en el Lago de Chalco fue interpretado por Caballero y Ortega (1998), no como un evento climático, sino como un cambio de drenaje de la cuenca asociado a un evento volcánico del Popocatepetl. El registro TXB apoya esta interpretación, dado que para fechas similares se registra una señal de sequía y un cuerpo de agua menos extenso y muy salobre (subzona III-b y zona TXB-C). Estos datos indican que hacia ca. 22.5 ka AP los dos cuerpos de agua son independientes, y Chalco drena hacia Texcoco.

En el registro TXB de diatomeas se identifica un intervalo de los ca. 17 ka AP a los ca. 14.4 ka AP (zona II) en el cual se presentan las condiciones de un lago menos salobre

y con mayor presencia de vegetación acuática y subacuática. La zona II es la fase menos salobre en este registro, marcada por una alta diversidad de diatomeas, incluyendo la presencia de especies tolerantes a menor salinidad, la dominancia de *N. aff. palea* y presencia limitada de *C. meneghiniana*. Hacia la cima de esta zona, asociada a la tefra T2, hay una abundancia mínima de diatomeas. Posterior a los ca. 14.4 ka AP hay una breve recuperación del ambiente lacustre (ca. 8.2 ka AP?) y un posible hiato de sedimentación hasta los ca. 6.1 ka AP.

La zona de diatomeas II (ca. 17 ka AP y los ca. 14.4 ka AP) correlaciona con la zona polínica TXB-B de Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998), que es interpretada como una continuación de las condiciones secas, con la presencia de un lago salino y somero. El registro de diatomeas de TXB, indica que Texcoco pasó por una fase levemente menos salina, por lo menos en la localidad en la que se recuperó el núcleo TXB. Cabe mencionar que la zona polínica TXB-B es la única caracterizada por la presencia del alga *Pediastrum*, lo que confirma que este intervalo tuvo características lacustres distintas a las zonas anteriores del registro, posiblemente con aguas más oxigenadas y con mayor afinidad con ambientes lóticos. En un lago de la extensión y salinidad de Texcoco es difícil explicar un período como el registrado de menor salinidad. Tomando en cuenta que el registro polínico sugiere que ésta fue una fase de sequía, y que el tipo de ambiente en el que se encontró a *N. aff. palea* en Texcoco es un ambiente netamente litoral (Caballero, 1995), con aporte de agua dulce, se sugiere que durante este intervalo la zona en la que se recuperó el núcleo TXB estuvo fuera del cuerpo lacustre principal y fue dominada por el aporte de agua dulce. Este intervalo se caracteriza por un incremento en la fracción fina en los sedimentos, lo que podría indicar influencia de arroyos.

En Cruz del Lago, ésta fase corresponde con la pérdida del registro de diatomeas, que Bradbury relaciona con condiciones de salinidad fluctuante y desecación periódica apoyando la interpretación de que condiciones de sequía dominaron entre los ca. 19 y 15 ka AP.

En Chalco de los ca. 18 ka AP a los ca. 14 ka AP Caballero y Ortega (1998) se registran una disminución del nivel lacustre, con la presencia de condiciones pantanosas y

fluctuaciones entre aguas neutras-ácidas, lo cual parece confirmar la tendencia hacia condiciones más secas en la cuenca de México.

En el registro de TXB existe un *hiatus* de sedimentación identificado entre los ca. 14.5 ka AP (tefra T2) y los ca. 6.1 ka AP (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998). En el registro de Cruz del Lago (Bradbury, 1989) también se identifica un *hiatus* marcado entre los ca. 14.5 ka AP a los ca. 11.6 ka AP. Por lo que se infieren condiciones secas en el lago para este intervalo.

Para el lago de Chalco se registra una tendencia hacia un leve incremento en el nivel lacustre entre ca. 14 ka y 10 ka AP (Caballero y Ortega, 1998), tendencia que correlaciona cronológicamente con parte del *hiatus* de sedimentación en TXB. Para el intervalo entre ca. 10 ka AP y ca. 6 ka AP. Chalco registra una marcada reducción en el tirante de agua, convirtiéndose en un pantano alcalino y salobre. Este bajo nivel lacustre correlaciona con el final del periodo en el que se registra un *hiatus* de sedimentación en TXB y con el *hiatus* reportado en Cruz del Lago.

En el núcleo TXB el *hiatus* de sedimentación está seguido por la falta de preservación de diatomeas (zona I-b, ca. 6.1 ka AP – ca. 1.5 ka AP, Fig. 5). En Cruz del Lago (Bradbury, 1989) también existe, para el mismo intervalo, falta de preservación de diatomeas. La subzona I-b correlaciona con la zona de polen TXB-A2, caracterizada por la presencia de *Ruppia maritima*, que se interpreta como una fase de un lago muy salino. La mala preservación de diatomeas apoya esta interpretación y sugiere condiciones de desecación periódica. La presencia de estructuras algales de resistencia en el registro polínico es consistente con la existencia de condiciones de desecación periódica. Todo indica que la fase entre ca. 6.1 ka AP y ca. 1.5 ka AP fue un periodo de condiciones lacustres muy bajas, intermitentes y de alta salinidad y alcalinidad. Lozano y Ortega (1998) consideran, sin embargo, a este intervalo como un periodo un poco más húmedo que entre ca. 14.5 y ca. 6.1 ka AP, cuando se registra el *hiatus* en sedimentación.

Para la época más reciente, durante el intervalo de los ca. 1.5 ka AP a los ca. 1.2 ka AP el registro TXB de diatomeas (subzona I-a) sugiere un lago somero, de salinidad y alcalinidad elevadas, con una tendencia hacia menor salinidad en las últimas muestras estudiadas. Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998) proponen para la parte final del

registro TXB un pantano salobre con Cyperaceae, *Typha*, *Ruppia maritima* y estructuras de resistencia de algas (subzona polínica TXB-A1). En este intervalo se detecta la tasa de sedimentación más alta (3.33 mm/año), que junto con una reducción significativa de polen arbóreo e incremento de los taxa Amarathaceae y Poaceae, puede indicar perturbación humana asociada a prácticas agrícolas (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998). Esta fase corresponde a las edades del calendario ca. 435-800 DC (edades calibradas, Stuvier *et al.* 1998), que correlacionan con el periodo cultural Clásico ca. 300-950 DC (Sanders, 1972). Esta recuperación en el cuerpo lacustre no es reportada por Bradbury (1989), dado que en Cruz del Lago no existe preservación de diatomeas. El registro de Chalco no da información para el Holoceno tardío (Caballero y Ortega, 1998).

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados, se realizó el análisis de diatomeas de la secuencia estratigráfica TXB, proveniente del Lago de Texcoco, identificando al nivel taxonómico más bajo posible las variedades encontradas. La identificación de *Nitzschia* aff *palea* fue limitada por la mala preservación de sus valvas. La identificación de *Surirella* aff *peisonis* fue limitada porque sus características no coinciden totalmente con las descripciones de ésta especie en la literatura, principalmente por la presencia de una depresión en la mitad semicircular de la cara valvar (heteropolar con respecto al eje transapical) (Lámina 2, Fig. 10, 16).

La caracterización ecológica de las especies identificadas permitió realizar una interpretación paleolimnológica que se puede resumir en los siguientes puntos:

1. En el periodo que corresponde a más de ca. 34 ka AP hasta los ca. 26 ka AP el Lago de Texcoco fue principalmente somero, alcalino, de salinidad alta y con poca vegetación acuática. Hacia el fin del periodo se presentan fluctuaciones marcadas por un incremento de nivel lacustre, seguido por una disminución del tirante de agua. A los a los ca. 26 ka AP se presenta actividad volcánica que marca el fin de ésta fase.
2. En el periodo de los ca. 26 ka AP a los ca. 23 ka AP se reduce levemente la salinidad del lago. La correlación con el registro polínico sugiere que esta fue una etapa relativamente húmeda. Entre los ca. 23 ka AP y los ca. 19 ka AP (máximo glaciár) se presenta un incremento en la salinidad, la correlación con el registro polínico indica que esta fase fue de relativa sequía. Entre los ca. 19 ka AP y los ca. 17 ka AP el registro es interrumpido por la actividad volcánica.
3. Entre los ca. 17 ka AP a los ca. 14.4 ka AP, el registro de diatomeas de TXB indica una fase de poca salinidad y abundante cubierta de vegetación acuática y subacuática. Es la fase menos salobre del registro. Con base en la correlación con el registro polínico y la distribución reciente de *N. aff. palea* en la zona de Texcoco, se deduce que el cuerpo principal del Lago de Texcoco se redujo en extensión. Como consecuencia la zona donde se recuperó la secuencia TXB se convirtió en un ambiente litoral con influencia de aportes estacionales de agua dulce, con acarreo de sedimentos muy finos.

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA



4. Después del *hiatus* detectado entre los ca. 14.4 ka AP y los ca. 6.1 ka AP, se identifica un período en el que hay una pobre preservación de diatomeas, lo cual indica que entre ca. 6.1 ka AP y ca 1.5 ka AP Texcoco era un cuerpo de agua muy salobre e intermitente.

5. En la última parte de la secuencia estratigráfica TXB, se registra una leve recuperación en el nivel lacustre entre los ca. 1.5 ka AP y los ca. 1.2 ka AP, hacia condiciones de un lago permanente, somero, de salinidad y alcalinidad elevadas. Hay consistencia con el registro de polen que indica el establecimiento de un pantano rico en vegetación acuática.

**7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Battarbee, R. 1986. Diatom analysis. *In: Handbook of Holocene Palaeoecology*. Ed. John Wiley and Sons. 170 pp.
- Bradbury, J. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico evidence from diatoms. *Limnology and Oceanography* 16: 180-200.
- \_\_\_\_\_. 1989. Late Quaternary lacustrine paleoenvironments in the Cuenca de Mexico. *Quaternary Science Reviews*, 8: 75-100.
- Bradley, R. 1999. *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*. Second Edition Academic Press. 613 pp.
- Bryan, K. 1948. Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México en relación a los cambios climáticos. *Boletín de la Sociedad Geológica de México* 13: 1-20.
- Bryant, E. 1997. *Climate Process and Change*. Ed. Cambridge. 209 pp.
- Caballero Miranda, M. 1995. *Late Paleolimnology of Lake Chalco, The Basin of México*. Ph.D. Tesis Univ. Of Hull, UK. 286 pp.
- \_\_\_\_\_. 1997. The Last Glacial Maximum in the Basin of México: the Diatom record between 34,000 and 15,000 years BP. from lake Chalco. *Quaternary International* 43-44: 125-136.
- Caballero M. & B. Ortega. 1998. Lake levels since about 40,000 years Ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research* 50: 69-79.
- Cliby K. & P. Sears. 1955. Palynology in southern North America. 3. Microfossil profiles under Mexico City correlated with the sedimentary profiles. *Geological Society of America Bulletin* 66: 511-520.
- Demain, A. 1978. Características el Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación. *Instituto de Geología UNAM, Revista* 75: 70-82.
- Foreman, F. 1955. Palynology in southern North America II. Study of two cores from lake sediments of Mexico City basin. *Geological Society of America Bulletin* 66:475-509.
- Fritts, H. 1991. *Reconstruction Large-Scale Climatic patterns for Free-Rin Data*. University of Arizona. 286 pp.
- Fritz S., B. Cumming, F. Gassé & K. Laird. 1999. Diatoms as indicators of Hydrologic and climatic change in saline lakes. *In: The diatoms: applications the Environmental and Earth Sciences*. Editors Stormer, E. y J. Smol. Cambridge University Press. 469 pp.

- García, E. & Ma. D. Cardoso. 1982. Vegetation and climate in the Basin of México. *En: Latin American Regional Conference IGU, Brazil*. Ed. Instituto de Geografía UNAM. México. 172 pp.
- Gassé, F. 1980. Flore des diatomées lacustres Plio-Pléistocènes du Gadeb (Ethiopie). *Systématique Paleocologie, Biostratigraphie. Revue Algologique. Memoire num. 3*. 249 pp.
- Gassé, F. 1986. *East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution*. Ed. J. Cramer. Berlin. 201 pp.
- Grimm, E. 1993. Tilia Graph 2.1 Illinois State Museum, Springfield.
- Hustedt. 1991. *Die Kieselalgen. Deutschlands, Österreichs und Schweiz*. Reeditado por Koeltz Scientific Books & Bishen Sing Mahendra Pal Singh. Vol. I-III.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. 1997. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. 2/1-2/4*. Ed. Gustav Fisher. 876 pp.
- Lange-Bertalot, H. 2001. Diatoms of Europe. vol. 2. *Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato Frustulia*. Ed. A.R.G. Gantner Verlag K.G. Germany. 526 pp.
- Lozano-García, S. & B. Ortega-Guerrero. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Paleobotany and Palynology 99*: 77-93.
- Lowe, J. & M. Walker. 1998. *Reconstructing Quaternary environments*. Ed. Longman. 446 pp.
- Lowe, R. 1974. *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*. Ed. National Environmental Research Center. 334 pp.
- Markgraf, V. 2001. *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press. 454 pp.
- Mooser F., J. Wolfer, J. Rzedowski, G. Halfpfer & P. Reyes. 1975. *Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal*. vol. I. D.D.F. México. 182 pp.
- Ortega-Guerrero, B. & A. Newton. 1998. Geochemical characterisation of late Pleistocene-Holocene Tefra layers from the Basin of Mexico, Central Mexico. *Quaternary Research 50*: 90-106.
- Round F., R. Crawford & D. Mann. 1992. *The diatoms. Biology & Morphology of the genera*. Ed. Cambridge University Press. 747 pp.
- Rzedowski, J. & G. Rzedowski editores. 1979. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Ed. CECSA. Vol. I.

- Rzedowski, J. & G. Rzedowski editores. 1990. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Ed. CECSA. Vol III.
- Rzedowski, J. 1994. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 pp.
- Sanders, W. 1962. *Cultural ecology of nuclear Mesoamerica*. Reimprinted in : A.J. Graham (ed.) 1981. *Ancien Mesoamerica: selected readings*. Peek Publications Palo Alto, California:35-43.
- Sandoval, A. 2000. Análisis palinológico y consideraciones paleoambientales de un sondeo en el ex Lago de Texcoco, Cuenca de México. Tesis Maestría Facultad de Ciencias. UNAM. 198 pp.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1971. *Estudio agrológico especial del Ex- Lago de Texcoco*, Estado de México. SRH. México. 145 pp.
- Smol, J. 1990. Freshwater algae. In: *Methods in Quaternary ecology*. Ed. B.G. Warner. Geoscience Canada. 170 pp.
- Stormer, E., R. Kreis & N. Andresen. 1999. Checklist of Diatoms from the Laurentan Great Lakes II. *J. Great Lakes Res.* 25(3): 515-566.
- Stuiver, M., P. Reimer, E. Bard, J. Beck, G. Burr, S. Hughen, K. Kromer, F. McCormac, J.v.d. Plicht & J. Spurk. 1998. Radiocarbon calibration program. *rev. 4.3 Radiocarbon* 40:1041-1083.
- Urrutia-Fucugauchi, J. & A. Martín del Pozzo. 1993. Implicaciones de los datos Paleomagnéticos sobre la edad de la Sierra de Chichinautzin, Cuenca de México. *Geofísica Internacional* 32: 523-533.
- Williams, D. & F. Round. 1987. Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research Vol. 2* núm. 2: 267-288.
- Williams, M., D. Dunkerley, D. Deckker, A. Kershaw & T. Stokes. 1994. Quaternary environments. Ed. Routledge, Chapman and Hall. 329 pp.
- Zeevert, L. 1952. Estratigrafía y sus problemas de ingeniería en los depósitos de arcilla lacustre de la Ciudad de México. *Revista de ingeniería* 25: 12-28