



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

00316

8

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

REGISTRO PALINOLÓGICO DEL PLEISTOCENO TARDÍO-Holoceno
EN EL EXTREMO MERIDIONAL DE LA CUENCA DE MÉXICO:
PALEOAMBIENTES E INFERENCIAS PALEOCLIMÁTICAS.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (ECOLOGÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES)

292720 PRESENTA
MARIA SUSANA SOSA NÁJERA

DIRECTOR DE TESIS: DRA. SOCORRO LOZANO GARCÍA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en especial a las siguientes personas que con su apoyo, interés, amistad y consejos hicieron posible este trabajo de tesis:

A la Doctora Socorro Lozano García, directora de tesis, por compartir su conocimiento, su experiencia, su tiempo y su asesoría constante durante la realización de esta tesis.

A los miembros del jurado por sus atinadas sugerencias y valiosas observaciones que enriquecieron de manera importante la versión final de la tesis:

El Doctor Enrique Martínez-Hernández por compartir su conocimiento palinológico y su tiempo conmigo. A la Doctora Beatriz Ortega Guerrero, por compartir su registro del núcleo E de Chalco y conocimientos de susceptibilidad magnética conmigo. A la Doctora Margarita Caballero Miranda con su valiosa orientación comentarios y sugerencias para mejorar la información y estructura del trabajo. A la M. en C. Susana Xelhuantzi López quien con su trabajo, apoyo y amistad incondicional siempre me alentaron en los momentos difíciles. Al Doctor Jaime Urrutia a quien admiro como persona, profesor y amigo, por su tiempo invertido en mi formación académica. A la Doctora Isabel Israde Alcántara por su valioso apoyo y correcciones de la tesis.

Al Dr. Douglas Donahue por los fechamientos de ^{14}C en AMS. A los Doctores Jason Curtis y Mark Brenner por la realización de las lecturas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ y su colaboración en la interpretación de los mismos. Al Doctor Lorenzo Vazquez-Selem, por su asesoría en la parte de glaciaciones.

Al Señor Antonio Altamira Gallardo, por compartir conmigo su conocimiento fotográfico, su tiempo y amistad. Así como por su ayuda en el trabajo fotográfico y realización de las láminas de la tesis. A la M. en C. Margarita Reyes Salas, por la asesoría en la toma de fotografías en el Micorscopio Electrónico de Barrido.

A los Señores, Alberto Pulido, Guadalupe Gamboa, Vicente Morales y Arnulfo Jiménez por la impresión de las láminas de polen de la tesis (I-XII).

Al Instituto de Geología y en particular al laboratorio de palinología por permitirme utilizar sus instalaciones y material de laboratorio para realizar esta tesis.

De una manera muy especial a mi familia quienes siempre me han apoyado en todos sentidos: A mis tíos: Carlos, Carmen y Elisa; a mis hermanos: Mary Cruz, Arcelia, Jose de Jesus y Alejandrina, a mis cuñados, Cesar, Juan, Guadalupe y Ricardo y a mis sobrinos: Angélica, Juan, Cesar, Rodrigo y Jose Carlos.

A todos aquellos que colaboraron en el trabajo de campo y en diversos aspectos del proyecto o que de alguna u otra forma facilitaron el desarrollo de la tesis.

A mis amigos, amigas y compañeros de quienes he aprendido muchas cosas, por su cariño apoyo y consejos.

RESUMEN

Con el propósito de inferir las condiciones paleambientales y paleoclimáticas de la cuenca de México, se perforó un núcleo de 10 m, del lado este del volcán Xico (núcleo E), en la subcuenca de Chalco. Se llevó a cabo el análisis palinológico cada 8 y/o 4 cm de los sedimentos del núcleo. Se realizan cálculos de acumulación y concentración polínica para obtener flora regional y local así como de tasa de cambio de vegetación. Estos resultados son analizados, discutidos y comparados con otros indicadores paleambientales como susceptibilidad magnética isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$), contenido de materia orgánica y carbonatos.

Todos estos datos se analizan junto con los datos de polen y de esta forma se realizan inferencias de tipo climático. Los datos obtenidos se correlacionan con otros núcleos perforados en la sección oeste del volcán Xico (CH-B y CH-D), en la subcuenca de Chalco.

Así mismo se correlacionan con otros núcleos de la cuenca de México (en Texcoco; TXA, TX-B, y Cruz del lago y en Tecocomulco T-A y T-B) para conocer si el cambio climático registrado en cada uno de los núcleos nos indica un cambio regional o un cambio local y así, deducir las condiciones paleambientales y paleoclimáticas de la región.

Se realizaron 15 fechamientos de ^{14}C por AMS, lo que significa que este núcleo tiene muy buen control cronológico y que nos precisa de una manera más confiable los datos obtenidos, no así los otros núcleos de la cuenca de México.

Entre los *ca.* 16,600 y *ca.* 14,500 años AP. se establecen comunidades de clima seco frío. A los *ca.* 14,000 años AP., se presenta una expansión de los bosques, la cual es interrumpida por una actividad volcánica importante. De los *ca.* 12,000 a los *ca.* 11,000 años AP., el conjunto polínico sugiere un cambio de climas fríos húmedos a templados húmedos. De los *ca.* 11,000 a los *ca.* 5,000 años AP., los indicadores paleoclimáticos

sugieren una marcada estacionalidad climática con inviernos más fríos y veranos cálidos y de los ca. 4,400 años al presente; los indicadores paleoambientales sugieren impacto humano.

Los factores de cambio de vegetación que se infieren en este estudio son: el cambio climático (ca. 15,000 años AP., inferido por la presencia de *Mimosa*, y el vulcanismo ca. 16,000 años AP. indicado por la presencia de *Buddleia* .

Los indicadores paleoambientales locales sugieren un lago somero desde los ca. 16,600 años AP. con un ligero incremento ca. 13,000 años A.P. con un posterior decremento (el más bajo de todo el registro) ca. 9,000 años AP.

INDICE

	Página
I. Introducción.	1
I.1 Antecedentes	4
I.2 Justificación	7
I.3 Objetivos	8
II Area de Estudio	8
II.1- Fisiografía de la Cuenca de México	8
II.1.2.- Fisiografía de la Subcuenca de Chalco	9
II.2.- Unidades Litoestratigráficas	9
II.3.- Marcadores Estratigráficos volcánicos de los últimos 20,000 años A.P.	11
II.4.- Historia Glacial	12
II.5.- Hidrología de la cuenca de México	14
II.5.1.- Hidrología de la Subcuenca de Chalco	14
II.6.- Clima de la cuenca de México	15
II.6.1.- Clima de la subcuenca de Chalco	16
II.7.- Edafología de la Subcuenca de Chalco	16
II.8.- Vegetación de la Cuenca de México	16
II.8.a.- Vegetación Acuática y Subacuática	20
II.8.b.- Vegetación de la Subcuenca de Chalco	22
II.8.c.- Estudios de lluvia de polen	23
III MÉTODOLOGIA	24
III.1.- Método de Campo	24
III.2.- Método de Laboratorio	24
III.2.1.- Fechamiento	26
III.2.2.- Procesamiento de muestras para la extracción de ostrácodos	26
III.2.3.- Procesamiento de muestras para la extracción de polen	27
III.2.4.-Calcinación	28

III.2.5.- Método de Susceptibilidad Magnética	28
III.2.6.- Método de Granulometría	29
III.3.- Análisis de Gabinete	29
III.3.1.- Diagramas polínicos y análisis estadísticos de datos	29
IV RESULTADOS	33
IV.1.- Litología y geocronología de la secuencia lacustre	33
IV.2.1.- Datos fisico-químicos	36
IV.3.- Análisis Palinológico	38
IV.2.1.- Zonación	40
V.- INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
V. 1.- Caracterización de la vegetación	55
V. 2.- Evolución de las comunidades vegetales	66
V. 3.- Tasa de cambio	81
V. 4.- Correlación intralacustre	82
V.5.- Correlación interlacustre	89
VII Conclusiones	93
VIII Bibliografía	96
Anexo 1.- Síntesis de la ecología de especies	108
Anexo 2.- Diagrama de tipos polínicos no identificados	115

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y LÁMINAS

FIGURAS

	Página
Figura 1.- Mapa de Localización, Ríos y Núcleos obtenidos	10
Figura 2.- Foto del núcleo E del lago de Chalco	25
Figura 3.- Columna Estratigráfica con fechas	35
Figura 4.- Interpolación de edad del núcleo E	36
Figura 5.- Diagrama de datos fisicoquímicos del núcleo E	37
Figura 6.- Diagrama Polínico Regional. Porcentaje	sin número de pág.
Figura 7.- Diagrama Polínico Local. Conteos	sin número de pág.
Figura 8.- Concentración, Acumulación polínica y tasa de cambio de vegetación	63
Figura 9.- Conjuntos polínicos y caracterización de la vegetación regional del núcleo E	64
Figura 10.-Curvas de variación local del núcleo E de Chalco los últimos 16,600 años A.P	65
Figura 11.- Correlación entre los conjuntos polínicos de las secuencias lacustres de la cuenca de México. Secuencias del lago de Chalco CH-B, CH-D, CH-E y Chalco. Secuencias del lago de Texcoco TXA, TXB y Cruz del Intralacustre	88
Figura 12.- Cuadro sinóptico de la correlación interlacustre. Inferencias climáticas basadas en los conjuntos polínicos de las secuencias lacustres de la cuenca de México y avances glaciares del Iztaccíhuatl. lacustres de la cuenca de México del climación cada 100 años	92

TABLAS

Página

Tabla I.- Erupciones volcánicas en el sur de la cuenca de México los últimos 20,000 años A.P.	12
Tabla II.- Avances glaciares de los últimos 16,000 años AP. en la cuenca de México.	13
Tabla III.- Fechamientos de Radiocarbón por AMS.	34
Tabla IV.- Taxa arbóreos	38
Tabla V.- Taxa arbustivos y herbáceos	39
Tabla VI.- Pteridofitas	39
Tabla VII.- Taxa acuáticos	39
Tabla VIII.- Algas y Fungosporas	39
Tabla IX.- Tipos indeterminados	39
Tabla X.- Secuencia de cambio de las comunidades vegetales en la cuenca de México para los últimos 16,600 años AP.	80

LÁMINAS

Láminas de polen I-XII	sin número de pág.
LÁMINA I y II.- Grupo 1.- taxa arbóreos	
LÁMINA III, IV y V.- Grupo 2.- taxa arbustivos y herbáceos	
LÁMINA VI.- Grupo 3.- pteridofitas, briofitas y musgos	
LÁMINA VII y VIII.- Grupo 4.- taxa acuáticos y subacuáticos	
LÁMINA IX y X.- Grupo 5.- algas, fungoesporas y testaceos	
LÁMINA XI y XII.- tipos indeterminados.	

REGISTRO PALINOLÓGICO DEL PLEISTOCENO TARDÍO-HOLOCENO EN EL EXTREMO MERIDIONAL DE LA CUENCA DE MÉXICO: PALEOAMBIENTES E INFERENCIAS PALEOCLIMÁTICAS.

I. INTRODUCCIÓN:

Debido a la imposibilidad de medir directamente las variables paleoclimáticas y estimar el impacto humano y climático en el ambiente, los componentes naturales, los indicadores paleoambientales ó registros proxy son utilizados para inferir el cambio ambiental pasado. Cada indicador paleoambiental es controlado por una multitud de factores ambientales, que deben ser entendidos antes de que las condiciones pasadas puedan ser reconstruidas (Curtis *et al.*, 1998).

Por ejemplo, si consideramos un sistema lacustre, el polen preservado es determinado por la vegetación regional y local, que en turno, es influenciada por factores climáticos y factores no climáticos, incluyendo temperatura, lluvia, estacionalidad, condiciones edáficas, disponibilidad de nutrientes e impacto humano. La geoquímica de los sedimentos lacustres es controlada por procesos como: productividad del lago y transporte de materiales al lago. La relación isotópica del oxígeno del carbonato de las conchas están en función de varios factores incluyendo temperatura, composición isotópica de oxígeno del agua del lago y efectos vitales.

En cambio, el $\delta^{18}\text{O}$ del agua del lago es dependiente de la proporción de evaporación-precipitación (E/P), el $\delta^{18}\text{O}$ de precipitación y el efecto de la morfología del lago sobre el volumen hidrológico.

Los isótopos de carbono en carbonatos biogénicos reflejan la proporción de $\delta^{13}\text{C}$ del carbono inorgánico disuelto en el agua del lago, el cual es controlado por varios factores incluyendo la productividad primaria lacustre, el $\delta^{13}\text{C}$ del CO_2 atmosférico, la metanogénesis y $\delta^{13}\text{C}$ de los bicarbonatos disueltos de la cuenca. Estos últimos pueden ser afectados por cambios en la abundancia relativa de las plantas C-3 (~ -25‰) y C-4 (~ -12‰) de la cuenca, ya que las plantas a través del ciclo fotosintético reducen el CO_2 a carbohidratos y al mismo

tiempo proporcionan a los tejidos de las plantas una composición isotópica definida. Finalmente, la susceptibilidad magnética es influenciada por el tipo de material erosionado de la cuenca, su tasa de erosión y procesos diagenéticos post-depositacionales (Hawthorne & McKenzie, 1993, *In*: Curtis *et al.*, 1998). El conjunto de indicadores paleoambientales que se analizan en este estudio permiten hacer interpolaciones sobre la historia de la vegetación y evolución del ambiente.

Entre los paleoindicadores continentales más importantes tenemos el polen y las esporas. La palinología es el estudio de granos de polen de angiospermas, gimnospermas y esporas de pteridofitas, aunque también se aplica a restos de organismos cuyas moléculas orgánicas son resistentes a la acción de CaCO_3 , HF y HCl, de tamaño entre $5\text{-}500\mu$, generalmente constituidos de esporopolenina, quitina o pseudoquitina, a los cuales se les define como palinomorfos (Traverse, 1988).

Las diferentes aplicaciones de la palinología se basan en la gran diversidad morfológica y estabilidad química de la membrana externa (exina) de los granos de polen y esporas. Estos tienen una amplia diversidad de características morfológicas como son el tamaño, la forma, el tipo de abertura, la estructura y ornamentación, que permite la caracterización de cada especie vegetal y su identificación.

Uno de los aspectos de la palinología más ampliamente desarrollado es el estudio de granos de polen y esporas fósiles en sedimentos cuaternarios para reconstruir la historia de la vegetación. Dentro de las disciplinas que se conjugan en el estudio y reconstrucción paleoambiental, ésta rama suele constituir la columna vertebral. Hay varias razones por las cuales el polen y las esporas son buenos indicadores de condiciones del pasado: 1) su buena preservación, ya que se preservan mucho más fácilmente que otras partes de las plantas debido a la complejidad estructural de su pared constituida por "esporopolenina", la cuál está formada por un proceso de polimerización oxidativa de carotenoides y ésteres carotenoides, que los hace resistentes tanto a medios ácidos como alcalinos y a temperaturas altas. Es posible que la variación en la resistencia a la corrosión exhibida por varias exinas sea debida, no sólo a diferencias en el grosor de la pared, sino también a las diferentes calidades de esporopolenina presente en cada especie (Faegri e Iversen, 1989). 2) son muy abundantes en los sedimentos, encontrándose por miles en las muestras que se estudian. 3) proveen información sobre el cambio y abundancia de ciertos taxa en el sitio de depositación.

Cuando se considera el conjunto total de granos de polen de una muestra de sedimento, se obtienen datos que permiten reconstruir las comunidades de plantas en el pasado. El análisis palinológico es un método de registro y representación de la vegetación utilizado para obtener información sobre la historia de la vegetación. A partir del análisis polínico ha sido posible reconstruir en parte no sólo la historia de la flora, sino realizar inferencias sobre el clima, ya que las comunidades vegetales responden a los cambios climáticos.

Si bien el análisis de polen ofrece amplias posibilidades para documentar la historia de la vegetación en diferentes escalas temporales, esta disciplina presenta algunas dificultades como es la relativamente baja resolución taxonómica que se obtiene.

El conjunto de datos polínicos es un banco de información con diferentes niveles taxonómicos, algunas ocasiones es posible identificar los taxa a nivel específico pero generalmente solo se alcanza nivel genérico o niveles taxonómicos superiores como familia.

Los estudios que se han realizado en depósitos modernos (suelos, superficies de lagos, etc.), muestran que existe una buena correlación entre las lluvias polínicas con una comunidad vegetal en particular. Un conjunto de polen es diagnóstico para un tipo de vegetación. Con base en este supuesto, se asume que los datos polínicos que se expresan en un diagrama palinológico, reflejan cambios en la vegetación (Prentice, 1988). Además de los cambios climáticos como agentes que modifican a las comunidades vegetales, en los últimos miles de años el hombre ha ejercido un impacto importante sobre el ambiente. Así, hacia el fin del Holoceno se considera al hombre como una influencia sobre su ambiente, detectándose tal impacto en los diagramas polínicos de este periodo.

Los ecosistemas lacustres permiten obtener a través del análisis de sus sedimentos, un registro generalmente íntegro de su vida a través del tiempo. Por ello, el análisis de los sedimentos de un lago pueden ser utilizados para identificar las fluctuaciones ambientales y sus efectos a través del tiempo, ya sea por cambios climáticos o cambios de origen diferente al climático, como las perturbaciones debidas a la actividad humana, vulcanismo, etc. En una cuenca, estos eventos pueden ser inferidos a partir de los cambios en el contenido polínico de los sedimentos, pues actúan como señal de los cambios de vegetación.

Los sedimentos lacustres consisten generalmente de detritos inorgánicos y orgánicos. Entre los detritos orgánicos se encuentran los granos de polen y esporas provenientes de individuos que se desarrollan dentro del lago (material autóctono o local) y, polen de las

regiones aledañas transportado y depositado en el lago por drenaje de agua o el viento (material alóctono o regional) (Pennington, 1981). La abundancia de palinomorfos permite tener una representación estadística de cada uno de ellos para cada sitio y edad.

Los sedimentos lacustres se desarrollan en una secuencia continua, de aquí que la profundidad esté relacionada con la edad, aunque la relación no es necesariamente lineal. Por lo tanto, el establecimiento de una cronología por métodos absolutos para situar los cambios en el tiempo es indispensable en estos estudios.

I.1. ANTECEDENTES

A pesar de la gran potencialidad que ofrecen los amplios espesores de sedimentos lacustres de la cuenca de México para la reconstrucción paleoambiental de esta región, son pocos los trabajos palinológicos que se han realizado.

Entre estos están: Sears (1952), quien estudió sedimentos procedentes de sitios arqueológicos en la Ciudad de México, así como del lago de Texcoco, desarrollando un índice de humedad con base en los valores porcentuales de pino, encino, alisos y oyameles. Este índice diverge con lo encontrado por Rzedowski (1966), quien menciona que los encinos prefieren sitios más cálidos que los pinos para el mismo intervalo de humedad. En este trabajo, Sears solo se ocupa del polen arbóreo para eliminar el problema de las perturbaciones humanas. Sears y Clisby (1955), analizaron sedimentos del centro de la Ciudad de México en el que no hay fechamientos y, en los últimos tres metros no proporcionan datos palinológicos ni climáticos. Entre los más recientes, González-Quintero y Fuentes-Mata (1980) estudiaron un núcleo extraído del lago de Texcoco, en el cual no incluyen fechas de radiocarbón y su zonación la hacen en base a separaciones dentro del género *Pinus*. González-Quintero y Sánchez-Martínez (1980) examinaron sedimentos, en un sitio próximo al campo aéreo de Santa Lucía, Estado de México, en el que tampoco se presentan fechas. González-Quintero (1986) analizó tres perfiles sedimentológicos en el sitio arqueológico de Tlapacoya, Estado de México. Sin embargo, para los estándares actuales, la ausencia de fechamientos y el conteo tan pobre de granos de polen, hacen que las conclusiones de estos trabajos sean discutibles.

Por otra parte, en la zona central de la cuenca en el lago de Texcoco, Lozano-García (1989) estudió desde el punto de vista palinológico y geoquímico un núcleo de 80 metros de profundidad, en el que abarca desde el final del Pleistoceno medio hasta el Pleistoceno superior careciendo también de cronología absoluta.

A partir de 1990, se integra un grupo interdisciplinario de estudios paleoambientales y de cambio climático iniciado por los Dres. Jaime Urrutia-Fucugauchi y Socorro Lozano-García, abocado al análisis palinológico, paleolimnológico y paleomagnético de sedimentos en la cuenca de México y en otras zonas del país, entre cuyas publicaciones se encuentran: Lozano-García *et al.*, (1991), Ortega-Guerrero (1992), Lozano-García *et al.*, (1993), Lozano-García y Ortega-Guerrero (1994), Urrutia-Fucugauchi *et al.*, (1994), Urrutia-Fucugauchi *et al.*, (1995), Caballero (1995), Lozano-García (1996), Caballero (1997a,b), Lozano-García y Xelhuantzi-López (1997), Ortega-Guerrero y Newton (1998), Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998), Caballero y Ortega-Guerrero (1998), Caballero y Ortega-Guerrero (1998), Caballero *et al.*, (1999), Ortega-Guerrero *et al.*, (2000).

Este grupo interdisciplinario realizó la perforación de cuatro núcleos (CH-A, CH-B, CH-C y CH-D), en la parte central de la sección oeste la subcuenca de Chalco, cuyas longitudes oscilan entre 7.6 y 26 m de profundidad. En los núcleos recuperados se efectuaron análisis de polen, diatomeas, calcinación y paleomagnéticos, con algunos fechamientos de radiocarbón. Las publicaciones de los resultados de estas investigaciones son: 1) palinológicos, Lozano-García *et al.*, (1991) presenta los resultados polínicos de los primeros 3m del núcleo B de Chalco, sin fechamientos. Lozano-García y Ortega-Guerrero (1994); hacen el análisis polínico y magnético de una de las secuencias, (núcleo D) de ca. 24,000 años AP. basados en 8 fechamientos de radiocarbón, obtenidos a partir del volumen de sedimento, presentando 4 de estos fechamientos tendencias invertidas y la interpretación de la vegetación local muy pobre. Lozano-García (1996), presenta un resumen de las investigaciones palinológicas realizadas en Chalco y Texcoco señalando los cambios generales en los componentes de la vegetación en los últimos 28,000 años AP. Sin embargo, ella menciona que la cronología para el Holoceno no está bien establecida en Texcoco, por lo que los resultados no pueden ser concluyentes. En otro estudio, Lozano-García y Ortega-Guerrero (1998), correlacionan un núcleo de Texcoco (10.8m) con las secuencias de Chalco, con base en los análisis de polen, susceptibilidad

magnética y contenido de materia orgánica, abarcando los últimos *ca.* 34,000 años. Ellas encuentran un hiatus entre los 14,000 y 6000 años AP.

2) Trabajos paleopalino-limnológicos: En un trabajo, Lozano-García *et al.*, (1993) llevan a cabo estudios polínicos del núcleo B y limnológicos del núcleo A, así como la tefracorrelación de los núcleos A, B y D de Chalco, susceptibilidad magnética y pérdida por ignición. La cronología del núcleo B se estableció a partir de tres fechamientos de ^{14}C de 8 m de sedimento correspondiendo a 19,000 años AP., siendo muy pobre la interpretación local, encontrándose al mismo tiempo discrepancia entre el análisis limnológico y palinológico entre los 12,000 y 9000 años AP. Urrutia-Fucugauchi *et al.*, (1995), integran los resultados de polen, diatomeas y paleomagnéticos de 8m (núcleo B), con 3 fechamientos de radiocarbón (12m = 25,000 años AP.).

3) Entre los trabajos limnológicos resaltan los estudios de diatomeas (Caballero 1995, 1997a,b) para la subcuenca de Chalco (núcleo B) donde además se correlaciona con los estudios de Bradbury (1986, 1989) de esta zona y otras dentro de la cuenca de México. Caballero y Ortega-Guerrero (1998), quienes detallan las diatomeas, la susceptibilidad magnética y contenido de materia orgánica del núcleo B de Chalco, reportando 3 nuevas edades de ^{14}C por AMS de extracción de polen.

4) Hay un conjunto de investigaciones que integran resultados de varias disciplinas con el propósito de establecer los cambios paleoambientales ocurridos en el Cuaternario tardío. Entre estos están: Urrutia-Fucugauchi *et al.*, (1994), presentando un estudio estratigráfico y de fechamiento radiométrico de los primeros 12 m del núcleo B, en el que encuentran que la cuenca está subdividida en dos subcuencas por un alto estructural N-S que coincide con la estructura volcánica del Xico. Ortega-Guerrero y Newton (1998), caracterizan geoquímicamente las capas de tefra colectadas de los sedimentos de Texcoco y Chalco para utilizarlos como marcadores estratigráficos. Ortega-Guerrero *et al.*, (2000) estudian las propiedades magnéticas del núcleo E de Chalco relacionándolas con el contenido de materia orgánica y la proporción de polen arbóreo/polen no arbóreo. Sandoval -Montaño (2000) quien integra datos palinológicos y de susceptibilidad magnética a un núcleo de Texcoco, también registra un hiatus en el Holoceno.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La secuencia sedimentaria lacustre del sistema de lagos en la cuenca de México representa una importante fuente de información sobre los diversos procesos ocurridos en la región, ya que estos lagos son el resultado de la evolución de un complejo sistema de paleolagos que se han modificado debido a fenómenos climáticos, volcánicos, tectónicos y, recientemente, por la actividad humana. Entre estos últimos se pueden mencionar: el desagüe artificial de los lagos, asentamientos humanos, la alteración de la vegetación y la contaminación atmosférica entre otros. El estudio de la interrelación de estos factores permite un mejor conocimiento de las complejas interacciones y la evolución de los sistemas biósfera-geósfera-atmósfera (Urrutia-Fucugauchi y Lozano-García, 1991).

Conocer el patrón de cambio climático de la cuenca de México es fundamental para la correcta calibración de los modelos que intentan simular condiciones paleoclimáticas de los últimos 20,000 años, las cuales están basadas en evidencias paleontológicas de latitudes altas, debido a los escasos datos para latitudes medias y bajas.

Los estudios previos realizados sobre la evolución paleoambiental del lago de Chalco (Lozano-García *et al.*, 1993, Lozano-García y Ortega-Guerro, 1994, 1998; Caballero, 1995, 1997a,b) mostraron contradicciones entre las evidencias limnológicas y palinológicas particularmente entre los 10,000 y 5000 años AP. Además, los nuevos datos gravimétricos de Urrutia-Fucugauchi y Chávez (1991) mostraron que existía una estructura de semigraben en la cuenca la cual provocó una discontinuidad NNE-SSW coincidente con los volcanes del Xico y Tlapacoya. Esto pudo afectar los procesos de sedimentación en el lago de Chalco por lo que se hizo evidente la necesidad de un nuevo registro en la porción oriental del volcán Xico con el propósito de afinar el registro paleoambiental.

Las investigaciones paleopalinológicas y paleolimnológicas realizadas anteriormente cuentan con una resolución cronológica baja para el Holoceno por lo que se requiere de precisar en el tiempo, la evolución del lago y las comunidades vegetales circundantes.

I.3 OBJETIVOS

- 1) Analizar el contenido palinológico de la parte superior de la secuencia lacustre en la porción oriental del lago de Chalco, recuperada en un núcleo de 10m de longitud.
- 2) Reconstruir las comunidades vegetales (regionales y locales) y los niveles lacustres para la zona de Chalco.
- 3) Comparar la secuencia obtenida, con las previamente analizadas en la zona oeste de Chalco.
- 4) Elaborar una interpretación paleoclimática.

II.- ÁREA DE ESTUDIO

II.1) Fisiografía de la cuenca de México

La cuenca de México es una estructura geomorfológica con parteaguas localizado en la porción centro-oriental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, entre los paralelos 19° 00'-20° 00' N y los meridianos 98° 00'-99° 30' W. Está formada por una planicie de aproximadamente 8000 km de extensión, cuya altitud mínima es de 2240 m s.n.m, y rodeada por conjuntos montañosos de origen volcánico de altitudes variables que presentan importantes mantos de acumulación de pie de monte. En el extremo septentrional se encuentra la Sierra de Pachuca; al oriente las sierras de Río Frío y Calpulalpan; la Sierra Nevada al sureste; la Sierra Chichinautzin constituye el límite meridional; al occidente queda limitada por la Sierra de las Cruces y la Sierra del Ajusco, cuya elevación máxima está localizada en su extremo meridional, el volcán Ajusco, de 3930 m s.n.m. Al noroccidente por las sierras de Monte Alto y Monte Bajo (Ortega-Guerrero, 1992). (Fig. 1a)

II.1.2) Fisiografía de la Subcuenca de Chalco

La subcuenca de Chalco se localiza en la porción suroriental de la cuenca de México y está limitada al norte por la Sierra de Santa Catarina, al oriente por la Sierra Nevada formada principalmente por los estratovolcanes Popocatepetl (5465 m s.n.m.) e Iztaccihuatl (5230 m s.n.m.). Al sur, por la Sierra Chichinautzin, cuya elevación máxima alcanza 3,500 m s.n.m. Al occidente por una divisoria por la que corre la avenida México-Tulyehualco, entre el Cerro de la Estrella y el Volcán Teutli, que la separa de la subcuenca de Xochimilco. Su eje mayor E-W es de 20 km y el eje menor N-S de 12 km de extensión, con una área aproximada de 240 km (Ortega-Guerrero, 1992).(Fig. 1b).

Su topografía se halla caracterizada por derrames de lava sobrepuestos con numerosos aparatos volcánicos. La serie de volcanes que forman la Sierra de Santa Catarina presentan una alineación NE-SW, de 6 km de largo por 2 km de ancho. Así mismo, dentro de la subcuenca se localizan varios aparatos volcánicos aparentemente aislados (Ortega-Guerrero, 1992).

II.2) Unidades litoestratigráficas de Chalco

Los estudios geológicos más antiguos que se han realizado en la cuenca de México fueron elaborados por la Comisión Geológica de México (1886-1888) y el Instituto Geológico de México (1893-1895) (*In*: Ortega-Guerrero 1992). Entre los más recientes se encuentra el de Bellia *et al.*, 1992.

Los análisis normativos y petrográficos clasifican a la mayor parte de las rocas de la subcuenca de Chalco como dacitas, andesitas, andesitas basálticas y los menos, basaltos (Schmitter, 1953, Gunn y Mooser, 1970, Negendank, 1972, Martín del Pozzo, 1982, *In*: Ortega-Guerrero, 1992). Los depósitos aluvionales presentan lentes locales de piroclastitas, travertino, diatomitas y arcillas lacustres.

Los sedimentos lacustres están compuestos de arcillas alteradas, limos y arenas, con lentes locales de piroclastos. Estos sedimentos lacustres afloran en la zona central de la cuenca, formando una meseta con altura media de 2,200 m.

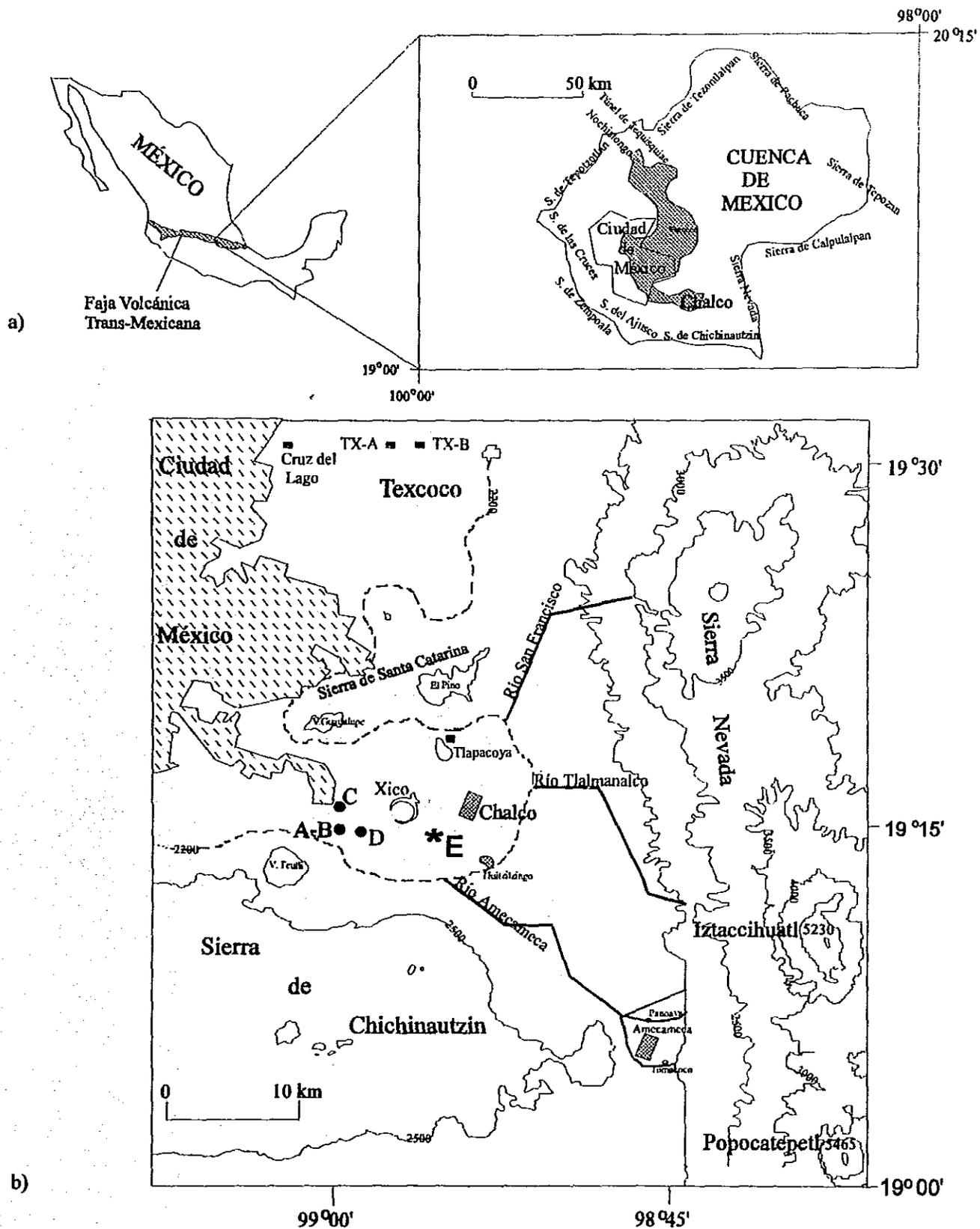


Figura 1.- Mapa de localización. a) Faja Volcánica Transmexicana y Cuenca de México. b) Ríos importantes que drenan a la subcuenca de Chalco y puntos de localización Chalco, Texcoco y Tlapacoya.

II.3) Marcadores estratigráficos volcánicos de los últimos 20,000 años AP. (Tabla I)

La actividad volcánica produce capas de tefra con amplia distribución temporal y espacial que puede ser encontrada en los sedimentos lacustres y otros depósitos. La correcta identificación, correlación y fechamiento de tefras provee marcadores de tiempo precisos en extensas áreas y al mismo tiempo permite el entendimiento del registro estratigráfico así como el de las historias volcánicas (Ortega-Guerrero y Newton, 1998).

La historia eruptiva del Popocatepetl durante los pasados 20,000 años fue caracterizada por al menos 7 grandes erupciones plinianas que produjeron depósitos de pómez de caída y flujos de ceniza que produjeron abundante carbón; éstos fueron canalizados por la topografía pre-existente y dispersados radialmente alrededor del volcán destruyendo la vegetación a considerable distancia del cráter. Entre 18,000 y 14,000 años AP. ocurrió una gran secuencia de erupciones. De igual forma se sucedieron varios periodos eruptivos entre 10,000 y 7000 años AP. así como entre 5000 y 4000 años AP. Las últimas 2 erupciones explosivas ocurrieron en el periodo de ocupación humana *ca.* 2300-1200 años AP. (Siebe *et al.*, 1995, 1996).

El Nevado de Toluca es otro volcán con actividad reciente y sus productos han alcanzado la cuenca de México, un ejemplo es la denominada Pómez Toluca Superior (UTP), con una edad promedio de 11,600 años AP. (Ortega y Newton, 1998).

De igual forma, el Volcán Xitle presentó una erupción volcánica aproximadamente a los 1536 \pm 65 años AP. (Córdova *et al.*, 1994. *In:* Ortega-Guerrero y Newton, 1998)

Tabla I. Erupciones volcánicas en el sur de la cuenca de México los últimos 20,000 años AP. (Siebe *et al* 1995 y 1996).

Periodo	años AP.	VOLCANES		Xitle
		Popocatepetl	Nevado de Toluca	
H O L O C E N O	0			XXXX
	1,000	pliniana		
	2000	pliniana		
	3,000			
	4,000			
	5,000	pliniana		
	6,000			
	7,000	pliniana		
	8,000			
	9,000	pliniana		
PLEISTO CENO	11,000	pliniana	pliniana	
	12,000			
TARDIO	13,000			
	14,000	freatopliniana		
	15,000	tipo Santa Elena		

II.4) Historia glacial (Tabla II)

Otro aspecto importante en la geomorfología e historia climática de la cuenca de México y en particular en la zona sur de la misma, es la actividad glacial de los últimos miles de años. Los estudios sobre la historia glacial son de suma importancia para estimar la magnitud del descenso de temperatura.

Los estudios sobre la cronología glacial realizados por Heine (1984, 1994a, 1994b) en varios volcanes de la parte oriental de la Faja Volcánica Transmexicana: La Malinche y Nevado de Toluca, han documentado hasta 5 avances glaciares y establecido sus relaciones cronológicas con base a los depósitos morrénicos. Vazquez-Selem (2000) indica que el principal problema de la correlación de Heine es que al mismo depósito le asigna diferentes edades. De igual forma el menciona que el control cronológico del Popocatepetl y el Pico de Orizaba es insuficiente.

White (1981, 1986) y White y Valastro (1984) proponen una cronología glacial y estratigráfica para México, sin embargo, existen discrepancias en las edades de los avances

glaciares establecidos por Heine. Nixon (1989) intenta resolver las inconsistencias estableciendo una correlación entre ambas secuencias en el Iztaccíhuatl.

En años recientes Vázquez-Selem (1997) presenta una cronología para el volcán Téyotl y la correlaciona con las secuencias ya existentes para el Iztaccíhuatl y otros volcanes del centro de México. Con base en análisis morfoestratigráfico e isotópicos ^{36}Cl , Vázquez-Selem y Phillips (1998) establecen una cronología glacial para el Iztaccíhuatl. Posteriormente, Vazquez-Selem (2000) realiza una correlación entre su cronología para el Iztaccíhuatl y la de White para el Iztaccíhuatl y el Ajusco (tabla II) ofreciendo una nueva historia glacial para la cuenca de México.

Tabla II.- Avances glaciares de los últimos 16,000 años AP. en la cuenca de México. (Vazquez-Selem 2000).

Años AP.	VOLCANES		
	Iztaccíhuatl (White 1981)	Iztaccíhuatl (Vazquez-Selem 2000)	Ajusco (White y Valastro, 1984, White 1987).
0			
1,000		Ayoloco	Neóglaciación I y II
2,000			
3,000			
3,500			
4,000			
5,000	Ayolotepito		
6,000			
6,500		Milpulco 2	
7,000			
7500			
8,000			
8,500			
9,000		Milpulco 1	
10,000			
11,000	Alcalican II		
12,000		Hueyatlaco 2	Albergue
13,000			
14,000			
15,000			
16,000	Alcalican I	Hueyatlaco 1	

II.5) Hidrología de la cuenca de México.

Al desarrollarse la Sierra del Chichinautzin durante el Cuaternario superior, el valle se convirtió en una cuenca endorreica (Mooser, 1975), con amplias superficies cubiertas por agua, que acumularon en su fondo depósitos aluviales y lacustres intercalados con materiales volcánicos. Esta cuenca estuvo cerrada hasta la apertura del Tajo Nochistongo y del túnel Tequisquiac (Nader y Morales, 1978).

La extensión de los lagos era determinada por las aportaciones pluviales, la infiltración y la evaporación. En el siglo XV, la parte más baja de la cuenca estaba cubierta por una gran superficie lacustre única, que abarcaba desde la región de Zumpango Xaltocan y Texcoco hasta la zona de Xochimilco y Chalco, y en la cual podían distinguirse porciones de agua dulce y otras de agua salada. (Rzedowski y Rzedowski, 1979).(Fig. 1a)

II.5.1) Hidrología de la Subcuenca de Chalco

El sistema hidrológico de Chalco está constituido por los ríos: San Francisco al norte, San Juan Tlalmanalco al este y Amecameca al sureste (Nuñez-Cardona, 1991). Los afluentes del Río Tlalmanalco descienden de la Sierra Nevada, siendo los más importantes Huexolulco, San Martín, Buena Vista y San Rafael (Fig. 1b). El río Amecameca, con numerosas afluentes y un régimen permanente, nace entre el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl, desembocando en la planicie de Chalco. Los afluentes que forman este río son Amalacaxco, Alialica, Ayolocotl, Ameyalco, Palo Rechinador, Providencial y Xalpatlaco, estos dos últimos son de torrencial y de corto recorrido.

En la antigüedad, los ríos Tlalmanalco y Amecameca vertían sus aguas en el Lago de Chalco, por ello mantenía un nivel constante que era complementado por el caudal de las aguas pluviales (Núñez-Cardona, 1991). Casi todos los ríos son de carácter torrencial, excepto algunos alimentados por manantiales, principalmente en el sur. En las partes sur y sureste de la cuenca se encuentran algunos manantiales de agua potable (Nader y Morales, 1978).

II.6) Clima de la cuenca de México

García (1980) define diferentes tipos de climas para la cuenca de México con base en Köppen. (BS₁, Cw₀, Cw₁, Cw_{2b'}, Cw_{2c}, ETH y EFH). La orografía accidentada de la cuenca se traduce en una diversidad climática muy grande y, a menudo, las condiciones varían significativamente de un lugar a otro a pesar de la corta distancia que los separa.

Temperatura.- la temperatura media anual en la cuenca varía entre 14° y 17° C, en tanto que entre los 2400 y los 4000m varía de 11°-15° C. En la región montañosa, prevalece un clima isotérmico (Rzedowski y Rzedowski, 1979).

Precipitación.- la cantidad de lluvia se concentra en el periodo comprendido entre mayo y octubre (80 a 94%) y el periodo restante es seco. El tipo de precipitación en la temporada húmeda es torrencial y de duración relativamente corta. A mediados de la estación de lluvias se presenta una pequeña temporada seca llamada "sequía intraestival" o "canícula" (SAHOP, 1980 *In*: Herrera-Legarreta, 1983).

Humedad atmosférica.- el valor anual promedio en términos de humedad relativa varía entre el 61 y el 70%. La marcha anual marca valores más bajos en la época seca (45 a 55%), y más altos en la época lluviosa (75 a 81%).

En la planicie, la humedad atmosférica es más baja que en la zona montañosa; esta deducción se hace a partir de que en esta última, la cantidad de epífitas es mayor en los bosques de encino y oyamel en altitudes de 2500-3500 m, mientras que en la cuenca, las epífitas son escasas. (Rzedowski y Rzedowski, 1979).

Evaporación potencial.- alcanza sus valores máximos en los meses de marzo o abril cuando se unen los efectos de la sequía y de la temperatura elevada. En diciembre, en cambio, se registran casi siempre los mínimos (Rzedowski y Rzedowski, 1979).

Vientos.- durante el verano, el anticiclón de las Bermudas se desplaza hacia el oeste dentro del Golfo de México, dando origen a los vientos alisios fuertes que se cargan de humedad al cruzar el Golfo y al chocar con Sierra Madre Oriental producen importantes precipitaciones. Durante el invierno, los alisios son dominados por vientos del oeste que a la altura de la cuenca son secos, lo cual caracteriza al invierno. En la época de invierno se desplazan hacia el sur masas de aire polar continental procedentes de latitudes hacia los 50° de latitud norte y dan lugar a los llamados "nortes", que cuando son intensos alcanzan a llegar a la

cuenca, originando un descenso de temperatura, gran nubosidad y precipitaciones con duración de dos o tres días (Cruz-Cisneros, 1969).

II.6.1) Clima de la subcuenca de Chalco.

Cardoso y García (1982) distinguen dos tipos de clima bien diferenciados para la subcuenca del lago de Chalco, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

En la parte central se encuentra un C (w₀) (w) b(i'), subhúmedo con una precipitación media anual de 600 a 700 mm, con un régimen de lluvias de verano, siendo el mes de julio el más lluvioso, presenta una temperatura media anual entre 12° y 18° C, con una oscilación de las temperaturas medias menor a 5° C.

En la zona de lomeríos, así como en las estribaciones de la Sierra Nevada y de la Sierra del Ajusco, el tipo climático es C (w₁) (w) b (i'), subhúmedo, con una precipitación media anual entre 700 y 800 mm, con un régimen de lluvias de verano. La temperatura media anual varía entre 12° y 18° C, con una oscilación media anual de las temperaturas media menor de 5°C.

II.7) Edafología de la Subcuenca de Chalco

La composición y edad de los materiales eruptivos, junto con el clima, son determinantes en las características morfológicas y genéticas del suelo (Cervantes y Orozco, 1982). Otros factores, tal como la inclinación y el drenaje, son características importantes de los procesos edáficos y determinan los cambios taxonómicos del suelo.

En la subcuenca de Chalco existen siete asociaciones de suelos, que agrupan a 18 series y corresponden, de acuerdo con la séptima aproximación USDA, (1990) a los órdenes: Inceptisoles, Molisoles y Entisoles (Cunalo y Ortiz, 1976 *In*: Núñez-Cardona 1991).

II.8) Vegetación de la cuenca de México

La flora nativa de la cuenca no fue totalmente estudiada antes del enorme impacto de la cultura moderna. Se cuenta con algunos estudios que describen la vegetación de porciones

limitadas de la cuenca (Rzedowski, 1954, 1957, 1969, Rzedowski *et al.*, 1964; Bopp-Oeste, 1961; Anaya Lang, 1962; Beaman, 1962, 1965; Espinosa-Garduño, 1961; Velázquez y Cleef, 1994). Existen otros que se ocupan de determinadas comunidades vegetales: Almeida *et al.*, 1994; Benítez-Badillo, 1985; Espinosa-García y Sarukhan, 1997; Madrigal-Sánchez, 1967; Cruz-Cisneros, 1969; Villegas, 1971; Rzedowski, 1970, 1975, 1996. El único de trabajo acerca de la dinámica de la vegetación y, en general, de las comunidades secundarias es el de Rzedowski y Rzedowski, 1993.

La presencia de ambientes acuáticos, subacuáticos y terrestres, el gradiente altitudinal y la diversidad de climas favorecen el desarrollo de una gran riqueza florística en la cuenca entre las que se encuentran comunidades vegetales como Bosque de *Abies*, Bosque mesófilo de montaña, bosque de *Pinus* (*P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. hartwegii* y *P. rudis*), bosque de *Quercus*, bosque de *Juniperus*, matorral de *Quercus*, pastizales, matorrales xerófilos, vegetación halófila y vegetación acuática (Rzedowski y Rzedowski 1979).

De acuerdo a Rzedowski y Rzedowski (1979), las diferentes comunidades y sus características principales son:

Bosque de *Abies*.- En general se presenta en altitudes entre 2700 y 3500 m s.n.m., en suelos profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y húmedos durante todo el año. La precipitación media anual es de 1000 a 1400 mm, y la temperatura media anual varía de 7.5-13.5° C. El bosque es perennifolio, por lo general presenta uno o dos estratos arbóreos y la cubierta arbustiva y herbácea es escasa, aunque aumenta considerablemente con los disturbios. El suelo está revestido casi totalmente por musgos. Otros árboles presentes en esta comunidad son: *Alnus firmifolia*, *Cupressus lindleyi*, *Quercus laurina*, *Salix oxylepis* y *Prunus serotina* spp. *capuli*.

Bosque mesófilo de montaña.- Se encuentra entre 2500 y 2800 m s.n.m. en sitios protegidos de insolación fuerte y vientos; la precipitación media anual excede los 1000 mm y la temperatura anual promedio va de 12-14° C. Los suelos son profundos, ricos en materia orgánica y húmedos durante casi todo el año. Aunque algunos de sus componentes son caducifolios, en general esta comunidad permanece verde todo el año. Se encuentran abundantes musgos y helechos. Otros árboles encontrados en esta comunidad son: *Abies religiosa*, *Alnus arguta*,

Buddleia cordata, *Cornus excelsa*, *Cupressus lindleyi*, *Pinus ayacahuite*, *P. patula*, *P. pseudostrobus*, *Eupatorium meiretianum*, *Prunus serotina* spp. *capuli*, *Quercus rugosa*, *Sambucus mexicana* y *Viburnum stenocalyx*.

Bosque de *Pinus*.- Se encuentran entre 2350 y 4000 m s.n.m.; se desarrollan en lugares con precipitación entre 700 y 1200 mm anuales, en suelos profundos o someros y a veces bastante rocosos. Epífitas y trepadoras escasas, puede o no haber un sotobosque pobre en arbustos, pero con abundantes gramíneas amacolladas. Esta condición está relacionada con los incendios frecuentes que sufren estas comunidades vegetales, muchos de los cuales probablemente sean asociaciones secundarias mantenidas por el fuego.

Dependiendo de la especie de *Pinus* de que se trate, se presentan pequeñas variantes dentro de esta comunidad

Bosque de *P. leiophylla*.- Entre 2350 y 2600 m s.n.m. se encuentran asociados a varias especies de *Quercus* y, a veces a algunos otros árboles (bosques mixtos); por lo general se encuentran fuertemente perturbados.

Bosque de *P. montezumae*.- Entre 2500 y 3100 m s.n.m.; con frecuencia son comunidades puras, aunque en ocasiones se presentan otras especies de *Pinus*, así como algunas especies de *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* y *Buddleia*.

Bosque de *P. hartwegii*.- Se encuentran de 2900-4000 m s.n.m., sobre las laderas de fuerte pendiente, van de bastante densos a abiertos cerca del límite de la vegetación arbórea, siendo a veces la cobertura del estrato herbáceo mayor a la del arbóreo. Pueden encontrarse como bosques puros o comunidades mixtas con *Alnus firmifolia*.

Bosque de *Quercus*.- Se presentan de 2350-3100 m s.n.m., en suelos profundos o someros, con promedio anual de precipitación de 700-1200 mm, ocupando así hábitats similares a los de bosques de *Pinus*. Las trepadoras y epífitas no son muy frecuentes.

Bosque de *Juniperus*.- Se presenta en la parte norte, noreste y este de la cuenca, en altitudes entre 2450 y 2800 m s.n.m., con temperatura media anual de 11°-14° C y la precipitación

promedio anual entre 600 y 800 mm. La especie dominante es *Juniperus deppeana*, siendo esta una comunidad sucesional que se establece después de la destrucción de los bosques de *Pinus* y *Quercus*. Las epífitas y trepadoras son escasas o ausentes. *Juniperus monticola* es un estadio sucesional hacia el bosque de *Abies*.

Matorral de *Quercus*.- Se presenta en las partes norte, este, oeste y centro, ocasionalmente en la parte sur de la cuenca, en altitudes de 2350-3100 m s.n.m., en suelos poco profundos y precipitación media anual de 700-900 mm, con temperatura de 9°-13° C. Esta comunidad parece ser una comunidad inducida y mantenida por el fuego en sitios en los que anteriormente habitaba el bosque de *Pinus* o *Quercus*.

Matorral xerófilo.- se desarrolla en las porciones más secas de la cuenca, en altitudes de 2250 a 2700 m s.n.m., tanto en suelos profundos como en suelos someros, con precipitación media anual de 400-700 mm y temperatura promedio anual de 12°-16° C.

Dentro de este tipo de comunidad se presentan diferentes comunidades arbustivas, como:

Opuntia streptacantha, *Zaluzania augusta* y *Mimosa biuncifera*.- Es un matorral espinoso, abierto o denso que se estableció en la mitad boreal de la cuenca.

Matorral de *Hechtia*.- Se presenta en el extremo norte de la cuenca, sobre algunas laderas de pendiente pronunciada; es un matorral espinoso, bajo y denso. Espinosa-Garduño (1961) encuentra una asociación de *Hechtia podanta* y *Agave horrida* en la sierra de Chichinautzin, capaz de prosperar en un medio xerofítico, en condiciones de fuerte erosión e insolación, ausencia casi absoluta de suelo y reducida humedad.

Matorral de *Eysenhardtia*.- Se localiza en la porción central de la cuenca, es denso y mucho menos espinoso que las dos comunidades anteriores.

Matorral de *Senecio praecox*.- Se presenta en terrenos rocosos y pobres en suelos situados en la parte baja del Pedregal de San Angel; es un matorral abierto, con un fuerte desarrollo del estrato herbáceo y sobre un corriente de lava basáltica.

Se presentan además otros tipos de matorral xerófilo, pero de origen secundario, en extensiones reducidas y de estructura, composición y dinámica desconocida.

Vegetación halófila.- A 2250 m s.n.m., habitan en suelos salinos, alcalinos y mal drenados como los fondos de los antiguos lagos, aquí adoptan una forma de pastizal bajo y denso en el que predominan las gramíneas que se reproducen por estolón y rizoma.

Pastizales.- Se presentan de los 2250 hasta los 4300 m s.n.m.; en este tipo de comunidades predominan las gramíneas. Dentro de este tipo de comunidades se presentan 5 variantes que son:

Pastizal de *Hilaria cenchroides*.- Se desarrolla en laderas de pendientes moderadas entre 2300 y 2700 m s.n.m., donde la precipitación media anual va de 600-750 mm. Se encuentra ubicado entre las comunidades de bosque de encino y matorral.

Pastizal de *Buchloë dactyloides*.- Es un pastizal secundario en lugares perturbados; se presenta en altitudes entre 2250 y 2800 m s.n.m., en forma de manchones pequeños. Cruz-Cisneros (1969) menciona que esta comunidad se relaciona en forma natural con matorrales xerófilos del tipo *Opuntia-Zaluzania-Mimosa* y, ocasionalmente, con matorrales de *Quercus microphylla*. El suelo de esta comunidad es de origen aluvial, por acarreo de materiales de la parte superior de los cerros hacia las faldas, en donde el drenaje es eficiente.

Pradera de *Potentilla candicans*.- Se puede observar en altitudes de 2900 a 3500 m s.n.m., en donde el drenaje es lento en los claros en medio del bosque de *Abies* o *Pinus*. Presenta dos aspectos, uno en la temporada seca, donde predominan estas plantas, mientras que en la época de lluvia predominan las poaceas y ciperaceas.

El zacatonal subalpino se presenta en altitudes de 3000 a 4300 m s.n.m., constituyendo la vegetación clímax cuando se encuentra sobre el límite de la vegetación arbórea; por el contrario, si se desarrolla por debajo de este límite es muy posible de que se trate de una vegetación secundaria surgida después de algún disturbio en el bosque de *Pinus*.

II.8.a) Vegetación acuática y sub-acuática

Al igual que la vegetación terrestre, las comunidades acuáticas y subacuáticas no han sido totalmente estudiadas. Los trabajos realizados sobre la vegetación acuática de México han sido muy pocos (Herrera, 1951; Rioja y Herrera, 1951; Ramírez y Herrera, 1954), ya que muchas de las comunidades son difíciles de estudiar y/o describir, debido a que se presentan en

forma dispersa, mal definida, y ocupan superficies limitadas. En el fondo de la cuenca se acumula agua formando importantes cuerpos de agua estableciéndose una diversa flora acuática y subacuática. Estas comunidades tienen una tolerancia bastante limitada a factores ambientales como: temperatura, pH, salinidad, pureza, concentración de oxígeno, etc. (Rzedowski 1978).

Para determinar el tipo de planta que habita en los diferentes ambientes de los lagos, Dalton y Novelo (1983) y Lot y Novelo (1978 y 1988) modifican la clasificación propuesta por Sculthorpe (1967), sugiriendo las siguientes categorías:

Acuática: Es la planta que realiza prácticamente todo su ciclo de vida dentro del agua, ya sea sumergida, emergiendo o flotando.

Subacuática: Es la planta que lleva a cabo gran parte de su ciclo de vida en el agua y no puede sobrevivir por largos periodos de tiempo en suelos completamente secos; generalmente se las encuentra al margen de los lagos, arroyos y pantanos.

Tolerante: Es la que lleva a cabo gran parte de su ciclo de vida en suelos completamente secos, pero que puede tolerar el suelo inundado o alta humedad por un corto periodo.

Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana (1995), definen categorías en base a su forma de vida y esta terminología es empleada en este estudio.

Hidrófitas enraizadas emergentes.- Son aquellas que se encuentran fijas al sustrato sumergido, pero sus hojas y órganos reproductivos son aéreos. La vegetación característica es la denominada "tular". Sus elementos dominantes son: *Typha*, *Scirpus*, *Sagittaria*, *Polygonum*, *Ranunculus*, *Hydrocotyle*, *Juncus*, *Arenaria*, etc.

Hidrófitas enraizadas sumergidas.- Esta forma de vida está enraizada, pero sus hojas están completamente sumergidas y sus órganos reproductivos pueden ser aéreos, flotantes o sumergidos. Se encuentran en una zona de mayor profundidad. La especie dominante de esta asociación fue *Potamogeton*, aunque también se encuentra *Myriophyllum* e *Isöetes*.

Hidrófitas libremente flotadoras.- Sin fijación al sustrato, flotan sobre la superficie del agua, y pueden localizarse en cualquiera de las otras zonas. Representante de este grupo es *Lemna*.

II.8.b) Vegetación de la Subcuenca de Chalco.

Debido a la gran extensión constituida por la antigua zona lacustre de Chalco, rodeada de una llanura ribereña y de las sierras boscosas, a su situación geográfica dentro de la cuenca de México -al sur-sureste- y la variación en su altitud -de 2250-5000 m s.n.m.-, la subcuenca de Chalco presenta una gran variedad de comunidades vegetales. Dichas comunidades son casi tan abundantes como las de la cuenca, con excepción de los matorrales xerófilos; así mismo, en la porción sur existen tipos de vegetación que no se encuentran en la parte norte de la cuenca, como son: el zacatonal, la pradera de *Potentilla*, el bosque de *Alnus*, los matorrales de *Senecio praecox*, *Eysenhardtia* y *Baccharis*.

Tanto los bosques de *Abies*, *Pinus* como los de *Quercus* se encuentran más ampliamente distribuidos en la mitad sur. En algunas barrancas húmedas situadas al sureste y sur de la cuenca se presentan asociaciones con elementos propios de bosques mesófilos, cuyos principales componentes son: *Clethra*, *Fraxinus*, *Garrya*, *Ilex*, *Prunus*, *Pinus ayacahuite*, *Cupressus* y alguna especie de *Quercus* (Cruz-Cisneros, 1969).

García-Mora (1981), menciona que antiguamente la zona lacustre de la ciénaga llegó a cubrirse de vegetación de juncos y tulares y de bosques de pino-encino en las faldas de la serranías. Así mismo cita que en una exploración botánica por la zona de Tlamacas, subiendo por Amecameca, se encontró que la vegetación del Popocatepetl entre los 2,900 a 4,000 m s.n.m., se hallaba distribuida en tres asociaciones: a) páramo de altura, por arriba de los 3,900 m, con plantas como *Arenaria* y zacatonales del género *Muhlenbergia*, *Trisetum*, *Poa* y *Agrostis*; b) bosque de pino, que llega hasta los 3400 m de altura (denso a los 3400 m, baja hasta los 2900 m donde se entremezcla con el bosque de abetos), formado primordialmente por *Pinus hartwegii* y asociado a un estrato arbustivo compuesto por *Senecio barba-johannis*, *S. bellidifolius*, *Arctostaphyllum arguta*, *Ribes ciliatum* y *Symphoricarpos microphyllus*, así como un zacatonal de *Muhlenbergia macroura*; c) bosque de abeto, de los 2900 a los 3500 m s.n.m., compuesto de *Abies religiosa* y asociado a un estrato arbustivo de *Ribes ciliatum*, *Senecio barba-johannis*, *Symphoricarpos microphyllus*, *Baccharis conferta*, *Fuchsia microphylla*, *Vaccinium queminiflorum*, *Satureia macrostema*, *Arctostaphyllum arguta*, *Gaultheria angustifolia*, *Garrya laurifolia*, la mayoría trasgresivas hacia el bosque de pino e indicadores

de disturbios por tala y quemas; también se asocia a zacatonales de *Muhlebergia macroura*, *M. quadridentata* y *Festuca amplissima* (Domínguez, 1975, In: García-Mora, 1981).

En el municipio de Atlautla, en la actualidad se encuentran algunos árboles de los géneros *Pinus*, *Morus*, *Alnus* y *Salix*, dominando la vegetación boscosa del monte y las barrancas, entre los que se encuentran *Pinus*, *Abies*, *Cupressus*, *Fraxinus* y *Quercus*. En un transecto altitudinal desde el pueblo de Atlautla hacia el este, hasta la cima del Popocatepetl, se puede observar -después de la zona de cultivos agrícolas de temporal, con intromisiones de pino-encino- las barrancas que cruzan el campo, el bosque de pino encino con pastizales, más arriba el bosque de oyamel-pino, posteriormente un bosque de pino con zacatales y, finalmente, el páramo de altura antes de la zona de nieves perpetuas.

II.8.c) Estudios de lluvia de polen

Entre las investigaciones sobre lluvia polínica moderna se cuenta con los de Palacios-Chávez (1977), en la cuenca de México, donde se analiza la lluvia de polen en bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies*, bosque de *Quercus*, bosque de *Juniperus*, matorral de *Opuntia*, *Zaluzania* y *Mimosa* y pastizal. Concluyendo que casi siempre los géneros dominantes en un determinado tipo de vegetación están más o menos bien representados por sus granos de polen en los espectros polínicos correspondientes, lo cual refleja la comunidad en la que se hicieron los muestreos. Los espectros polínicos de matorrales de *Opuntia*, *Zaluzania* y *Mimosa* y bosques de *Juniperus* están pobremente representados posiblemente debido a la cercanía de otros tipos de vegetación o a la acción de los vientos sobre estos tipos de vegetación.

Otra investigación es la de Tovar-González (1987) en el volcán Popocatepetl, en bosque de *Abies religiosa*, bosque de *Pinus hartwegii* y pastizal alpino siguiendo un gradiente altitudinal. Ella concluye que el viento es un factor que determina la permanencia y abundancia de los granos en el aire, de tal forma que la distancia a la cual puede ser transportado un grano de polen depende del tamaño de la planta, de su carácter anemófilo, del tamaño y forma del grano, la velocidad de caída y del viento reinante. Indicando que el polen entomófilo podría ser útil como indicador de ciertas comunidades y de gran ayuda en la reconstrucción de la vegetación en el estudio de conjuntos palinológicos fósiles.

Lozano-García *et al.*, (1996) analiza la representación de *Pinus*, *Alnus*, *Quercus* y *Abies* en las lluvias polínicas de los autores antes mencionados y señala las dificultades que representa la dominancia de algunos taxa sobre otros. Sugiriendo combinar las especies indicadoras (baja frecuencia) con el conjunto de taxa dominantes y completar este resultado con otros estudios (vulcanológicos, paleomagnéticos, sedimentológicos, limnológicos, etc.).

III METODOLOGÍA

III.1) Método de campo

En 1991 se prospectó la zona de Chalco con el objeto de determinar la localización del sondeo a realizar. Se seleccionó la zona de muestreo en la zona central del ex-lago de Chalco, en la margen derecha de la carretera Tláhuac-Chalco, aproximadamente a 3 km del volcán Xico, (Fig. 1). La compañía TGC Geotecnia, S.A de C.V. llevó a cabo la perforación de la secuencia lacustre de un núcleo de cerca de 10 m de largo por 8 cm de diámetro.

Se realizó un sondeo de cono eléctrico con el objeto de definir la posición de lentes resistentes que pudieran generar problemas durante el muestreo.

Se programó el tipo de muestreador a utilizar en cada uno de los estratos detectados, programando el tradicional tubo Shelby en los lentes de mayor resistencia y el muestreador TGC en los suelos blandos.

La recuperación del sedimento se obtuvo hincando a presión el muestreador a velocidad constante. La muestra recuperada en los nucleadores se protegió con manta de cielo, parafina y brea y/o con tapas de plástico y cinta adhesiva, marcándose la profundidad.

Se obtuvieron 25 tubos de 8 cm de diámetro por 20 cm. de largo y seis tubos de acero, del mismo diámetro, pero de diferentes longitudes.

III.2) Método de laboratorio

Cada tramo de 20 cm. de núcleo se sacó con un embolo de latón y acero inoxidable diseñado expresamente para ello, tratando de hacer la menor compresión del núcleo. Al hacer

la extracción, se cortó el núcleo en dos partes longitudinales, colocando cada mitad en medio tubo de PVC de 8 cm de diámetro en orden secuencial, marcando la profundidad correspondiente.

Los tubos de acero se cortaron a la mitad y se marcó su profundidad, sin transferirlos a canales de PVC.

Se realizó un registro fotográfico de todo el núcleo (Fig. 2) y se describió la litología detalladamente. El color en húmedo se determinó por comparación con el empleo de las tablas de Munsell (1975). Con base en ésta se elaboró la columna estratigráfica del núcleo E de Chalco (Fig.3).



Figura 2.- Fotografía del núcleo E de Chalco cortado en sección longitudinal. (\cong 1m). Hacia la derecha se incrementa la profundidad de los segmentos

El muestreo para los análisis de polen, ostrácodos (para isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$), diatomeas y calcinación se realizó cada 4 centímetros colectando 1 cm de sedimento.

Para el estudio de propiedades magnéticas de los sedimentos se tomaron muestras continuas. Esta parte de la investigación fue llevada a cabo por la Dra. Beatriz Ortega del Instituto de Geofísica de la UNAM.

III.2.1) Fechamiento

Con el propósito de contar con un marco cronológico, se seleccionaron diez muestras de fragmentos de madera durante el submuestreo, las cuales fueron enviadas a la Universidad de Arizona para la obtención de fechamientos de radiocarbón por acelerador de partículas (AMS). Además, se procesaron 5 muestras de sedimento de la parte superior del núcleo para la extracción de polen, utilizando la técnica tradicional de extracción de polen posteriormente descrita (ver sección, III.2.3), el cual se fechó en el mismo laboratorio por el mismo método (^{14}C , AMS).

III.2.2) Procesamiento de muestras para la extracción de ostrácodos

Se tamizaron en el laboratorio de Sedimentología del Instituto de Geología, UNAM; 168 muestras para la obtención de ostrácodos.

Una vez obtenido el material se revisó en un microscopio de disección cada una de las muestras para ver si contenían de 1-50 valvas de ostrácodos (50 μg) para determinación de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$).

Se obtuvieron 33 muestras con ostrácodos provenientes de la parte superior del núcleo (415 a 151 cm). Las muestras fueron enviadas a la Universidad de Florida, donde se llevó a cabo la determinación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$.

Los datos de isótopos estables de ostrácodos lacustres pueden ayudar a explicar eventos paleoclimáticos regionales, aunque aún se ha hecho poco uso de este tipo de datos. Los $\delta^{13}\text{C}$ son interpretados en términos de paleoproduktividad, en tanto que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se pueden relacionar a cambios climáticos, hidrológicos e hidrográficos (Lister, 1988).

El incremento en la productividad orgánica eleva el nivel de $\delta^{13}\text{C}$ de los bicarbonatos del agua, de igual forma manifiesta que la principal razón para cambios en el contenido de $\delta^{13}\text{C}$ de los sedimentos son diferencias en el contenido de bicarbonato de las aguas, estas diferencias pueden causar una transformación en la proporción absoluta de $\delta^{13}\text{C}$ del reservorio de carbón, así como la disparidad en el fraccionamiento isotópico entre las plantas y el bicarbonato (Stuiver, 1975).

III.2.3) Procesamiento de muestras para extracción de polen

Para este análisis se obtuvo un total de 188 muestras del núcleo. El procesamiento de las muestras para la extracción de palinomorfos consistió en:

En un vaso de precipitado se colocó un centímetro cúbico de sedimento húmedo, o bien 3 gramos de sedimento seco, agregando en ambos casos 200 ml de Sigmaclin para dispersarlo. El Sigmaclin se cambió cada dos horas aproximadamente. Posteriormente, se decantó el último sobrenadante y el residuo se cambió a tubos de centrifuga de 50 ml para lavarlo y centrifugarlo con agua destilada. Una vez lavadas las muestras se procedió a colocar una pastilla con esporas marcadoras (una por muestra), la cual contenía de 13,500 a 14,250 esporas de *Lycopodium clavatum* (según el lote del frasco). Este procedimiento se llevó a cabo con el fin de hacer estimaciones de concentración y acumulación polínica (Stockmarr, 1971). Al mismo tiempo se agregaron 6 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 10% y se mantuvo en baño María durante 10 minutos con la finalidad de eliminar los carbonatos presentes en la muestra.

Posteriormente se procedió a lavar las muestras con agua destilada hasta que estuvieron neutras y se añadió 6 ml de hidróxido de potasio (KOH) al 5% en baño María para destruir materia orgánica. Este paso sólo se llevó a cabo entre los metros 9 y 7m, debido a que se observó que el polen se colapsaba. Por lo tanto, en los metros restantes (7-0m), del HCl se pasó al ácido fluorhídrico (HF) después de neutralizar las muestras. Nuevamente se lavaron con agua destilada hasta quedar neutras. Cada muestra se cambió a vasos de precipitados de plástico y se dejó en 40 ml de HF concentrado por 24 horas para eliminar el sílice de los sedimentos.

Enseguida se colocaron las muestras en tubos de centrifuga de plástico para lavar el HF hasta que se neutralizaron. A continuación se pasaron a tubos de centrifuga de vidrio para

deshidratar con ácido acético glacial, este paso se llevó a cabo dos veces con el ácido acético. Las muestras se acetolizaron con la mezcla acetolítica (9 partes de anhídrido acético: 1 parte de ácido sulfúrico) durante 10 minutos en baño María, moviéndolo periódicamente, a fin de eliminar otro poco de materia orgánica. La reacción se paró con ácido acético y se centrifugó el material. Se lavó nuevamente con ácido acético para el caso de que no toda la mezcla acetolítica hubiera parado su reacción y posteriormente la muestra se lavó con agua destilada hasta que estuvo totalmente neutra.

Las muestras se tiñeron con una gota de safranina, se agitaron durante 15 segundos, nuevamente se lavaron para eliminar el exceso de colorante. Se montaron cuatro laminillas en diferentes concentraciones: en dos laminillas se hizo el montaje con gelatina glicerizada y otras dos con hidroxietilcelulosa (HEC, que es un alcohol polivinílico), para posteriormente observarlas al microscopio de luz.

III.2.4) Calcinación

En un total de 197 muestras, el contenido de materia orgánica y carbonatos se estimó tomando en dos centímetros cúbicos de sedimento. Se deshidrató el sedimento a 50° C, durante 18 horas y se pesó. Posteriormente, la muestra se calentó a 500 °C durante una hora y media y se midió la masa. Esta diferencia en masa (peso) por 100, es una medida de la cantidad de materia orgánica presente en el sedimento.

Para conocer el contenido de carbono inorgánico, se realizó una segunda calcinación durante una hora y media a 1000° C. La diferencia del peso con respecto a la primera calcinación multiplicado por 1.36 (que es un factor de corrección, el cual es el peso molecular del CO₃ / peso molecular del CO₂) por 100 corresponde a los carbonatos. Los resultados de la calcinación son expresados en porcentajes.

III.2.5) Método de susceptibilidad magnética

Las 159 submuestras para análisis de magnetismo de rocas se tomaron cada cuatro centímetros usando cubos de plástico de 10 cm³. (Ortega-Guerrero *et al.*, 2000).

III.2.6) Método de granulometría

El análisis de tamaño de partículas fue llevado a cabo por la Dra. Ortega en 28 muestras seleccionadas. Las fracciones de tamaño representadas son limos de 63-10 μm y arcillas de 10-2 μm (Ortega-Guerrero *et al.*, 2000).

III.3) Análisis de gabinete

En el fotomicroscopio Olympus BH2 se contaron e identificaron con aumentos de 40X y 100X, 500 granos de polen, más otros palinomorfos que se presentaron a lo largo del conteo como: esporas marcadoras, hongos, algas, tecamibinos y trozos de carbón mayores a 10 μ .

La determinación de palinomorfos se llevó a cabo por medio de la colección palinológica del Instituto de Geología, claves palinológicas (Bassett, *et al.*, 1978; Kapp, 1969; y McAndrews *et al.*, 1973; Prescott, 1954; Huang, 1972), y bibliografía especializada (Bold & Wynne, 1978; Bonnefille *et Riollot*, 1980; Grabandt, 1983; Haas, 1996; Heusser, 1971; Hooghiemstra, 1984; Lapiedra-Barron, 1965; Ludlow-Wiechers, 1982; Ludlow-Wiechers *et al.*, 1983a, 1983b; Ludlow-Wiechers y Martínez-Hernández, 1979; Markgraf y D'Antony, 1978; Medioli y and Scott, 1988; Murillo y Bless, 1978; Ortega, 1984, 1995; Palacios-Chavez, 1984; Pedraza, 1983; Reyes-Salas y Martínez-Hernández, 1982; Roubik y Moreno, 1991; Traverse, 1988; Van Der Wiel, 1982; Van Geel, 1976, 1978; Van Geel y Van Der Hammen, 1978; Van Geel *et al.*, 1980/1981, 1982/1983, 1989).

Durante el proceso de identificación se tomaron fotomicrografías de la mayor parte de los palinomorfos con aumentos de 100X en contraste de fases y luz normal para tener un registro fotográfico de los taxa.

III.3.1) Diagramas polínicos y análisis estadístico de datos

El programa Tilia 2.1 (Grimm, 1991-1993), es un paquete especial para manejar, analizar y graficar datos estratigráficos particularmente de polen. Permite elaborar sumas en grupos, porcentajes basados en alguna(s) de las sumas polínicas, concentración y tasas de acumulación polínica, así como realizar análisis estadísticos, para establecer zonas polínicas. Así mismo, se

pueden introducir fechamientos y el programa realiza interpolaciones y extrapolaciones asignando edades a los diferentes niveles estratigráficos.

El conjunto palinológico obtenido a partir del conteo se agrupó de acuerdo a la forma de vida de cada taxon para facilitar su análisis. Las sumas polínicas se organizaron en polen arbóreo, polen herbáceo, pteridofitas, vegetación acuática, algas, hongos y testáceos.

Los porcentajes de arboles, hierbas y pteridofitas también se calcularon con el empleo de dicho programa, tomando en cuenta la suma polínica básica de los tres grupos (suma de arboles, suma de hierbas y suma de pteridofitas = ΣP). El porcentaje de la vegetación acuática se obtuvo en base a su misma suma polínica y las algas, fungosporas y testáceos se dejaron como conteos absolutos (Birks y Birks, 1980).

Los porcentajes son numericamente dependientes ya que ellos deben de sumar 100 y que un incremento en el porcentaje de polen de un taxon debe ser acompañado por un decremento en otro (Prentice (1988). Los porcentajes reflejan, al menos indirectamente la proporción de especies en la vegetación que creció en la región en el tiempo que los sedimentos fueron depositados (Davis (1963). Sin embargo, los porcentajes son la principal fuente de información cuantitativa de la composición de la vegetación, especialmente en situaciones de bosque (Prentice, 1988).

Posteriormente se procedió a hacer los cálculos de concentración y acumulación polínica, esta última erróneamente llamada "flujo" (Thompson, 1980 *In*: Prentice, 1988). La concentración polínica es una medida que estima la cantidad de palinomorfos por unidad de volumen o de masa de sedimento húmedo o seco, expresada como número de granos de polen por cm^3 . Estos datos ofrecen información paleoecológica acerca de los cambios en la redepositación o sedimentación de la cuenca. La tasa de acumulación polínica, flujo polínico ó tasa de depositación polínica, es el número total de granos acumulados por unidad de área de sedimentación por unidad de tiempo (están expresados en No. granos/ $\text{cm}^2/\text{año}$) y, proporciona información independiente acerca de la abundancia de cada taxon, evita la restricción impuesta por el cálculo de porcentaje (Faegri e Iversen, 1989), ya que los valores de cada tipo polínico son independientes de cada uno. Los valores de acumulación son calculados a partir de la concentración de polen en el sedimento, mientras que el tiempo por unidad de espesor o

tiempo de depositación, es la cantidad de tiempo por unidad de grosor de sedimento y sus unidades son cm/año (Birks y Birks, 1980).

Las fórmulas para la obtención de cada uno de estos parámetros son:

Concentración polínica (No. granos/cm³)= (esporas añadidas/esporas contadas) (polen fósil contado/ vol.)

Acumulación polínica (No. granos/cm²/año)= (concentración polínica)(tasa de acumulación de sedimento)/tiempo de depositación

El conteo de partículas de carbón se llevo a cabo al tiempo que se contaba el polen, haciéndose posteriormente los cálculos de concentración (No. de partículas/cm³) y acumulación (No. de partículas/cm²/año) de las partículas de carbón, para conocer el periodo en el que el fuego había sido un factor ecológico importante para el cambio de vegetación.

Se definieron las zonas polínicas por medio del análisis de agrupamiento aglomerativo y jerárquico estratigráficamente restringido (CONISS), incluido en el programa Tilia 2.1 (Grimm, 1991-1993). Este tipo de análisis es útil debido a que son grupos no ecológicos o comunidades pasadas, pero representan taxa los cuales ocurren juntos en tiempo y con patrones similares de ocurrencia a través de la secuencia. Permite reconocer los cambios dentro de la secuencia de los diferentes taxa para interpretar los datos como un registro temporal de los cambios en la vegetación y poblaciones pasadas, así como para facilitar su descripción y correlación (Birks, 1986; Faegri & Iversen, 1989).

Posteriormente, se procedió a hacer el diagrama palinológico, el cual contiene los datos de campo y de laboratorio como: cronoestratigráficos (fechamientos absolutos (¹⁴C), escala de profundidad), litoestratigráficos (columna estratigráfica).y bioestratigráficos (diagramas de polen regional y local).

La tasa de cambio de vegetación (Jacobson y Grimm, 1986), calculada por el programa Tilia 2.1, al graficarse, revela si los periodos de constancia han existido entre lapsos de cambio rápido, o si el cambio ha sido gradual en la vegetación. Calcula las distancias multivariadas entre dos espectros polínicos adyacentes interpolados de una manera que representen intervalos de tiempos iguales. La distancia por unidad de tiempo (100 años) da una medida de

la tasa de cambio palinológico el cual es un indicador del cambio en la vegetación. Cada una de las aproximaciones produce evidencia de cambios vegetacionales que no son solo controlados climáticamente sino también ecológicamente y pueden ser influidos por eventos locales (fuegos u otros disturbios), o bien regionales (clima). Las tasas de cambio, medidas en registros de polen en sitios individuales son variables, demostrando que la transición vegetacional es más abrupta en algunos tiempos que en otros (Grimm, 1988). Promediando las tasas de vegetación de varios sitios se suavizan los cambios locales, indicando cuando ocurren los cambios sincrónicos o regionales.

IV. RESULTADOS

IV.1.- Litología y geocronología de la secuencia lacustre

La descripción de la secuencia estratigráfica del núcleo que aquí se analiza se muestra en la figura 3. Los sedimentos que lo conforman son principalmente limos y cenizas volcánicas. El color de los sedimentos se definió de acuerdo a las tablas de Munsell (1975).

La caracterización geoquímica y correlación de varias tefras de la cuenca de México es presentada por Ortega y Newton (1998), para el núcleo E de Chalco, estos autores reconocen 6 depósitos de tefra, a los cuales denominan: Miahuacan (*ca.* de 16,000 años AP.); Tlapacoya 1 (fecha entre $14,430 \pm 190$ y $15,020 \pm 450$ por Niederberger, 1976; García, 1986 *In*: Ortega-Guerrero *et al.* 1998); Tlapacoya 2 que es un lapilli de pómez amarillo (con una edad de $14,295 \pm 90$ años AP. establecida a partir de restos de plantas justo abajo de esta tefra); San Martín (fecha a $13,900 \pm 100$ años AP.); Chimalpa (fecha a $14,015 \pm 30$ años AP.) y Huitzilzingo (con una edad de $2,645 \pm 55$ años AP.).

La geocronología de la secuencia se estableció por medio de 15 fechas de ^{14}C (Tabla III), obtenidas en la Universidad de Arizona mediante el convenio de colaboración entre el Dr. Douglas Donahue y la Dra. Beatriz Ortega. En la tabla III se señala el tipo de muestra donde se obtuvieron los fechamientos. Se presenta en la columna del extremo derecho las fechas calibradas, esto es, la corrección de las edades de radiocarbón a años calendáricos o escala de tiempo absoluto, la cual se estableció a través del método Calib. 3.0 (Stuiver y Pearson, 1993).

Las fechas obtenidas muestran congruencia con su posición estratigráfica, excepto las fechas 411 cm, 568 cm, 728 cm y 988 cm, las cuales están invertidas y por lo mismo no fueron incluidas en la interpolación de fechas de las figuras 3, 4 y 5.

Es posible que la inversión en estas fechas sea debida a la depositación de estos trozos de madera (más jóvenes), en sedimentos más viejos y por eso al realizarse los análisis de fechamiento, resulten edades más jóvenes. Por esta razón tres de estos cuatro fechamientos 411 cm, 568 cm y 988 cm, no fueron incluidos en las figuras 4, 5 y 6. El fechamiento de la tefra San Martín, fue incluido, ya que al realizarse la interpolación, esta

fecha no contradice los fechamientos adyacentes.

La relación edad/profundidad para el núcleo E de Chalco fue determinada por interpolación entre los fechamientos (de polen y madera) en el programa Tilia Graph (Fig. 3). La edad en la base del núcleo fue estimada en 16, 600 años AP., mientras que la edad en el tope del núcleo fue de 20 años, ambas obtenidas por extrapolación de los datos.

Del conjunto de secuencias estudiadas en los diferentes sistemas lacustres de la cuenca de México es evidente que la cronología que se obtuvo para el núcleo CH-E supera en precisión y calidad a las reportadas previamente, ya que el fechamiento por AMS en granos de polen elimina muchas de las fuentes potenciales de error de fechamiento que son inherentes al volumen de la muestra fechada como por ejemplo el error de agua dura, en el cual, las fechas del volumen de sedimentos son más viejas que las del concentrado polínico (Brown et al. 1989 y 1992). La importancia de este hecho es que permite definir con mejor precisión la duración de los cambios establecidos en este estudio y ajustar temporalmente los eventos documentados en la literatura.

Tabla III.- Fechamientos de radiocarbón por AMS. (* fechas invertidas)

Clave Lab.	Prof. de muestra	Tipo de muestra	Edad Radiocarbon (años AP.)	Edad Calibrada (años) (Stuiver, 1993)
AA-17046	80 cm.	polen	2,645 ± 55	2,755
AA-17047	175 cm.	polen	6,800 ± 70	7,582
AA-17041	255 cm.	polen	8,315 ± 115	9,366
AA-17045	323 cm.	polen	9,370 ± 90	10,359
AA-17044	359 cm.	polen	9,900 ± 80	11,004
AA-13345	411 cm.	madera	9,767 ± 75 *	10,975
AA-13350	480 cm.	madera	11,414 ± 78	13,325
AA-13343	568 cm.	madera	12,952 ± 99	15,360
AA-13346	623 cm.	madera	12,454 ± 100 *	14,582
AA-13348	708 cm.	madera	14,013 ± 129	16,807
AA-13344	728 cm.	madera	13,988 ± 100 *	
AA-13342	755 cm.	madera	14,293 ± 92	17,135
AA-13349	802 cm.	madera	14,915 ± 102	17,826
AA-13351	871 cm.	madera	15,493 ± 130	18,403
AA-13347	988 cm.	madera	15,239 ± 104 *	18,160

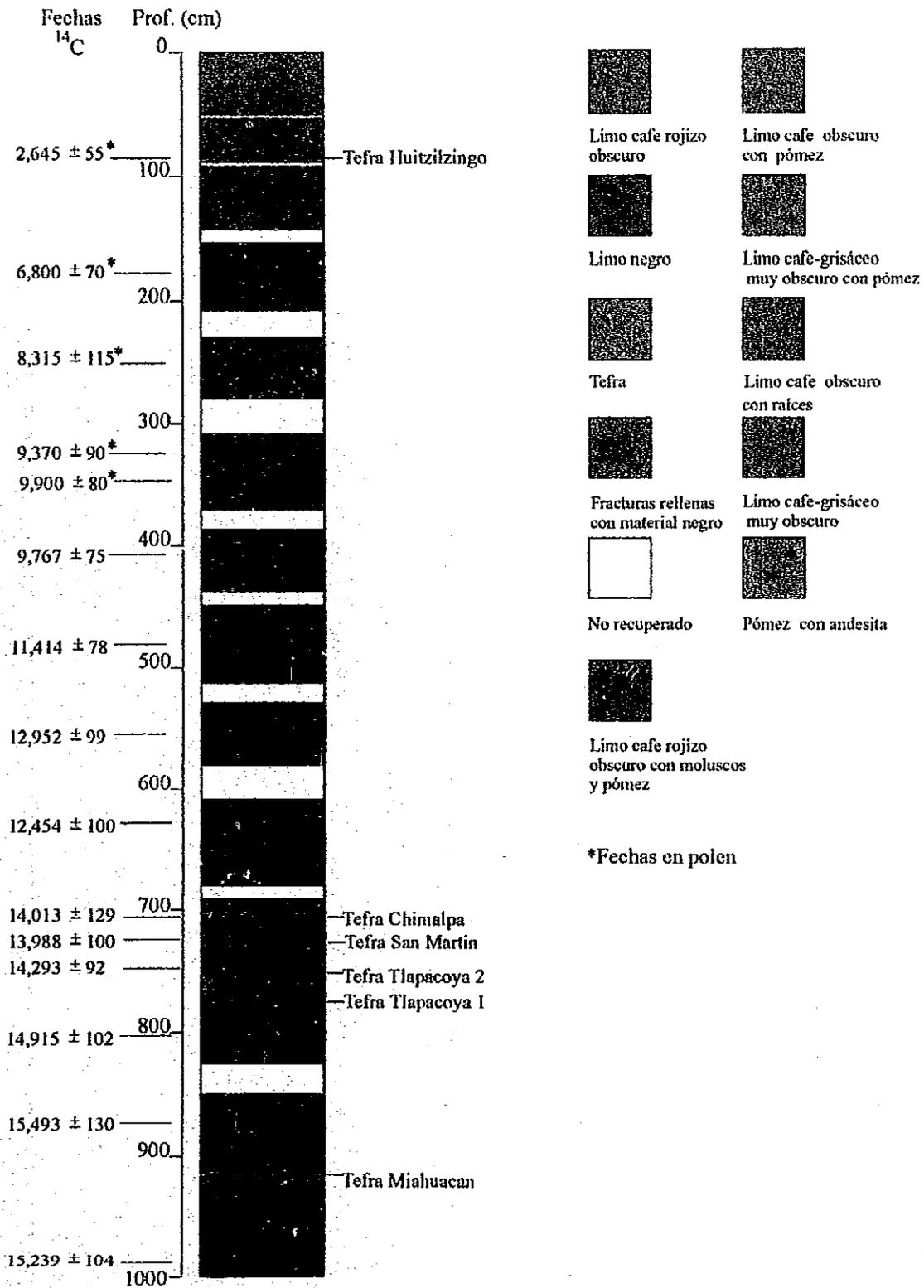


Figura 3.- Columna estratigráfica del núcleo E del lago de Chalco, fechas de radiocarbón y tefras.

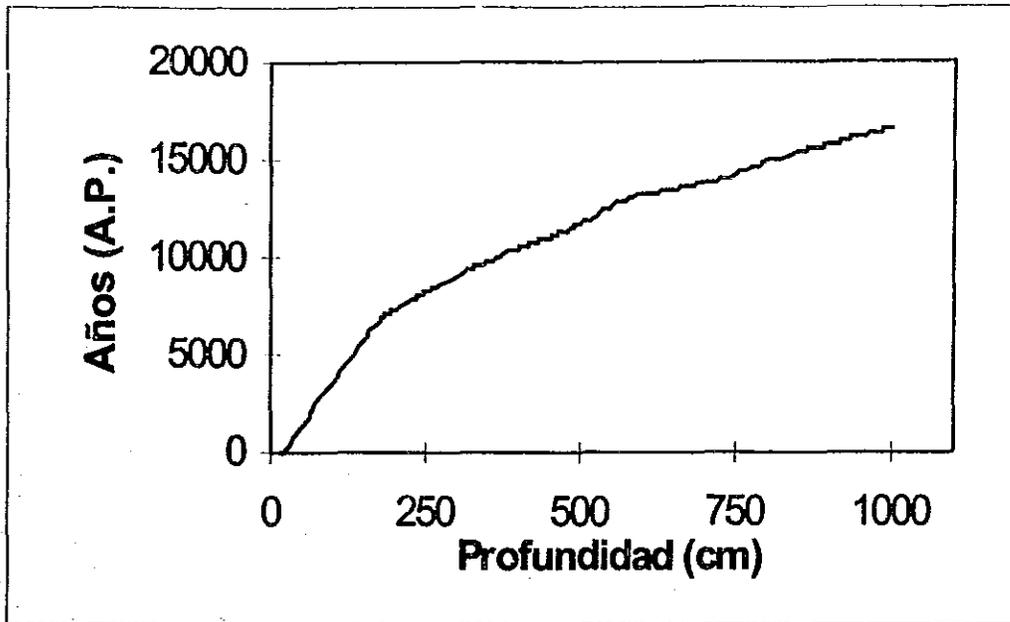


Fig. 4.- Relación edad/profundidad del núcleo E

IV.2. Datos fisico-químicos

Con base en las fechas se estimó la tasa de sedimentación a lo largo de la secuencia estratigráfica. Estos datos son presentados junto con los datos fisico-químicos (figura 4), los cuales incluyen los resultados de calcinación (materia orgánica y carbonatos), granulometría, susceptibilidad magnética, concentración de partículas de carbón, acumulación de carbón /acumulación de polen, e isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$. Junto con estos diagramas se presentan las gráficas de polen arbóreo contra polen no arbóreo, concentración y flujo polínico. La discusión de estos datos se hace junto con el de las zonas polínicas.

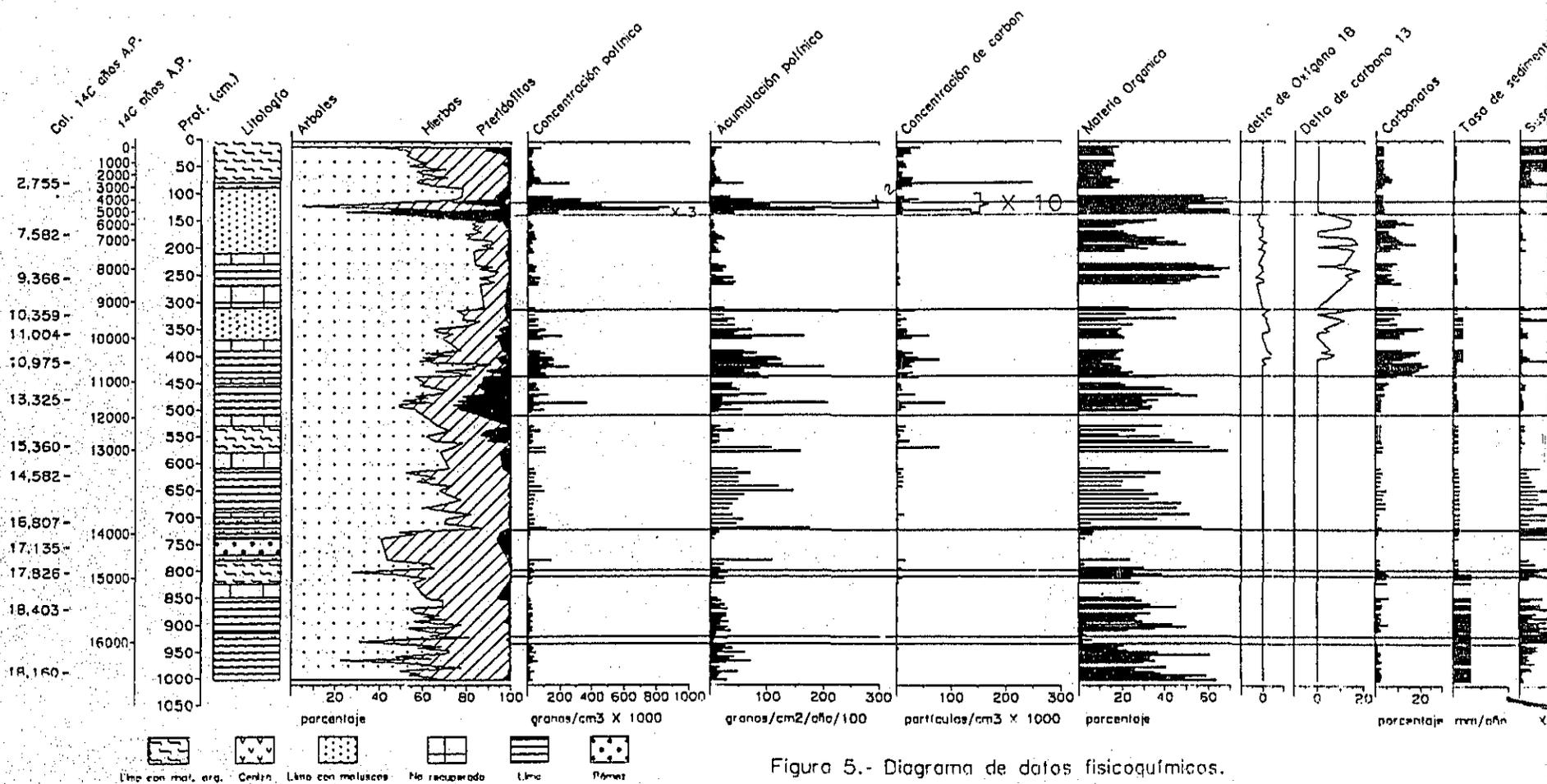
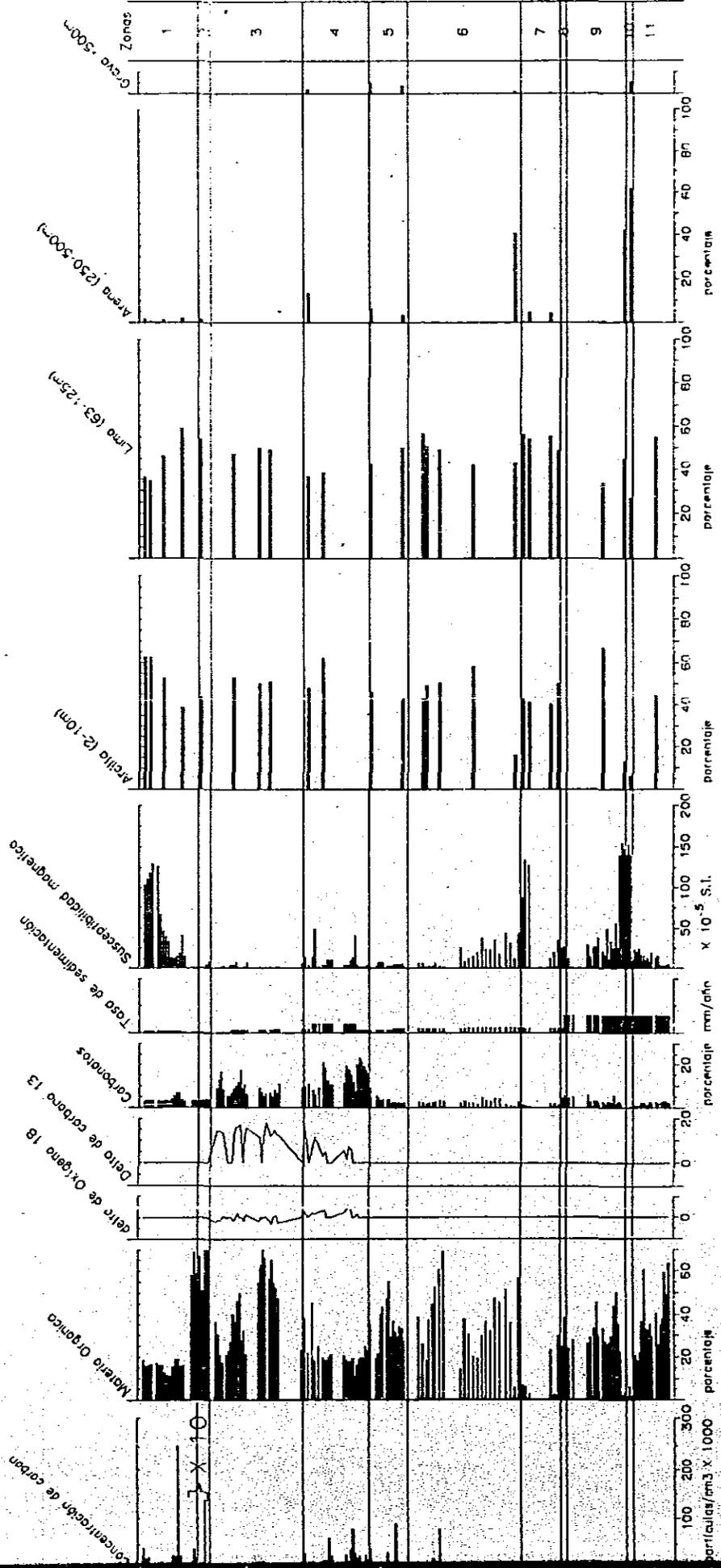


Figura 5.- Diagrama de datos fisicoquímicos.



Programa de datos fisicoquímicos.

IV.3. Análisis palinológico.

Los resultados del análisis palinológico del núcleo E del lago de Chalco aportan un total de 180 palinomorfos. Estos fueron agrupados en cinco categorías de acuerdo a su hábito de crecimiento y hábitat. Se realizó una investigación sobre aspectos ecológicos y la síntesis de ésta se presenta a manera de tabla sintética en el anexo 1. El Grupo 1, formado de elementos arbóreos está constituido por 28 taxa, los cuales se presentan en la tabla IV y se ilustran en las láminas I y II.

Se identificaron 55 taxa pertenecientes al Grupo 2, de arbustos y hierbas (tabla V, láminas III, IV y V). El Grupo 3 lo constituyó el conjunto de esporas de pteridofitas, briofitas y musgos con un total de 18 taxa (tabla VI, lámina VI). En el Grupo 4 se incluyen 27 taxa de habitat acuático y/o subacuático (tabla VII, lámina VII y VIII). Las algas, fungoesporas y testáceos con un total de 25 tipos conforman el Grupo 5 (tabla VIII, lámina IX y X).

A lo largo del análisis palinológico se identificaron a diferentes niveles taxonómicos la mayor parte de los tipos polínicos que fueron registrados. El nivel taxonómica varió desde nivel específico, genérico y a nivel de familia. En algunos casos, se denominó tipo como es el caso de tipo *Cu-Ju* que abarca tanto el género *Cupressus* como el de *Juniperus*. Sin embargo, 28 de estos no fue posible asignarles una identidad taxonómica, estos, se presentan en la tabla IX, láminas XI y XII.

Tabla IV.- Grupo 1, taxa arbóreos (Lám. I-II)

<i>Pinus spp</i>	<i>Juglans sp.</i>	<i>Podocarpus sp.</i>	<i>Prunus sp.</i>	<i>Carpinus-Corylus</i>
<i>Quercus spp.</i>	<i>Ulmus mexicana</i>	<i>Buddleia cordata</i>	<i>Prunus serotina</i>	<i>Cornus sp.</i>
<i>Alnus spp.</i>	<i>Fagus sp.</i>	<i>Bursera sp.</i>	<i>P. serotina var. capuli</i>	Ericaceae
<i>Abies religiosa</i>	<i>Picea sp.</i>	<i>Celtis sp.</i>	<i>Carya sp.</i>	<i>Acacia sp.</i>
tipo <i>Cu-Ju</i>	<i>Liquidambar sp.</i>	tipo <i>Heliocarpus</i>	<i>Berberis sp.</i>	
<i>Fraxinus spp.</i>	<i>Salix sp.</i>	<i>Betula sp.</i>	<i>Taxus sp.</i>	

Tabla V.- Grupo 2, taxa arbustivos y herbáceos (Lám. III-IV-V)

Poaceae	Asteraceae tipo 6	<i>Potentilla</i> sp.	Polygonaceae	<i>Drymaria</i> sp.	Malvaceae
Cheno-Am	Asteraceae tipo 7	<i>Cleome</i> sp.	Malpighiaceae	Loranthaceae	Boraginaceae
<i>Artemisia</i> sp.	tipo <i>Elephantopus</i>	Rubiaceae	<i>Urtica</i> sp.2	Sapindaceae	<i>aff. Hechtia</i> .
Asteraceae tipo 1	tipo <i>Vernonia</i>	<i>Thalictrum</i> sp.	<i>Urtica</i> sp.1	Agavaceae	<i>Plantago</i> sp.
Asteraceae tipo 2	tipo <i>Bidens</i>	<i>Mimosa</i> sp.	<i>Rubus</i> sp.	Piperaceae	<i>Acalypha</i> sp.
Asteraceae tipo 3	Convolvulaceae	<i>Croton</i> sp.	<i>Rhus</i> sp.	<i>Gomphrena</i> sp.	Bignoniaceae
<i>Ambrosia</i> sp.	Euphorbiaceae sp.2	Fabaceae	Lamiaceae sp.2	Apiaceae	<i>aff. Lupinus</i>
<i>Cirsium</i> sp.	<i>aff. Euphorbia hirta</i>	Lamiaceae	Rubiaceae sp.2.	<i>Arceuthobium</i> sp.	<i>Eryngium</i> sp.
Asteraceae tipo 4	Ranunculaceae	<i>Hyptis</i> sp.	Saxifragaceae	<i>Heliotropium</i> sp.	
Asteraceae tipo 5					

Tabla VI.- Grupo 3, Pteridofitas, briofitas y musgos (Lám. VI)

Briofita	Trilete	<i>Selag-Hymeno-Anthoc.</i>	<i>aff. Cyathea</i>	<i>Elaphoglossum</i> sp.
Musgos	Monolete	<i>Thelyp-Blechnum</i>	<i>Anemia</i> sp.	<i>Colysis</i> sp.
<i>Polypodium</i> sp.	<i>aff. Asplenium</i>	<i>Cystopteris</i> sp.	<i>Loxogramme</i> sp.	<i>aff. Schizaceae</i>
<i>Selaginella</i> sp.	<i>Lycopodium</i> sp.	<i>Ophioglossum</i> sp.		

Tabla VII.- Grupo 4, taxa acuáticos y subacuáticos (Lám. VII-VIII)

Cyperaceae	Brassicaceae	Scrophulariaceae	Onagraceae	<i>Isöetes mexicana</i>
<i>Typha</i> sp.	<i>Polygonum</i> sp.	Polygonaceae sp. 2	<i>Myriophyllum</i> sp.	<i>Anthoceros</i> sp.
<i>Sagittaria</i> sp. 2	Nymphaeaceae	<i>Ruppia maritima</i>	<i>Lemna</i> sp.	<i>Equisetum</i> sp.
<i>Arenaria</i> sp.	<i>Rumex</i> sp.	Polygonaceae sp. 3	Sulcado	
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	<i>Sagittaria</i> sp. 1	Polygonaceae sp. 4	tipo Juncaceae	
Ranunculaceae sp.	Solanaceae	<i>Potamogeton</i> sp.	<i>Riccia</i> sp.	

Tabla VIII.- Grupo 5, algas, fungosporas y testáceos (Lám. IX-X)

<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Cf. Leiosferidae</i>	Alga tipo 3	Crisofitas	Akinetes
<i>Mougeotia</i> sp.	Acritarca	Alga lisa tipo 1	<i>Coelastrum</i> sp.	Huevo de poliqueto
Zygnemataceae	Trachaelomonas	Acritarca equinada	<i>Penium</i> sp.	Fungosporas
<i>Botryococcus</i> sp.	Alga tipo 1	Alga tipo 4	<i>Trochiscia</i> sp.	Testáceos
<i>Pediastrum</i> sp.	Alga tipo 2		<i>Staurastrum</i> sp.	Inserta Sedis.

Tabla IX.- Tipos indeterminados (Lám. XI-XII).

tipo 1	tipo 4	tipo 7	tipo 10	tipo 13	tipo 16	tipo 19	tipo 22	tipo 25	tipo 28
tipo 2	tipo 5	tipo 8	tipo 11	tipo 14	tipo 17	tipo 20	tipo 23	tipo 26	
tipo 3	tipo 6	tipo 9	tipo 12	tipo 15	tipo 18	tipo 21	tipo 24	tipo 27	

LAMINA I

1.- *Picea* sp. (400X) 2.- *Abies* sp. (400X) 3.- *Ulmus* sp. (1000X) 4.- *Quercus* sp. (1000X) 5.- *Alnus* sp. (1000X) 6.- *Liquidambar* sp. (1000X) 7.- *Juglans* sp. (1000X) 8.- *Podocarpus* sp. (400X) 9.- *Pinus* sp. (400X) 10.- *Carya* sp. (1000X) 11.- *Fraxinus* sp. (1000X) 12.- *Fagus* sp. (1000X) 13.- *Buddleia* sp. (1000X) 14.- *Salix* sp. (1000X) 15.- tipo *Cu-Ju*. (400X).

LAMINA II

16.- *Bursera* sp. (1000X) 17.- *Celtis* sp. (1000X) 18.- tipo *Heliocarpus* (1000X) 19.- *Carpinus-Corylus* (1000X) 20.- *Prunus* sp. (400X) 21.- *Prunus serotina*. (1000X) 22.- *P. serotina* var *capuli*, (1000X) 23.- *Berberis* sp (1000X) 24.- *Taxus* sp. (1000X) 25.- aff. *Betula* sp (1000X) 26.- *Cornus* (1000X) 27.- Ericaceae (1000X) 28.- *Acacia* sp. (1000X).

LAMINA III

29.- Poaceae (1000X) 30.- Chen-Am (1000X) 31.- *Artemisia* sp. (1000X) 32.- Compuesta tipo 1 (1000X) 33.- *Ambrosia* sp. 34 (1000X).- Compuesta tipo 2 (1000X) 35.- Compuesta tipo 3 (1000X) 36.- Compuesta tipo 4 (1000X) 37.- Compuesta tipo 5 (1000X) 38.- *Cirsium* sp. (400X) 39.- Compuesta tipo 6 (1000X) 40.- tipo *Elephantopus* (1000X) 41.- Compuesta tipo 7 (1000X) 42.- tipo *Vernonia* (1000X) 43.- tipo *Bidens* sp. (1000X) 44.- *Potentilla* sp. (1000X) 45 Polygonaceae (1000 X).

LAMINA IV

46.- *Cleome* sp. (1000X) 47.- Rubiaceae (1000X) 48.- *Euphorbia* sp. 2 (1000X) 49.- *Thalictrum* sp. (1000X) 50.- *Arceuthobium* sp. (1000X) 51.- Apiaceae (1000X) 52.- Malvaceae (400X) 53.- *Drymaria* sp. (1000X) 54.- Caprifoliaceae? (1000X) 55.- Boraginaceae (1000X) 56.- *Euphorbia hirta* (1000X) 57.- *Eryngium* sp. (1000X) 58.- *Mimosa* sp. (1000X) 59.- Ranunculaceae (1000X) 60.- *Croton* sp. (1000X) 61.- Fabaceae (1000X) 62.- Malpighiaceae (1000X) 63.- Lamiaceae sp. 1 (1000X) 64.- *Hyptis* sp. (1000X).

LAMINA V

65.- *Urtica* sp.2 (1000X) 66.- *Urtica* sp. 1 (1000X) 67.- *Rubus* sp. (1000X) 68.- *Rhus* sp. (1000X) 69.- Lamiaceae sp. 2. (1000X) 70.- Rubiaceae sp 2 (1000X) 71.- Saxifragaceae (1000X) 72.- Convolvulaceae (1000X) 73.- Loranthaceae (400X) 74.- Sapindaceae (1000X) 75.- Agavaceae (1000X) 76.- *Acalypha* sp. (1000X) 77.- aff. *Hechtia* (1000X) 78.- *Gomphrena* sp. (1000X) 79.- Poaceae (1000X) 80.- *Heliotropium* sp. (1000X) 81.- *Plantago* sp. (1000X) 82.- Bignoniaceae (1000X) 83.- aff. *Lupinus* (1000X).

LAMINA VI

84.- Briofita (1000X) 85.- Musgos (1000X) 86.- *Polypodium* sp (400X) 87.- *Selaginella* sp. (400X) 88.- Monolete (400X) 89.- Trilete (400X) 90.- aff. *Asplenium* (1000X) 91.- *Lycopodium* sp. (1000X) 92.- *Selaginela-Hymenophyllum-Anthoceros* (1000X) 93.- *Thelipteris-Blechnum* (1000X) 94.- *Cystopteris* sp. (1000X) 95.- *Ophyoglossum* sp. (400X) 96.- aff. *Cyathea* sp. (1000X) 97.- *Anemia* sp. (400X) 98.- *Loxogramme* sp. (400X) 99.- *Elaphoglossum* sp. (1000X) 100.- *Colysis* sp. (400X) 101.- aff. Schizaceae sp. (1000X)

LAMINA VII

102.- Cyperaceae (1000X) 103.- *Typha* sp. (1000X) 104.- *Sagittaria* sp 2 (1000X) 105.- *Arenaria* sp. (1000X) 106.- Brassicaceas (1000X) 107.- *Hydrocotyle ranunculoides* (1000X) 108.- Ranunculaceae sp.1 (1000X) 109.- *Polygonum* sp. (1000X) 110.- Polygonaceae sp. 2 (1000X) 111.- *Rumex* sp. (1000X) 112.- Nymphaeaceae (1000X) 113.- *Sagittaria* sp. 1 (1000X) 114.- Solanaceae (1000X) 115.- Scrophulariaceae (1000X) 116.- *Ruppia maritima* (400X).

LAMINA VIII

117.- Polygonaceae sp. 3 (1000X) 118.- Polygonaceae sp. 4 (1000X) 119.- Onagraceae (1000X) 120.- *Potamogeton* sp. (1000X) 121.- *Myriophyllum* sp. (1000X) 122.- *Lemna* sp. (1000X) 123.- Sulcado (1000X) 124.- *Riccia* sp. (1000X) 125.- *Isöetes mexicana* (1000X) 126.- tipo Juncaceae (1000X) 127.- *Anthoceros* sp. (400X) 128.- *Equisetum* sp. (1000X).

LAMINA IX

129.- *Spirogyra* sps. (400X, a, b 200X, c.) 130.- *Mougeotia* sp. (1000X) 131.- Zygnemataceae (1000X) 132.- *Botryococcus* sp. (1000X) 133.- Acritarca (1000X) 134.- *Pediastrum* sps. (MEB, a.- var. *pseudoglabrum*; b.- var. *perforatum*) 135.- Leiosferidae (1000X) 136.- alga tipo 1 (1000X) 137.- fungospora (1000X) 138.- *Trachaelomona* (1000X) 139.- alga lisa tipo 1 (1000X) 140.- alga tipo 3 (1000X).

LAMINA X

141.- Acritarca equinada (400X) 142.- alga tipo 4 (1000X) 143.- alga clavada (1000X) 144.- Crisofitas (1000X) 145.- *Coelastrum* sp. (a.- MEB, b.- M.L. (1000X) 146.- *Penium* sp. (1000X) 147.- *Trochisia* sp. (1000X) 148.- *Staurastrum* sp. (MEB) 150 Akinetes (1000X) 151.- Fungosporas (1000X) 152.- Testaceos (400X) 153.- Huevo de poliqueto (400X) 154.- Inserta Sedis. (400X)

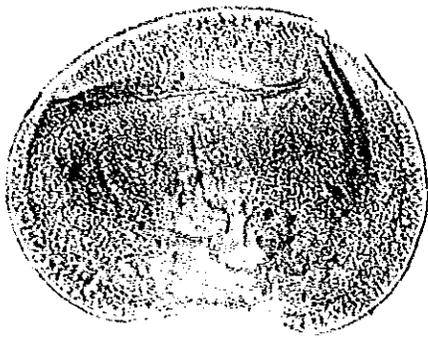
LAMINA XI

155.- tipo 1 (1000X) 156.- tipo 2 (1000X) 157.- tipo 3 (1000X) 158.- tipo 4 (1000X) 159.- tipo 5 (1000X) 160.- tipo 6 (1000X) 161.- tipo 7 (1000X) 162.- tipo 8 (1000X) 163.- tipo 9 (1000X) 164.- tipo 10 (1000X) 165.- tipo 11 (1000X) 166.- tipo 12 (1000X) 167.- tipo 13 (1000X) 168.- tipo 14 (1000X) 169.- tipo 15 (1000X).

LAMINA XII

170.- tipo 16 (1000X) 171.- tipo 17 (1000X) 172.- tipo 18 (1000X) 173.- tipo 19 (1000X) 174.- tipo 20 (1000X) 175.- tipo 21 (1000X) 176.- tipo 22 (Myrtaceae) (1000X) 177.- tipo 23 (1000X) 178.- tipo 24 (1000X) 179.- tipo 25 (1000X) 180.- tipo 26 (1000X) 181.- tipo 27 (1000X) 182.- tipo 28 (1000X).

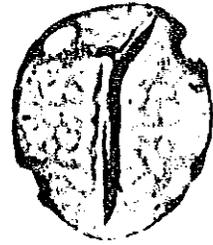
LAMINA I



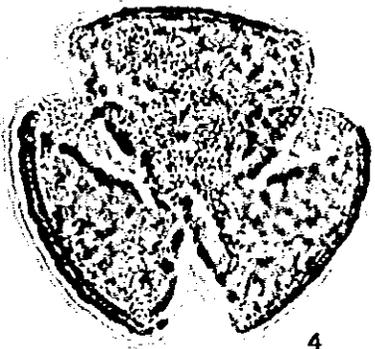
1



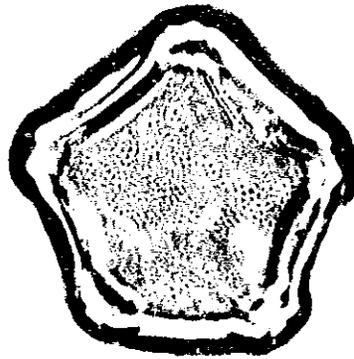
2



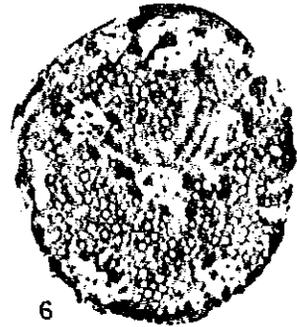
3



4



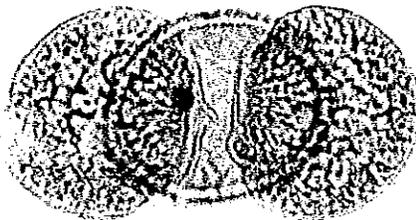
5



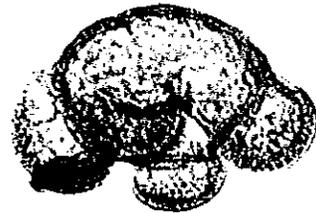
6



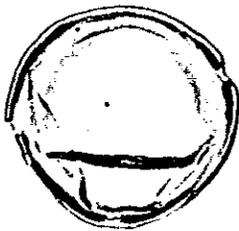
7



8



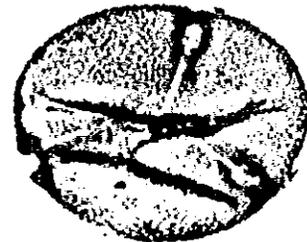
9



10



11



12



13



14

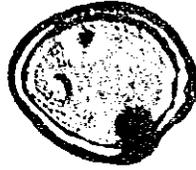


15

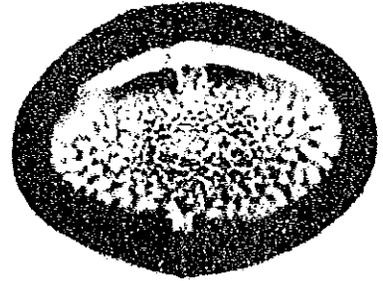
LAMINA II



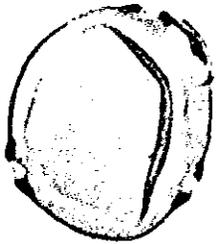
16



17



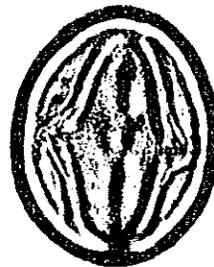
18



19



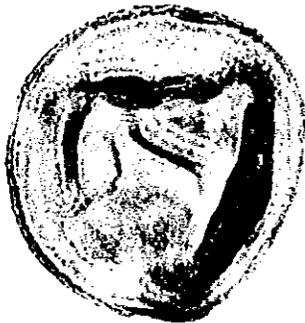
20



21



22



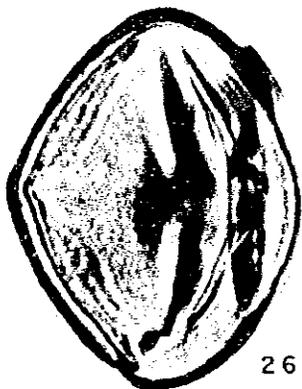
23



24



25



26

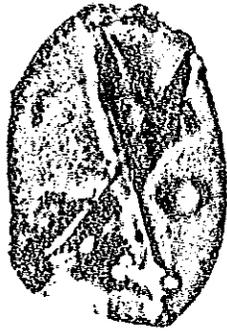


27

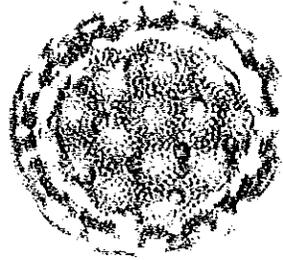


28

LAMINA III



29



30



31



32



33



34



35



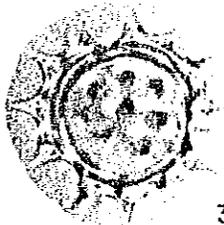
36



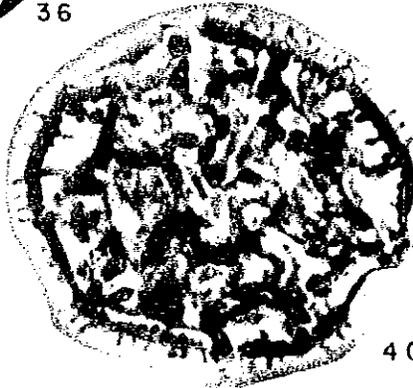
37



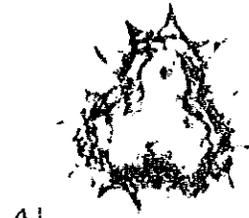
38



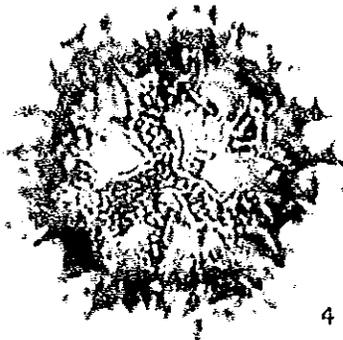
39



40



41



42



43



44



45

LAMINA IV



46



47



48



49



50



51



52



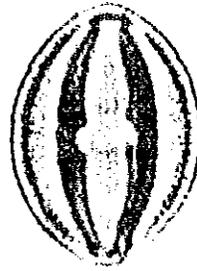
53



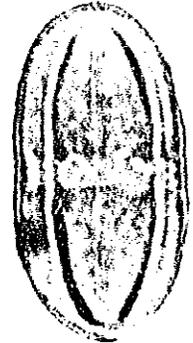
54



55



56



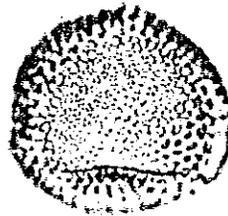
57



58



59



60



61



62

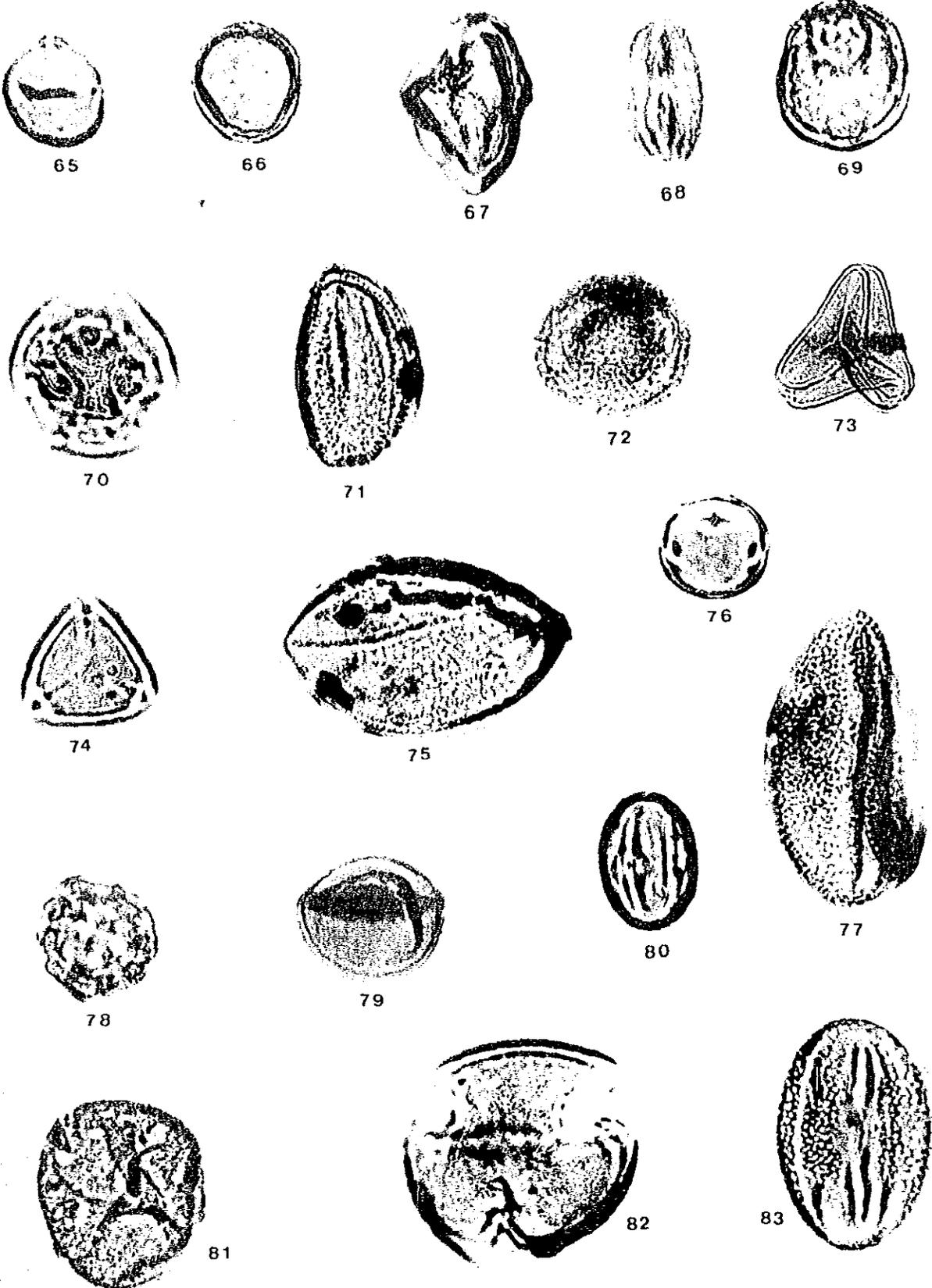


63



64

LAMINA V



LAMINA VI



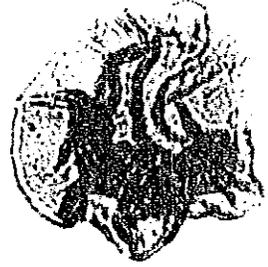
84



85



86



87



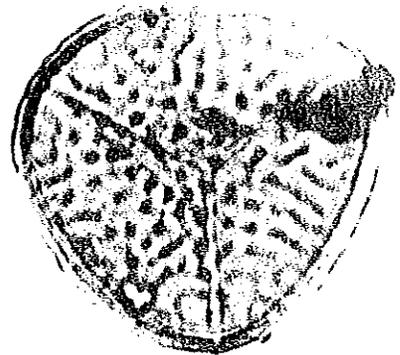
88



89



90



91



92



93



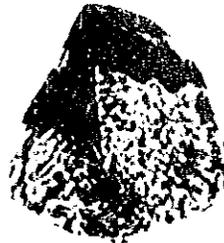
94



95



96



97



98

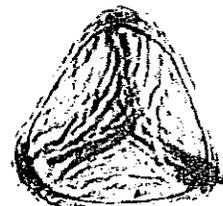


99

100



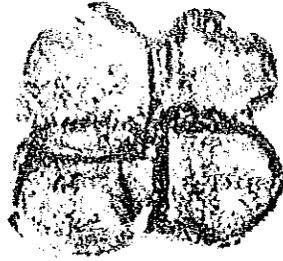
101



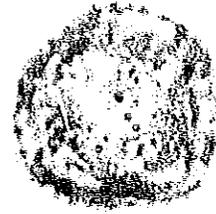
LAMINA VII



102



103



104



105



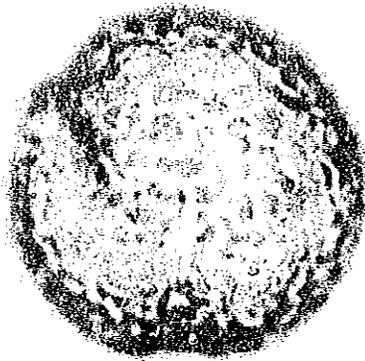
106



107



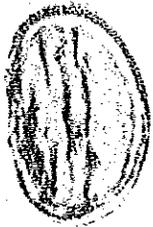
108



111



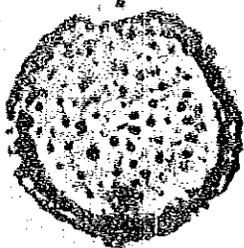
112



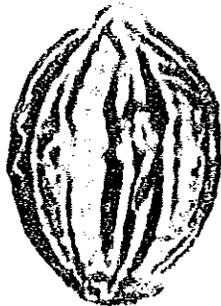
109



110



113



114



115



116

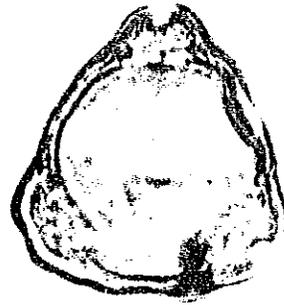
LAMINA VIII



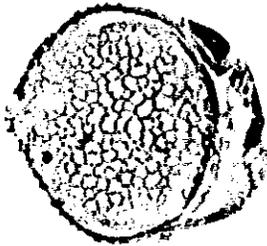
117



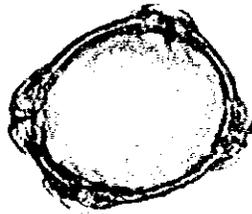
118



119



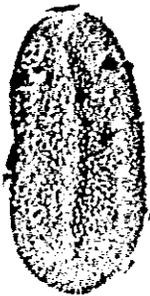
120



121



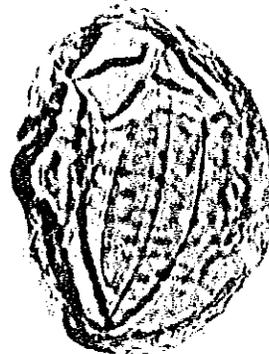
122



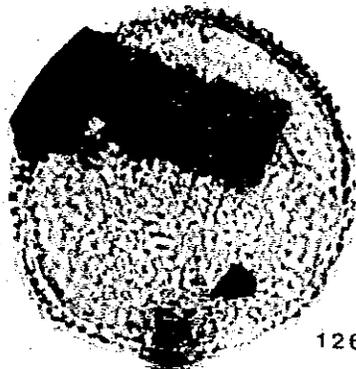
123



124



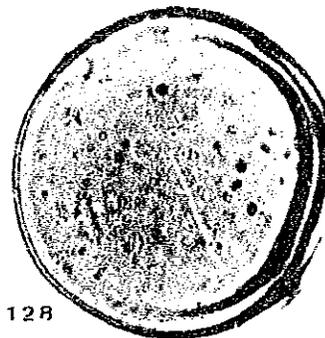
125



126

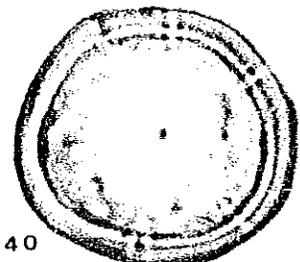
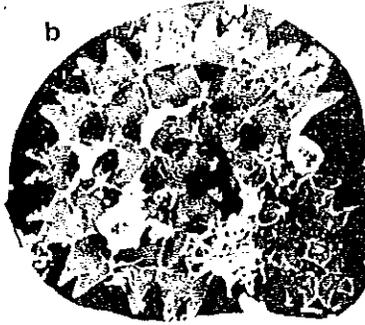
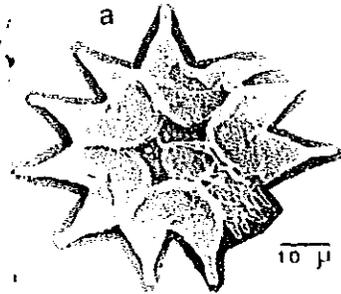
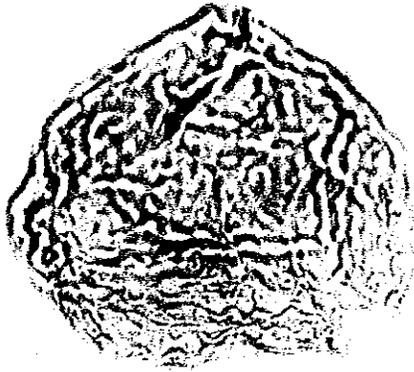
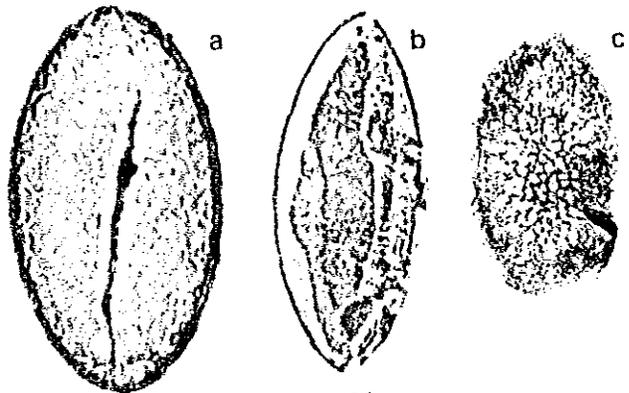


127



128

LAMINA IX

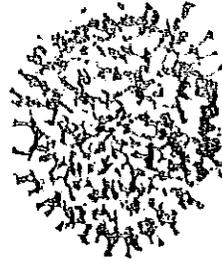




141



142



143



144



a



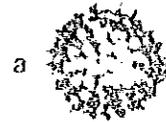
b

145

10 μ



146



a

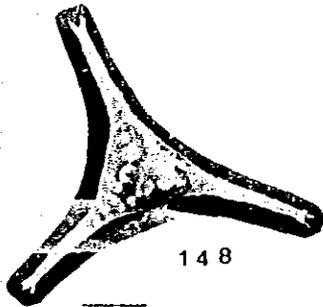


b

147

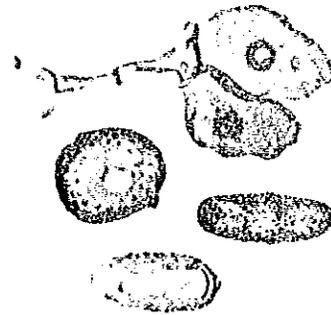


150



148

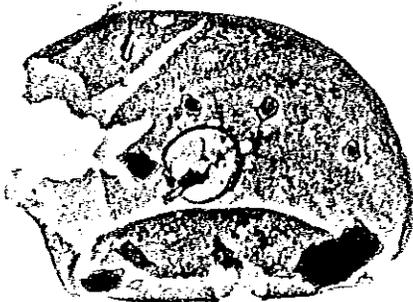
10 μ



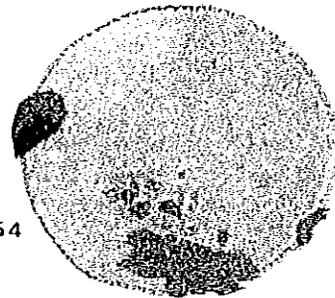
151



153



152



154

LAMINA XI



155



156



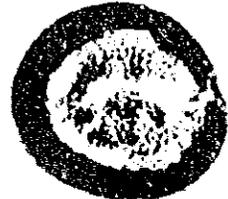
157



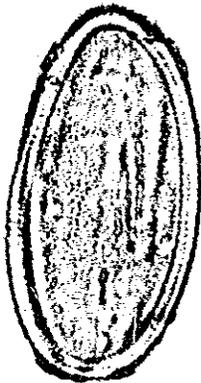
158



159



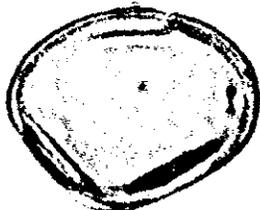
160



161



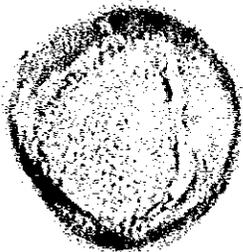
162



163



164



165



166



167



168



169

LAMINA XII



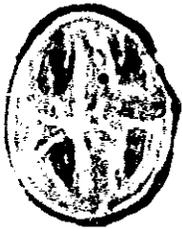
170



171



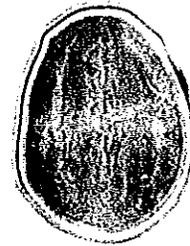
172



173



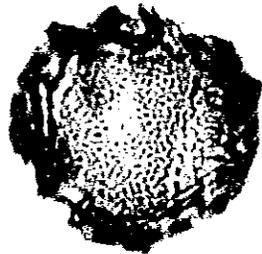
174



175



176



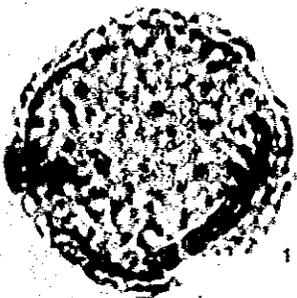
177



178



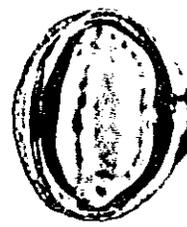
179



180



181



182

Los resultados palinológicos se presentan en forma de diagramas polínicos. Los taxa de los grupos 1,2 y 3 conforman la suma polínica y se muestran en el diagrama denominado regional (Fig. 5). Las curvas polínicas están expresadas en porcentaje de acuerdo a la suma polínica establecida. El digrama local (Fig. 6) se elaboró con la suma polínica del grupo 4, el cual se muestra en porcentaje; los valores del grupo 5 están expresados en número de esporas y/o individuos.

Con base en los conteos de los grupos 1, 2 y 3 se calculó la concentración y acumulación polínica, los cuales se muestran en la figura 7. Con los cálculos de concentración y acumulación polínica se estimó la tasa de cambio de la vegetación cada 100 años (Fig. 7).

IV.3.1. Zonación polínica

A continuación se describen los resultados obtenidos de acuerdo con la zonación que se estableció. Los criterios para la definición de zonas polínicas se obtuvieron al aplicar un análisis de agrupamiento aglomerativo estratigráficamente restringido (CONISS).

ZONA ONCE. Abarca de los 1003 cm a los 939 cm de profundidad, con una edad estimada de 16,600 años AP. a 16,000 años AP. La concentración de granos de polen oscilan entre 10,048 y 58,455 No.granos/cm³, en tanto que la acumulación polínica en la zona se estimó entre 1,161-6,978 No.granos/cm²/año.

Esta zona está compuesta de 16 muestras con porcentajes arbóreos globales que oscilan entre 47.4% y 77.3%. El porcentaje del conjunto no arbóreo varía entre 22.7% y 77.4%. Las pteridofitas en esta zona solo alcanzan valores máximos de 1.6%.

Entre los elementos más importantes que constituye el diagrama polínico regional se encuentran: *Pinus* (9.2%-62%), *Quercus* (6.7%-14.2%), *Alnus* (3.4%-12.6%), tipo *Cu-Ju* (0.8%-8.1%) y *Buddleia* (0.3%-4.6%).

Otro conjunto polínico arbóreo presente en la zona con valores menores a 2%, en orden de importancia son: *Ulmus* (0.5%-1.6%), *Abies* (0.2%-1.1%), *Fraxinus* (0.3%-0.7%), tipo *Heliocarpus* (0.2%-1.6%), *Fagus* (0.2%-0.9%), *Acacia* (0.2%-0.3%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.3% a 0.5%), *Liquidambar* (0.3%-0.5%), *Salix* (0.5%), *Prunus capuli* (0.9%), *Bursera*, *Prunus serotina* y *Prunus sp.* (entre 0.2% y 0.4%).

Entre los elementos más abundantes que constituyen el estrato herbáceo se encuentran las Poaceae (4.3%-27%), las Chen-Am (0.5%-4.4%). *Cleome* presenta en esta zona los valores más altos de la secuencia (0.3%-17.4%). *Arceuthobium* (3.8%) y *Euphorbia hirta* (6.5%). Mientras que entre las asteraceas se observa a: *Artemisia* (2.7%-8.4%), Asteraceae tipo 1 (0.3%-24.2%), Asteraceae tipo 2 (0.5%-15.7%), *Cirsium* (0.5%-9.2%), *Ambrosia* (0.2%-2.3%) y Asteraceae tipo 3 (0.5%-10.6%).

Se presenta un conjunto polínico de 27 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

El conjunto de esporas Pteridofitas son poco abundantes, encontrándose seis tipos diferentes de esporas que son: *Polypodium* (0.2% a 1.6%), Monolete (0.3% a 0.5%), Trilete (0.7% y 0.5%), *Ophioglossum* (0.3% y 0.4%), *Cystopteris* (0.2%) y espora de musgo (0.3%).

El diagrama palinológico local está compuesto principalmente por Cyperaceae (91-99.5%), así como por otros taxa acuáticos y/o subacuáticos en baja proporción como: *Hydrocotyle ranunculoides* (37.5%), Ranunculaceae sp.1 (18%), *Typha* (3.8%), Brassicaceae (2.9%), *Polygonum sp.* (2.2%), Polygonaceae (2.5%) y *Rumex* (5.9%). Se presenta un conjunto polínico de 5 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Las algas en estas zona son escasas y entre estas se encuentran: Acritarca equinada (18), *Botryococcus* (1-8), Leiosferidae (1-3), *Pediastrum* (2-5), *Spirogyra* (1-8), Zygnemataceae (1-2), *Penium* (1), *Mougeotia* (1-2), *Coelastrum* (2) y Acritarca (1).

Resalta en esta zona, la presencia y abundancia de las fungoesporas las cuales alcanzan valores de 2,036, mientras que los Testaceos presentan un valor máximo de 57.

ZONA DIEZ. Abarca de los 931 cm a los 923 cm de profundidad, con una edad estimada de 16,000 años AP. a 15,900 años AP. La concentración polínica presentó valores

de 3,575-24,730 (No.granos/cm³) y la acumulación polínica estimada fue menor que en la zona precedente con valores de 426-2,952 No.granos/cm²/año.

Esta zona, aunque solamente está constituida por 3 muestras se caracteriza por la presencia y abundancia de dos tipos polínicos, uno herbáceo en la base de la zona (Fabaceae), y otro arbóreo (*Buddleia*), en la parte superior de la zona.

El conjunto arbóreo está conformado por: *Buddleia* (12.4% a 73.4%), *Pinus* (1.2%-22.9%), *Quercus* (2.7%-12.7%), *Alnus* (0.2% y 3.8%), tipo *Cu-Ju* (0.2%-5.1%).

Otro conjunto polínico de árboles presente en la zona con valores menores a 2% son: *Ulmus* (0.5%-1.5%), *Prunus serotina* (0.5%-0.6%), *Bursera* (0.3%-0.1%), *Abies* (0.3%), *Celtis* (0.3%), *Fagus* (0.6%), *Fraxinus* (1%) y tipo *Heliocarpus* (0.5%).

Entre los elementos que constituyen el estrato herbáceo las Fabaceae son las más importantes con 28.3% siguiéndole en importancia el tipo 24 (8.8%). Otro conjunto con porcentajes menores son: Poaceae (1.2%-8.9%), Asteraceae tipo 1 (3.2%-7.6%), Asteraceae tipo 2 (7.0%-7.5%), tipo *Heliotropium* (2.7%-7.5%), *Berberis* (2.5% a 6%); Cheno-Am (0.2%-3.8%), Urticaceae sp. 2 (3.5%); tipo 14 (2.9%) y *Artemisia* (0.3%-2.5%).

En la zona se identificó un conjunto polínico de 13 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%. Entre las esporas de pteridofitas solo se presentaron esporas monoletes con valores bajos (0.6%-1.9%).

Entre los elementos que se presentan en el diagrama local se tiene: Cyperaceae (7.2%-58.5%), *Sagittaria* sp. 2 (37.7%), *Hydrocotyle ranunculoides* (37.7%), Ranunculaceae sp.1 (1.9%-92%) y otro taxon acuático de baja representatividad: Polygonaceae sp. 4.

Las algas presentaron valores bajos (3-12), estas son: *Pediastrum* (12), *Botryococcus* (2) y *Coelastrum* (4). De la misma forma se observaron las Fungoesporas (61-283).

ZONA NUEVE. Comprende de los 919 cm a los 814 cm de profundidad, con una edad estimada de 15900 años AP. a 15,000 años AP. La concentración de granos de polen se incrementa en la zona de: 5,973 a 28,822 No.granos/cm³. Lo mismo se registra en los

valores de acumulación polínica variando de 713 a 3,441 No.granos/cm²/año.

En relación con la anterior, es una zona amplia constituida por 18 muestras, los taxa arbóreos incrementan sus valores de 54.6% a 77.3%. El conjunto herbáceo presenta porcentajes de 22.3% a 46%. Mientras que las pteridofitas muestran valores bajos (0.3%-2.5%).

El conjunto arbóreo presenta una recuperación en el registro de *Pinus* de 17.2% a 40.9%, *Quercus* varía entre 6.4% y 17.1%, *Alnus* presenta valores de 5% a 14.7%. *Buddleia* continua aún con valores altos (0.4%-21.5%), aunque menores en comparación con la zona anterior. Su registro disminuye hacia la parte media y superior de la zona. El tipo *Cu-Ju*, presenta valores de 3.7% a 6.7% en la base y tiende a incrementar sus porcentajes hacia la parte media y superior (3.6%-13%).

Otro conjunto arbóreo con valores menores presente en la zona esta compuesto por: *Fraxinus* (0.3%-2.5%), *Ulmus* (0.2%-3.6%), *Fagus* (0.2%-0.5%), *Picea* (0.2%-5.8%); *Prunus serotina* (0.2%-1%), *Prunus* sp. (0.2%-0.8%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%-0.6%), *Abies* (0.2%-0.4%), *Salix* (0.2%-0.8%); *Bursera* (0.4%-1.1), *Celtis* (0.2%-0.5%), *Juglans* (0.3%-0.4%), *Podocarpus* (0.4%-0.8%), *Carya* (0.5%), tipo *Heliocarpus* (0.5%), *Prunus capuli* (0.3% y 0.8%), *Acacia* (0.3% y 0.5%), *Ericaceae* (1.6%), *Betula* (0.2%) y *Liquidambar* (0.4%).

Entre los elementos más abundantes que componen el estrato herbáceo se encuentran las Poaceae con valores que oscilan de 6.9% a 21.9% en la base de la zona, en la parte media fluctúan de 11.8% a 18.9%, mientras que en la parte superior de la zona varían entre 12% y 27.3%. Las Chen-Am están presentes en toda la zona pero con bajos porcentajes de 0.8% a 5.1%. Otro conjunto de taxa que muestra valores menores son: *Artemisia* (0.9%-8.3%), Asteraceae tipo 1 (0.3%-6.2%), Asteraceae tipo 2 (0.3%-11.8%), *Cirsium* (0.4%-4.5%) y *Ambrosia* (0.2%-4.5%). *Cleome* incrementa sus valores alcanzando hasta 15.8%; *Berberis* presenta su valor más alto (0.2%-7.5%), al igual que el tipo 15 (11.4%). Así mismo se encuentra el tipo 19 (0.9%-8.9%), tipo 21 (5.3%) y Apiaceae que alcanza un valor máximo de 4.5%. Se registró un conjunto compuesto por 20 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Las esporas de pteridofitas que se encuentran en la zona son: *Polypodium* (0.2%-

1%), Trilete (0.2%-1%), Monolete (0.3%-0.8%), *Selaginella* (0.4%) *Ophioglossum* (0.4% y 0.5%), *Lycopodium* (0.4%) y *aff. Cyathea* (0.3%).

Los elementos más abundantes son: Cyperaceae (39.6%-99.2%), *Typha* (0.4-10.5%) Brassicaceae (0.6%-53.7%), *Hydrocotyle ranunculoides* (0.3%-17.2%), Ranunculaceae sp.1 (0.3%-17.7%), *Polygonum* sp. (2.7%-3.4%), Nymphaeaceae (3.6%), *Lemna* (1.1%-4.4%), Sulcado (0.3%-2%). Se registró un conjunto polínico compuesto por 13 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Las algas están presentes en la zona con baja representatividad entre ellas se encuentran: *Pediastrum* (30), Alga tipo 1 (21), *Mougeotia* (18), *Botryococcus* (17) y *Penium* (14). Otras algas presentes en la zona con valores menores a 10 son: Acritarca tipo 4 (1-5), Leiosferidae (1-3), Zygnemataceae (1-7), Acritarca (1-4), *Spirogyra* (1-4), *Coelastrum* (4 y 7), Alga tipo 3 (1-8) y Alga lisa tipo 1 (8).

Se incrementa nuevamente el número de fungoesporas en la zona de: 44-223 en la base, en la parte media oscilan de 23-108; en tanto que en la parte superior cambian de 104-991, los Testáceos alcanzan un valor máximo de 31.

ZONA OCHO. Es una pequeña zona que va de los 806-802 cm de profundidad, con una edad estimada de 15,000 a 14,900 años AP. La concentración polínica se incrementa en comparación a la zona anterior 11,167-34,054 granos/cm³. La acumulación polínica registrada es de 1,333-2,932 granos/cm²/año.

Esta zona está constituida por dos muestras, que presentan una composición caracterizada por la baja representación arbórea y por la abundante presencia de *Mimosa* sp.

El conjunto de árboles decrece alcanzando valores de 46.5% a 27.5%, concomitantemente las herbáceas aumentan de 3.5%-72.5%.

Entre los elementos arbóreos más importantes se encontró: *Pinus* (10.4%-7.9%); *Quercus* (10.2%-6.8%); *Alnus* (7.6%-4.3%) y tipo *Cu-Ju* (12.5%-5%).

El conjunto arbóreo con valores menores a 2% en esta zona esta compuesto de: *Picea* (2.1%), tipo *Carpinus-Corylus* (1.3%), *Fraxinus* (1%), *Fagus* (0.5%), *Juglans*

1%), Trilete (0.2%-1%), Monolete (0.3%-0.8%), *Selaginella* (0.4%) *Ophioglossum* (0.4% y 0.5%), *Lycopodium* (0.4%) y *aff. Cyathea* (0.3%).

Los elementos más abundantes son: Cyperaceae (39.6%-99.2%), *Typha* (0.4-10.5%) Brassicaceae (0.6%-53.7%), *Hydrocotyle ranunculoides* (0.3%-17.2%), Ranunculaceae sp.1 (0.3%-17.7%), *Polygonum* sp. (2.7%-3.4%), Nymphaeaceae (3.6%), *Lemna* (1.1%-4.4%), Sulcado (0.3%-2%). Se registró un conjunto polínico compuesto por 13 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Las algas están presentes en la zona con baja representatividad entre ellas se encuentran: *Pediastrum* (30), Alga tipo 1 (21), *Mougeotia* (18), *Botryococcus* (17) y *Penium* (14). Otras algas presentes en la zona con valores menores a 10 son: Acritarca tipo 4 (1-5), Leiosferidae (1-3), Zygnemataceae (1-7), Acritarca (1-4), *Spirogyra* (1-4), *Coelastrum* (4 y 7), Alga tipo 3 (1-8) y Alga lisa tipo 1 (8).

Se incrementa nuevamente el número de fungoesporas en la zona de: 44-223 en la base, en la parte media oscilan de 23-108; en tanto que en la parte superior cambian de 104-991, los Testáceos alcanzan un valor máximo de 31.

ZONA OCHO. Es una pequeña zona que va de los 806-802 cm de profundidad, con una edad estimada de 15,000 a 14,900 años AP. La concentración polínica se incrementa en comparación a la zona anterior 11,167-34,054 granos/cm³. La acumulación polínica registrada es de 1,333-2,932 granos/cm²/año.

Esta zona está constituida por dos muestras, que presentan una composición caracterizada por la baja representación arbórea y por la abundante presencia de *Mimosa* sp.

El conjunto de árboles decrece alcanzando valores de 46.5% a 27.5%, concomitantemente las herbáceas aumentan de 3.5%-72.5%.

Entre los elementos arbóreos más importantes se encontró: *Pinus* (10.4%-7.9%); *Quercus* (10.2%-6.8%); *Alnus* (7.6%-4.3%) y tipo *Cu-Ju* (12.5%-5%).

El conjunto arbóreo con valores menores a 2% en esta zona esta compuesto de: *Picea* (2.1%), tipo *Carpinus-Corylus* (1.3%), *Fraxinus* (1%), *Fagus* (0.5%), *Juglans*

(0.3%), *Betula* (0.3%), y *Prunus* (0.3%), *Ulmus* (1.8%), *Buddleia* (1.1%), *Liquidambar* (0.4%) y tipo *Heliocarpus* (0.4%).

El elemento más importante es *Mimosa* de 26.9% a 23.9%, siguiéndole en importancia: Asteraceae tipo 2 (4.4% a 17.9%), Poaceae (11.5% a 11.4%), *Cleome* (6.1%), *Euphorbia hirta* (4.3%), Asteraceae tipo 1 (3.4% a 2.9%) y *Artemisia* (2.9% a 1.4%). Se presenta un conjunto polínico de 11 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%. En esta zona no se encontraron esporas de pteridofitas.

Los tipos polínicos más abundantes en el diagrama local son las Cyperaceae (82.5%-96.1%), *Sagittaria* sp. 2. (12.7%) y Scrophulariaceae (2%). Otros taxa acuáticos presentes con bajos valores son: Ranunculaceae sp. 1, *Lemna*, *Hydrocotyle ranunculoides*, y Brassicaceae.

Las algas son nuevamente escasas en esta zona, encontrándose entre ellas: Acritarca equinada (2-3), *Botryococcus* (6), *Pediastrum* (5), *Mougeotia* (3), Leiosferidae (1) y Alga lisa tipo 1 (1).

Las Fungoesporas decrecen de 697-84, no observándose testáceos en esta zona.

ZONA SIETE abarca de los 802-727 cm de profundidad y se estima una edad de 14,900 a 14,000 años AP. Se registra un aumento en la concentración polínica de 4,699 a 136,227 No.granos/cm³ y también en la acumulación polínica de 383 a 10,834 No.granos/cm²/año.

También es una pequeña zona ya que está constituida por seis muestras. Se observa una ligera recuperación del elemento arbóreo con porcentajes que van de 43.7% a 64.9% y de 40.7% a 56.4% en la parte superior. Para el conjunto herbáceo los porcentajes son de 34.7% a 52.8%.

Pinus mantiene porcentajes de intermedios a bajos (17.9%-29.5%), *Quercus* registra un decremento (2.4%-12.7%), *Alnus* mantiene valores bajos (4.7%-11.8%). El tipo Cu-Ju continua con porcentajes altos (3.3%-10.7%). Se registró *Prunus serotina* (5.8%); *Fraxinus* (0.6%-2.3%), *Ulmus* (0.8%-2.5%) y *Buddleia* (0.8%-3.3%).

Otro conjunto de árboles presente con valores menores a 2% son: *Fagus* (0.3% y

0.8%), *Celtis* (0.6%), *Betula* (0.8%-0-0.6%), *Abies* (0.4%), *Carya* (0.4%); tipo *Heliocarpus* (0.3%), *Acacia* (0.3%), *Prunus* sp. (1%); *Juglans* (0.4%), *Bursera* (0.2%) y tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%).

Entre los elementos más abundantes que constituyen el estrato herbáceo se encuentran las Poaceae registrando los valores más altos de la secuencia (13%-40.5%). Otro conjunto de hierbas que presentan valores altos son: Asteraceae tipo 2 (21.1%), *Artemisia* (5.9%), Asteraceae tipo 1 (6.5%), *Cirsium* (0.7%-2.9%) y *Ambrosia* (0.9%-2.5%). Apiaceae (0.4%-3.2%), Chen-Am (0.2%-3%) y *Euphorbia* sp2 (4.9%). Hay un conjunto polínico de 22 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Entre las esporas de pteridofitas están: *Lycopodium* (0.3%-0.7%), Espora monolete (0.4%-1.2%); Briofita (0.2%-1.6%) y Trilete (0.2%-0.8%).

En las acuáticas, se registran Cyperaceae (96.9%-36.3%), Ranunculaceae sp. 1 (0.6%-40.8%), *Polygonum* sp. (0.4%-2.3%), *Arenaria* (4.9%-9.3%), *Sagittaria* sp. 2 (11.3%), e *Hydrocotyle ranunculoides*. Entre las pteridofitas locales se presentan: *Isöetes mexicana* (0.2%-7.4%). Se presenta un conjunto de 6 especies con valores menores a 2%.

Las algas nuevamente son escasas en la zona: *Botryococcus* (32), *Pediastrum* (1-2), *Mougeotia* (1-4), alga tipo 1 (3-5), Akinetes (5-7), Acritarca equinada (3), Alga lisa tipo 1 (1), Zygnemataceae (2) *Spirogyra* (1) y Leiosferidae (1).

Las Fungosporas oscilan de 15-727. También se presentan Testaceos (5) y Huevos de Poliqueto (1).

ZONA SEIS. Abarca de los 727 cm a los 531 cm de profundidad, con una edad estimada de 14,000-12,000 años AP. Durante esta zona se registra un incremento importante de la concentración polínica (13,326-112,413 No.granos/cm³) al igual que en la acumulación polínica (905-15,819 No.granos/cm²/año).

Esta es una zona muy amplia constituida de 22 muestras, en la que se observa en el diagrama regional una importante recuperación del estrato arbóreo con respecto a la zona anterior (60.1%-86.6%). Entre los elementos más abundantes que constituyen el diagrama polínico regional se encuentran: *Pinus* (26.6%-52.9%), *Quercus* (8.3%-20.3%), *Alnus*

(5.9%-18.1%), tipo *Cu-Ju* (0.7%-10.7%), *Buddleia* (0.2% a 2.4%), *Fraxinus* (0.2%-2.6%) y *Celtis* (0.2%-4%).

Otro conjunto de árboles presente con valores menores de 2%, son: *Ulmus* (0.2%-0.5%), *Abies* (0.2%-0.7%), *Liquidambar* (0.2%-1.4%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%-0.9%), *Juglans* (0.2%-0.5%); *Fagus* (0.2%-0.5%), *Picea* (0.2%-0.9%), *Salix* (0.2%-0.6%), tipo *Heliocarpus* (0.6% y 0.2%), *Prunus capuli* (0.2% y 0.9%); *Prunus* sp. (0.2% y 2.8%); *Prunus serotina* (0.7% y 0.2%); *Ectula* (0.4%), *Bursera* (0.2% y 0.4%), *Acacia* (5%); *Podocarpus* (0.7%), y *Carya* (0.7%).

Aunque los pastos continúan siendo un elemento importante se registra una disminución en sus valores (5.6%-25.8%) en relación a la zona anterior. El registro de Cheno-Am varía de 0.7%-5.6%. Entre las asteraceas se observa a *Artemisia* (1.2%-4.6%), Asteraceae tipo 1 (0.6%-7.5%), la Asteraceae tipo 2 (0.4%-4%), *Ambrosia* (0.2%-3.6%) y *Cirsium* (0.2%-12.2%). Otros tipos polínicos presentes en esta zona son: Apiaceae (0.2% y 15.3%), *Euphorbia* sp. 2 (0.2% y 3.5%), *Plantago* (0.2% y 4.6%) y Fabaceae (0.9% y 7.4%)

Se presenta un conjunto polínico de 23 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Las pteridofitas reaparecen en la zona: *Monoete* (0.2%-1.2%), *Polypodium* (0.2%-2.1%), *Trilete* (0.2%-2%), Briofita (0.7%-2.6%). *Lycopodium* (0.2%) y *Equisetum* (0.2%), Musgos (1.4%), *aff. Cyathea* (0.4%); *Selaginella* (0.2%) y *Sellaginella-Anthoceros-Hymenophyllum* (0.2%).

En el diagrama local se observa una leve recuperación de las acuáticas y subacuáticas con respecto a las zonas anteriores, encontrándose mayor cantidad tanto de algas como de hongos.

Las Cyperaceae alcanzan un valor máximo de 98% y *Typha* aparece en el registro con porcentaje importante de 23.4%, *Hydrocotyle ranunculoides* 75.7%, *Lemna* sp. 40%, *Potamogeton* sp. 6.7%, Solanaceae 9.5%, *Arenaria* 6.3%, Polygonaceae sp.3 3%, Ranunculaceae 3.3%, Onagraceae 2.3% y Sulcado 2.1%. Se presentan 6 tipos polínicos acuáticos con baja representatividad.

Las algas registradas en la zona son escasas: *Coelastrum* (46), Zygnemataceae (43), *Botryococcus* (36), y *Pediastrum* (25). Otras algas presentes en la zona con menor presencia son: *Acritarca* equinada (1-8), *Spirogyra* (1-9), *Mougeotia* (1-5), Leiosferidae (1-

2), Alga tipo 1 (1-9), *Trochisia* (1-2), *Penium* (1) y Acritarca (1).

Hay un incremento notable de Fungoesporas de 15-3902. Los Testaceos alcanzan un máximo de 11 individuos.

ZONA CINCO.- Esta zona abarca de los 531 cm a los 439 cm de profundidad; con una edad estimada de 12,000 a 10,900 años AP. Se observa un incremento en los valores de concentración polínica alcanzando a los 487 cm hasta 361,926 No.granos/cm³. De la misma forma la acumulación polínica muestra un incremento con valores que fluctúan entre los 1,296 a 20,708 No.granos/cm²/año

Esta es una zona constituida de 14 muestras en la que se puede observar en general un descenso del conjunto arbóreo (49%-71%).

Los principales componentes de este conjunto son: *Pinus* (14.7%-38.4%), *Quercus* (7.7%-18.9%), *Alnus* (9.9% a 19.6%), tipo *Cu-Ju* (0.2% y 5.8%).

Otro conjunto de árboles que está presente con valores menores a 2% está constituido por: *Fraxinus* (0.2%-1.6%), *Liquidambar* (0.2%-0.5%), *Fagus* (0.2%-0.7%), *Buddleia* (0.2%-0.9%), *Abies* (0.2%-0.8%), *Taxus* (0.4%-0.2%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%-0.7%), *Ulmus* (0.7%-0.2%); *Celtis* (0.4%-0.7%), *Juglans* (0.2%-0.5%), *Salix* (0.9%-0.7%), *Prunus* sp. (0.2%), *Picea* (0.2%), *Prunus serotina* (0.2%), *Podocarpus* (0.5%) y *Carya* (0.3%).

Entre el conjunto de hierbas es posible encontrar: Poaceae (7.7%-13%), Chen-Am. (0.7%-8.4%), *Artemisia* (1.8%-3.7%), la Asteraceae tipo 1 (0.2%-3.4%), la Asteraceae tipo 2 (0.2%-4.3%). Se presenta un conjunto polínico de 32 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Se registra un aumento en los valores de las esporas pteridofitas en esta zona: Monolete (7.4%-22.4%), *Polypodium* (0.2%-2.2%), aff. *Asplenium* (0.2%-0.9%), *Thelypteris-Blechnum* (8.1%-1.5%), Trilete (0.2%-0.7%), *Sellaginella-Anthoceros-Hymenophyllum* (0.2%), *Lycopodium* (0.2%), aff. *Cyathea* (0.2%), *Equisetum* (0.2%), Briofita (0.2%-2.3%) y Musgos (0.4%-1.1%).

En esta zona se puede observar en general un descenso en los valores del conjunto de taxa subacuáticos y acuáticos con respecto a la última parte de la zona anterior, así como

un notable aumento en las algas, y una reducción en los hongos.

Las Cyperaceae alcanzan un valor máximo de 98%. *Potamogeton* 29.1%, *Typha* 9.7%, *Sulcado* 8.1% y *Polygonum* sp. 7.5%. Se presentan 13 tipos polínicos acuáticos con baja representatividad.

Resalta en esta zona la presencia y abundancia del conjunto de algas, encontrándose entre ellas: *Botryococcus* (2-571), *Pediastrum* (1-1595), *Coelastrum* (1-8,808), *Staurastrum* (164) y Leiosferidae (29). Otras algas presentes con abundancias menores son: *Spirogyra* (1-3), Acritarca equinada (1), Akinetes (1), *Mougeotia* (1), Zygnemataceae (1-2), Alga tipo 1 (1), Alga tipo 2 (3), Acritarca (1), *Trochisia* (1) y Alga lisa tipo 1 (1).

Las Fungoesporas presentan valores de 61-460 esporas.

ZONA CUATRO abarca de los 435 cm a los 315 cm de profundidad, con una edad estimada de 10,900 años A.P a 9200 años AP. La concentración total de granos de polen en la zona se incrementa de 70,691 a 352,744 No.granos/cm³. La acumulación polínica presenta un ligero aumento con valores que oscilan entre 5,650 y 22,736 No.granos/cm²/año.

Esta es una zona amplia constituida de 22 muestras en las que se puede observar la máxima recuperación de la cubierta arbórea en todo el registro alcanzando un valor mínimo de 58.9% y un máximo de 90.8%.

El conjunto arbóreo está constituido por: *Pinus* (25.7%-51.1%), *Quercus* (12.6%-27.5%), *Alnus* (5.1%-17.4%), tipo *Cu-Ju* (0.2%-7.5%), *Abies* (0.3%-2.2%), *Fraxinus* (0.2%-2.1%).

Otro conjunto de árboles presente con valores menores a 2% son: *Liquidambar* (0.2%-0.6%), *Ulmus* (0.2%-0.6%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%-0.5%), *Taxus* (0.2%-0.6%), *Buddleia* (0.4%-0.7%), *Fagus* (0.2%-0.3%), *Podocarpus* (0.2%-0.3%), *Betula* (0.2%), *Picea* (0.7%-0.2%), *Salix* (0.2%), tipo *Heliocarpus* (0.3%) *Acacia* (0.3%) y *Juglans* (0.2%).

Entre los elementos más abundantes que constituyen el estrato herbáceo se encuentran las Poaceae (3.8%-15.8%), Chen-Am (2%-23.2%), *Artemisia* (0.8%-5.2%), Asteraceae tipo 2 (0.2%-10.3%), *Thalictrum* (0.2% 2.4%). Se registró además un conjunto

polínico de 28 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

El conjunto de esporas pteridofitas son poco abundantes nuevamente: Monolete (0.2%-8.4%). Otras esporas presentes en la zona con valor menor a 2% son: *Polypodium* (0.2%-1.1%), Trilete (0.2%-1.1%); *aff. Asplenium* (0.2%-0.6%), Briofita (0.2%-1.2%), *Lycopodium* (0.2%), *aff. Cyathea* (0.2%) y *Equisetum* (0.2%).

El diagrama palinológico local esta compuesto por Cyperaceae, las cuales mantienen valores semejantes a la zona anterior, con fluctuaciones de 96%-71%. Otros taxa acuáticos presentes son: *Potamogeton* 24.9%, *Typha* 14.4%, tipo Sulcado 9.9%, *Hydrocotyle ranunculoides* 3%, Ranunculaceae 2.4%, *Polygonum* sp. 2.1% y *Ruppia maritima* 2%. Se presentan 9 tipos polínicos con porcentaje menor a 2%.

Nuevamente en esta zona el registro de algas es importante, destacan: *Pediastrum* (1-1,219), *Coelastrum* (7,854), *Botryococcus* (190) y Zygnemataceae (122). Otras algas presentes en la zona con baja representatividad son: *Spirogyra* (1-3), Leiosferidae (1-3), Acritarca equinada (1-4), *Mougeotia* (1), *Staurastrum* (3) y Alga tipo 4 (1).

Entre otros taxa presentes están las Fungosporas (270).

ZONA TRES. Es una zona compuesta por 24 muestras, que va de los 311 cm hasta los 151 cm de profundidad, con una edad estimada de 9,200 años AP. a 5,700 años AP. A pesar de la notable recuperación de los bosques, la concentración polínica se reduce presentando valores de 11,493 a 68,858 No.granos/cm³. Las estimaciones de la acumulación polínica son también menores con valores de 377 a 4,291.8 No.granos/cm²/año.

Esta zona se caracterizó por los altos valores de taxa arbóreos (79.4%-94.1%). Los elementos preponderantes del conjunto de árboles son: *Pinus* (25.5%-70.2%), *Quercus* (4.7%-31.8%), *Alnus* (3.9%-19.9%) y *Abies* con los valores más altos de la secuencia (0.4%-7.9%).

Otro conjunto de árboles presente en la zona con valores menores a 2%, son: tipo *Cu-Ju* (0.2%-1.6%), *Fraxinus* (0.3%-1.6%); *Ulmus* (0.2%-1.3%), *Liquidambar* (0.2%-0.9%), *Buddleia* (0.2%-1.2%), tipo *Carpinus -Corylus* (0.2%-0.4%), *Podocarpus* (0.2%-

0.5%), *Betula* (0.2%-0.6%), *Carya* (0.2%), *Celtis* (0.4%-0.5%), *Prunus capuli* (0.2%-2.2%), *Salix* (0.2%), *Juglans* (0.2%), *Fagus* (0.2%), *Prunus serotina* (0.2%), *Prunus* sp. (0.2%), *Picea* (0.2%), tipo *Heliocarpus* (0.2%) y *Bursera* (0.2%).

Las hierbas se reducen notablemente en comparación a la zona anterior. Entre los elementos más abundantes están: Poaceae (3.3%-11.7%), Cheno-Am. (0.2%-1.8%), *Artemisia* (0.7%-4.4%) y *Urtica* (0.2%-4.3%). Se presenta un conjunto polínico de 29 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

Entre las pteridofitas se encontraron: *Polypodium* (0.2%-1.2%), Monolete (0.2%-1.6%), Trilete (0.2%-0.7%), aff. *Asplenium* (0.2%-0.3%), *Selaginella* (0.6%), *Lycopodium* (0.2%), aff. *Cyathea* (0.2%), *Anemia* (0.2%), aff. Schizaceae (0.2%), *Elaphoglossum* (0.2%), *Colysis* (0.2%) y Briofita, (0.2%).

Es notorio que durante el periodo que abarca esta zona se presentan los valores más bajos de los taxa subacuáticos. De igual forma, las algas muestran valores reducidos de 34; lo mismo se detecta en las Fungoesporas y Testaceos.

Así las Cyperaceae se presentan con un valor máximo de 100%, *Potamogeton* 60%, Ranunculaceae sp. 1 42.9%, *Typha* 33.3%, *Sagittaria* sp. 24.5%, Solanaceae 16.2%, Polygonaceae sp. 4 14.3%, Brassicaceae 14.3%, *Hydrocotyle ranunculoides* 13.3%, tipo Sulcado 12.5%, Onagraceae 12.2%, *Polygonum* sp. 12.2%, *Lemna* 11.1%, tipo Juncaceae 8.3%, *Arenaria* 4.3%, *Rumex* 3.7%, *Anthoceros* 2.8%, *Equisetum* 2.2% y *Riccia* 2.1%. Otro elemento presente en la zona con representatividad menor a 2% es *Isöetes*.

Entre las algas destacan: *Botryococcus* (29) y *Pediastrum* (25). Otras algas con baja representatividad son: Leiosferidae (11), Alga tipo 1 (1-2), *Coelastrum* (1), *Spirogyra* (1), Alga tipo 2 (1-2), Zygnemataceae (1), Crisofita (2) y Alga lisa tipo 1 (1).

ZONA DOS. Es una zona que solo está constituida por 4 muestras y que abarca de los 151-120 cm de profundidad, con una edad estimada de 5,700 años A.P a 4,200 años AP. Los valores de máxima concentración polínica son observados en esta zona, alcanzando hasta los 2,623,500 No.granos/cm³. El mismo comportamiento ocurre con la acumulación polínica obteniéndose a los 125 cm de profundidad hasta 59,983.7 No.granos/cm²/año la más alta del registro.

Esta zona está caracterizada por la escasa representación de los elementos arbóreos, alcanzando valores hasta de 4.6% a los 125 cm de profundidad. La reducción ocurre en todos los taxa que dominan las zonas anteriores: *Pinus* (0.3%-31.5%), *Quercus* (2.7%-23.2%), *Alnus* (0.7%-7.2%), *Liquidambar* (0.4%-2.8%). Se registra también un conjunto de taxa arbóreo con porcentajes bajos: *Salix* (0.1%-0.6%), *Fraxinus* (0.2% y 0.6%), *Abies* (0.5% y 0.6%), *Betula* (0.6%), tipo *Carpinus-Corylus* (0.2%); *Buddleia* (0.6%), tipo *Cu-Ju* (0.2%) y *Celtis* (0.2%).

El conjunto que se incrementa notablemente en la zona y que la caracteriza son las Chen-Am., las cuales presenta valores máximos hasta 89.9% a los 125 cm de profundidad.

También hay un incremento moderado en los porcentajes de los pastos (1.1%-14.4%),

Dentro del conjunto de esporas de pteridofitas ocurre un importante aumento en las esporas Monolete (1.2%-70.1%), mientras que *Polypodium* (0.2%-0.6%), Trilete (1%-0.6%), *aff. Asplenium* (0.1%), *Anemia* (0.1%), *Loxograma* (0.1%) y Briofita (0.1%) mantienen sus bajos valores.

El conjunto de elementos que caracterizan el ambiente lacustre son: Cyperaceas (94.6%), *Sagittaria* sp. 2 (49%), *Lemna* (6.7%) y *Typha* (4.3%), *Potamogeton* (2.7%), *Sagittaria* (2%) e *Hydrocotyle ranunculoides* (2%). Otros tipos polínicos presentes en la zona con baja representación son: *Arenaria*, Solanaceae, *Polygonum* sp. y Brassicaceae.

También se registra un incremento en las algas: *Pediastrum* (66), Crisofitas (62), Acritarca equinada (35) y *Spirogyra* (13). Otras algas con baja representación son: Leiosferidae (1) y Zygnemataceae (2).

En esta zona las Fungoesporas se encuentran con un valor máximo de 706.

ZONA UNO. Abarca de los 115-15 cm de profundidad (18 muestras). Con una edad de 4200 años AP. al presente. La concentración polínica de 5,193 a 327,600 No.granos/cm³, al igual que la acumulación polínica de 118 a 7,579 No.granos/cm²/año disminuyen en esta zona a niveles previamente registrados en la zona 3.

Se detecta una recuperación de los elementos arbóreos, los porcentajes fluctúan entre los 34.8%-78.1%, aunque hacia la parte superior se observa un decremento del polen de árboles. Los elementos abundantes son: *Pinus* (19.7%-59.9%), *Quercus* (2.3%-28.4%), *Alnus* (1.4%-8.5%), tipo *Cu-Ju* (0.3%-2.3%) y *Liquidambar* (4.3%).

El conjunto polínico arbóreo con valores menores a 2% es: *Abies* (0.3%-1.8%), *Buddleia* (0.3%-0.9%), *Fraxinus* (0.3%-0.9%), *Podocarpus* (0.3%-1%), *Salix* (0.3%-1.3%), *Ulmus* (0.4%-0.9%), *Celtis* (0.5%-0.7%), *Fagus* (1.1%), *Prunus serotina* (0.3%) y *Prunus sp.*(0.5%).

Si bien los Chenopodiaceae, siguen siendo importantes en el registro, sus porcentajes se reducen fluctuando entre 0.8% y 37.7%. Las Poaceae presentan valores inferiores, de 0.4%-13.1%.

Entre las asteráceas se registró a: *Cirsium* (0.2% y 4.8%), Asteraceae tipo 2 (4.5%), Asteraceae tipo 1 (5.3%), *Artemisia* (0.2%-3.1%) y *Ambrosia* (0.3%-4.4%).

Otras herbáceas presentes son: La Apiaceae (0.3%-4.7%), *Euphorbia sp. 2* (0.2%-2.2%). Además se registró un conjunto polínico de 33 elementos cuyos porcentajes son menores a 2%.

En esta zona también hay porcentajes importantes de pteridofitas: Monolete (de 0.3%-21.4%), *Polypodium* (0.2%-2.8%) y Trilete (0.3%-2.5%). Otras pteridofitas presentes en la zona con baja representatividad son: *Selaginella-Hymenophyllum-Anthoceros* (0.4%-0.9%), Briofita (0.5%-1.3%), *Selaginella* (0.4%), *aff. Cyathea* (0.4%), *Cystopteris* (0.4%-1%), *aff. Asplenium* (0.5%) y *Lycopodium* (0.4%).

Esta zona se caracteriza por un leve incremento de los componentes de la vegetación acuática con respecto a las zonas 2, 3 y 4.

Las Cyperaceae oscilan de 77.7%-97.2%, *Typha* alcanza valor máximo de 10.5%, *Sagittaria sp. 2* 11.2%, *Sagittaria sp. 1* 9.1%, *Arenaria* 8.8%, Polygonaceae sp. 2 5.3%, *Hydrocotyle ranunculoides* 4.9%, Polygonaceae sp. 4 3.9%, *Lemna* 3.7%, Nymphaeaceae 3.6%, Solanaceae 2.9%, Brassicaceae 2.7% y *Ruppia maritima* 2.2%. Se presentan 9 tipos polínicos con baja representación

En el diagrama local se detecta un incremento en el conjunto de algas: *Spirogyra* (43), *Acrítarca* (30), *Pediastrum* (14), *Acrítarca equinada* (17) y *Leiosferidae* (14).

Otras algas con baja representatividad son: *Botryococcus* (1-5), Zygnemataceae (1-3), Alga tipo 1 (1-5), *Trochisia* (2), *Mougeotia* (1-3); Alga tipo 4 (2), Alga tipo 2 (2) y *Trachaelomonas* (1).

En el conjunto de las Fungoesporas se observa una tendencia al aumento de sus valores 37 en la base, alcanzando 603 en la parte superior.

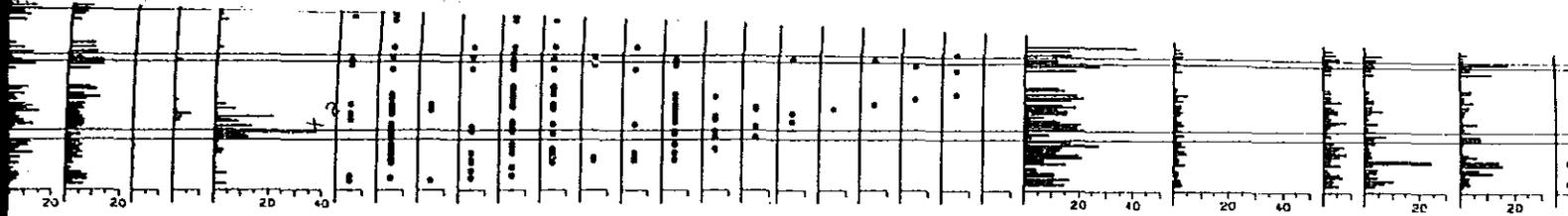


Figura 5.- Diagrama polínico

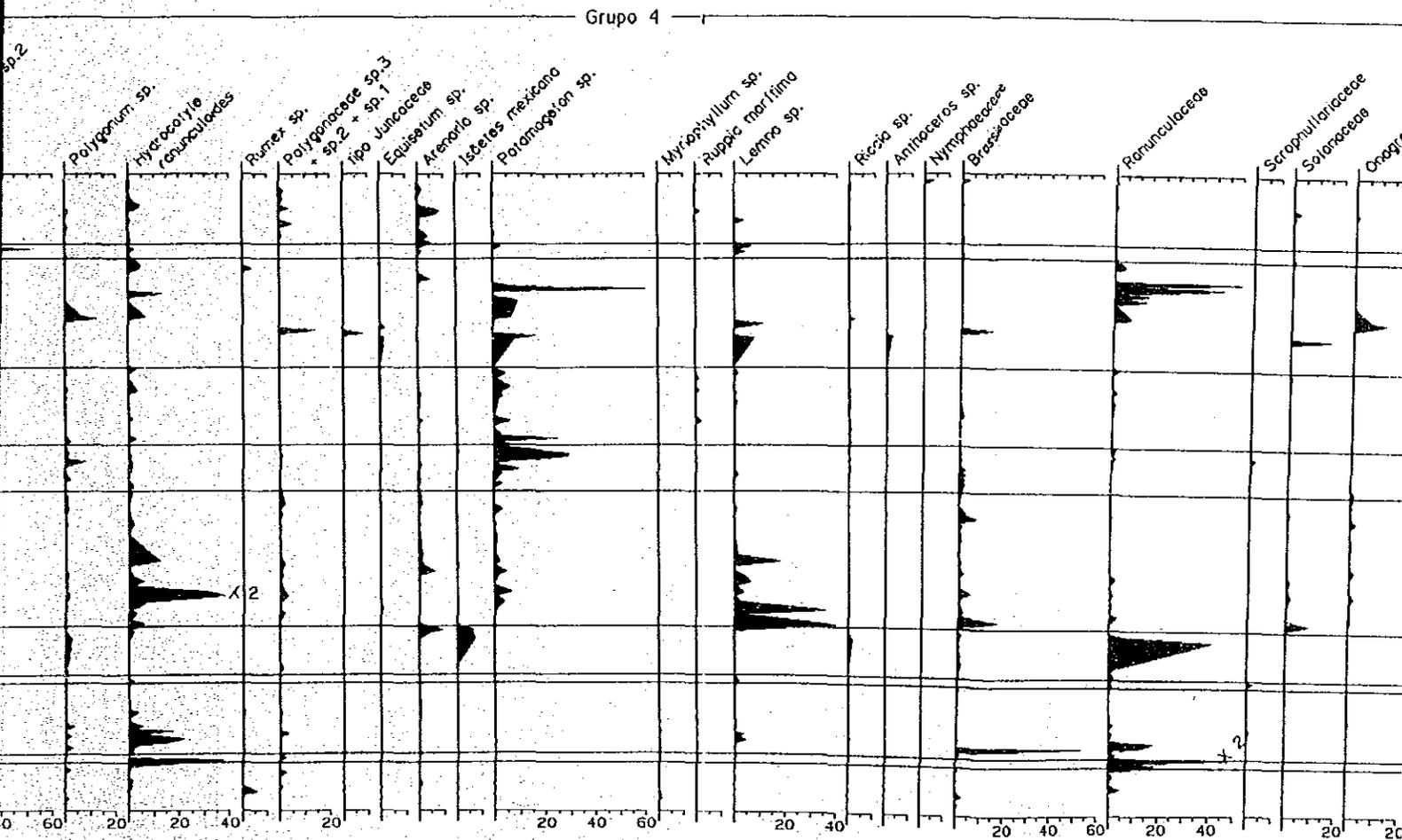
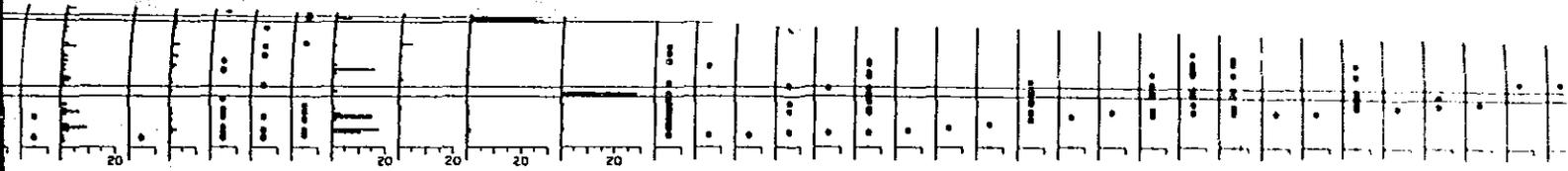
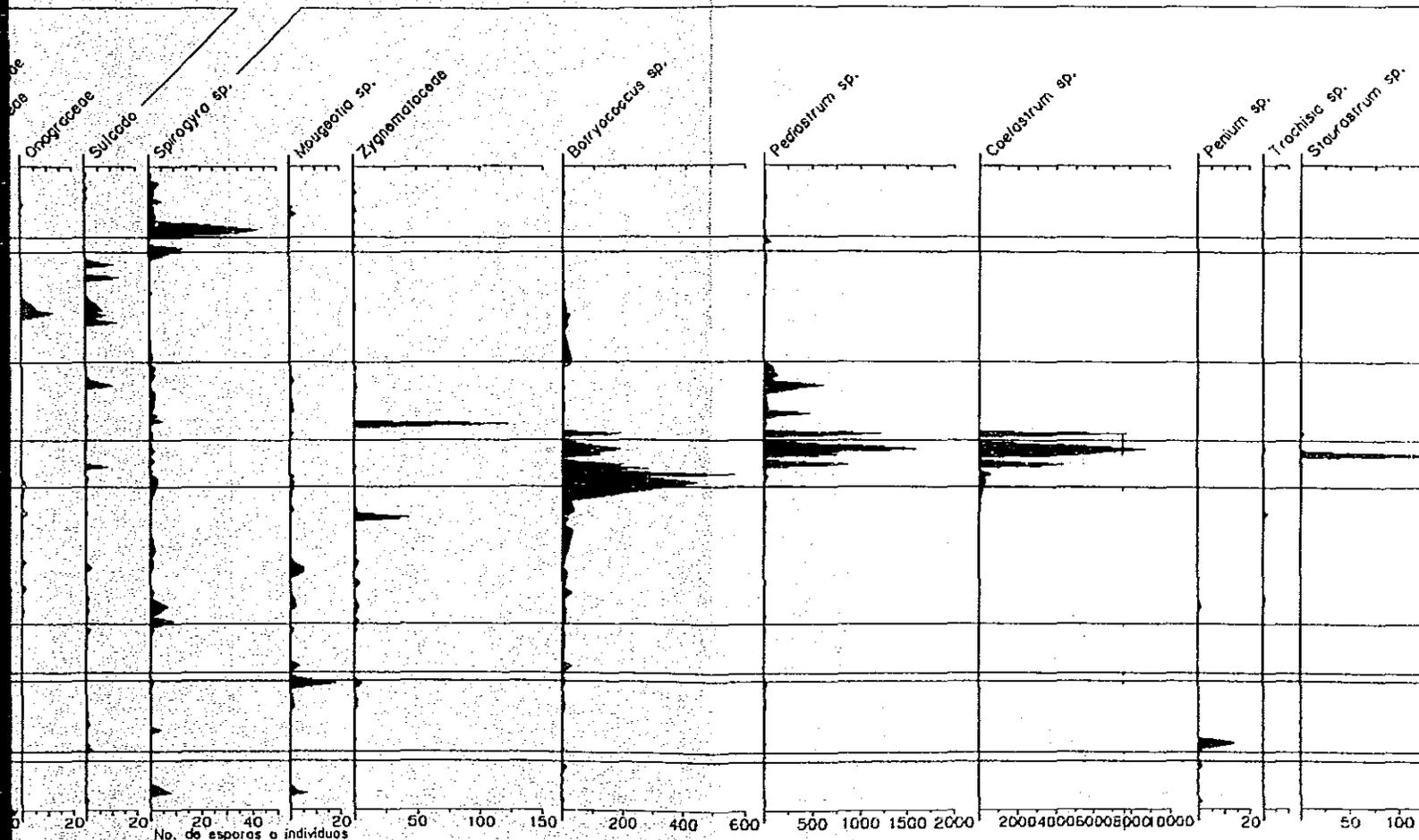


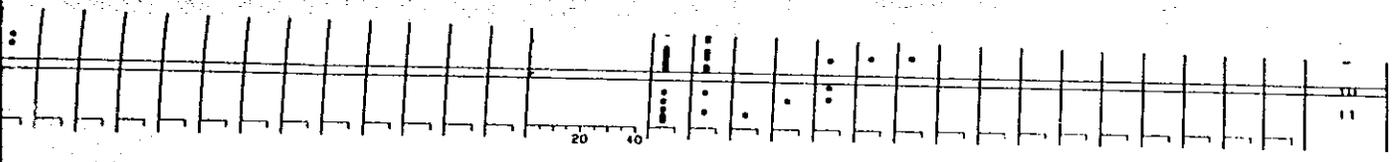
Figura 7.- Diagrama polínico local. Vegetación



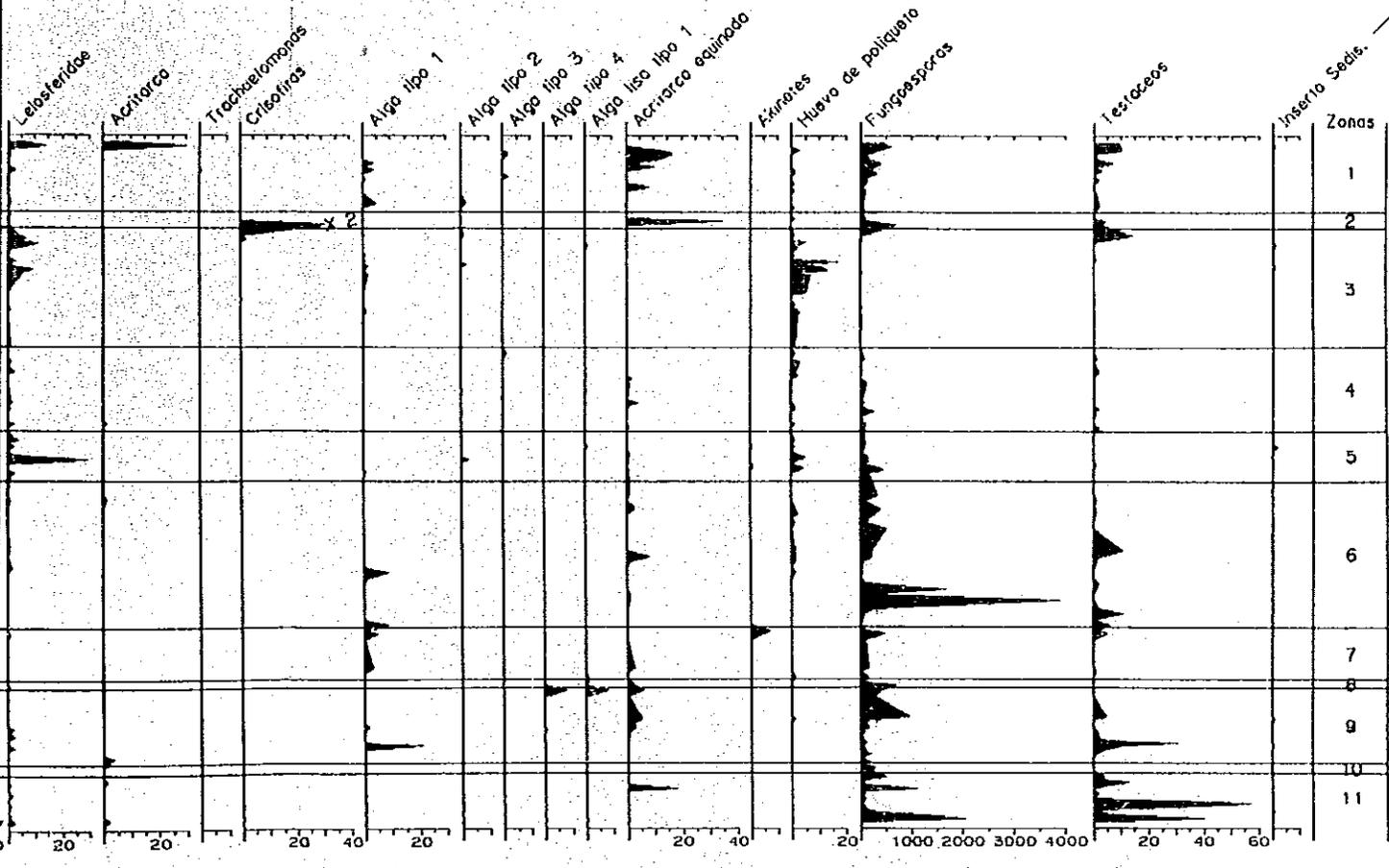
Flora regional. Arboles (Grupo 1), Hierbas (Grupo 2) y Pteridofitos (Grupo 3)
(Porcentajes)



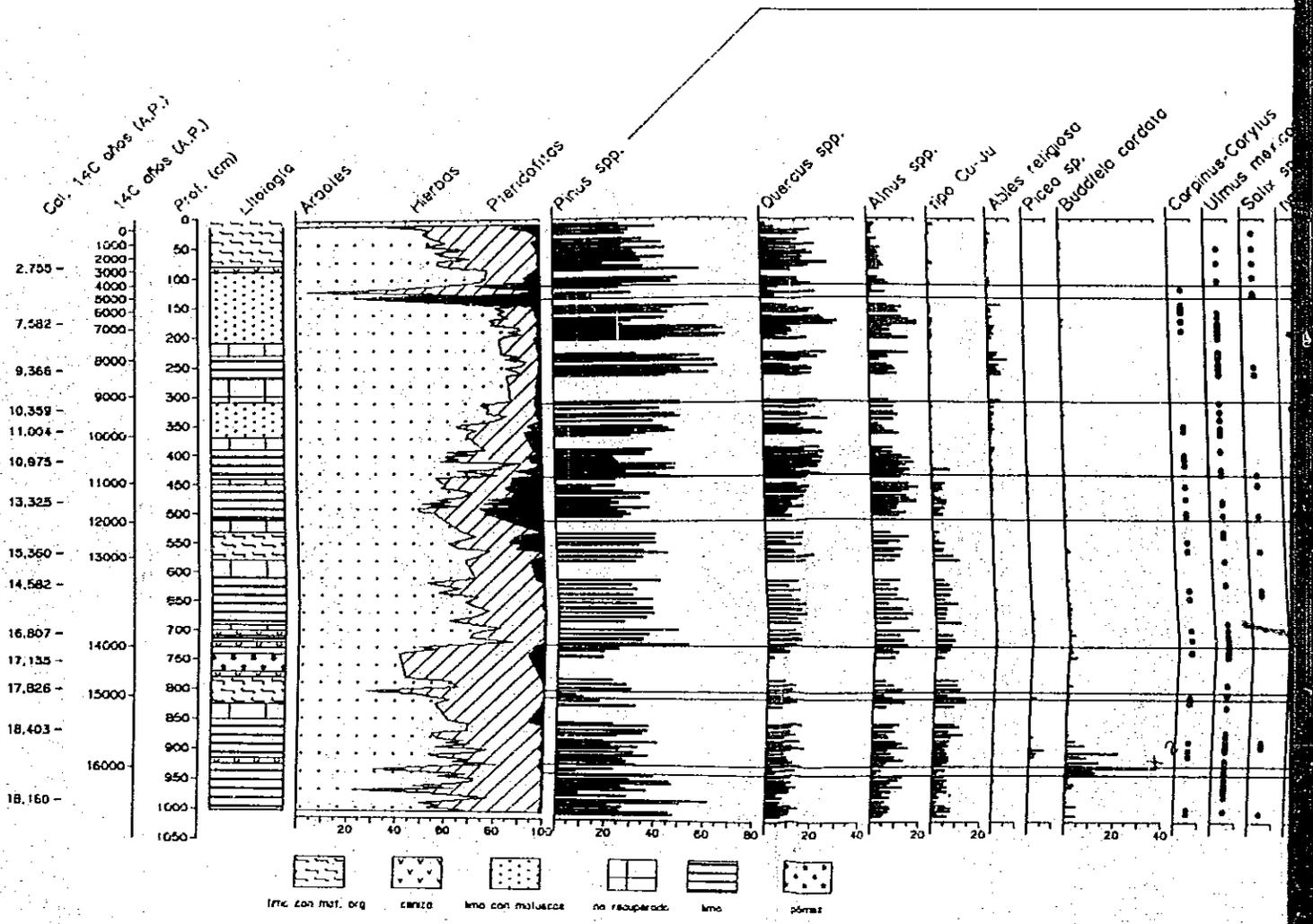
Vegetación Subacuática y Acuática (Grupo 4). Algas, Fungoesporas y Testáceos (Grupo 5)



Grupo 5



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 CENTRO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS Y LIMNOLÓGICAS
 AV. LOS RÍOS, S/N. LA VILLA, CAROLINA, VENEZUELA



Grupo 1

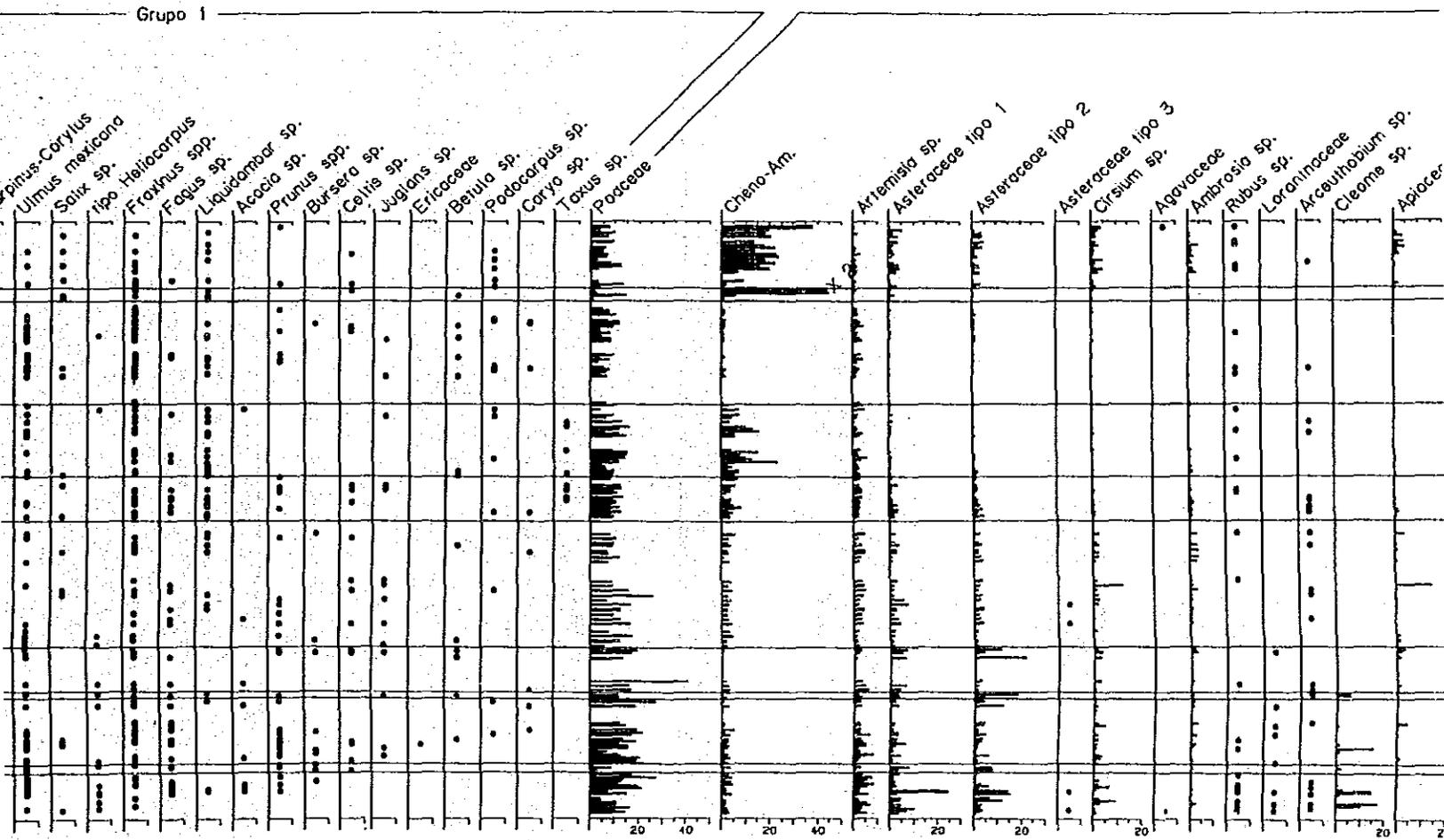
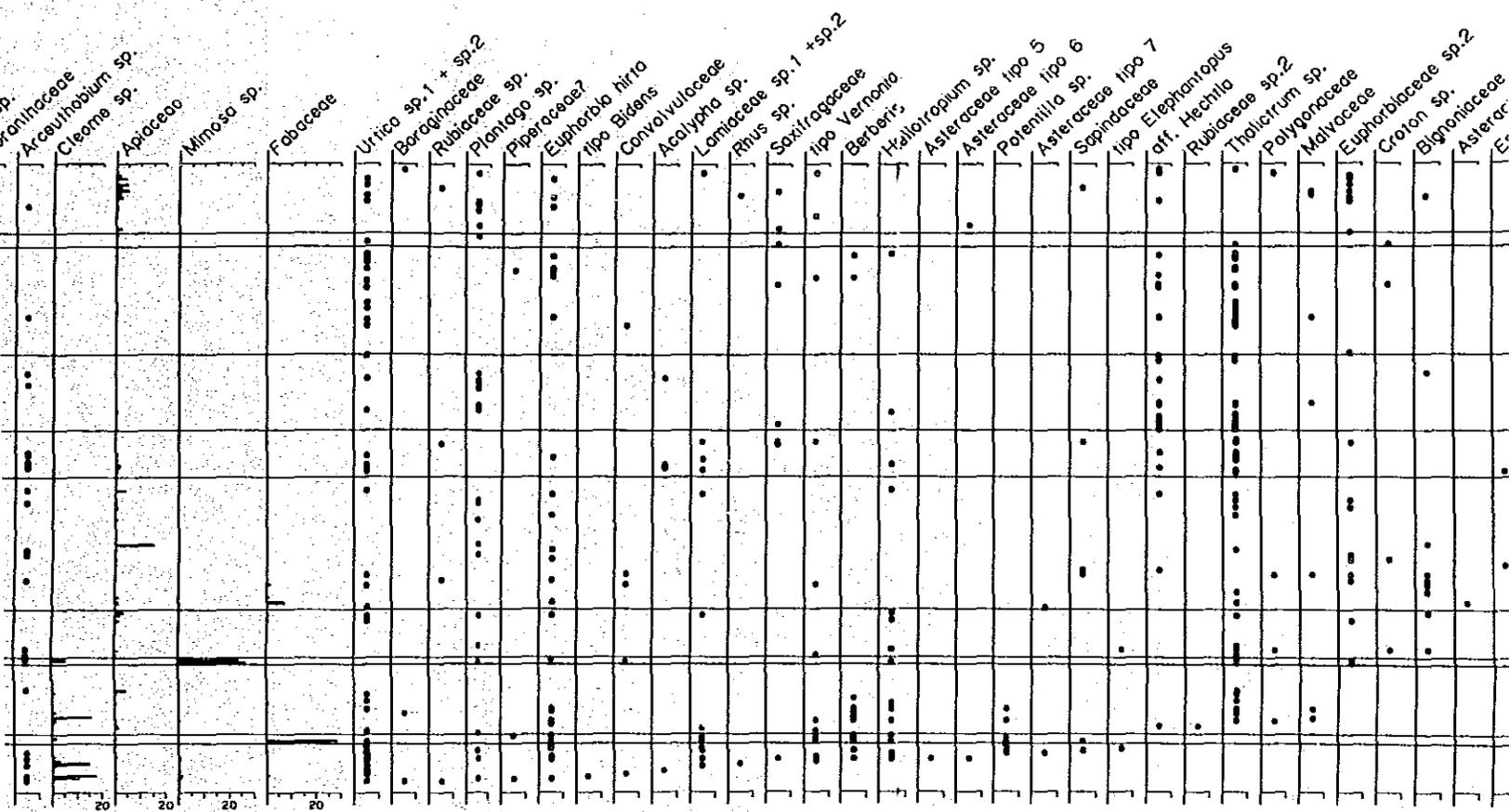


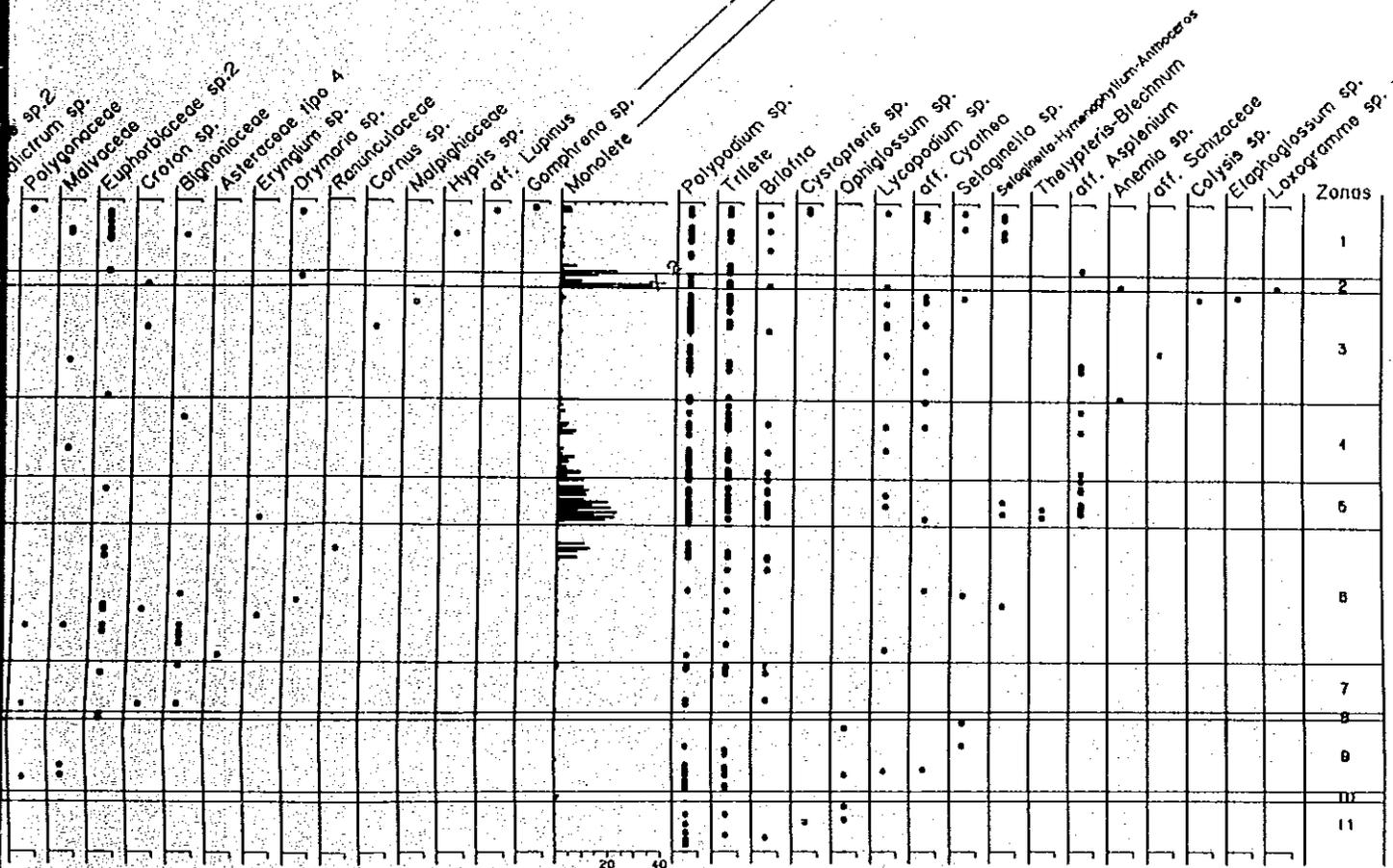
Figura 5.- Diagrama polínico regional. Árboles (Grupo 1),
(Porcentajes)

Grupo 2



s (Grupo 1), Hierbas (Grupo 2) y Peridofitas (Grupo 3)

Grupo 3



Zonas
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

20 40

V. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

V.1. Caracterización de la vegetación

Con apoyo en la información ecológica recopilada (anexo 1), para los taxa registrados durante el análisis palinológico se presentan las interpretaciones sobre la evolución de las comunidades vegetales a lo largo de la secuencia estudiada. Además, se considera para estas interpretaciones la presencia y abundancia de los diferentes tipos polínicos, así como la asociación entre estos. Otro aspecto fundamental para la adecuada interpretación de los datos palinológicos es el conjunto de información que aportan los estudios de lluvias polínicas modernas.

En la figura 9 se presenta la síntesis de los conjuntos polínicos regionales y la caracterización de la vegetación regional y local con base al análisis palinológico de la secuencia estudiada.

Se discute a continuación la interpretación para cada zona polínica previamente establecida.

La zona 11, que abarca entre *ca.* 16,600 a *ca.* 16,000 años AP., sugiere la existencia de un bosque de *Pinus* en el área. De acuerdo al conjunto polínico acompañante conformado por *Cleome*, que refleja la presencia de disturbios fuertes en la zona, *Arceuthobium* que es parásito de *Pinus* spp., principalmente de *P. hartwegii*, *P. rudis* y *P. montezumae* y *Potentilla*, que unida a *Gnaphalium* y *Cirsium* son señaladas, como típicas especies invasoras de condiciones como incendios, parásitos y depredadores (Obieta y Sarukhan, 1981), sugieren que el tipo de comunidad sea específicamente de *Pinus rudis*. Estos bosques se presentan en ambientes secos, suelos someros, a altitudes superiores a 2700 m. Esta especie es en general muy afectada por los incendios, lo que a su vez estimula los brotes de poaceas, siendo esta familia muy bien representada en el registro polínico de este periodo. El contingente arbóreo conformado por Poaceae, Asteraceae, *Ambrosia*, *Cirsium*, *Cleome*, *Mimosa* y Cheno-Am., indican la presencia de pastizales o matorrales.

En las lluvias de polen de los pastizales modernos se obtienen valores promedio de 37% de hierbas lo cual apoya la interpretación para este periodo.

El lago presenta muy altos porcentajes de Cyperaceae, sin embargo, se sugieren niveles lacustres bajos, inferidos por la escasa frecuencia de algas, la presencia de *Ophioglossum* y al mismo tiempo los altos valores de testaceos y fungoesporas, señalando la existencia de un ambiente pantanoso.

Con referencia en los indicadores estudiados, las condiciones climáticas que se infieren para este periodo en la subcuenca de Chalco son frías y secas en comparación a las actuales, ya que el análisis palinológico muestra un abundante conjunto de hierbas y reducida cobertura arbórea, siendo el primero constituido principalmente por pastos y varios tipos de asteraceas.

La zona 10 cubre un corto periodo de ca. 16,000 a ca. 15,900 años AP. Se registra un conjunto característico conformado por *Buddleia cordata* y *Cleome*, que son elementos que indican perturbación asociada a la actividad volcánica. De acuerdo al modelo sucesional para el derrame del Xitle, los bosques de *Buddleia cordata* (tepozán) constituyen una etapa sucesional en los derrames lávicos. El incremento en las poblaciones de *Buddleia cordata* y *B. parviflora* se plantea como una etapa intermedia hacia un matorral o bosque de encino (Cano-Santana y Meave, 1996). De igual forma, dentro de las Fabaceae y Asteraceae hay algunas especies que son favorecidas por el fuego, siendo capaces de retoñar rápidamente después de un incendio (Rzedowski, 1978). En un experimento de sucesión de la vegetación en un área desmontada se observó que las familias Fabaceae, Asteraceae y Poaceae dominan en etapas jóvenes de sucesión (Sarukhan, 1964).

El lago presenta un decremento importante en el porcentaje de las Cyperaceae. La rápida sucesión de especies en esta corta etapa, sugiere cambios de aguas someras como indica la presencia de *Hydrocotyle ranunculoides*, a agua superficial con *Sagittaria*, la cual es tolerante a altas intensidades de luz. Posiblemente también esté asociada a la perturbación causada por la caída de la tefra presente en este periodo, causando cambios en la química del lago.

En este corto periodo (100 años), la interpretación paleoclimática es enmascarada por una erupción volcánica, por lo que se sugiere un clima igual al de la zona anterior fase frío-seca en comparación a la actual.

De los ca. 15,900 a los ca. 15,000 años AP. (zona 9), el aumento en los porcentajes de *Pinus* y *Quercus* indican la regeneración de los bosques de pino-encino. Hacia los 15,500 años AP., la presencia de *Ulmus*, *Abies* y *Picea* así como un ligero aumento en las esporas de pteridofitas indican un leve incremento en la humedad, retornando posteriormente a condiciones frías-secas hacia los 15,000 años AP. Los altos porcentajes de poaceas unidos a *Polypodium* indican la presencia de pastizales de altura. Así mismo la presencia de *Cleome* en este periodo refleja disturbios fuertes en la zona.

Lemna, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Myriophyllum*, Brassicaceae, Polygonaceae y Ranunculaceae se presentan hacia los 15,900 años AP., indicando condiciones de perturbación en el lago, así mismo se sugiere un leve incremento en el nivel lacustre. Los porcentajes de Cyperaceae se recuperan hacia los 15,500 años AP., presentándose nuevamente las fungoesporas y testaceos igual de altos que en la zona 11, indicando el retorno a bajos niveles lacustres.

De los ca. 15,000 a ca. 14,900 años AP. (zona 8) se presenta un importante incremento en las *Mimosa*, tipo *Cu-Ju*, Poaceae y Asteraceae lo que sugiere la sucesión de bosque de *Juniperus* a un matorral de *Mimosa* con abundantes asteraceas y poaceas. Los porcentajes de bosques de *Juniperus* de ambas comunidades (la de este estudio y la de lluvia polínica moderna) son similares. Actualmente los bosques de *Juniperus* se desarrollan entre los bosques de *Quercus* y *Pinus* y el matorral xerófilo de *Opuntia - Zaluzania-Mimosa*. Debido a que en la actualidad no se presenta una comunidad semejante a la de *Mimosa* con abundantes asteraceas y poaceas se equipara con la comunidad de *Opuntia-Zaluzania-Mimosa*. Aunque es notorio que, los porcentajes de *Mimosa* de este estudio se encuentran muy por encima de los encontrados en las lluvias de polen moderno

(Palacios-Chavez, 1977), lo cual sugiere una expansión de esta comunidad y probablemente con una composición diferente a la actual.

La presencia de ambas comunidades indican un cambio hacia condiciones más secas, ya que los bosques de *Juniperus* y el matorral de *Opuntia-Zaluzania-Mimosa* se presentan en temperaturas medias anuales de 11-15°C y precipitación media anual entre 600 y 800mm.

Se observa nuevamente en el registro, la reducción de las Cyperaceae así como la presencia de *Sagittaria*, *Lemna* e *Hydrocotyle ranunculoides* sugiriendo condiciones de salinidad y perturbación en este corto periodo de tiempo. Las algas continúan con bajos valores, indicando bajos niveles lacustres.

De los ca. 14,900 años AP. a los ca. 14,000 años AP. (zona 7) se observa una recuperación del estrato arbóreo con respecto a la zona anterior, el cual se ve disminuido hacia los ca. 14,600 años AP., asociado a la gran actividad volcánica que se presenta en este periodo (Tabla II y Fig. 3). El incremento en las Poaceae, Asteraceae y *Polypodium* indican la presencia de pastizales o comunidades pioneras.

Se observa el incremento en la vegetación acuática (Cyperaceae, *Sagittaria*, *Polygonum*, *Arenaria* e *Isöetes*) posterior a los eventos volcánicos, así como en el fitoplancton (*Botryococcus*, *Mougeotia*, *Spirogyra*, Zygnemataceae) advirtiéndose al mismo tiempo una reducción en las fungoesporas y testaceos indicando un leve incremento en el nivel lacustre.

Se sugiere que para este periodo continúen las condiciones frías-secas dominante en los periodos anteriores.

De los ca. 14,000 a los ca. 12,000 años AP. (zona 6) se observa un notable incremento en la acumulación polínica arbórea, con respecto a la herbácea, es decir, se produce una substancial recuperación del estrato arbóreo (60%), con respecto a los periodos anteriores apuntando hacia bosques de *Pinus* más cerrados (decremento en el estrato herbáceo a ca. 30%), más termófilos (presencia de *Quercus* con porcentaje ca. 13.5%) y más húmedos (incremento en las pteridofitas hacia los ca. 12,300 años AP.).

La presencia de *Hydrocotyle ranunculoides*, *Lemna*, Brassicaceae, Ranunculaceae, Onagraceae y *Polygonum*, así como la reducción en el porcentaje de Cyperaceae indican la presencia de suelos inundados, pantanosos y perturbados hasta ca. de los 13,000 años AP., cambiando repentinamente la vegetación. Se presenta nuevamente un incremento en las Cyperaceae, en las *Typha* y en el alga *Botryococcus*, sugiriendo un leve incremento en el nivel lacustre así como en la temperatura.

Este estudio muestra un clima templado semi-húmedo con un lago tipo pantano con periodos de ligero incremento en el nivel lacustre para este periodo.

De los ca. 12,000 a los ca. 10,900 años AP. (zona 5) El registro polínico arbóreo advierte una ligera recaída con respecto a la zona anterior. Los pinos continúan siendo los elementos más abundantes de la vegetación regional. La lluvia de polen en bosques de *Pinus hartwegii* (Palacios-Chavez, 1977) muestra una tendencia similar a la encontrada para esta zona polínica en este tiempo. El tipo *Cu-Ju* continúa reduciendo sus porcentajes, lo que indica que la humedad no le es favorable. Por lo tanto se propone que el tipo polínico *Cu-Ju* tanto en esta zona como en las previas se relacione con *Juniperus*, debido a la preferencia de este género hacia climas más xéricos.

Alnus y *Quercus* presentan una tendencia al incremento pero al mismo tiempo se observa un desarrollo importante en las pteridofitas apuntando hacia un clima cálido-húmedo.

Nuevamente las Cyperaceae se presentan en altos porcentajes, y junto con ellas, propiamente en la orilla del lago se desarrollan las *Spirogyra*, proponiendo agua dulce mesotrófica poco profunda (menor de 0.5m de profundidad) la cual prevalece al menos durante el tiempo de primavera, con temperatura óptima de crecimiento sobre 20°C.

Hacia el centro del lago, la reducción en *Typha* así como el incremento en *Potamogeton*, *Pediastrum*, *Staurastrum* y *Coelastrum* sugieren incremento en el nivel del lago así como su eutroficación indicando decremento en la salinidad y perturbación.

El registro palinológico expone un notable incremento en las condiciones de humedad, con los bosques más cercanos al lago, inferido por el aumento de elementos

como *Alnus*, el cual se desarrolla a lo largo de corrientes de agua, así como la presencia de los más altos valores de esporas de pteridofitas en este periodo.

El conjunto de los indicadores paleoambientales en el lago de Chalco sugieren un cambio en las condiciones de frías húmedas a húmedas cálidas. Bajos contenidos de materia orgánica y carbonatos, con una concentración polínica promedio de 83,214 No. granos/cm³.

De los ca. 10,900 a los ca. 9200 años AP. (zona 4) la presencia de tipos polínicos como *Abies* y *Alnus* indican bosques más húmedos que los del periodo anterior.

En este periodo de mayor humedad se observa la notable reducción tanto de las Asteraceae como del tipo *Cu-Ju*, apoyando la interpretación de que el tipo polínico *Cu-Ju* sea vinculado a *Juniperus*, debido a que los requerimientos de humedad de los tipos *Taxodium* (a lo largo de ríos y arroyos, en bosque de *Quercus* y *Abies*) y *Cupressus* (en laderas húmedas con bosque de pino, encino y oyamel), son mucho mayores que los del tipo *Juniperus*.

Se presenta un decremento en las esporas de pteridofitas, sugiriendo condiciones templados-húmedas.

El incremento en las *Typha*, *Potamogeton* y en particular de *Ruppia maritima*, indican condiciones ecológicas de alta salinidad y perturbación, sustentado también por el incremento en los carbonatos hacia los 10,800 años AP.

La presencia de *Spirogyra* y Zygnemataceae, indican agua dulce mesotrófica poco profunda, con rangos de temperatura entre 15 y 20 °C, en tanto que la coexistencia de *Pediastrum* y Huevos de poliqueto (Oocytos de Neorhabdocoela) sugieren el incremento en la productividad debido a la entrada al lago de materia orgánica e inorgánica.

La señal climática que se infiere a partir de los conjuntos polínicos es de un clima templado húmedo. Sin embargo, al analizar los datos limnológicos se detecta una contradicción entre la señal de la vegetación regional y los datos fisico-químicos.

De los ca. 9200 a los ca. 5700 años AP. (zona 3) la cubierta arbórea presenta su valor más alto (87%), no así la tasa de acumulación polínica, que presenta valores de ca. 1500 No. granos/cm².

En este periodo se contemplan los valores más altos de *Abies*. Al hacer la comparación con la lluvia de polen moderno del bosque de *Abies* se encuentran valores semejantes con los encontrados en este trabajo (Tovar-González, 1987).

Los requerimientos ecológicos de *Abies* son con valores de precipitación de 800-1200 mm al año, con un rango térmico amplio en zonas semifrías a templadas (12°-18°C). Así mismo la presencia de *Alnus* indica humedad en el sustrato. Mientras que el incremento en *Quercus* sugiere un clima más templado.

Aunque la vegetación acuática observa sus valores más restringidos, presenta altos porcentajes, indicando el nivel lacustre más bajo de todo el registro.

La presencia de *Typha* y *Potamogeton* muestran condiciones ecológicas de alta salinidad y perturbación. Los Huevos de poliqueto, presentan el más alto valor del registro, advirtiendo condiciones ecológicas desfavorables así como un incremento en la productividad del lago.

Desde el punto de vista palinológico la señal del bosque de *Abies* es consistente con estos climas más frescos y húmedos. Una explicación para este periodo en el que las condiciones paleoclimáticas parecen cambiar de manera rápida sería la marcada estacionalidad que se propone. Los veranos más cálidos que los actuales pudieron incrementar la tasa de evaporación en el lago y promovieron el desarrollo de bosques de encino. Por otra parte, inviernos más fríos que en la actualidad pueden explicar los avances glaciares (Vazquez-Selem, 2000) y la presencia continua del bosque de *Abies*.

De los ca. 5700 a ca. de 4200 años AP., correspondiente a la zona 2, se infieren condiciones de perturbación con base en el incremento en *Drymaria* y *Cheno-Am.*, ambos tipos polínicos de ecología de ambientes perturbados. Se observa además un extraordinario incremento en las esporas de pteridofitas.

El registro presenta de los ca. 5000 a los ca. 4400 años AP. evidencia de importantes incendios que reducen la vegetación arbórea incrementándose a la vez las

pteridofitas e inmediatamente los valores de Chen-Am. Posteriormente, de los ca. 4200 años AP., al presente se observa un aumento en el estrato herbáceo con respecto al arbóreo, registrando vegetación abierta.

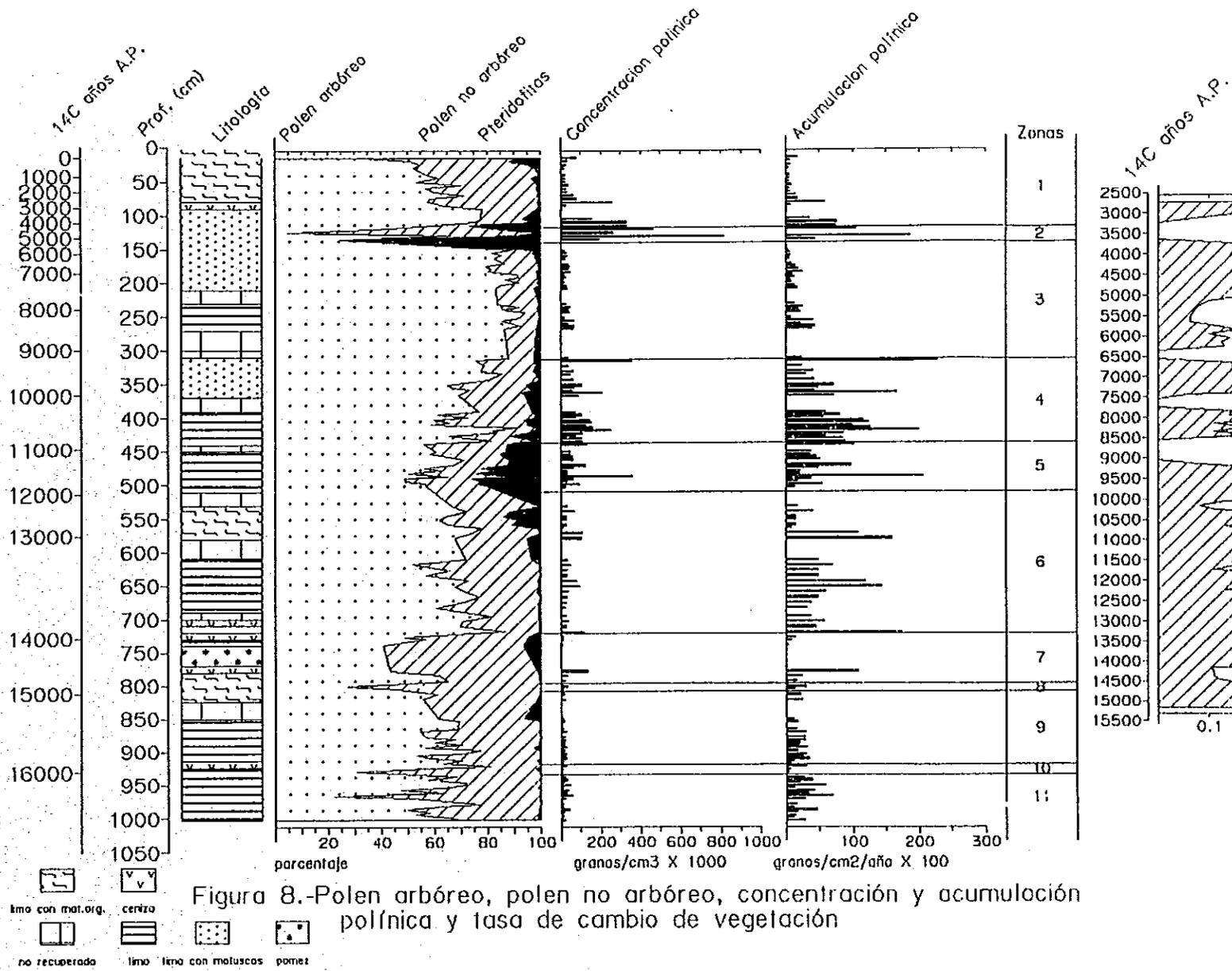
La presencia de *Saggitaria* y *Lemna* indican el restablecimiento de la vegetación acuática así como un incremento en el nivel lacustre. Se registran altos porcentajes de crisofitas entre los ca. 5750 y los ca. 4800 años AP., en el núcleo E. Las crisofitas son representativas de ambientes ácidos, de condiciones estables probablemente relacionados a cambios en los niveles de agua y química o disturbios inducidos por la actividad volcánica (Urrutia- Fucugauchi *et al.*, 1995). Dicha actividad puede relacionarse a la erupción pliniana del Popocatepetl fechada en 4,800 años AP. Hay un aumento en los taxa acuáticos de aguas duras de los ca. 5050 a los ca. 4800 años AP. observándose la sucesión de vegetación de aguas duras por taxa de aguas suaves, retornando nuevamente a taxa de aguas duras. Se eleva el porcentaje de materia orgánica así como los valores de concentración y flujo polínico, en base a lo cual se determinan altos niveles lacustres.

De los ca. 4200 años AP., al presente (zona 1) Se observa una importante recuperación arbórea con respecto a la zona anterior, así como el posterior decremento en la vegetación arbórea y el importante incremento en las Chen-Am., *Ambrosia* y *Cirsium*, sugiriendo alta perturbación en el área. Estas señales unidas a las altas concentraciones en las partículas de carbón así como en la susceptibilidad magnética apuntan hacia la existencia de actividad humana.

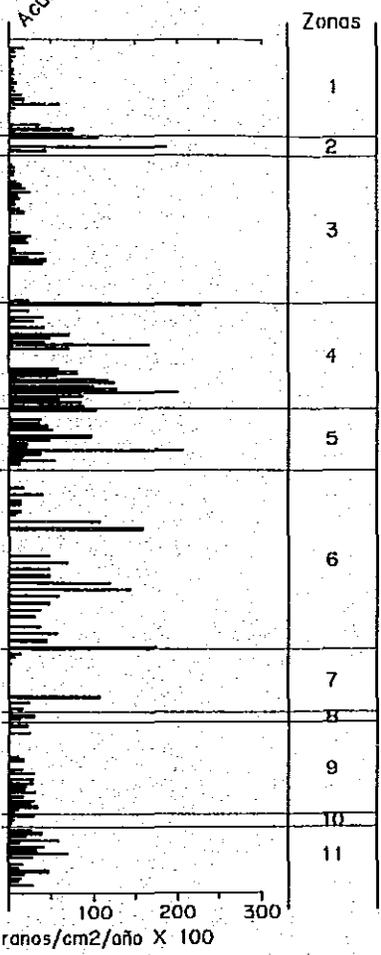
La ocupación humana en la zona está documentada en investigaciones arqueológicas por Niederberger (1976, 1987), Sanders *et al.*, (1979) Watts y Bradbury (1982), Metcalfe *et al.*, (1989) y O'Hara *et al.*, (1993) desde los ca. 5,000 años AP.

La presencia de escasa vegetación acuática así como de algas (*Cyperaceae*, *Typha*, *Arenaria*, *Spirogyra* y Fungoesporas indican la presencia de un lago de bajo nivel lacustre.

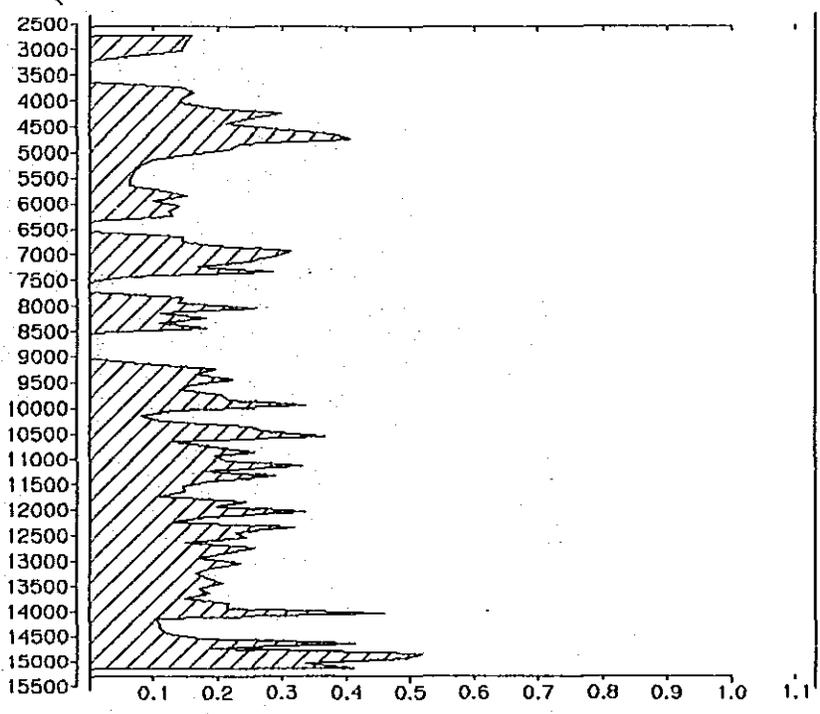
O'Hara *et al.*, (1994) indican que los lagos de la cuenca fueron bajos especialmente entre ca. 5,000 y ca. 4,500 años AP.



Acumulación polínica



14C años A.P.



concentración y acumulación
ación

Años AP.	Zonas	Conjuntos polínicos regionales	Vegetación regional	Vegetación local
0	Zona 1	<i>Pinus Quercus</i> <i>Alnus</i> , Cheno-Am Poaceae	Ligera recuperación del bosque de <i>Pinus</i>	Cyperaceae, <i>Typha</i> , <i>Sagittaria</i> , <i>Spirogyra</i> <i>Pediastrum</i>
4200	Zona 2	<i>Pinus</i> , Cheno-Am. Monolete	Incremento en monolete y Cheno-Am.	Cyperaceae <i>Pediastrum</i> Crisofitas
5,700	Zona 3	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> <i>Alnus</i> , Poaceae <i>Abies</i>	Bosque de <i>Pinus</i> incremento en humedad incremento de <i>Abies</i>	Cyperaceae <i>Botryococcus</i> , <i>Pediastrum</i>
9200	Zona 4	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> <i>Abies</i> , Cheno-Am., Poaceae	Bosque cerrado de <i>Pino</i> <i>Abies</i> bajo y constante	Cyperaceae, <i>Typha</i> , incremento de algas, <i>Pediastrum</i> , <i>Coelastrum</i> <i>Botryococcus</i> , <i>Zygnemataceae</i>
10,900	Zona 5	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> tipo <i>Cu-Ju</i> Poaceas incremento de Pteridofitas.	Bosques en galería incremento en humedad	Cyperaceae, <i>Potamogeton</i> <i>Typha</i> , <i>Botryococcus</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Coelastrum</i> <i>Staurastrum</i> .
12,000	Zona 6	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> , & tipo <i>Cu-Ju</i> Poaceas	Incremento en porcentaje de esporas Bosque de <i>Pinus- Alnus</i> pastos	Cyperaceae, <i>Hydrocotyle</i> , <i>Typha</i> , <i>Lemna</i> , <i>Coelastrum</i> <i>Zygnemataceae Botryococc.</i>
14000	Zona 7	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> tipo <i>Cu-Ju</i> Poaceas	Bosque de <i>Pinus-Alnus</i> a <i>Pinus-Quercus</i> incremento de pastos	Cyperaceae, <i>Sagittaria</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ranunculaceae</i> <i>Isöetes</i> , <i>Botryococcus</i> , <i>Zygnemataceae</i>
14900	Zona 8	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , tipo <i>Cu-Ju</i> , <i>Mimosa</i>	Matorral xerofilo.	Cyperaceae, <i>Sagittaria</i>
15000	Zona 9	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Buddleia cordata</i> , Poaceae	Bosque <i>Pinus</i> ligero incremento en humedad	Cyperaceae, <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Lemna</i>
15,900	Zona 10	<i>Buddleia cordata</i> , <i>Pinus</i> , <i>Alnus Quercus</i> , tipo <i>Cu-Ju</i>	Bosque <i>Buddleia cordata</i>	<i>Ranunculaceae</i> , <i>Cyperaceae</i> <i>Sagittaria</i>
16000	Zona 11	<i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> <i>Alnus</i> , tipo <i>Cu-Ju</i> , <i>Mimosa</i> , <i>Buddleia cordata</i> Poaceae	Bosque abierto de <i>Pinus</i> <i>rudis</i>	Cyperaceae

Figura 9.- Conjuntos polínicos (regional y local) y caracterización de la vegetación regional del núcleo E

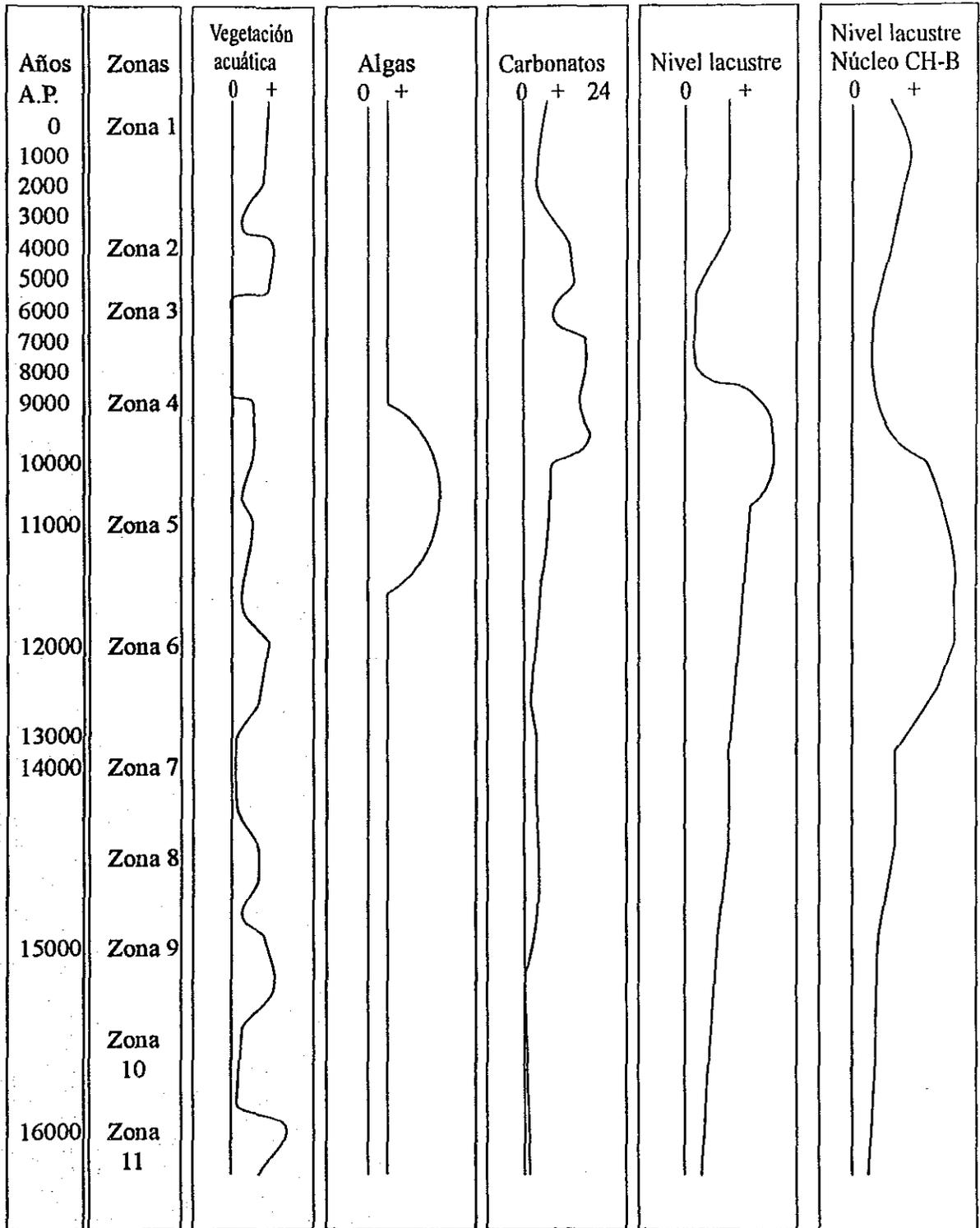


Fig. 10.- Curvas de variación local de los núcleos E y B de Chalco los últimos 16,000 años A.P.

V.2. Evolución de las comunidades vegetales y el ambiente

Las inferencias sobre la evolución de la vegetación con base al análisis palinológico requiere de la revisión cuidadosa de la presencia y abundancia de los diferentes palinomorfos de las secuencias estudiadas. Otro conjunto de datos que contribuyen de manera importante a la interpretación de la evolución de la vegetación a partir del estudio de secuencias lacustres son los datos fisico-químicos, los cuales ofrecen información sobre el ambiente de depósito.

La evolución de la vegetación a partir del análisis palinológico realizado se puede resumir en la tabla X, así mismo se indica la reconstrucción de los niveles lacustres, las diferencias climáticas y los eventos más importantes detectados en el estudio.

El registro polínico indica la existencia de comunidades boscosas relativamente abiertas constituidas principalmente por *Pinus*, *Quercus*, *Alnus* y *Cupressus-Juniperus*, (Tabla X). Entre ca. 16,000 y ca. 16,600 años AP., la abundancia de taxa no arbóreos (22-77%) con Poaceae, Asteraceae, *Ambrosia*, *Cirsium*, *Cleome*, *Mimosa* y Cheno-Am., sustentan la presencia de comunidades abiertas. La presencia de *Cirsium*, que unida a elementos como poaceas, asteraceas, cheno-ams., entre otras, apunta hacia la presencia de pastizales de condiciones secas. El conjunto polínico de dispersión restringida y de condiciones xerófitas (*Mimosa*, *Acacia* y Agavaceae), asociado a los porcentajes de *Pinus* para este periodo indican la existencia de bosques de *Pinus* de condiciones secas. La presencia de *Cleome* en este periodo refleja la presencia de disturbios fuertes en la zona.

Tanto la concentración y la acumulación polínica en esta parte de la secuencia es baja, si se compara con otras zonas, indicando condiciones de poco arrastre. El registro palinológico local apunta hacia la existencia de un ambiente de pantano con una comunidad de cyperaceas casi pura. Los tulares actuales en general se hallan en las zonas litorales del lago hasta 60 cm de profundidad.

Los sedimentos están compuestos por limos con abundante materia orgánica y escasos carbonatos; la susceptibilidad magnética se presenta de baja a moderada (Fig. 5).

El espectro polínico regional sugiere la presencia de comunidades vegetales relativamente xerófilas y el espectro local muestra condiciones pantanosas en el lago. A pesar de que el periodo que representa esta zona es relativamente corto (ca. 600 años), las condiciones paleoambientales que se reconstruyen a partir de los indicadores son de un clima más seco y más frío que el actual, con cambios rápidos en la composición de la vegetación.

Las modificaciones de la vegetación pueden estar asociadas a cambios climáticos y/o a cambios más locales como es la actividad volcánica, que se ha documentado en la zona en varios estudios (Lozano-García *et al.*, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994, 1998; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1995). En la columna litológica hay una ceniza andesítica denominada Miahuacan (Ortega-Guerrero y Newton, 1998), que corresponde a una edad de ca. 15,900 años AP. (Fig. 3). La composición del espectro palinológico se transforma, asociada a este evento de perturbación. El polen arbóreo se reduce y modifica su composición, se registra: *Pinus*, *Quercus*, *Buddleia cordata*, tipo *Cu-Ju* y *Alnus*, lo cual apunta hacia la existencia de bosques de *Pinus rudis*, que a veces permiten la presencia de *Quercus*, *Alnus* o *Juniperus*. Este tipo de bosques, se desarrollan con frecuencia en suelos someros y pobres, siendo los pinares más xerófilos frecuentemente afectados por incendios (Rzedowski y Rzedowski, 1979). Se incrementa *Buddleia cordata* que es una planta pionera de los derrames lávicos. El conjunto regional se reduce notablemente y son abundantes las herbáceas, en particular un tipo denominado Fabaceae. Este tipo polínico se asocia a esta familia, sin embargo no fue posible precisar su identidad taxonómica.

El conjunto local sufre el impacto de la actividad volcánica y los tulares disminuyen (Fig. 7). En cambio se incrementan *Typha*, *Potamogeton*, *Sagittaria* y *Lemna*. Hay una reducción en los valores de concentración y acumulación polínica así como en el porcentaje de materia orgánica (Fig. 5). Mientras se observan valores elevados de susceptibilidad magnética y aumenta el tamaño de partículas relacionados ambos con el depósito de la ceniza. Así mismo la tasa de depósito aumenta considerablemente, debido a la caída de material volcánico.

El espectro polínico de la etapa comprendida entre el depósito de la ceniza ca. 15,900 años AP. y los ca. 15,000 años AP., muestra el re-establecimiento de la cubierta arbórea después de la intensa perturbación previa (Fig. 9). La composición del conjunto regional se modifica, aunque los bosques mixtos de pino y encino se incrementan de nuevo, la presencia de *Buddleia cordata* continua siendo muy importante en este periodo. Un taxa que caracteriza esta etapa, y que indica un ambiente de condiciones frías y húmedas, es *Picea*. Actualmente no se desarrolla en las elevaciones de la cuenca de México y se encuentra restringido al norte de México en la zona de Chihuahua. Habita pisos altitudinales análogos a los de *Abies* (2000 a 3200 m s.n.m) en áreas de alta humedad como cañadas y barrancas (Rzedowski, 1978). Dentro del conjunto no arbóreo, además de los pastos y asteraceas destaca *Cleome* aunque está presente en menor proporción que en los periodos previos.

En el lago, el registro de los tulares se recupera notablemente (Fig. 7). La diversidad en el conjunto local aumenta y se presentan: Cyperaceae, Brassicaceae, Ranunculaceae, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Polygonum* sp., *Sagittaria* y *Lemna* sugiriendo un leve incremento en el nivel lacustre. La acumulación y la concentración polínica se incrementan respecto al periodo anterior y se observa una reducción paulatina en los valores de susceptibilidad magnética (Fig. 5). El sedimento es limo con materia orgánica moderada.

El registro palinológico y los datos fisico-químicos indican un incremento en la humedad en relación a las etapas precedentes y una temperatura menor que la actual (Tabla X).

Un periodo de cambios importantes pero de corta duración ocurre entre los ca. 15,000 a ca. 14,900 años AP. La vegetación está dominada por hierbas y arbustos. En particular por un conjunto polínico indicador de mayor aridez entre los que se encuentran tipo *Cu-Ju*, *Mimosa*, Poaceae y Asteraceae, observándose al mismo tiempo una reducción en los bosques (Figs. 6 y 9).

Los altos porcentajes del tipo *Cu-Ju* encontrados en el análisis (12%), sugieren la presencia de bosques de *Juniperus*. Al comparar la contribución de éste taxon en la lluvias polínicas actuales los porcentajes son similares (Palacios-Chavez, 1977). Este bosque se desarrolla preferentemente en una estrecha faja transicional entre el bosque de *Quercus* y de *Pinus* por un lado y el pastizal o matorral xerófilo por el otro (Rzedowski, 1978). Destaca en este periodo la presencia de matorrales de *Mimosa*. Sin embargo, estos taxa no están bien representados en la lluvia de polen de la comunidad de matorral con *Opuntia-Zaluzania-Mimosa*. Estos matorrales se desarrolla actualmente en la porción norte de la cuenca de México con precipitaciones entre 400 y 700 mm y temperaturas medias anuales de 12 a 16°C.

La presencia del polen de *Mimosa* ha sido previamente reportada en las lluvias polínicas fósiles del Cuaternario tardío de Chalco (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994; Lozano-García, 1996). La dispersión entomófila de este taxon y su abundante y reiterada presencia en los espectros de polen fósiles, indican sin lugar a dudas la existencia de matorrales y condiciones extremadamente secas en la porción sur de la cuenca durante este periodo. La tasa de cambio de la vegetación es la más alta de la secuencia, lo que hace suponer que ocurrieron importantes alteraciones del paisaje (Fig. 8).

En el lago, el conjunto polínico muestra la reducción de Cyperaceae y hay un aumento de *Sagittaria*, el registro local es pobre y poco diverso (Fig. 7). Se infiere una disminución del nivel lacustre en relación al periodo anterior (Tabla X). No se registran incrementos en la concentración y acumulación polínicas, ni tampoco en los valores de susceptibilidad magnética.

El periodo de ca. 14,800 a ca. 13,800 años AP. es un momento de cambio relacionado con la actividad volcánica que ocurrió en ese tiempo (Fig. 6). La depositación de las tefras Tlapacoya 1 y Tlapacoya 2 altera el registro palinológico (Ortega-Guerrero y Newton, 1998). Previo a la erupción, se observa el incremento del contingente arbóreo, observándose fases sucesionales de bosque de *Pinus-Alnus* a bosque de *Pinus-Quercus* a bosque de *Pinus*-tipo *Cu-Ju*, mientras que en la segunda mitad se presentan sólo fases *Pinus-Alnus* sugiriendo un clima un poco más húmedo que la etapa previa (Tabla X).

Los bosques continúan siendo abiertos como se deduce del importante incremento en las poaceas, las cuales alcanzan el valor más alto del registro (40%) antes del evento volcánico. Tanto la acumulación como la concentración polínica aumentan, pero el incremento en la susceptibilidad es notable por la gran cantidad de ceniza que se depositó. En el registro del lago, el impacto de la actividad volcánica se traduce en un cambio de las comunidades acuáticas, las Cyperaceae son abundantes antes del lapilli de pómez (Tlapacoya 2) y posterior a este evento el tular disminuye mientras que *Sagittaria*, Ranunculaceae e *Isöetes* incrementan sus porcentajes (Fig. 7). En México, *Isöetes* se encuentra en lagos de aguas suaves, que se caracterizan por tener bajos valores de alcalinidad y sulfatos (Rojas, 1991). También ha sido reportado para los lagos de Texcoco, Pátzcuaro y Metepec donde se le relaciona con lagos en zonas altas y de aguas claras (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998; Watts y Bradbury, 1982; Castañeda-Bernal, 1998).

En general se observa un mayor porcentaje de limos. Las partículas de carbón son altas al principio de la zona así como antes del lapilli de pómez, debido posiblemente a los incendios provocados por la erupción freatoplínica del Popocatepetl que produjo el lapilli de pómez (Siebe *et al.*, 1995,1996). Se incrementa a la vez la tasa de depositación, ya que este es un evento de gran aportación de material en un lapso corto de tiempo. La materia orgánica y carbonatos nuevamente se presentan en bajo porcentaje (Fig. 5).

La reconstrucción de las comunidades vegetales de ca. 16,600 a ca. 14,000 para el sur de la cuenca de México demuestra la existencia de Bosques abiertas de pino, encino, matorrales xerófilos y pastizales. Estas comunidades indican sin duda la existencia de climas más secos que el actual (Tabla X).

Los bajos niveles lacustres que se reconstruyen en este estudio y los previamente reportados (Caballero, 1995, 1997a, 1997b; Caballero y Ortega-Guerrero, 1998) también apoyan la existencia de climas secos.

En relación a la temperatura los conjuntos polínicos sugieren ambientes más fríos dada la presencia de elementos como *Picea* aunque la evidencia palinológica no es tan clara como en el caso de la humedad.

La secuencia glacial (Tabla II y X) del Iztaccíhuatl propuesta recientemente por Vazquez-Selem (2000), muestra que para el periodo de 16,000 a 14,000 años AP. se desarrolló un importante avance glacial denominado Hueyatlaco 1. Para que esto ocurriera se estima un descenso en la temperatura de entre 6°C a 8°C con una depresión en la línea de las nieves a 3940m casi mil metros por debajo de lo que ocurre en la actualidad (Vazquez-Selem, 2000).

Combinando el registro palinológico, los datos fisico-químicos (Fig. 5) y la historia glacial se puede inferir la existencia de climas fríos y secos. Durante el periodo de ca. 14,000 años AP., evidencias similares se han reportado para el centro de México (Bradbury, 1989, 1997; Caballero 1995, 1997a, 1997b; Caballero y Ortega-Guerrero, 1998; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998).

Posterior a la importante actividad volcánica que afectó el área, se observa la recuperación de la cubierta arbórea de ca. 14,000 a ca. 12,000 años AP. (Fig. 6). El espectro palinológico indica el desarrollo de bosques más cerrados (porcentaje arbóreo superior a 60%) constituidos principalmente por *Pinus*, *Quercus*, tipo *Cu-Ju*, *Alnus*, *Abies*, *Prunus* y *Buddleia cordata* que aunque presente, se observa con valores significativamente menores que en los periodos anteriores. También se presentan algunos elementos de bosque caducifolio como son: *Carya*, *Betula*, *Juglans*, *Ulmus*, *Salix* y *Fagus*.

Los pinares y encinares constituyen los elementos dominantes en la vegetación de las parte altas de la cuenca de México. Se desarrollan en un clima templado y semihúmedo. Las condiciones climáticas propicias son precipitaciones entre 700 y 1800 mm anuales, con un máximo de 6 meses secos y un mínimo probable de 2 ó 3 meses. Con temperaturas medias entre ± 8 y $\pm 21^\circ\text{C}$, heladas poco frecuentes en los lugares más bajos, pero con regularidad a altitudes superiores. Este tipo de clima corresponde a las categorías Cwa y Cwb (Rzedowski, 1978).

Los elementos herbáceos, constituidos por Poaceae y Asteraceae son moderadamente bajos (30%), en relación al periodo previo, observándose de igual forma un incremento en la humedad de la zona, inferida por la presencia de esporas de pteridofitas (13%).

En el lago, la concentración polínica al igual que la acumulación presenta una amplia variación, pero al mismo tiempo se observa un notable incremento con respecto a la zona anterior.

El conjunto local se diversifica (Fig. 7), dentro de las acuáticas enraizadas, además de las Cyperaceae se presentan: *Typha*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Arenaria*, *Polygonum*, Onagraceae, Brassicaceae y Polygonaceae; dentro de las flotadoras tenemos: *Lemna* y *Potamogeton*. Entre las algas hay mayor variedad de taxa (*Spirogyra*, *Mougeotia*, Zygnemataceae, *Botryococcus*, *Pediastrum*, *Trochisia*), aunque su abundancia es relativa. Los valores de concentración polínica son mayores que anteriormente y la acumulación polínica muestra un incremento importante, indicando una recuperación de las comunidades vegetales en la zona. Los conjuntos polínicos de este periodo se asocian a condiciones más húmedas y estables que en etapas anteriores.

El registro de datos físicos-químicos (Fig. 5), confirman el establecimiento de condiciones más estables después del evento eruptivo. La susceptibilidad magnética es baja aunque se presentan en esta parte dos pequeños eventos volcánicos que al parecer no afectan considerablemente el paleoregistro de la zona. Un evento se presenta aproximadamente a los 711 cm y el otro a los 650 cm de profundidad, ambos con una susceptibilidad moderada de 42 y 37 X 10⁻⁵ S.I. respectivamente. El tamaño de partículas aunado a la susceptibilidad magnética indican arrastre de sedimentos más o menos constante en las partes basal y media. En la parte superior se observa una disminución en el tamaño de partículas, aumentando el porcentaje de limos, sugiriendo un ambiente más estable.

Los climas fríos continúan y se documenta el avance glaciar Hueyatlaco 2 para el Iztaccíhuatl (Vazquez-Selem, 2000). El registro palinológico indica condiciones más húmedas que el periodo precedente, las comunidades xerofíticas se reducen.

El espectro polínico entre ca. 12,000 a ca. 10,900 años AP. (Fig. 6) que corresponde al fin de Pleistoceno, presenta un notable decremento en el tipo *Cu-Ju* y en las Asteraceae (relacionados con climas húmedos), así como un aumento en las comunidades de *Alnus*.

En algunas profundidades se observa el incremento de *Alnus* sobre *Quercus* y tipo *Cu-Ju*. Las especies del género *Alnus* se encuentran principalmente en bosques de pino, pino-encino y en bosques de galería (Linding y Vázquez Yanes, 1997; Lozano-García *et al.*, 1995). Los bosques de *Alnus firmifolia* se consideran con frecuencia como una fase sucesional tendiente a restablecer el bosque de *Abies religiosa*, mientras que *Alnus arguta* se ha observado como elemento secundario en el bosque mesófilo de montaña. En cambio *Alnus glabrata* es un componente común de los bosques en galería, donde con frecuencia es la especie dominante o codominante (Rzedowski, 1978). A nivel palinológico resulta imposible diferenciar las especies de *Alnus* (Lozano-García *et al.*, 1995), pero la señal que se infiere es de humedad.

Los altos porcentajes de esporas de pteridofitas sugieren una época de mayor humedad. En el lago la reducción del conjunto de taxa subacuáticos como Cyperaceae y *Typha* y el aumento notable de algas apuntan hacia el aumento de nivel lacustre (Figs. 9 y 10)

Se observa una diversificación en el número de taxa acuáticos. Así mismo se presenta un incremento notable de *Botryococcus*, *Pediastrum* y *Coelastrum*, esta última, indicadora de aguas más cálidas (Van Geel y Van Der Hammen, 1978). *Staurastrum* (Figs. 7 y 9) se presenta de manera súbita por un periodo corto, que es cuando el lago presenta uno de sus mayores niveles (Hutchinson, 1967).

La concentración y acumulación polínica presentan un incremento y la tasa de cambio no indica grandes diferencias entre los conjuntos polínicos implicando estabilidad dentro de las comunidades (Fig. 8). Los valores de materia orgánica son bajos al igual que los carbonatos.

El final del Pleistoceno se caracteriza en la porción sur de la cuenca de México por un aumento de la temperatura y un incremento en la humedad de acuerdo con los conjuntos palinológicos. La secuencia glacial estudiada para el Iztaccíhuatl (Vázquez-Selem, 2000), muestra que durante este tiempo no hubo ningún avance glacial sino que un proceso de deglaciación tuvo lugar. Lo anterior apoya la interpretación de un aumento del nivel lacustre y el incremento de la temperatura (Tabla X).

De los *ca.* 10,900 a los *ca.* 9,200 años AP. (Fig. 6) se observa un importante aumento de la cobertura arbórea (el porcentaje de arboles es superior a 60% y el de las Poaceae y Asteraceae es cercano a 20%). Los bosque mixtos de pino y encino se expanden y continúan siendo importantes los bosques de aile.

En este periodo el registro del tipo *Cu-Ju* casi desaparece y este comportamiento se ha identificado en otras secuencias del Chalco (Lozano-García *et al.*, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994). Este tipo polínico se presenta en las lluvias polínicas fósiles que abarcan desde el máximo glacial (20,000 a 18,000 años AP.) hasta el final del Pleistoceno (11,000 años AP) donde, de acuerdo con los datos de paleoindicadores (polen, diatomeas, glaciaciones), las condiciones ambientales eran cálidas y húmedas (Lozano-García *et al.*, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994; Caballero, 1995; Ortega-Guerrero y Caballero 1998; Vazquez-Selem, 2000). Aunque *Taxodium* presenta el mismo tipo polínico, y se ha sugerido que era parte importante de la vegetación al derredor del lago de Chalco (Bradbury, 2000), el denominado tipo *Cu-Ju* de esta investigación, se relaciona a los géneros *Cupressus* y *Juniperus* y no a *Taxodium*. La curva polínica del tipo *Cu-Ju* coincide con etapas de menor humedad y si se tratara de polen de *Taxodium*, debería de presentar un aumento significativo durante las etapas de mayor humedad como la que ocurre entre los 11,800 a *ca.* 9000 años AP.

Abies aunque en bajos porcentajes esta presente de forma continua (Fig. 6). La tasa de depositación es mayor para los granos de polen grandes y pesados, los cuales son dispersados sobre distancias mucho más cortas, como es el caso de *Abies*. El registro de este taxon sugiere el desarrollo de bosques de oyamel. Estos requieren de temperaturas más bien bajas (7.5-13.5°C), sin grandes oscilaciones térmicas diurnas y una precipitación media anual 800-1200 mm al año (Hernández, 1985).

En la vegetación palustre encontramos Cyperaceas y *Typha* principalmente (Fig. 7). Los requerimientos de sobrevivencia de algas como Zygnemataceae, *Botryococcus* y *Pediastrum*, proponen un lago productivo de aguas duras y altos contenidos de carbonato de calcio (sobre 20%). Los altos valores de $\delta^{13}\text{C}$ sugieren una alta productividad en el lago.

Las fluctuaciones en los valores de $\delta^{18}\text{O}$ aunque son moderadas son consistentes con la existencia de un clima más frío hacia los 10,000 años AP.

La señal climática inferida del conjunto regional y la información ambiental del conjunto de palinomorfos locales parece ser contradictoria. La presencia de algas como *Coelastrum*, de caracoles y ostrácodos y altos porcentajes de carbonatos sugiere climas más cálidos, que promovieran una mayor evaporación del cuerpo de agua (Fig. 10). Mientras que la combinación de la señal de *Cu-Ju* y *Abies*, se interpreta como climas más fríos y húmedos. Tal mezcla de señales es posible explicarla con el desarrollo de una estacionalidad más marcada, con veranos más calientes e inviernos más fríos que en la actualidad. En la reconstrucción de la historia glacial del Iztaccíhuatl se documenta el avance glacial denominado Milpulco I para edades de *ca.* 10,000 a *ca.* 9000 años AP. (Vázquez-Selem, 2000) esto apoya la existencia de condiciones más frías para este periodo.

La susceptibilidad magnética es baja con excepción de dos pequeños picos (40 y 48×10^{-5} S.I.) (Fig. 5). En general se observa un bajo contenido de materia orgánica que unido a alta tasa de depositación sugieren dos periodos de incremento en la humedad y por lo tanto en el nivel lacustre indicado por el arrastre de partículas hacia el lago (erosión).

El incremento en los carbonatos (Fig. 10) así como la presencia de caracoles en la zona, indican el cambio en la salinidad del lago que se traduce como una disminución en el nivel lacustre.

Durante el Holoceno temprano y medio, de los *ca.* 9,200 a los *ca.* 5,700 años AP. (Fig. 6), la cubierta arbórea alcanza el máximo desarrollo de la secuencia, sugiriendo un clima templado y condiciones estables.

Se reconstruye para esta etapa con base en los altos valores de polen de pino, bosques de *Pinus* ampliamente distribuidos. Hacia *ca.* 8,000 años AP. se presentan los valores más altos de *Abies* en la secuencia (Fig. 6). Sugiriendo temperaturas bajas, sin grandes oscilaciones térmicas diurnas y humedad relativa alta ó más o menos constante. El avance glacial de *ca.* 7400 a *ca.* 6400 denominado Milpulco II se reporta para el Iztaccíhuatl indicando inviernos fríos y húmedos (Vázquez-Selem, 2000).

En este periodo se encuentran los valores más bajos de la vegetación local, algas y fungoesporas (Fig. 7). Se registran valores más altos de huevos de poliquetos, los cuales sobreviven en fondos lodosos y son buenos indicadores de paleoambientes. Estos

huevecillos de poliquetos se presentan en el cambio de situaciones oligotróficas-mesotróficas a situaciones ligeramente eutróficas (Haas, 1996). La notable reducción en el nivel lacustre, el incremento en los carbonatos, alcalinidad y salinidad indican mayor evaporación. La señal de estacionalidad es más marcada en este periodo.

Se presentan los valores más bajos de susceptibilidad magnética (Fig. 5), así como un decremento en la tasa de depositación. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ son variables pero en general menos que en la zona anterior.

La única parte de la secuencia del núcleo E que presenta un incremento en los carbonatos es en el periodo de *ca.* 10,600 a *ca.* 5700 años AP. El incremento en los carbonatos puede estar relacionado a la inducción a la precipitación de CaCO_3 por agentes bióticos y abióticos como el incremento en la temperatura, metabolismo bacterial y utilización fotosintética de CO_2 por algas y macrofitas sumergidas, siendo este último seguramente el mecanismo dominante (Wetzel 1970-1972 *In*: Wetzel 1975).

La formación de calcita endogénica puede ocurrir en la zona fotosintética de lagos de aguas duras debido al consumo de bióxido de carbono de algas o macrofitas (Håkanson y Jansson, 1983; Forester, 1987), esto pudo haber ocurrido *ca.* 12,000 años AP., donde se advierte un importante desarrollo en las algas. También las altas temperaturas de agua promueven esta reacción, puesto que la solubilidad de la calcita decrece con el incremento de temperatura.

Otra reacción conectada con la fotosíntesis que favorece la formación de calcita, es la precipitación de calcita dependiente del pH, ya que la solubilidad de la calcita decrece con el incremento de pH en lagos productivos, donde la intensa fotosíntesis eleva el valor de pH durante el día.

La condición óptima para la incorporación de minerales carbonatados endogénicos en los sedimentos existe en lagos superficiales, particularmente donde la contribución alogénica de carbonatos es suficientemente alta para amortiguar la producción respiratoria de CO_2 . Lo cual es balanceado por el aumento en la capacidad de los sedimentos para disolver carbonatos en situaciones de alto suministro de materia orgánica tal como existe en lagos productivos.

La composición isotópica del bicarbonato, así como del precipitado carbonatado, dependen de la proporción de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del agua. Hay una temperatura dependiente del fraccionamiento isotópico entre las diferentes especies químicas, para que las proporciones de $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ del agua y precipitados carbonatados sea diferente por una cantidad que varía con la temperatura.

En el núcleo E es notoria la presencia de ostrácodos en las zonas 4 y 3 que corresponde al incremento en los carbonatos, con una edad que va de 10,600 a 5700 años AP.

Los datos de isótopos estables de ostrácodos lacustres pueden ayudar a explicar eventos paleoclimáticos regionales, aunque aún se ha hecho poco uso de este tipo de datos. Los $\delta^{13}\text{C}$ son interpretados en términos de paleoproduktividad, en tanto que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ se pueden relacionar a cambios climáticos, hidrológicos e hidrográficos (Lister, 1988).

El incremento en la productividad orgánica eleva el nivel de $\delta^{13}\text{C}$ de los bicarbonatos del agua, de igual forma manifiesta que la principal razón para cambios en el contenido de $\delta^{13}\text{C}$ de los sedimentos son diferencias en el contenido de bicarbonato de las aguas, estas diferencias pueden causar una transformación en la proporción absoluta de $\delta^{13}\text{C}$ del reservorio de carbón, así como la disparidad en el fraccionamiento isotópico entre las plantas y el bicarbonato (Stuiver, 1975).

Los resultados de $\delta^{18}\text{O}$ con las conchas de ostrácodos (Fig. 4) del núcleo E pueden interpretarse de tres formas posibles.

1) el cambio en la temperatura, que según los valores obtenidos (3-4 por mil en promedio en las dos partes, de 151-267 cm de profundidad y de 315 a 435 cm de profundidad) implicaría un cambio de 12-16 grados, lo que no es muy posible y hace suponer que hay otros factores operando. 2) Un cambio en la relación E/P siendo el clima más húmedo después de los 9,000 años AP., lo cual no corresponde con los datos de algas, ya que prácticamente desaparecen en esta parte del registro y, 3) el registro de isótopos refleja en parte cambios muy complejos en la hidrología del sistema (Brenner, com. per.).

Los valores tan positivos de $\delta^{13}\text{C}$ en este periodo probablemente se explican por la influencia de metanogénesis, lo cual indicaría un lago muy eutrófico con el hipolimnion anaeróbico (Brenner, com. per.).

El periodo de ca. 5700 a ca. 4200 años AP., está caracterizado por un conjunto polínico con máximos valores de esporas de helechos del tipo monoete (87%) seguido de un máximo de Cheno-Am. (Fig. 6). En Chalco este aumento puede estar reflejando alguna perturbación asociada a la actividad volcánica ocurrida a los 5000 años AP. en el volcán Popocatepetl, (Siebe *et al.*, 1995, 1996) aunque no hay presencia de ceniza en los sedimentos y la susceptibilidad magnética no se incrementa. Sin embargo lo que sí es evidente y que se puede relacionar con la actividad volcánica y con condiciones cálido-seco, es el aumento importante en las partículas de carbón (Fig. 5, Tabla X). Tal incremento se asocia a la ocurrencia de incendios importantes en la zona. Los incendios y el posterior incremento en la humedad, como se deduce del aumento en el nivel lacustre, crean condiciones favorables para el desarrollo de pteridofitas como plantas pioneras en situaciones de perturbación, permitiendo el posterior incremento de hierbas oportunistas durante el disturbio para reproducirse, tal es el caso de las Cheno-Am. y *Drymaria*.

La tasa de cambio alcanza un valor alto indicando modificaciones importantes en la vegetación (Fig. 8). Hay un incremento notable en la concentración y acumulación polínica dada por la contribución de las esporas de helechos y de las hierbas.

En el lago se incrementa *Sagittaria* siguiendo el mismo comportamiento que en etapas de actividad volcánica previa (Fig. 7). La presencia de crisofitas indica la existencia de aguas más neutrales a levemente ácidas. Ya no se recuperan valvas de ostrácodos, lo que apoya el cambio en las condiciones lacustres.

El registro palinológico de los último 4200 años muestra un incremento en el porcentaje de los árboles con respecto a la zona anterior. Sin embargo, el conjunto herbáceo es abundante lo que sugiere el desarrollo de bosques abiertos de pino y encino (Fig. 6). Dentro de las hierbas, lo que destaca son las Cheno-Ams., plantas que han sido

asociadas a condiciones de disturbio. En esta parte de la secuencia, el registro polínico puede estar reflejando perturbación no relacionada a cambios en las condiciones climáticas o impacto volcánico, sino a actividad humana. Con lo que indica las evidencias de la aparición de los primeros pobladores en la cuenca de México hacia los 4000 años (Niederberger, 1987). En esta zona se presenta un incremento paulatino de la susceptibilidad magnética (Fig. 5) hacia la parte superior, en el cuál se sugiere una remoción del suelo por actividades agrícolas, sustentado también por un incremento en las partículas de carbón debido a estas actividades. Continúa baja la tasa de depositación, así como la materia orgánica, carbonatos, acumulación y concentración polínica.

La comunidad lacustre presenta una leve recuperación, hay un incremento en los tulares y se registran algas como: *Spirogyra*, *Zygnemataceae* y *Pediastrum* (Fig. 7).

asociadas a condiciones de disturbio. En esta parte de la secuencia, el registro polínico puede estar reflejando perturbación no relacionada a cambios en las condiciones climáticas o impacto volcánico, sino a actividad humana. Con lo que indica las evidencias de la aparición de los primeros pobladores en la cuenca de México hacia los 4000 años (Niederberger, 1987). En esta zona se presenta un incremento paulatino de la susceptibilidad magnética (Fig. 5) hacia la parte superior, en el cuál se sugiere una remoción del suelo por actividades agrícolas, sustentado también por un incremento en las partículas de carbón debido a estas actividades. Continúa baja la tasa de depositación, así como la materia orgánica, carbonatos, acumulación y concentración polínica.

La comunidad lacustre presenta una leve recuperación, hay un incremento en los tulares y se registran algas como: *Spirogyra*, *Zygnemataceae* y *Pediastrum* (Fig. 7).

Tabla X.- Secuencia de cambio de las comunidades vegetales en la Cuenca de México para los últimos 16,600 años AP.

Periodo	Vegetación	Lago	Eventos	Avances Glaciares (Vazquez-Selem, 2000)
0-4200	Bosques de <i>Quercus</i> , <i>Pinus</i> . Chenopodiaceae- Amaranthaceae (Cheno-Am)	Somero	Impacto humano	
4200-5700	Abundantes helechos y herbáceas	Inicia aumento de nivel	Incendios Actividad volcánica	
5700-9200	Máxima cubierta arbórea. Bosques de <i>Pinus</i> con <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> y <i>Abies</i>	Lago salobre con nivel bajo.	Clima templado con incremento en humedad	M2
9200-10,900	Expansión de bosques de <i>Alnus</i> , <i>Quercus</i> y <i>Abies</i> . <i>Cupressus-Juniperus</i> se reduce	Aumento en la salinidad, disminuye nivel lacustre.	Clima frío-húmedo con estacionalidad marcada.	M1
10,900-12,000	Bosques de <i>Alnus</i> , <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i> . Abundantes helechos	Somero con tendencia al aumento de nivel.	Clima templado-húmedo	
12,000-14,000	Bosques abiertos de <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Alnus</i> .	Somero	Actividad volcánica. Posterior estabilidad en cond. amb. tendencia al increm en humedad y temp.	
14,000-14,900	Pastizales, Bosques reducidos	Somero	Actividad volcánica	
14,900-15,000	Matorrales xerófilos <i>Mimosa</i> .	Somero	Clima seco. Bs?	
15,000-15,900	Bosque abierto de <i>Pinus</i> - <i>Quercus</i> . Presencia de <i>Picea</i> .	Somero	Clima más frío y seco que el actual.	
15,900-16,000	Pinares xerófilos. <i>Buddleia</i>	Somero	Actividad volcánica	
16,000-16,600	Bosques abiertos de <i>Pinus</i> - <i>Quercus</i> , Bosque de <i>Juniperus</i> ? Pastizales y/o matorrales.	Somero	Clima más frío y seco que el actual.	

V.3. Tasa de cambio

La tasa de cambio mide el índice de disimilitud entre los espectros polínicos en un periodo de tiempo (Grimm, 1988). Esta se estimó para Chalco E cada 100 años, ya que se consideró que había la resolución cronológica suficiente para hacer esto (Fig. 8).

La tasa de cambio calculada para el registro polínico de Chalco E, muestra cambios constantes de las comunidades vegetales (Fig. 8). Los valores al inicio son altos y corresponde a las comunidades abiertas con abundantes hierbas que se desarrollan a los *ca.* 15,200 años AP. Hacia los *ca.* 14,800 alcanza un valor de 0.5, la más alta del registro. Este corresponde a la comunidad de *Mimosa* y coincide con la terminación del avance Hueyatlaco 1. A los *ca.* 14,000 años AP., hay un incremento importante en la tasa de cambio, el cual coincide con el incremento de pteridofitas posterior a la caída de la ceniza Tlapacoya II. Posteriormente, la tasa de cambio disminuye, los valores fluctúan entre 0.18 a 0.3, lo cual es interpretado como un cambio constante (Jacobson y Grimm, 1986).

Dos pulsos más se registran entre *ca.* 10,400 y *ca.* 9,600 años AP., que corresponden con el aumento de los bosques.

Hacia los 7,000 años AP., la tasa aumenta considerablemente y corresponde con el máximo de cobertura arbórea dada por los bosques de pino, este incremento coincide con el avance glacial Milpulco 2. Entre los 5,050 y los 4,175 años AP., hay dos pulsos de cambio en el registro, el primero a los 5,050 años AP., corresponde al incremento de esporas y el segundo *ca.* 4,400 al notable aumento de las Chen-Am., posterior al disturbio asociado a vulcanismo.

En la parte superior del registro donde se infiere actividad humana modificando el ambiente, la vegetación no presenta valores altos como en los periodos precedentes, mostrando que no ha habido una completa recuperación de las comunidades vegetales regionales.

Es interesante hacer notar que este cálculo de tasa de cambio muestra que las comunidades al derredor de la cuenca han sido modeladas por dos factores principalmente, el clima, que determina la presencia de comunidades abiertas como matorrales xéricos (*ca.* 14,800 años AP.) ó bosques bien establecidos (*ca.* 5,000 años AP.) y la actividad volcánica, que favorece a cierto tipo de comunidades como el bosque de *Buddleia cordata*.

V. 4.- Correlación Intralacustre (Fig. 11).

Entre las aplicaciones del análisis palinológico destacan dos, la correlación cronoestratigráfica y la paleoecológica. En la primera, se asumen varios supuestos, el más importante es que los cambios en la vegetación son sincrónicos regionalmente. Dado que en la sub-cuenca de Chalco se han realizado en los últimos años varios estudios paleopalínológicos, paleolimnológicos, paleoclimáticos, etc. (Lozano-García *et al.*, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1994; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1995; Lozano-García 1996; Ortega-Guerrero y Newton, 1998; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998) resulta un sitio ideal para la correlación desde el punto de vista palinológico de dichas secuencias.

La premisa fundamental del análisis palinológico es que la vegetación refleja las condiciones ambientales y que las lluvias polínicas son indicativas de la vegetación existente en el área. Es de esperarse por tanto, que las lluvias de polen fósil que se han analizado en el lago, muestren cambios sincrónicos en la vegetación y de igual manera muestren tendencias similares en las condiciones ambientales imperantes.

Los núcleos estudiados previamente provienen de la porción oeste del lago, a diferencia del núcleo E localizado en la sección este del lago (Fig. 1). El núcleo CH-B de 26 m. de profundidad abarca los últimos *ca.* 40,000 años, y el núcleo CH-D con una longitud de 11.27 m. cubre una edad de aproximadamente 24,000 años AP. Ambas secuencias fueron analizadas desde el punto de vista palinológico además de ser objeto de otros estudios como propiedades magnéticas, contenido de diatomeas y calcinación, entre otros (Lozano-García *et al.* 1991, 1993; Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1994 y 1998; Lozano-García, 1996; Ortega-Guerrero y Caballero, 1998; Urrutia-Fucugauchi *et al.* 1994; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1995; Lozano-García 1996; Ortega-Guerrero y Newton, 1998).

Asumiendo que los cambios en la vegetación de una región dada son sincrónicos, se espera documentar una serie de eventos similares en todos los núcleos de Chalco. Sin embargo, hay que señalar que la resolución cronoestratigráfica no es la misma en todos los núcleos lo que resulta en diferencias importantes entre los periodos comparados. Además, el análisis palinológico del núcleo CH-E se realizó cada 8 y/o 4 cm haciendo que la

precisión palinoestratigráfica sea mayor, mientras que en los otros núcleos fue de cada 10 cm. Tomando en cuenta las limitaciones en las secuencias CH-B y CH-D se propone una correlación palinoestratigráfica entre ellas abarcando solamente los últimos 17,000 años, que corresponde al periodo estudiado en el núcleo CH-E (Fig. 11).

Los conjuntos palinológicos que caracterizan el periodo de *ca.* 17,000 a *ca.* 14,500; (CH-E zonas 11, 10, 9,8; CH-D zonas 5, 4; CH-B zona 5) indican la presencia de bosques mixtos de pino y encino posiblemente abiertos como se infiere de los altos valores de las herbáceas. El taxon *Cu-Ju* esta presente en todas las secuencias y los pastos son también un elemento abundante y presente. En este periodo se registra polen de *Mimosa* la cual como se mencionó anteriormente es característica de comunidades relativamente xerófilas como matorrales y/o pastizales.

Los bosques de *Buddleia cordata* documentados en CH-E no están presentes en CH-B y CH-D. Probablemente se trata de una comunidad sucesional, ya que este taxa es pionero de derrames lávicos y posiblemente estuvo muy localizada. Es de suponerse que dada la resolución cronoestratigráfica del análisis palinológico en CH-B y CH-D esta comunidad no fue detectada.

Las zonas CH-E zonas 7 y 6; CH-D zona 3b corresponden al periodo de *ca.* 14,500 a *ca.* 12,000 años AP. En éste periodo está bien documentado el evento volcánico del Popocatepetl que produjo la tefra denominada Tlapacoya II (pómez con andesita) (Ortega y Newton, 1998) la cual afectó a las comunidades vegetales reduciendo el registro polínico. Sin embargo, posterior a este evento, se detecta la expansión de bosques con *Pinus*, *Quercus*, *Alnus* y la reducción concomitante del conjunto herbáceo y una tendencia al incremento en la humedad.

Durante el Pleistoceno tardío de *ca.* 12,000 a *ca.* 11,000 años AP. (CH-E zona 5), se detectó un notable incremento en las esporas de pteridofitas, las cuales se asocian al posible desarrollo de bosques más húmedos. Este aumento en el conjunto de esporas, también se observa en el núcleo D en la zona CH-D-3b y en el núcleo B en la zona CH-B-4, aunque debido a la falta de resolución de estas secuencias es difícil efectuar una correlación.

Hacia el Holoceno temprano y medio (*ca.* 10,000 a *ca.* 6,000 años AP. CH-E zona 3; CH-D zona 2 y CH-B zona 2), los bosques se expanden, situación que se interpreta como un aumento en la humedad dada la presencia de *Abies*, cuyos requerimientos ecológicos son de 1000 a 1400 mm de precipitación media anual. Sin embargo, el incremento en los porcentajes de *Quercus* pueden estar indicando también condiciones de mayor temperatura.

Al comparar los conjuntos palinológicos holocénicos con las lluvias polínicas actuales, no parecen tener análogos modernos, aunque para afirmar esto se requeriría de realizar un análisis multivariado que compare los conjuntos fósiles con los actuales.

Los conjuntos polínicos de la zona CH-E zona 2 (*ca.* 6,000 a *ca.* 4,000 años AP.), no están tan bien representados en las secuencias B y D. El incremento de esporas de pteridofitas se asocia al incremento de partículas de carbón, así como a un incremento en el nivel lacustre. El posterior impacto de la actividad volcánica del Popocatepetl (5,000 años AP.), que causó incendios cercanos a la zona se detecta en los otros núcleos en las zonas CH-D-1 y CH-B1. Sin embargo, en estas zonas la cronología es imprecisa por lo que la correlación con el evento CH-E-2 de corta duración resulta complicada. El impacto de la actividad humana es evidente durante el Holoceno tardío en las zonas CH-E-1, CH-D-1 y CH-B-1.

Los conjuntos palinológicos holocénicos de todas las secuencias estratigráficas de Chalco se caracterizan por la drástica disminución y/o desaparición del taxon *Cu-Ju*, por la presencia continua de *Abies*, por el incremento en los valores de *Quercus* y por los altos valores de polen arbóreo.

Los resultados revelan diferencias en la tasa de sedimentación de los núcleos obtenidos en Chalco (núcleos A-B, C, D y E. Fig. 11). Entre los núcleos perforados anteriormente, el núcleo C, presenta mayor discrepancia en cuanto a variación en el espesor que entre los sondeos A-B y D, debido posiblemente a que el núcleo C se situaba en una parte más cercana a la orilla del lago y los procesos de erosión posiblemente eliminaron parte del registro estratigráfico (Ortega-Guerrero, 1992). El núcleo E presenta una tasa de sedimentación más alta debido a su cercanía con el delta del río Amecameca, permitiendo mayor acumulación de sedimentos en el lago.

Dos tipos de corriente entran a la cuenca de Chalco, la corriente del norte, que pertenece al río Tlalmanalco que drena la ladera oeste del Iztlaccíhuatl y acarrea partículas finas y, la corriente del sur, conocida como río Amecameca y drena la ladera oeste del volcán Popocatepetl. En esta, la carga de sedimentos es muy arenosa y refleja las cenizas generadas por este volcán (Fig. 1). Con base al estudio de la presencia y/o ausencia de deltas con alta tasa de sedimentación y las edades de estas, Frederick *et al.* (1997), sugieren que el río Amecameca aparentemente cambió su curso con frecuencia en los últimos miles de años. Así mismo, documenta que la sedimentación en tiempos recientes fue más continua en el sur (delta Ayotzingo-Huitzilzingo), que en el norte (delta Xico Nuevo-Chalco), en donde por su litología se asocia a periodos de alta descarga.

Las diferencias en las tasas de sedimentación de los núcleos de Chalco pueden explicarse también con base en la estructura de semigraven con tendencia NE la cual produce diferencias en la elevación así como en su forma, por lo cual el lado NW de esta falla alcanza un alto nivel con respecto al lado SE, permitiendo al lago desarrollarse sobre el área más baja (Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1994).

El espesor de los sedimentos fluviolacustres en Chalco es de 400 m en la porción E y de cerca de 300 m en la sección W, indicando que la cuenca de Chalco está dividida en dos subcuencas separadas por un alto N-S el cuál, está asociado a la estructura volcánica del Xico. Los núcleos A-B, C y D son más parecidos en términos de tasa de sedimentación que el núcleo E, perforado en la porción este del lago, la cual de acuerdo al modelo gravimétrico tiene espesores mayores.

Además de las diferencias en la tasa de sedimentación entre los núcleos de la zona central (CH-B, CH-D) y las zonas litorales como es el núcleo E se observan diferencias en el tipo de sedimento. El más importante es el espesor de 50 cm de diatomita encontrado en núcleo B (Caballero, 1995), este no está presente en el E. Dicho depósito ocurre cuando los paleoindicadores apuntan hacia la existencia de niveles lacustres relativamente altos, los más altos del periodo estudiado.

El conjunto de evidencias: a) la diferencia en los espesores de sedimentos en la porción oeste y este del lago de Chalco; b) el aporte diferencial de sedimentos de los ríos

en la zona norte y sur; y c) la estructura de semigraven, explican las diferencias en las tasas de sedimentación entre los núcleos perforados en este lago.

Los conjuntos denominados locales (subacuáticos y acuáticos) proveen información importante acerca de la evolución del cuerpo de agua. Si bien estos conjuntos también se documentan en los núcleos CH-B y CH-D, en el primero un amplio estudio paleolimnológico (Caballero, 1995), basado en el estudio de diatomeas ofrece amplias posibilidades para una correlación con el núcleo CH-E.

Dado que las secuencias analizadas CH-E, CH-D y CH-B se perforaron en zonas diferentes del lago, la señal ambiental local es distinta. Así, el núcleo E está localizado en la zona ribereña y el B está más próximo al centro del cuerpo de agua. El núcleo D se perforó entre estos dos extremos (Fig. 1). Por lo tanto la información que nos ofrecen los conjuntos polínicos locales documentan principalmente micro-habitats del lago de Chalco.

Durante el periodo de 16,600 a 14,500 años AP., las secuencias de la porción más central del lago (CH-B y CH-D) contienen conjuntos de palinomorfos que apoyan la idea de la existencia de un cuerpo de agua muy somero (Fig. 11). La presencia y abundancia de algas (*Pediastrum*, *Botryococcus* y *Zygnemataceae*) en este periodo del registro es notable, mientras que en CH-E el polen de vegetación enraizada emergente como *Cyperaceae* es dominante. En Chalco B el conjunto de diatomeas para tiempos similares (> 15,000 años AP.; zona CH-B-IV) también indican condiciones de agua somera (< 2 m) y un ambiente de pantano de aguas circumneutral.

Durante el periodo de 14,500 a 12,000 años AP., se registra una tendencia de incremento en los niveles lacustres en las tres secuencias. Esta tendencia culmina en el siguiente periodo al final del Pleistoceno (12,000-11,000 años AP.) y se detecta en todas las secuencias el nivel más alto del lago. En CH-E el conjunto de algas es importante, destacando *Pediastrum*, *Coelastrum* y *Staurastrum*. En Chalco B-III, las diatomeas también indican una recuperación del nivel lacustre y el establecimiento de un lago de aguas dulces de ca. 14,000 a ca. 10,000 años AP. (Caballero, 1995).

Después de este evento de máximo nivel lacustre en los registros de Chalco, se establece una tendencia generalizada de decremento en los niveles lacustres durante el

Holoceno temprano a medio (*ca.* 10,000 a *ca.* 6,000 años AP.). En CH-E la reducción del tirante de agua es notorio y alcanza el nivel más bajo entre los 8,000 a 6,000 años AP. Aunque se identifica este evento en los núcleos D y B, el control cronológico no es tan bueno como en el núcleo E y no es posible determinar con precisión el momento de inicio y terminación de este. Aunque los datos de diatomeas indican un periodo de alta salinidad y nivel lacustre sumamente bajo (CH-B- II; de *ca.* 10,000 a *ca.* 6,000 años AP.) (Caballero, 1995).

Algo similar ocurre para el Holoceno tardío, en el CH-E se detecta nuevamente un incremento en los niveles lacustres a partir de los *ca.* 5,000 años AP. y en las otras secuencias también se observa el incremento en el espejo de agua pero el fechamiento tan pobre no permite definir con exactitud el inicio de esta tendencia. Aunque en CH-B-I, las diatomeas indican el aumento en el nivel lacustre a partir de *ca.* 6,000 años AP.(Caballero, 1995).

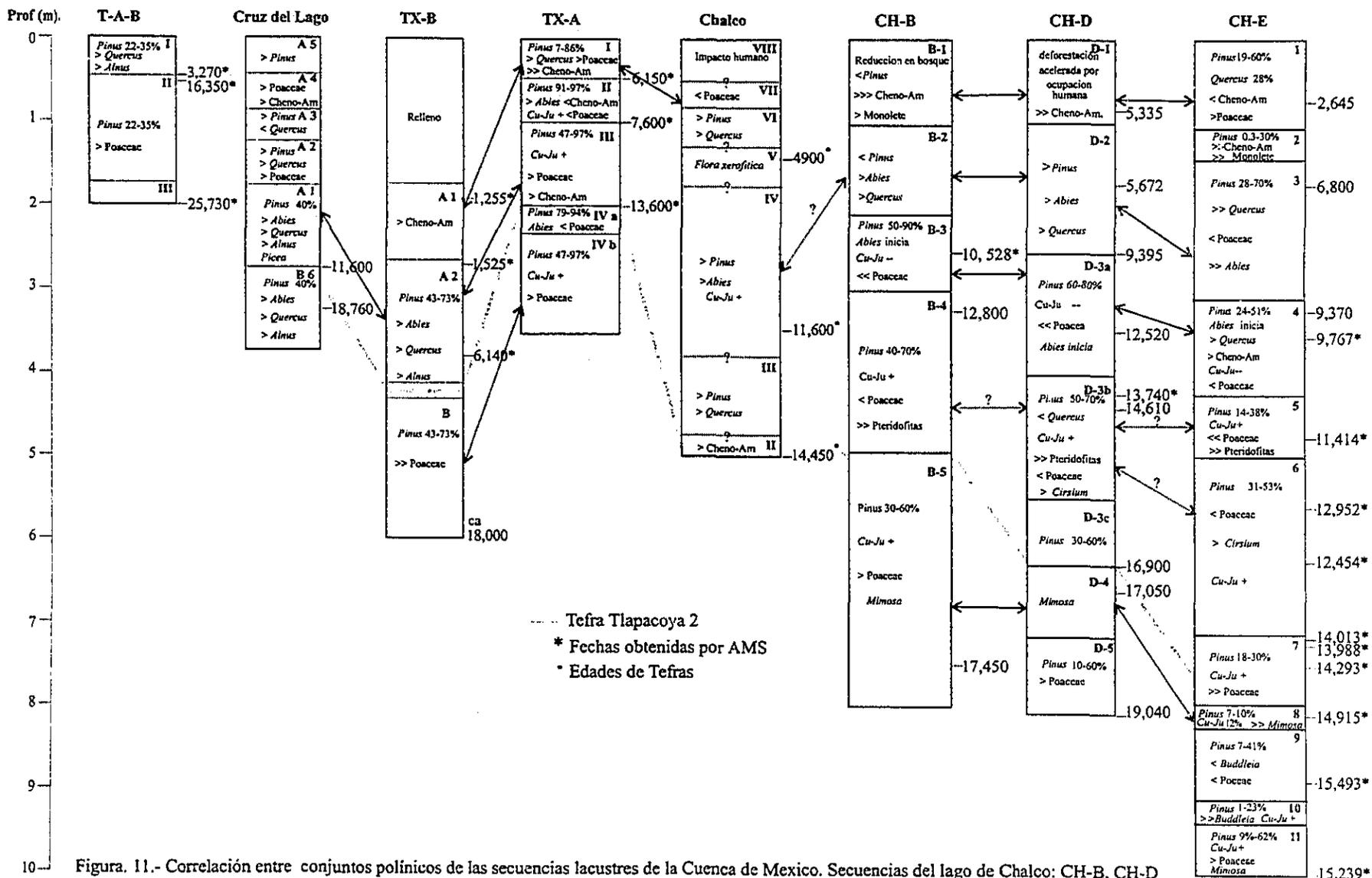


Figura 11.- Correlación entre conjuntos polínicos de las secuencias lacustres de la Cuenca de Mexico. Secuencias del lago de Chalco: CH-B, CH-D (Lozano-García *et al.*, 1993, 1994), CH-E (este estudio) y Chalco (Bradbury, 1989). Secuencias del lago de Texcoco: TX-A (Sandoval, 2000), TX-B (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998) y Cruz del lago (González-Quintero, 1986). Secuencias del lago de Tecocomulco: T-A y T-B (Caballero-Miranda *et al.*, 1999)

V. 5.- Correlación Interlacustre

Con base en la correlación entre los conjuntos polínicos de Chalco y la reconstrucción de la historia de la vegetación, se presenta a continuación una comparación con las evidencias palinológicas de otras secuencias de la cuenca de México (Fig. 12).

Un primer intento de correlación de los conjuntos palinológicos de las Cuencas de Chalco y Texcoco se hace entre las secuencias CH-D y CH-B con el núcleo denominado Texcoco B (TX-B) (Lozano-García y Ortega-Guerrero, 1998). Las nuevas evidencias palinológicas del Lago de Chalco, objeto de esta investigación y datos recientes de Texcoco (Sandoval, 2000) y al norte de la cuenca, el Lago de Tecocomulco (Caballero *et al.*, 1999), permiten ampliar y redefinir esta correlación con el objeto de identificar el impacto del cambio climático en las comunidades vegetales de la Cuenca de México. Se incluyen en esta correlación los registros palinológicos de Texcoco y Chalco de González-Quintero (1986) y González-Quintero y Fuentes-Mata (1980).

En general, al comparar la secuencia de CH-E con las obtenidas en Texcoco, es evidente que en esta última hay problemas en términos de sedimentación y por ende de resolución; algo similar se observa en Tecocomulco, donde el registro palinológico solamente se obtuvo en la parte superior, correspondiente al Holoceno tardío.

A pesar de los problemas que se detectan en las secuencias de la cuenca, es posible identificar tendencias. De *ca.* 17,000 a *ca.* 14,500 años AP. en todos los conjuntos palinológicos tanto de Chalco como de Texcoco, hay abundantes pastos además del registro de bosques de pino y encino, evidenciando la existencia de bosques abiertos de condiciones relativamente xerofíticas, aunque con periodos de frío como se deduce de la presencia de *Picea*.

El periodo de *ca.* 14,500 a *ca.* 12,000 años AP., se ve afectado notablemente por la actividad volcánica del Popocatepetl representada por la tefra denominada "pómez con andesita" ("Tlapacoya 2", Ortega y Newton, 1998). Así, en las secuencias de Texcoco se observan importantes hiatus en la sedimentación (TX-B, Cruz del Lago). Los conjuntos polínicos de Chalco registran una disminución del componente herbáceo con el concomitante incremento de la cubierta arbórea. En Texcoco, se dificulta la interpretación por los problemas en la sedimentación aunque en el núcleo TX-A sí se detecta esta

tendencia hacia bosques de pino más cerrados al igual que en la secuencia de Cruz del Lago (González-Quintero y Fuentes Mata, 1980).

Los conjuntos polínicos del final del Pleistoceno (*ca.* 12,000 a *ca.* 11,000 años AP.) de Chalco documentan la existencia de bosques húmedos con pino, encino, ailes, abundantes helechos y las hierbas continúan reduciéndose durante este periodo. Para Texcoco, los registros indican también la existencia de bosques casi exclusivamente de pino.

Durante el Holoceno temprano y medio (de *ca.* 11,000 a *ca.* 5,500 años AP.), hay un notable incremento en la diversidad dentro de las comunidades vegetales de la porción sur y centro de la cuenca. En Chalco, además de los bosques de pino y el incremento en los bosques de encino, se establece un bosque de *Abies*. El registro del taxa *Cu-Ju* que se considera puede representar a *Juniperus*, casi desaparece. Los bosques alcanzan su máxima cobertura en este periodo. En Texcoco, aunque los registros presentan dificultades asociadas a la sedimentación, se puede detectar señales en la vegetación similares a Chalco. Así, en la Cruz del Lago el incremento de *Abies* se ve acompañado por la reaparición de *Picea* y *Podocarpus* (González-Quintero y Fuentes Mata, 1980), en TX-A hay un ligero incremento de *Podocarpus* y en TX-B es *Picea* el taxon que está presente. También en todos los conjuntos de Texcoco se observa este aumento en el polen arbóreo en comparación con el polen no arbóreo. Durante este periodo, también hay un aumento en el registro de *Quercus* indicando la expansión de los bosques de encino que de acuerdo con Rzedowski (1978) es un género termófilo, lo cual puede estar indicando un incremento en la temperatura posiblemente de verano (Kutzbach *et al.*, 1998).

Los conjuntos polínicos locales, sufren en la secuencias de Chalco y Texcoco una reducción importante entre 8,000 y 6,000 años AP., sugiriendo una disminución en los niveles lacustres. Esto resulta aparentemente contradictorio con los resultados de los conjuntos polínicos regionales.

Para el Holoceno tardío todas las secuencias de la cuenca, de norte a sur; Tecocomulco, Texcoco y Chalco evidencian el efecto con mayor o menor intensidad del impacto humano.

El análisis palinológico de las secuencias lacustres de la cuenca de México muestran sincronismo en los cambios de las comunidades vegetales en la región, aunque

hay que mencionar que se presentan ciertas dificultades dada la calidad diferencial en los datos tanto palinológicos como cronológicos.

Años A.P.	Chalco Núcleos E, D y B	Tlapacoya Glez.-Quintero (1986)	Texcoco Glez.-Quintero. y Fuentes-Mata (1980)	Texcoco. Brown (1985)	Texcoco. Sandoval Montaño (2000)	Texcoco Lozano y Ortega (1998)	Tecomulco Lozano Garcia <i>et al.</i> (1999)	Avances Glaciares Vazquez- Salem(2000)			
0	clima templado semi-húmedo	clima frío húmedo	Fluctuaciones entre climas secos y húmedos	+ seco que el presente	templada semi húmeda	clima seco	cálido seco	Ayoloco			
1,000								clima templado lago seco/ <i>Abies</i>	Condiciones + húmedo-cálidas	fría- húmeda	Milpulco II
2,000											
3,000	clima templado húmedo	+ humedad	clima más húmedo	clima más cálido- húmedo	clima cálido seco	Hueyatlaco II					
4,000							clima templado	clima frío húmedo	clima frío- húmedo	templada semi-húmeda	Hueyatlaco I
5,000	seco Bs	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
6,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
7,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
8,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
9,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
10,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
11,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
12,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
13,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
14,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
15,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
16,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
17,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
18,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	
19,000	clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco						
20,000						clima templado	clima frío seco	clima frío húmedo	semi húmeda	clima seco	

Δ = incremento

Figura 12.- Cuadro sinóptico de la correlación interlacustre. Inferencias climáticas basadas en los conjuntos polínicos de las secuencias lacustres de la cuenca de México y avances glaciares del Iztaccihuatl (Vazquez-Salem, 2000).

CONCLUSIONES

El análisis palinológico del núcleo E del lago de Chalco mostró la dominancia de los taxa característicos del centro de México como son *Pinus*, *Quercus*, *Alnus*, *Abies*, tipo *Cu-Ju*, que forman parte de las comunidades vegetales que actualmente están establecidas en esta zona de México. Sin embargo, fue posible mediante el análisis documentar otros conjuntos que hasta este estudio no se habían definido con precisión. Así, el ejemplo del bosque de *Buddleia cordata* a los ca. 15,300 años AP. y la presencia de matorrales xerófilos ca. 14,900 años AP.

El conjunto de indicadores paleoambientales sugieren condiciones de clima seco y frío entre ca. 17,000 a ca. 14,500 años AP. Se establecen comunidades que señalan periodos cortos más secos dentro de la tendencia climática dominante.

Se documenta un incremento en la humedad a partir de los ca. 14,000 años AP., con la expansión de los bosques aunque el impacto de la actividad volcánica resulta importante.

Entre los 12,000 y 11,000 años AP., los conjuntos palinológicos y los indicadores paleoambientales en el lago de Chalco sugieren un cambio de climas fríos-húmedos. Esto se expresa en el lago como un cambio de condiciones de pantano a niveles lacustres mayores.

La historia de la vegetación que se documentó muestra la evolución desde bosques abiertos de pino con climas más fríos, hacia bosques de pino-encino más cerrados hacia los 12,000 años AP. cuando ocurrió un incremento en temperatura y humedad.

Los paleoindicadores del Holoceno temprano y medio, ca. 11,000 a 5,500 años AP. se advierten con evidencia de condiciones húmedas basadas en la presencia de taxa como *Alnus* y *Abies* y de aguas cálidas basadas en la presencia de *Coelastrum* (condiciones húmedo-cálidas). Los valores de *Abies* indican condiciones frío húmedas, mientras que la escasa vegetación local y reducción en el nivel lacustre, así como la presencia de

carbonatos sugieren veranos muy cálidos. Durante este tiempo los elementos del bosque se incrementan notablemente, mientras que los pastos declinaron. Se documentan reducidos niveles lacustres con baja productividad caracterizada por bajos conteos de algas, de vegetación acuática y reducida tasa de sedimentación.

La aparente discrepancia entre los datos palinológicos, las diatomeas y los registros de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$ pueden ser reconciliadas si se asume que fueron controladas por un clima extremo, con inviernos más fríos-húmedos que el actual y veranos más cálidos que probablemente generaron un potencial P-E negativo.

Durante el Holoceno tardío de *ca.* de 4,400 años A. P. al presente los bajos valores de polen arbóreo así como los altos valores de partículas de carbón, y polen no arbóreo, como Cheno-Am., esporas de pteridofitas y *Drymaria* indican condiciones de incendios en la zona, lo cual unido a la susceptibilidad magnética que sugiere impacto humano temprano en la vegetación regional y/o acelerada remoción del bosque.

Los núcleos del lado oeste (A-B, C y D) del Xico en general presentan las mismas tendencias en los valores de sedimentación, materia orgánica, acumulación y concentración polínica. Pero en una proporción más baja que el núcleo del lado este (E). Esto se asocia al aporte del río Amecameca, que desemboca cerca del sitio de estudio, a la forma de la cuenca y a la diferencia en la profundidad de las mismas

Las señales más importantes que proporcionan los conjuntos polínicos fósiles del núcleo E de la cuenca de Chalco se identificaron para los núcleos previamente estudiados en el lago de Chalco. También se identificaron tendencias similares para los registros palinológicos del lago de Texcoco, indicando que ocurrieron cambios sincrónicos en las comunidades vegetales del centro y sur de la cuenca (Abies, Cu-Ju, entre otros) durante el periodo analizado.

Los resultados de este estudio muestran que las comunidades vegetales de los últimos 16,000 años AP., en el sur de la cuenca de México, han estado sujetos a cambios

constantes como se infiere de los valores de la tasa de cambio. Los factores de cambio que se identifican en esta investigación son dos, el primero se refiere al cambio climático ocurrido en este periodo, este cambio se traduce en modificaciones en la disponibilidad de humedad y variaciones en temperatura. El otro factor que determina la composición de las comunidades en la cuenca es el vulcanismo. Con los datos de propiedades magnéticas, litología y las evidencias palinológicas es posible documentar el impacto de este factor. La tasa de cambio muestra altos valores después del evento volcánico como es el caso en la tefra Tlapacoya 2 (pómez con andesita).

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Alcalá-Herrera, J. A.; Córdova, C.; Machain-Castillo, M. L. Urrutia-Fucugauchi, J.; and Gío-Argáez, F. R. Variaciones en la Composición Isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) de la Materia Orgánica en una Secuencia Cuaternaria en la parte Central de México. RSMHN 47: (en prensa)
- Almeida, L., Cleef, A. M., Herrera, A., Velázquez, A., y Luna, I. 1994. El zacatonal alpino del Volcán Popocatepetl, México y su posición en las montañas tropicales de América. *Phytocoenología*, 22 (3): 391-346.
- Anaya-Lang, A. L. 1962. Estudio de las relaciones entre la vegetación forestal, el suelo y algunos factores climáticos en seis sitios del declive occidental del Iztaccihuatl. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 74p.
- Baker, R. G. and Richmond, G. M. 1978. Geology, Palynology, and Climatic Significance of Two Pre-Pinedale Lake Sediment Sequences in and near Yellowstone National Park. *Quaternary Research*, 10: 226-240.
- Bassett, J., Crompton, C. W., and Parmelee, J. A. 1978. An Atlas of Airborn Pollen Grains and Common Fungus Spores of Canada. Printing and Publishing Suplly and Services Canada. Hull, Québec, Canadá. 321pp.
- Beaman, J. H. 1962. The timberline of Iztaccihuatl and Popocatepetl, Mexico. *Ecology*, 43: 377-385.
- Beaman, J. H. 1965. A preliminary ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccihuatl. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 29: 63-75.
- Bellia, S., Cusimano, G., Gonzalez, M. T. Rodriguez, C. R. Giunta, G. 1992. El Valle de Mexico. Consideraciones preliminares sobre los riesgos geologicos y analisis de la cuenca de Chalco. Instituto Italo-Latino Americano. Quaderni II LA. Serie Scienza 3. Roma. 96 pp.
- Benítez-Badillo, G. 1985. Arboles y flores del Ajusco. Instituto de Ecología. Publicación 17. 183 pp.
- Birks, H.J.B. and H.H. Birks, 1980. Quaternary palaeoecology. Arnold. London. 289 pp.
- Birks, H. J. B. 1986. Numerical zonation, comparison and correlation of Quaternary pollen-stratigraphical data. In Berglund B.E. (Ed.) Handbook of Holocene Paleoecology and Palaeohydrology. John Wiley and Sons. Great Britain. 743-774 pp.
- Bold, H. C. and Wynne, M. J. 1978. Introduction to the Algae. Structure and reproduction. Prentice Hall, Inc. New Jersey, United States of America. 706 pp.

- Bonilla-Barbosa, J. R. y Novelo-Retana, A. 1995. Manual de identificación de plantas acuáticas del parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. Cuadernos 26. Instituto de Biología, UNAM. 168pp.
- Bonnefille, R. et Riollet, G. 1980. Pollens des Savenes D'Afrique Orientale. Editions Du Centre National de la Recherche Scientifique. Anatole-France. 113pp.
- Bopp-Oeste, M. G. 1961. El análisis de polen con referencia especial a dos perfiles polínicos de la cuenca de Mexico. Homenaje a Pablo Martínez del Río, México, INAH. 49-56.
- Bradbury, J. P. 1986. Paleolimnología del lago de Chalco, México: el medio ambiente litoral. *In*: Lorenzo, J. L., and Mirambell, L. (eds). Tlapacoya: 35,000 Años de Historia del Lago de Chalco. *Colección Científica. Serie Prehistoria*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 297pp.
- Bradbury, J. P. 1989. Late Quaternary Lacustrine Paleoenvironments in the Cuenca de Mexico. *Quaternary Science Reviews*, 8: 75-100.
- Brown, T. A.; Nelson, D. E.; Mathewes, R. W.; Vogel, J. S.; and Southon, J. R. 1989. Radiocarbon Dating of Pollen Accelerator Mass Spectrometry. *Quaternary Research*, 32: 205-212.
- Brown, T. A.; Farwell, G. W.; Grootes, P. M. and Schmidt, F. H. 1992. Radiocarbon AMS Dating of Pollen Extracted Peat Samples. *Radiocarbon*, 34(3): 550-556.
- Caballero-Miranda, M. 1995. Late Quaternary Palaeolimnology of Lake Chalco, the Basin of Mexico: New evidence for palaeoenvironmental and paleoclimatic change in central Mexico during the last 45,000 years. Ph.D. Thesis. Univ. Hull, UK. 286p.
- Caballero-Miranda, M. 1997a. The Last Glacial Maximum in the Basin of Mexico: the Diatom Record Between 34,000 and 15,000 Years B.P from Lake Chalco. *Quaternary International*, Vol. 43/44: 125-136.
- Caballero-Miranda, M. 1997b. Reconstrucción paleolimnológica del lago de Chalco, México, durante el último Máximo glacial- El registro de diatomeas entre 34,000 y 15,000 años A.P. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 14 (1): 91-100.
- Caballero-Miranda, M., and Ortega-Guerrero, B. 1998. Lake levels since about 40,000 Years Ago at Lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research*, 50: 69-79.
- Caballero-Miranda, M., Lozano-García S., Ortega-Guerrero, B. Urrutia-Fucugauchi, J., and Macías, J. L. 1999. Environmental characteristics of Lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last 50,000 years. *Journal of Paleolimnology*, 22:399-411.

- Cano-Santana, Z. y Meave, J. 1996. Suscesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. No. 41: 58-68.
- Cardoso, D. and Garcia, E. 1982. Vegetation and Climate in The Basin of Mexico. Latin American Regional Conference. IGU, Brazil. Inst. de Geografía UNAM. México. 119-25pp.
- Castañeda-Bernal, R. 1998. Estudio palinológico de una secuencia vulcanoclástica asociada a un hallazgo de *Mammuthus* sp. en el municipio de Metepec, Estado de México. Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM. 78p.
- Cervantes, F.J. and Orozco F. 1982. Characteristics and distribution of soil orders and suborders of the Basin of Mexico, according to american classification (7a. aproximación). Latin American Regional Conference IGU, Brazil. Instituto de Geografía UNAM. Mexico. 26-33 pp.
- Collins C. D.; Sheldon R. B.; Boylen Ch, W. 1987. Littoral zone macrophyte community structure: distribution and association of species along physical gradients in Lake George, New York, U.S.A. *Aquatic Botany*, 29: 177-194.
- Cruz-Cisneros. R. 1969. Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales en el Valle de México. Tesis de Biólogo, IPN. México. 135p.
- Curtis, J. H.; Brenner, M.; Hodell, D. A.; Balsler, R.A.; Islebe, G.A. & Hooghiemstra, H. 1998. A multi-proxi study of Holocene environmental change in Maya Lowlands of Peten, Guatemala. *Journal of Paleolimnology*, 19: 139-159.
- Dalton, P. A., and Novelo, A. 1983. Aquatic and wetland plants of the Arnold Arboretum. *Arnoldia*, 43 (2): 7-44.
- Espinosa-García, F. J., y Sarukhan, J. 1997. Manual de malezas del Valle de México. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México. 407pp.
- Espinosa-Garduño, J. 1961. Vegetación de una corriente de lava de formación reciente localizada en el declive meridional de la sierra de Chichinautzin. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM: México. 67p.
- Faegri, K. and Iversen J. 1989. Textbook of Pollen Analysis. John Wiley & Sons Ltd. Great Britain . 328pp.
- Frederik D. Ch. 1997. Landscape Change and Human Settlement in the Southeastern Basin of Mexico. Informe interno Instituto de Investigaciones Antropológicas., UNAM. 41p.

- Forester, R. M. 1987. Late Quaternary paleoclimatic records from lacustrine ostracodes. In Ruddiman, W. F.; and Wright, H. E. Jr. Eds., North America and adjacent oceans during the last deglaciation: Boulder Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, v. K-3:261-276.
- García-Mora, C. 1981. Naturaleza y Sociedad en Chalco-Ameca. (Cuatro Apuntes). Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. México, D.F. 332 pp.
- Gonzalez-Quintero, L. 1986. Análisis polínico de los sedimentos. En "Tlapacoya: 35,000 años de Historia en el lago de Chalco". (J.L. Lorenzo y L. Mirambell, eds). Colección Científica, Serie Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México. 157-166pp.
- Gonzalez-Quintero, L. y Fuentes-Mata, M. 1980. El Holoceno de la porción central de la cuenca del Valle de México. Memorias del III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica. No. 86: 113-132.
- González-Quintero, L.; y Sánchez-Martínez, F. (1980). Determinación palinológica del ambiente en que viveron los mamutes en la Cuenca de México. Memorias del III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica. No. 86: 195-200.
- Grabandt, R. A. J. 1983. Description of Some Taxa of Testacea of Humid Paramo Vegetation Types of the Colombian Cordillera Oriental. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Bogotá, Colombia. Vol. XV (58): 31-40.
- Grimm E. C., 1988. Data analysis and display. In Huntley, B. & Webb, T. III (eds.), *Vegetation History*. Kluweer Academic Publishers. Netherlands. 42-76pp.
- Haas, J. N. 1996. Neorhabdocoela oocytes-palaeoecological indicators found in pollen preparations from Holocene freshwater lake sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91: 371-382.
- Håkanson, L. Jansson, M. 1983. Principles of Lake Sedimentology. Germany. 315 pp.
- Heine, K.; 1984. The Classical Late Weichselian Climatic Fluctuations in Mexico. *Climatic Changes on a Yearly to Millennial Basis*, 95-115.
- Heine, K.; 1994a. The Late-Glacial Moraine Sequences in Mexico: Is there evidence for the Younger Dryas event?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112: 113-123.
- Heine, K.; 1994b. Present and Past Geocryogenic Processes in Mexico. Permafrost and Periglacial Processes. 5: 1-12.

- Hernández, M. E. 1985. Distribución y utilidad de los *Abies* en México. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm 15: 75- 118.
- Herrera-Legarreta, A. M. S. 1983. Síntesis Ecológica de la Cuenca de México. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias UNAM. 138p.
- Herrera, T. 1951. Algunos datos ecológicos sobre la vegetación de Lerma. *Soc. Bot. de México*. Boletín. 13: 1-3.
- Heusser, C. J. 1971. Pollen and Spores of Chile. Modern Types of the Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae. University of Arizona Press. United States of America. 165pp.
- Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and Climatic History of the High Plain of Bogotá, Colombia: A Continuous Record of the Last 3.5 Million Years. The Quaternary of Colombia. Volume 10 T. Van Der Hammen (ed). Reprinted from *Dissertationes Botanicae*, Band 79, Vaduz, J. Cramer. 368pp.
- Horn, S. 1993. Postglacial Vegetation and Fire History in the Chirripó Páramo of Costa Rica. *Quaternary Research*, 40: 107-116.
- Huang, T. 1972. Pollen Flora of Taiwan. Ching-Hwa Press Co., LTD. 297pp.
- Hutchinson, G.E. 1967. A treatise on Limnology. Vol II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. J. Wiley & Sons, Inc. United States of America. 955pp.
- Jacobson, G.L. Jr. and Grimm. 1986. A numerical analysis of Holocene forest and prairie vegetation in central Minnesota. *Ecology*, 67 (4): 958-966.
- Janssen, C. R. and Ijzermans-Lutgerhorst, W. 1973. A Local Late-Glacial Pollen Diagram from Limburg, Netherlands. *Acta Bot. Neerl.*, 22 (3): 213-220.
- Kapp, O. R. 1969. How to know Pollen and Spores. W.M.C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, United States of America. 249pp.
- Kutzbach, J.E.; Gallimore, R.; Harrison, S.; Behling, P.; Seling, R.; and Laarif, F. 1998. Climate and Biome Simulations for the Past 21,000 Years. *Quaternary Science Review*, 17: 473-506.
- Lapiedra-Barron, B.R. 1965. Contribución al conocimiento de los Testáceos del lago de Xochimilco. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 45p.
- Lindig, R y Vazquez, Y, C. 1997. Los ailes en la restauración ecológica. *Ciencia*. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias. Vol. 48: 42-51.

- Lister, G. S. 1988. Stable isotopes from lacustrine ostracoda as tracers for continental palaeoenvironments. In: Ostracoda in the earth sciences. Edited by P. De Decker, J. P. Colin and J.P. Peypouquet. *Elsevier*, pp 201-218.
- Lot, A. and Novelo, A. 1978. Laguna de Tecocomulco, Hidalgo. Guías Botánicas de Excursiones en México. *Soc. Bot. México*, 19p.
- Lot, A. and Novelo, A. 1988. Vegetación y flora acuática del Lago de Pátzcuaro, Michoacan, México. *South. Naturalist*, 33 (2):167-175.
- Lozano-Garcia, S 1989 Palinología y Paleoaambientes pleistocénicos de la cuenca de Mexico. *Geof. Int.* v. 28 (2): 335-362.
- Lozano-Garcia S. 1996. La vegetación del Cuaternario tardío en el centro de México: registros palinológicos e implicaciones paleoclimáticas. *Bol. Soc. Bot. Mex.*, 58:113-128.
- Lozano-Garcia S., Urrutia-Fucugauchi. J., Caballero-Miranda. M., Ortega-Guerrero.B. 1991. Paleomagnetismo, Palinología, Paleolimnología y Magnetoestratigrafía en sedimentos lacustres de la Cuenca de Mexico. Instituto de Geofísica UNAM, Comunicaciones técnicas, serie investigación No. 124: 10-20.
- Lozano-Garcia S., Ortega-Guerrero.B., Caballero-Miranda. M., and Urrutia-Fucugauchi. J. 1993. Late Pleistocene and Holocene Palaeoenvironments of Chalco Lake, Central Mexico. *Quaternary Research*, 40: 332-342.
- Lozano-Garcia S., and Ortega-Guerrero, B. 1994. Palynological and magnetic susceptibility records of Lake Chalco, central México. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 109: 177-191.
- Lozano-Garcia, S., and Ortega-Guerrero, B. 1998. Late Quaternary environmental changes of the central part of the Basin of Mexico; correlation between Texcoco and Chalco basins. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99: 77-93.
- Lozano-Garcia, S., and Xelhuantzi-Lopez, S. 1997. Some problems in the late Quaternary pollen records of central Mexico: Basin of Mexico and Zacapu. *Quaternary International*, 43/44: 117-123.
- Lozano-Garcia, S., Sanchez-Colon, S; Xelhuantzi-Lopez, S y Cruz-Cisneros, R. 1995. Investigaciones recientes en Paleobotánica y Palinología. *Inst. Nac. Antropol. Hist. Colección Científica*. 294: 77-90.
- Ludlow-Wiechers, B., 1982. Catálogo Palinológico para la flora de Veracruz. No.6. Palinología de la Familia Polemoniaceae. *Biótica*, 7 (1): 75-97.

- Ludlow-Wiechers, B., y Martínez-Hernández, E. 1979. Catálogo Palinológico para la flora de Veracruz. No.2. Palinología de la Familia Cornaceae de Veracruz. *Biótica*, 4 (2): 49-57.
- Ludlow-Wiechers, B., Reyes-Salas, M., y Martínez-Hernández, E. 1983a. Morfología del Polen de las Nictaginaceae de México. *Biótica*, 8 (2): 107-148.
- Ludlow-Wiechers, B., Alvarado, J. L. y Aliphath, M. 1983b. El polen de *Zea* (Maíz y Teosinte): Perspectivas para conocer el origen del maíz. *Biótica*, 8 (3): 235-258.
- Mack, R. N.; Rutter, N. W.; Bryant, J.R. V. M. and Valastro, S. 1978. Reexamination of Postglacial Vegetation History in Northern Idaho Hager Pond, Bonner Co. *Quaternary Research*, 10: 241-255
- Madrigal-Sánchez, X. 1967. Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (*Abies religiosa* (HBK) Schl. & Cham.) en el Valle de México. Inst. Nac. Invest. Forest. Bol. Tecn. 18. México, D. F. 94pp.
- Markgraf, V. and D'Antony, H. L. 1978. Pollen flora of Argentina: Modern spore and pollen types of Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae. The University of Arizona Press. Tucson, Arizona. 208pp.
- McAndrews, J.H; Berti, A. A.; and Norris, G. N. 1973. Key to the Quaternary Pollen and Spores of the Great Lakes Region. Royal Ontario Museum Life Sciences, Miscellaneous Publication. Toronto, Canada. 61pp.
- Medioli, F. S., and Scott, D. B. 1988. Lacustrine Thecamoebians (Mainly Arcellaceans) as Potential Tools for Palaeolimnological Interpretations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62: 361-386.
- Metcalf, S. E., Street-Perrot, F. A., Brown, R. B. Hales, P. E., Perrot, R. A. and Steininger, F. M. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in central Mexico. *Geoarqueology*, 4: 119-141.
- Mooser, F. 1975. Historia geológica de la cuenca de México. Memorias Obras Sistema Drenaje Profundo del Distrito Federal, México, D.F., Depto del D.D.F., T.I, 7-38.
- Munsell soil color Chart. 1975. Edition Munsell color Company Inc. Maryland. U. S. A.
- Murillo, M. T., and Bless, M. J. M.. 1978. Spores of Recent Colombian Pteridophyta. II. Monolete Spores. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 (5):319-365.
- Nader D.F. y Morales M.R. 1978. Exlagos de Xochimilco y Chalco. El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el area urbana del Valle de Mexico. SMMS (Sociedad Mexicana de Mecanica de Suelos). Simposio. Mexico, D.F. 83-101 pp.

- Niederberger, B. C. 1987. Paleopaysages et archeologie preurbaine du Bassin de Mexico (Mexico). *Cent. Estud. Mex. Centram.* 1(1). 357pp.
- Nixon, G. T. 1989. The geology of Iztaccihuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico. Geological Society of America. Special Paper. 219: 1-58.
- Nuñez-Cardona. H. 1991. Diagnósis y evaluaci3n de los suelos salinos -s3dicos de una zona templada en Chalco, Estado de Mexico. Tesis de Bi3logo. Facultad de Ciencias UNAM. 78p.
- Obieta, M. C., y Sarukhan, J. 1981. Estructura y composici3n de la vegetaci3n herb3cea de un bosque uniespecífico de *Pinus hartwegii*. I.- Estructura y composici3n florística. *Bol. Soc. Bot. de México*, 41:75-125.
- O'Hara, S. L., Street-Perrot, F. A. and Burt, T. P. 1993. Accelerated erosion around a Mexican highland lake caused by prehipanic agriculture. *Nature*, 362: 48-51.
- O'Hara, S. L., Metcalfe, S. E., and Street-Perrot, F. A., 1994. On the arid margin: The relationship between climate, humans and the environment. A review of evidence from the highlands of central Mexico. *Chemosphere*, 29 (5): 965-981.
- Ortega, M. M. 1984. Cat3logo de algas continentales recientes de México. Universidad Nacional Aut3noma de México. México. 566pp.
- Ortega, M. M., Godínez, J. L., Garduño, S. G. y Oliva, M. M.G. 1995. Ficología de México. Algas continentales. AGT editor, S. A. México. 221 pp.
- Ortega-Guerrero. B. 1992. Paleomagnetismo, Magnoestratigrafía y Paleoecología del Cuaternario Tardío en el lago de Chalco, Cuenca de Mexico. Tesis Doctoral. Instituto de Geofísica UNAM. 161 p.
- Ortega-Guerrero. B., and Newton, A. J. 1998. Geochemical Characterization of Late Pleistocene and Holocene Tephra Layers from the Basin of Mexico, Central Mexico. *Quaternary Research*, 50: 90-106.
- Ortega-Guerrero. B., Thompson, R., and Urrutia-Fucugauchi, J. 2000. Magnetic properties of lake sediments from Lake Chalco, Central Mexico, and their palaeoenvironmental implications. *Journal of Quaternary Science*, 15 (2) 127-140.
- Palacios, Ch, R. 1977. Lluvia de polen moderno en diferentes habitats del Valle de México. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, Núm 36: 45-69.
- Palacios-Chavez, R. 1984. La morfología de los granos de polen de las especies mexicanas del género *Bursera*. *Bi3tica*, 9 (2): 153-182.

- Pedraza, R. A. 1983. Estudio palinológico de la Familia Convolvulaceae en México. I. Géneros *Ipomea* L. y *Turbina* Raf. *Biótica*, 8 (4): 387-411.
- Pennington, W. 1981. Records of a lake's life in time: the sediments. *Hidrobiología* 79: 197-219.
- Pennington, T. D. y Sarukhan, J. 1998. Árboles tropicales de México. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. México. 521pp.
- Prescott, W. G. 1954. How to Know the Fresh-water algae. WM. C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, United States of America. 272pp.
- Prentice, C. 1988. 2. Records of vegetation in time and space: the principles of pollen analysis. In Huntley, B. & Webb, T. III (eds.), *Vegetation History*. Kluwer Academic Publishers. *Netherlands*, 17-41pp.
- Ramírez-Cantú, D. y Herrera T. 1954. Contribución al conocimiento de la vegetación de Lerma y sus alrededores. *An. Inst. Biol. Méx.*, XXV: 65-95.
- Reyes-Salas, M., y Martínez-Hernández, E. 1982. Catálogo Palinológico para la flora de Veracruz. No.8. Familia Nyctaginaceae. *Biótica*, 7 (3): 423-456.
- Rioja, E. y Herrera, T. 1951. Ensayo ecológico sobre limnobia de Lerma y sus alrededores. *An. Ins. Biol. Méx.*, XXII. (2): 565-591.
- Rojas M., J. 1991. Estudio de la flora y la vegetación acuática vascular del lago de Cuitzeo, Michoacan. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 78p.
- Roubik, D. W., and Moreno, P. J. E. 1991. Pollen and Spores of Barro Colorado Island. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*. United States of America. Vol. 36. 270pp.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Angel, Distrito Federal, México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx.*, 8: 59-129.
- Rzedowski, J. 1957. Algunas asociaciones vegetales de los terrenos del Lago de Texcoco. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 19-33.
- Rzedowski, J. 1969. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol., México*, 18: 91-106.
- Rzedowski, J. 1970. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol., México*, 19: 45-48.

- Rzedowski, J. 1975. An Ecological and Phytogeographical Analysis of the Grasslands of Mexico. *Taxon*, 24 (1): 67-80
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México. 431pp.
- Rzedowski, J. 1996. Analisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35: 25-44.
- Rzedowski, J., Guzman, G., Hernández-Corzo, A., y Muñiz, R. 1964. Cartografía de los principales tipos de vegetación de la mitad septentrional del Valle de México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.*, 13 (2-4): 31-57.
- Rzedowski, J., y Rzedowski, G. C. 1979. La flora fanerogámica del Valle de Mexico. Vol I. Editorial C.E.C.S.A. México.D.F. 403 pp.
- Rzedowski, J., y Rzedowski, G. C. 1993. Datos sobre la dinámica de la flora fanerogámica del Valle de México, con énfasis en especies nativas raras, en peligro de extinción y aparentemente extintas. *Acta Botánica Mexicana*, 25: 81-108.
- Sanders, W. T.; Parsons, J. R. and Standley, R. S. 1979. The Basin of Mexico-Ecological Processes in the Evolution of Civilization. Academic Press, New York, NY. 561pp.
- Sandoval-Montaño, A. 2,000. Análisis palinológico y consideraciones paleoambientales de un sondeo en el exlago de Texcoco, cuenca de México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. 198p.
- Sears, P.B. 1952. Palynology in the southern North America, 1: Archaeological horizons in the basins of Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 66:521-530.
- Sears P. B. and K. H. Clisby, 1955. Palynology in the southern North America 4: Pleistocene climate in Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 66: 521-530
- Siebe, C.; Macías, J. L.; Abrams, M.; Rodríguez, S.; Castro, R.; and Delgado, H. 1995. Quaternary Explosive Volcanism and Pyroclastic Deposits in East Central Mexico: Implications for Future Hazards. Geological Society of America Annual Meeting, New Orleans, Louisiana. Field Trip Guide Book # 1.
- Siebe, C.; Abrams, M.; Macías, J. L.; Obenholzner, J. 1996. Repeated volcanic disasters in Prehispanic time at Popocatepetl, central Mexico: Past key to the future?. *Geology* 24 (5): 399-402.
- Stockmarr, J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13 (4): 515-621.
- Stuiver, M. 1975. Climate Versus Changes in ¹³C Content of the Organic Componente of Lake Sediments During the Late Quaternary. *Quaternary Research*, 5:251-262.

- Stuiver, M. and Pearson, G. W. 1993. Radiocarbon. *Radiocarbon*, 35(1):1-23.
- Tovar-González, R. C. 1987. Lluvia de polen en el volcán Popocatepetl: un estudio a lo largo de un transecto altitudinal. Tesis de Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 75p.
- Traverse, A. 1988. Paleopalynology. UNWIN HYMAN, Ed. Boston. 600pp.
- Tryon, F. A.; Lugardon, B. 1990. Spores of Pteridophyta. Springer-Verlag. United States of America. 648pp.
- Urrutia-Fucugauchi, J and Chavez, R. S. 1991. Gravity modeling of lake basin structure: the lakes of Xochimilco and Chalco, southern basin of Mexico. Society of Exploration Geophysics (SEG) *Annual Meeting Proceedings*, Vol.,1.
- Urrutia-Fucugauchi, J y Lozano-García, S 1991. Paleomagnetismo, Palinología, Magnetoestratigrafía y Paleolimnología de sedimentos lacustres de la Cuenca de México. Informe proyecto DGAPA IN-103589. 140 pp. (inedito).
- Urrutia-Fucugauchi, J.; Lozano-García, M. S.; Ortega-Guerrero, B. and Caballero-Miranda, M. 1994. Palaeomagnetic and palaeoenvironmental studies in the southern basin of Mexico-I. Volcanosedimentary sequence and basin structure of Chalco lake. *Geofísica Internacional*, 33 (3): 421-430.
- Urrutia-Fucugauchi, J.; Lozano-García, M. S.; Ortega-Guerrero, B. and Caballero-Miranda, M. 1995. Palaeomagnetic and palaeoenvironmental studies in the southern basin of Mexico-II Late Pleistocene Chalco lacustrine record. *Geofísica Internacional*, 34 (1): 33-53.
- Van Der Wiel, A.M. 1982. A palaeoecological study of a section from the foot of the Hazendonk (Zuid-Holland, The Netherlands), based on the analysis of pollen, spores and macroscopic plant remains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 38 (1/2): 35-90.
- Van Geel, B. 1976. Fossil spores of Zygnemataceae in ditches of a prehistoric settlement in Hoogkarspel (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22 (4): 337-344.
- Van Geel, B. 1978. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 (1): 1-120.
- Van Geel, B., and Van Der Hammen, T. 1978. Zygnemataceae in Quaternary Colombia Sediments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25 (5): 377-391.

- Van Geel, B., Bohncke, S. J. P., and Dee, H. 1980/1981). A palaeoecological study of an upper Late-Glacial and Holocene sequence from "De Borchert", The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 31 (3/4): 367-448.
- Van Geel, B., Hallewas, D. P., and Pals, J. P. 1982/1983. A Late Holocene deposits under the Westfriese Zeedijk near Enkhuizen (Prov. of Noord-Holland, The Netherlands): Palaeoecological and Archeological aspects. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 38 (3/4): 269-335.
- Van Geel, B., Coope, G. R., and Van Der Hammen, T. (1989). Palaeoecology and stratigraphy of the Lateglacial type section at Usselo (The Netherlands). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 60 (1/2): 25-129.
- Vázquez-Selem, L. 1997. Late Quaternary glaciations of Teyotl Volcano Central Mexico. *Quaternary International*, 43/44: 67-73.
- Vázquez-Selem, L., and Phillips, F. M. 1998. Glacial Chronology of Iztaccíhuatl volcano, central Mexico, based on cosmogenic ^{36}Cl exposure ages and tephrochronology. American Quaternary Association Program and Abstracts of the 15th Biennial Meeting. AMQUA. Abstracts p.174.
- Vázquez-Selem, L. 2000. Glacial chronology of Iztaccíhuatl volcano, central Mexico. A record of environmental change on the border of the tropics. Ph.D. Thesis. Arizona State University. USA. 255p.
- Velázquez, A. and Cleef, A. M. 1994. The plant communities of the volcanoes "Tláloc" and "Pelado", México. *Phytocoenología*, 22 (2): 145-191.
- Villegas, D. M. 1971. Estudio florístico y ecológico de las plantas arvenses de la parte meridional de la Cuenca de México. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Mex.*, 18: 17-89.
- Watts, W. A. and Bradbury, P. J. 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. 1975. Limnology. W. B. Saunders Company. Ontario, Canadá. 743 pp.
- White, E. S. 1981. Equilibrium Line Altitudes of Late Pleistocene and Recent Glaciers in Central Mexico. *Geografiska Annaler*, 63A(3-4): 241-249.
- White, E. S. 1986. Quaternary Glacial Stratigraphy and Chronology of Mexico. Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere. *Quaternary Science Reviews*, 5(1-4):201-205.
- White, E. S. and Valastro, Jr. S. 1984. Pleistocene glaciation of Volcano Ajusco, Central Mexico, and comparison with the standard mexican glacial sequence. *Quaternary Research*, 21: 21-35.

Anexo 1.- Información ecológica de los taxa analizados

<i>Abies religiosa</i>	habitan en temperatura baja sin grandes oscilaciones térmicas diurnas, con humedad relativa alta o más o menos constante. En elevaciones de 2,400 a 3,500 m s.n.m. (Hernández, M. E. 1985)
<i>Acacia</i>	Es un género dominante en regiones secas, matorral xerófilo (Rzedowski, 1978), bosque espinoso, bosque tropical y pastizal.
<i>Acalypha</i>	Bosque de <i>Quercus</i> , <i>Cupressus</i> y pastizales. Maleza en lugares perturbados de pastizales, matorrales y bosques.
Agavaceae	habita principalmente áreas secas, en matorral xerófilo (Rzedowski, 1978).
<i>Alnus</i>	se presentan dos tipos de afinidades ecológicas, la primera, viven a lo largo de arrollos y pequeños ríos y, la segunda, constituyendo comunidades sucesionales.
Amaranthaceae	son especies ampliamente distribuidas en regiones templadas y tropicales; se presentan en lugares perturbados (Rzedowski, 1978)..
<i>Ambrosia</i>	se presenta en áreas con baja precipitación, en matorral xerófilo y lugares perturbados (Rzedowski, 1978).
<i>Anemia</i>	crece en suelo seco, árido y ácido (Tryon y Lugardon, 1991).
<i>Arenaria</i>	planta frecuente en los pastizales de altura (Almeida et al, 1994). Una especie acuática enraizada emergente (Rzedowski y Rzedowski, 1979)..
Apiaceae	Hidrófita enraizada emergente, al margen de lagos y arrollos 5-25 cm de profundidad (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995.)
<i>Artemisia</i>	se presenta en áreas con baja precipitación, bosques y matorrales perturbados, principalmente en la vegetación secundaria, en ocasiones como maleza arvense o ruderal; xerófilo (Rzedowski, 1978).
<i>Arceuthobium</i>	lorantáceae parásita o hemiparásita de gymnospermas como <i>Pinus</i> y <i>Abies</i> (Rzedowski, 1978)
<i>Asplenium</i>	pteridofita frecuente en los pastizales de altura en lugares sombreados protegidos por rocas (Rzedowski, 1978).
Asteraceae	llegan a veces a constituir hasta la cuarta parte de la flora de matorrales xerófilos (Rzedowski, 1978).
<i>Berberis</i>	se presenta entre 3,000 y 4,000 m s. n. m. en sitios con bosque de pino sobre roca y por encima del límite de la vegetación arbórea (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Betula</i>	En zonas templadas arbórea (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Bidens</i>	En bosque de <i>Pinus</i> , como malezas, vegetación acuática y comunidades secundarias (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
Bignoniaceae	lianas de amplia ecología. En áreas expuestas, suelos bien drenados, sobre faldas de serranías, barrancas y sitios pedregosos, matorrales y pastizales. (Rzedowski, 1978).
<i>Blechnum</i>	pantanos y bosques húmedos de montaña (Tryon y Lugardon, 1991)
Boraginaceae	presente en pastizales y matorrales xerófilos, en áreas secas.

<i>Botryococcus</i>	<i>Alga. Botriococcus braunii</i> Es la primera en colonizar aguas abiertas después de la inundación de un área junto con <i>M. gracillima</i> .
Brassicaceae	en bosque, hidrófitas enraizadas emergentes; subacuática en lugares pantanosos, al margen de los lagos hasta 50 cm de profundidad, de habitat tolerante de 10-30 cm de profundidad. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995)
<i>Buddleia cordata</i>	matorrales, pastizales y bosques, pero preferentemente en la vegetación secundaria y lugares altamente perturbados. (Rzedowski, 1978). Es una etapa intermedia hacia un matorral o bosque de encinos (Cano-Santana y Meave, 1996).
<i>Bursera</i>	arbol o arbusto que se presenta en matorral xerófilo y pastizal. Es un elemento importante de las selvas altas perennifolias y llega a ser dominante en selva baja caducifolia (Rzedowski, 1978; Pennington y Sarukhán, 1998)
<i>Carpinus</i>	bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978).
<i>Carya</i>	en bosque mesófilo de montaña y bosque mediano subcaducifolio (Rzedowski, 1978).
Chenopodiaceae	malezas abundantes en suelos algo salinos (Rzedowski, 1978).
<i>Celtis</i>	este género puede con frecuencia ser un indicador de disturbio.
<i>Cirsium</i>	planta frecuente en pastizal alpino, bosque de <i>Pinus hartwegii</i> , bosque mesófilo, encinares húmedos, preferentemente a lo largo de arroyos en medio de bosques de coníferas y lugares perturbados.
<i>Cleome</i>	planta semiacuática con tolerancia al contenido elevado de sales en el agua. En sitios perturbados, como vegetación secundaria.
<i>Coelastrum</i>	Común en aguas eutróficas, ricas en calcio y con una relación nitrógeno-fósforo muy alta. Con frecuencia en una misma comunidad planctónica aparecen asociados muchos géneros y especies. (Hutchinson, 1967).
<i>Colysis</i>	presente en bosque (Rzedowski, 1978).
Convolvulaceae	matorral xerófilo, pastizal perturbado, bosque de pino-encino (Rzedowski y Rzedowski., 1979)
<i>Cornus</i>	árbol o arbusto en bosque mesófilo de montaña o bosque de <i>Abies</i> (Rzedowski y Rzedowski., 1979)
<i>Corylus</i>	bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978).
<i>Croton</i>	matorral xerófilo y pastizal. (Rzedowski y Rzedowski., 1979)
<i>Cyathea</i>	se presenta en clima caliente y húmedo, en bosque y pantano. (Rzedowski, 1978).
<i>Cupressus</i>	se desarrollan entre 2,350 y 3,000 m. de altitud, clima y microclima húmedo y fresco con frecuencia cañadas, con bosque de pino, encino y oyamel (Almeida et al, 1994; Rzedowski, 1978).
Cyperaceae	generalmente acuático y bosque pantanoso, pocos en pastizal.
<i>Cystopteris</i>	zona templada o bosque de alta montaña, tolerante al frío o en bosque mesófilo (Rzedowski, 1978).

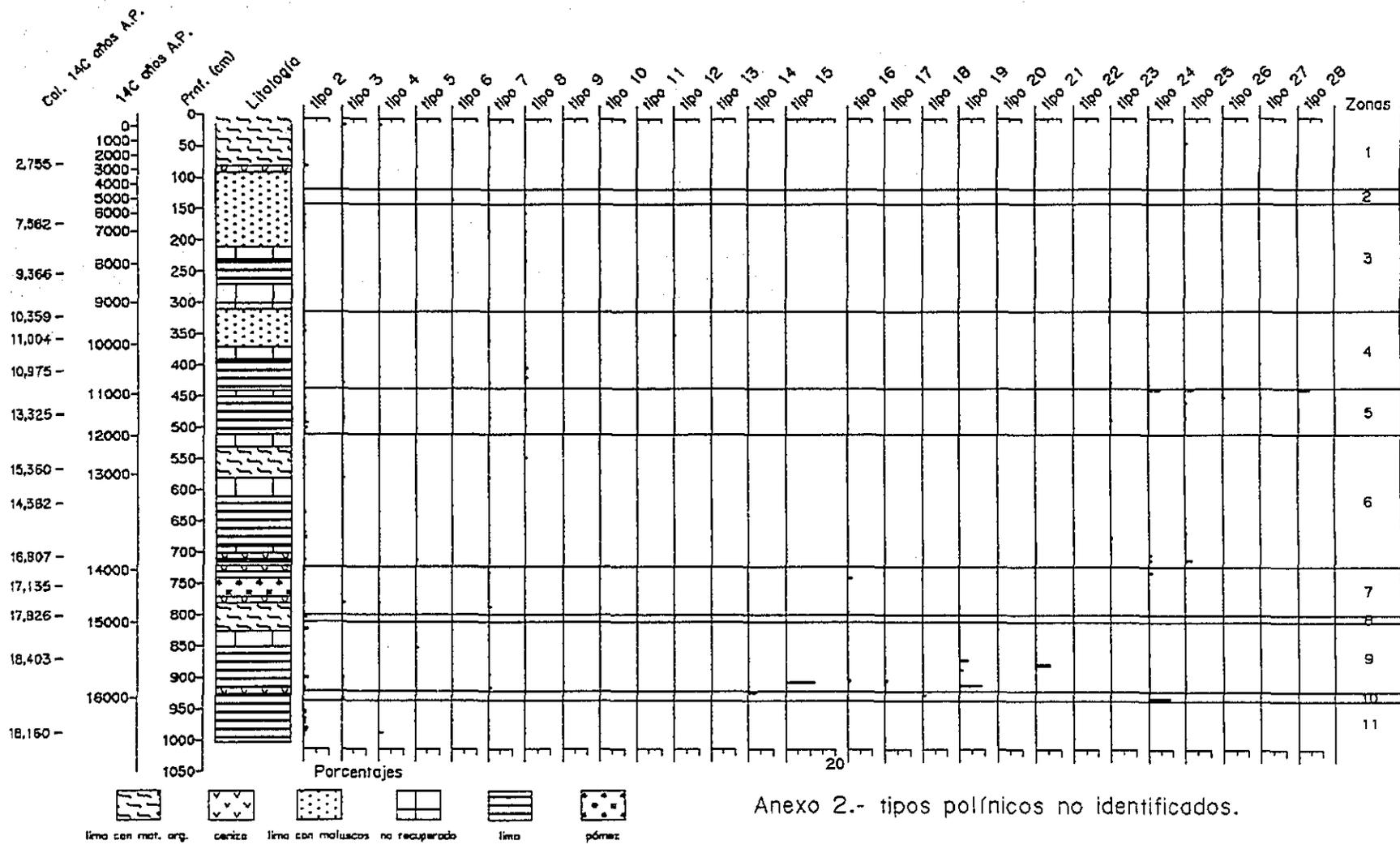
<i>Drymaria</i>	se presenta en pastizales y matorrales, en lugares afectados por disturbio, de drenaje deficiente pero no salinos (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Elaphoglossum</i>	de 1,500 a 3,500 m de altitud, en bosque mesófilo.
<i>Equisetum</i>	habita en suelos húmedos arenosos (Rzedowski, 1978). Al margen de los lagos hasta 30 cm de prof. al borde de arrollos y zonas pantanosas. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995).
Ericaceae	se encuentra en áreas montañosas de bosques dominados por <i>Quercus</i>
<i>Euphorbia</i>	de amplia ecología, desde pastizales y/o hierbas xerofíticas.
<i>Euphorbia hirta</i>	se presenta como maleza, pero también en diferentes habitats.
<i>Eryngium</i>	planta frecuente en los pastizales de altura, matorral y bosque de encino o de coníferas, favorecidas por el disturbio.
Fabaceae	es una familia cuantitativamente importante en clima caluroso (Rzedowski, 1978).
<i>Fagus</i>	En bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978).
<i>Fraxinus</i>	Ripari. Característico de las zonas montañosas de México (Rzedowski, 1978). <i>F. uhdei</i> es característico de regiones muy húmedas de la cuenca de México (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Gomphrena</i>	pastizales y matorrales xerófilos, como maleza (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Hechtia</i>	matorral xerófilo (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Heliocarpus</i>	crece en bosque secundario
<i>Heliotropium</i>	presente enterrenos salobres y pastizales halófilos, maleza ruderal. (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	habita en el lodo, a la orilla de arrollos y canales o flotante en aguas someras. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995)
<i>Hymenophyllum</i>	comun en bosque dominado por <i>Quercus</i> (Rzedowski, 1978).
<i>Hyptis</i>	matorral xerófilo, arvense (Rzedowski y Rzedowski., 1979).
<i>Isöetes mexicana</i>	crecen en bajos niveles lacustres de profundidades menores a 3m, en praderas húmedas, (Horn, 1993); crecen en la zona de alto oleaje, en lagos de aguas de baja mineralización (Seddon, 1972). Clima frío (Baker and Richmond, 1978).
<i>Juglans</i>	es comun en áreas montañosas con <i>Alnus</i> y <i>Podocarpus</i> (Rzedowski, 1978).
<i>Juncus</i>	comun en suelos húmedos
<i>Juniperus</i>	se desarrollan en diferentes climas, desde el frío de altas montañas hasta templado y semihúmedo así como en el semiárido, en medio del pastizal alpino en sitios rocosos (Almeida et al, 1994; Rzedowski, 1978).
Lamiaceae	en lugares perturbados y bosque mesófilo (Rzedowski, 1978).
<i>Lemna</i>	habita donde el régimen térmico del agua es uniforme, son plantas acuáticas de amplia tolerancia ecológica de alta salinidad y perturbación (Rojas, 1991). Indicador de aguas abiertas. (Janssen y Ijzermans-Lutgerhorst, 1973)

<i>Liquidambar</i>	bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978).
<i>Loranthaceae</i>	parásita en bosque dominado por <i>Pinus</i> (Rzedowski y Rzedowski, 1979)
<i>Loxogramme</i>	rocas sombreadas húmedas, troncos de árboles, epifíticos (Tryon y Lugardon, 1990)
<i>Lupinus</i>	se presenta como maleza, en bosque de pino, encino y pradera alpina, en matorrales (Almeida et al, 1994; Rzedowski, 1978).
<i>Lycopodium</i>	Se presenta en bosque húmedo (Rzedowski, 1978).
<i>Myriophyllum</i>	planta herbácea acuática o subacuática, habita en aguas someras, tranquilas y claras de lagos, zanjas y canales
<i>Malpighiaceae</i>	lianas presentes en pantanos, entre pastizal y matorral xerófilo o de transición con el encinar (Rzedowski, 1979).
<i>Malvaceae</i>	presente en bosques pantanosos, a lo largo de ríos, matorral xerófilo, lugares perturbados, maleza, pastizal y bosque (Rzedowski, 1979).
<i>Mimosa</i>	presente en matorral espinoso (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Mougeotia</i>	<i>M. gracillima</i> indica ambientes mesotróficos de aguas abiertas superficiales al menos en primavera, produce esporas durante la estación húmeda. Es la primera en colonizar aguas abiertas después de la inundación de un área junto con <i>Botriococcus braunii</i> . Se diversifican más en aguas de poco contenido mineral. Propiamente litorales. Su temperatura óptima de crecimiento es entre 10 y 15°C (Van Geel, 1978; Van Geel y Vander Hammen, 1978).
<i>Myriophyllum</i>	hierba acuática, enraizada sumergida, en ocasiones emergente, en aguas someras al margen de los lagos de 1.3 a 1.6 m de profundidad. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995). Indicador de aguas abiertas y eutróficas. (Janssen y Ijzermans-Lutgerhorst, 1973)
<i>Nephelea</i>	epífita
<i>Nymphaea</i>	Hierba acuática de pantano, indicadora de condiciones termófilas y eutróficas. (Janssen y Ijzermans-Lutgerhorst, 1973)
<i>Nymphoides</i>	acuática en cuerpos de agua mas o menos permanentes.
Huevos de poliqueto u Oocytos de Neorhabdocoela	huevos de invierno o huevos de poliquetos, en habitat acuático o semiacuático. Se presentan en condiciones ecológicas desfavorables tales como frío o sequía. Son un resultado en el incremento en la productividad debido a la entrada al lago de materia orgánica e inorgánica. (Haas, 1996)
<i>Onagraceae</i>	Acuática o subacuática, habita en el margen de los lagos, en lugares pantanosos, o en suelos inundados hasta 5 cm de profundidad. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995).
<i>Ophioglossum</i>	Habita en pantanos o junto a corrientes de agua. (Tryon y Lugardon, 1990)
<i>Pediastrum</i>	alga de agua dulce. Común en aguas eutróficas, ricas en calcio y con una relación nitrógeno-fósforo muy alta. Con frecuencia en una misma comunidad planctónica aparecen asociados muchos géneros y especies. (Hutchinson, 1967). Eutrófica, indicadora de aguas abiertas. (Janssen y Ijzermans-Lutgerhorst, 1973)

<i>Picea</i>	ocupan habitats análogos a los de <i>Abies</i> , en altitudes entre 2,000 y 3,200 m, en sitios sombríos y húmedos, preferentemente en laderas y cañadas y barrancas o valles muy protegidos (Rzedowski, 1978).
<i>Pinus</i>	Es una especie pionera favorecida por suelos ácidos relacionados a intensa actividad volcánica. Este género es importante en las montañas de México; sobrerrepresentada en las lluvias de polen moderno y fósil (Styles, 1993).
Piperaceae	en bosque de coníferas, de encino, zacatales y matorrales xerófilos (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Plantago</i>	Bosque de <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Abies</i> , mesófilos, pastizales, pradera alpina y ocasionalmente matorrales. <i>P. tubulosa</i> es encontrada de 3,850 a 4,100m en los pastizales de la sierra Nevada. <i>P. toluensis</i> crece en las altas montañas del centro de México entre 3,800 y 4,200m. Hay otras especies de amplio rango ecológico (Almeida et al, 1994; Rzedowski, 1978).
Poaceae	es una familia cuantitativamente importante en clima fresco (Rzedowski, 1978).
<i>Podocarpus</i>	En regiones muy húmedas de las montañas de México (Rzedowski y Rzedowski, 1979). <i>P. reichei</i> es reportado en bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978).
Polygonaceae	son especies de amplio rango de tolerancia y se desarrollan bajo condiciones ecológicas de alta salinidad y perturbación (Rojas, 1991).
<i>Polygonum</i> spp	Propia de suelos húmedos o encharcados, como acuática. <i>P. punctatum</i> en suelos húmedos o inundables, acuática o subacuática. (Rzedowski, 1978).
<i>Polypodium</i>	pteridofita frecuente en los pastizales de altura, protegidos por roca en lugares sombreados (Rzedowski, 1978).
<i>Potamogeton</i>	es una especie de amplio rango de tolerancia y se desarrollan bajo condiciones ecológicas de alta salinidad y perturbación (Rojas, 1991). Algunas especies eutróficas (Janssen y Ijzermans-Lutgerhorst, 1973)
<i>Potentilla</i>	se presenta en la zona montañosa húmeda, en sitios planos anegables formando praderas, en pinar perturbado, o en claros de bosque de pino (Rzedowski y Rzedowski, 1979; Velázquez y Cleef, 1993).
<i>Prunus</i>	se encuentra en el bosque mesófilo y de pino-encino. <i>P. serotina</i> es común en la región montañosa alrededor de la cuenca de México entre 2,300 a 2,900m (Rzedowski, 1978).
<i>Quercus</i>	habita en regiones templadas, bosques abiertos de encino, pastizales, en bosques de pino-encino, bosque mesófilo (Rzedowski, 1978).
Ranunculaceae	Hierbas de suelo muy húmedo
<i>Rhus</i>	orillas de cuerpos de agua, bosque mesófilo, pastizales y matorrales (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
Rubiaceae	de amplia ecología, bosques, matorrales, pastizales, zonas boscosas húmedas (Rzedowski, 1978).
<i>Rubus</i>	hierba de bosque mesófilo, matorral de <i>Senecio praecox</i> , encinar, bosque de <i>Abies</i> y bosque de <i>Alnus</i> (Rzedowski y Rzedowski, 1979).

<i>Rumex</i>	<i>R. flexicaulis</i> en lagos y <i>R. acetosella</i> en lugares perturbados (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Ruppia maritima</i>	habita en medios francamente salinos (Rzedowski, 1978).
<i>Sagittaria</i>	género acuático. Es una especie de agua superficial tolerante a altas intensidades de luz (Collins <i>et al</i> , 1987)
<i>Salix</i>	ripario. Presente en bosque de galería junto con <i>Populus</i> , <i>Alnus</i> y <i>Platanus</i> . En bosque de <i>Pinus</i> , <i>Quercus</i> y <i>Abies</i> (Rzedowski, 1978).
Sapindaceae	presentes en matorrales y pastizales. (Rzedowski, 1978).
Saxifragaceae	en lugares peñascosos, en bosque mesófilo, de encinos, de coníferas, de <i>Juniperus</i> , en matorrales, en pradera alpina, con frecuencia cerca de arrollos (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
Scrophulariaceae	en bosque de <i>Quercus</i> , coníferas y pastizal (Rzedowski, 1978).
<i>Selaginella</i>	habita en suelos inundados, corrientes y bosque. Indicador de disturbios. (Rzedowski, 1978)..
Solanaceae	en pastizales (Rzedowski, 1978)
<i>Spirogyra</i>	Se asocia a clima de páramo, producen esporas en agua dulce mesotrófica poco profunda (menor de 0.5m de profundidad) la cual prevalece al menos durante el tiempo de primavera, se diversifican más en aguas de poco contenido mineral. Propiamente litorales. Su temperatura óptima de crecimiento es sobre 20°C (Van Geel. 1978; Van Geel y Vander Hammen, 1978).
<i>Staurastrum</i>	Común en aguas eutróficas, ricas en calcio y con una relación nitrógeno-fósforo muy alta. Con frecuencia en una misma comunidad planctónica aparecen asociados muchos géneros y especies. (Hutchinson, 1967).
<i>Taxodium</i>	crece a lo largo de ríos y arrollos (Rzedowski y Rzedowski, 1979)
<i>Taxus</i>	habita en bosque mediano subperennifolio (Rzedowski, 1978)
Testaceae	fijadores de anhídrido carbónico en forma de carbohidratos, reducen la putrefacción (Lapiedra-Barron, 1965), con afinidad a los tipos de vegetación ricos en briofitas, se desarrollan en ambientes húmedos, algunas especies necesitan agua lodosa y otras especies dependen de poca agua (Grabandt, 1983)
<i>Thalictrum</i>	en matorrales secundarios, zacatales, bosques de encino y pino.
<i>Thelipterys</i>	habitan en pantanos y praderas (Tryon y Lugardon, 1991)
<i>Typha</i>	es una especie de amplio rango de tolerancia y se desarrollan bajo condiciones ecológicas de alta salinidad y perturbación (Rojas, 1991). Habita en lagos hasta 40 cm de profundidad y en lugares pantanosos. (Bonilla-Barbosa y Novelo-Retana, 1995). En ambientes no muy fríos (Mack, <i>et al</i> , 1978)
<i>Ulmus mexicana</i>	habita en bosque mesófilo de montaña, en laderas abruptas y fondos de cañadas situado en los declives inferiores del Iztaccihuatl ocupando un área reducida entre 2,500 y 2,800 m de altitud, en sitios protegidos de insolación fuerte y de los vientos, la precipitación anual excede los 1000 mm y la temperatura promedio varía de 12-14°C (Pennington y Sarukhán, 1998).

Urticaceae	en matorrales o bosque de coníferas y mesófilo; con frecuencia entre rocas; en lugares ombreados, en orillas de canales y arrollos (Rzedowski y Rzedowski, 1979).
<i>Vernonia</i>	amplia ecología, pioneros. En bosque de coníferas (Rzedowski, 1978)
Zygnemataceae	Asociado a clima de páramo, producen esporas en agua dulce mesotrófica poco profunda (menor de 0.5m de profundidad) la cual prevalece al menos durante el tiempo de primavera; se diversifican más en aguas de poco contenido mineral. Propiamente litorales. Su temperatura óptima de crecimiento es entre 15 y 20°C (Van Geel, 1978; Van Geel y Vander Hammen, 1978)



Anexo 2.- tipos polínicos no identificados.