

29  
201



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESTUDIO PALINOLOGICO DE UNA SECUENCIA  
VULCANOCLASTICA ASOCIADA A UN HALLAZGO  
DE MAMMUTHUS Sp. EN EL MUNICIPIO DE  
METEPEC ESTADO DE MEXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G A**

P R E S E N T A :

**RUTH CASTAÑEDA BERNAL**

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MA. SOCORRO LOZANO GARCIA



26 33 83

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

Estudio Palinológico de una secuencia vulcanoclástica asociada a un  
hallazgo de Mammuthus sp. en el municipio de Metepec, Estado de México.  
realizado por

Ruth Castañeda Bernal  
con número de cuenta 8427122-0 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dra. Ma. Socorro Lozano García

Propietario Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi

Propietario Dra. Linda Manzanilla Naim

Suplente Dra. Margarita Caballero Miranda

Suplente Dr. José Luis Macías Vázquez

Consejo Departamental de Biología  
*Edna M. Suarez D.*  
DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

FACULTAD DE CIENCIAS  
*José Luis Macías Vázquez*  
N. A. M.



DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

*“Así como la naturaleza aborrece el vacío, así también la ciencia no goza con lo incoherente”.*

-Robert Audrey-

A **mi madre**, Estrella Polar de mi vida.

A **mi padre**, de quien he aprendido a querer lo que se hace.

A mi hermana **Ana María**, mi Nirvana particular.

A mis hermanos **Pepe y Maricela** por quererme.

A la memoria de "**Lobo Jones**". Sofisticado divo, estrella de mi corazón.

## **Agradecimientos.**

Agradesco a la Doctora Linda Manzanilla Naim, del Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, los fechamientos radiométricos de las muestras de sedimento de Metepec, así como el apoyo económico recibido en forma de beca.

A la Doctora Socorro Lozano García por el apoyo académico, la infraestructura y todo lo que de ella he aprendido durante este tiempo.

Al Doctor Jaime Urrutia Fucugauchi por los datos de susceptibilidad magnética de las muestras de Metepec y por las sugerencias para mejorar el trabajo de tesis.

A la Doctora Margarita Caballero Miranda por la toma de muestras de Metepec, así como por las sugerencias y comentarios durante el desarrollo de este trabajo de tesis.

A la Bióloga Susana Sosa Nájera agradezco la toma de muestras del sitio de Metepec, el material fotográfico, así como la asesoría científica, técnica, existencial y el tiempo invertido en mí (que la historia se lo demande).

Al Doctor José Luís Macías Vázquez, por la identificación de los flujos piroclásticos y las pómez de mi volcán, el Nevado de Toluca.

A mi hermana Ana María por soportarme tantos años y por asumir gran parte de mis deberes.

Agradezco infinitamente al fotógrafo del Instituto de Geología, Sr. Antonio Altamira Gallardo, las fotografías de mis esporas de *Isöetes*.

Agradezco a la Arqueóloga Silvia Murillo y a todo su equipo del INAH, las facilidades proporcionadas para la toma de muestras de la excavación de Metepec.

Agradezco al Doctor Larry D. Agenbroad de la Universidad de Arizona del Norte los comentarios hechos al capítulo de mamutes.

Al Instituto de Geología, especialmente a su departamento de paleontología por haberme facilitado la infraestructura para el desarrollo de mi trabajo de tesis.

A toda la gente del Instituto de Geología y Geofísica a la que le di lata con mis dudas y peticiones.

A la Vida, por que sigo siendo parte del gran acontecimiento que es ella.

# INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGS.</b>
1.1. Resumen.	i
1.2. Introducción.	1
1.3. Antecedentes y justificación.	3
1.4. Objetivos.	4
<b>Capítulo I. El género <i>Mammuthus</i>.</b>	
I.1. Diagnósis del género <i>Mammuthus</i>	5
I.2. Hábitat.	5
I.3. Hábitos alimenticios.	6
I.4. Extinción.	7
I.5. Distribución de <i>Mammuthus</i> sp en la Cuenca de México.	10
<b>Capítulo II. Generalidades.</b>	
II.1. Geología de la Faja Volcánica Trans-Mexicana.	12
II.2. El Volcán Nevado de Toluca, localización e historia eruptiva.	14
II.3. Edafología.	15
II.4. Historia glacial.	16
II.5. Vegetación.	17
<b>Capítulo III. El sitio de estudio.</b>	
III.1. Localización.	19
III.2. Geología.	19
III.3. Suelos.	21
III.4. Clima.	22

III.5. Hidrología.	22
III.6. Vegetación.	24
III.7. Antropología.	25

#### **Capítulo IV Metodología.**

IV.1. Metodología de campo.	27
IV.2. Metodología de laboratorio.	28
IV.2.1. Pérdida por ignición (calcinación).	29
IV.2.2. Susceptibilidad magnética.	30
IV.2.3. Técnica de fechamiento por radiocarbono.	31
IV.2.4. Técnica palinológica.	33
IV.3. Metodología de gabinete.	35

#### **Capítulo V. Resultados.**

V.1. Columna estratigráfica del sitio de estudio.	37
V.2. Pérdida por ignición (calcinación).	39
V.3. Susceptibilidad magnética.	42
V.4. Fechamiento.	45
V.5. Correlación con los eventos eruptivos del Volcán Nevado de Toluca.	47
V.6. Conteos polínicos.	49
V.7. Identificación de una espora fósil del género <i>Isöetes</i> .	52
V.8. Descripción, diagnosis, distribución y ecología de <i>Isöetes mexicana</i> .	55
V.9. Interpretación de los resultados.	57

#### **Capítulo VI. Discusión y conclusiones.**

Discusión y Conclusiones.	64
Bibliografía.	71

## Resumen

El hallazgo de dos osamentas de *Mammuthus columbi* bien preservadas en el municipio de Metepec, Estado de México, motivaron el inicio del primer estudio integral, el cual involucra la utilización de registros de aproximación, tales como análisis de polen, estudios de susceptibilidad magnética, contenido de materia orgánica y carbonatos, así como fechamiento por métodos radiométricos. El análisis de la secuencia estratigráfica del sitio de estudio, la cual abarca los últimos 37,000 años AP, muestra una serie de tefras bien documentadas como son la Pómez Toluca Superior (PTS), la Pómez Toluca Inferior (PTI) y dos flujos piroclásticos, los cuales permitieron establecer correlaciones con los eventos eruptivos del Volcán Nevado de Toluca.

De acuerdo con el análisis de polen y la estratigrafía, los resultados se presentan dentro de cuatro unidades o ventanas de tiempo que reflejan un ambiente alterado en el que se mantiene constante la presencia de un helecho acuático: *Isöetes mexicana*, evidenciando un ambiente acuático de poca profundidad. Dicho ambiente se encuentra rodeado de escasa vegetación de tipo ruderal con presencia de polen de *Pinus* y *Alnus* provenientes de las zonas aledañas al sitio de estudio. La perturbación del ambiente sedimentario se presenta como un factor constante a lo largo de la secuencia estratigráfica y es atribuible a la influencia de la historia eruptiva del Volcán Nevado de Toluca, cuyos efectos han sido determinantes en el desarrollo de la vegetación y la geomorfología del sitio.

## 1. Introducción

Con el objeto de caracterizar el ambiente de depósito en el cual se hizo un hallazgo de mamutes, en una excavación arqueológica de rescate a cargo de las arqueólogas S. Murillo y M.C. Carbajal (1994), del Instituto Nacional de Antropología e Historia (I.N.A.H.), en el Municipio de Metepec, Estado de México, se tomaron muestras de sedimentos de un perfil estratigráfico, con el fin de realizar estudios interdisciplinarios de análisis de palinomorfos, propiedades magnéticas, fechamiento por métodos radiométricos y análisis de pérdida por ignición.

Los mamutes son considerados fósiles índice del Pleistoceno (Harington, 1984; Haynes, 1991; Lister, 1993), cuyos restos se encuentran asociados a ambientes riparios en sitios abiertos (Lorenzo y Mirambell, 1986) y de climas más bien fríos (Harington, 1984; Haynes, 1991; Lister, 1993), se espera que los resultados desprendidos del presente trabajo se correlacionen de manera positiva con estas hipótesis. Por otra parte, la secuencia estratigráfica del sitio de estudio contiene registrados la mayor parte de los eventos eruptivos del Volcán Nevado de Toluca desde el Pleistoceno tardío (Macías, *et al*, 1997), asimismo se pretende determinar de qué manera influyó dicha actividad volcánica en la acumulación de esta secuencia deposicional y en la presencia de los taxa vegetales presentes en el perfil estratigráfico. La principal técnica empleada en este estudio es el análisis palinológico, ampliamente utilizada para la reconstrucción de ambientes del Cuaternario debido a que permite hacer inferencias en relación a los cambios vegetacionales en amplias escalas espaciales y temporales, contribuyendo al conocimiento tanto de la bioestratigrafía como de la cronología de ambientes locales y regionales.

Este tipo de análisis se basa en la identificación y conteo de palinomorfos recuperados a partir de depósitos sedimentarios. De acuerdo con Berglund y Ralska-Jasiewiczowa (1986) el polen recuperado a partir de sedimentos constituye una herramienta muy precisa para determinar ciclos de cambios vegetacionales en virtud de que tanto el polen como las esporas son producidos en grandes cantidades y dispersados por corrientes de viento, agua y animales depositándose en diferentes ambientes.

La pared del polen y las esporas está constituida de un polímero llamado esporopolenina, el cual es resistente a los procesos diagenéticos y a la exposición a sustancias químicas, por tanto permite que los palinomorfos se conserven durante largos periodos de tiempo permitiendo su posterior identificación. Los palinomorfos presentan características morfológicas propias para cada especie y esto, aunado al hecho de que las plantas presentan una distribución condicionada por factores de índole ecológica como humedad, temperatura, tipo de suelo, altitud, etc. permite realizar inferencias a través de su identificación sobre las condiciones paleoecológicas (Bryant, 1990).

La presente investigación fue subvencionada por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) a través del proyecto "Laboratorios Universitarios de Análisis y Fechamiento para el Cuaternario" clave IN 214694; dicha investigación fue apoyada por el Instituto de Investigaciones Antropológicas (I.I.A.), el Instituto de Geología (IGL) en su departamento de Paleontología, laboratorio de Palinología y por el Instituto de Geofísica (IGF1). Dichos institutos son dependencias de la UNAM.

## 1.2. Antecedentes y justificación

En la Cuenca de México se han reportado a lo largo del tiempo numerosos hallazgos de mamutes, estos mamíferos han despertado interés desde tiempos prehispánicos en los cuales se pensaba que eran restos de humanos gigantes a los que la mitología mexicana dio el nombre de "Quinametzin" (gigantes). Estos gigantes habitaron la tierra durante el Segundo Sol y se dice fueron destruidos posteriormente por los olmecas y xicalancas durante el Tercer Sol, el sol de viento (Torquemada, 1943).

Lorenzo y Mirambell (1986) hacen una compilación sobre los yacimientos fosilíferos de mamutes en esta cuenca desde 1945 hasta 1980, reportando un total de quince hallazgos, de los cuales cinco corresponden a mamutes hallados en el Estado de México.

Por otra parte, González y Sánchez (1980) presentan una reconstrucción climática en torno a los mamutes excavados en la Cuenca de México en la que no se asignan edades. Asimismo Murillo (1994) y Murillo y Carbajal (1994) reportan el hallazgo de dos osamentas de *Mammuthus columbi* en el municipio de Metepec, Estado de México. Finalmente Morett L., Arrollo-Cabrales J. y Polaco O. J. (1996) reportan el hallazgo de siete osamentas de *Mammuthus columbi* en los márgenes del lago de Texcoco en el Valle de México.

Aún cuando existe un número importante de mamutes recuperados, la información obtenida sobre estos o de su contexto paleoambiental resulta ser de carácter fragmentario dado que en la mayoría de los estudios de dichos hallazgos faltan datos precisos de localización, identificación taxonómica a nivel de especie, caracterización del entorno biológico, fechamientos, etc. Es por esta razón que contar con un sitio como el de Metepec ofrece amplias posibilidades de realizar un estudio integral que enmarque un hallazgo de este tipo.

### **1.3. Objetivos**

**Determinar la abundancia y diversidad de palinomorfos de una columna estratigráfica obtenida en el sitio de Metepec, Estado de México.**

**A partir del análisis palinológico inferir cambios en las comunidades vegetales detectadas a lo largo de la secuencia estratigráfica.**

**Establecer una cronología en la secuencia estratigráfica y analizar los cambios en las comunidades vegetales a lo largo del periodo que abarca esta secuencia.**

**Correlacionar desde el punto de vista litológico y cronológico la secuencia de Metepec con la historia eruptiva del Volcán Nevado de Toluca documentada previamente por otros autores.**

## Capítulo I. El género *Mammuthus*.

### I.1. Diagnósis del género *Mammuthus*

Los mamutes (*Mammuthus sp.*) fueron mamíferos del orden Proboscidea, suborden Mamutoidea, familia Elephantidae, género *Mammuthus* (Lister, 1993). Estos mamíferos tenían una talla aproximada a la de los elefantes modernos; su piel a diferencia de estos últimos, se encontraba cubierta de una capa de largo pelo de color café rojizo a negro, la cual varía de escasa a densa dependiendo de la especie (Haynes, 1991), siendo su función la de mantener la temperatura interna de los mamutes evitando la pérdida de calor producida por los climas fríos y por la ingesta de agua. El cráneo presenta en su parte más superior una forma abovedada, las caras frontal y occipital son lisas, la mandíbula es corta en comparación con la de los mastodontes. En cuanto a la dentición, no se presentan dientes incisivos, En la maxila se desarrollan los colmillos. Los molares, tanto maxilares como mandibulares presentan caras oclusales planas con crestas, coronas altas y una delgada capa de esmalte.

### I.2. Hábitat

Los animales clasificados dentro de este género aparecieron en el Mioceno temprano esto es, hace 20 millones de años antes del presente (AP), persistiendo en el registro fósil hasta finales del Pleistoceno hace 10,000 años AP (Haynes, 1991; Lister, 1993). Los registros más tempranos provienen del Sahara, región de la que desaparecieron al comienzo del Pleistoceno extendiéndose al mismo tiempo hacia Eurasia (Haynes, 1991). En esta área se tienen registros de *M. meridionalis*, con un intervalo de edades entre 1.8 millones de años a 100,000 años AP; *M. trogontherii*, con un intervalo de edades entre 100,000 a 28,000 años AP y *M. primigenius*, cuyo intervalo de edades es de 28,000 a 11,000 años AP.

Algunas especies vivieron bajo condiciones relativamente cálidas, pero progresivamente se adaptaron a los climas fríos de Eurasia pudiendo de esta manera colonizar el extremo norte de Asia y Beringia, cruzando hacia el este y sur de Norteamérica, hace 1.7 millones de años (Haynes, 1991). La inmigración desde Eurasia hacia Norteamérica estuvo marcada por cambios filéticos, durante los cuales se originaron nuevos linajes y se extinguieron otros, terminando con la extinción de los proboscídeos en este continente (Fisher, 1996). Una vez en el interior de Norteamérica estos animales se adaptaron a los hábitats abiertos (Haynes, 1991). Para Norteamérica se han encontrado fósiles de las especies: *M. meridionalis*, cuyos registros coinciden con la inmigración hacia Norteamérica, y las especies de aparición más tardía como *M. imperator* con un rango de edades entre 100,000 a 28,000 años AP, *M. exilis*, *M. columbi* y *M. primigenius* con un rango de edades entre 28,000 y 11,000 años AP.

La distribución de los mamutes pudo haber estado limitada a las regiones boreales de los continentes, o bien cerca de los bordes glaciares. No obstante se tienen registros de *Mammuthus* hasta la parte central de México. Autores como Haynes (1991) mencionan que los mamutes no penetraron hasta Sudamérica, debido a que el istmo de Panamá funcionó como una barrera o filtro biológico. Para el continente americano se reportan cinco especies de mamutes: *M. meridionalis*, *M. columbi*, *M. jefersoni*, *M. imperator* y *M. primigenius*. Sin embargo, para México solamente se han reportado dos especies: *M. imperator* y *M. columbi* (Lorenzo y Mirambell, 1986).

### **1.3. Hábitos alimenticios**

Con base en las adaptaciones craneales y dentales se piensa que la dieta de los mamutes consistió básicamente de plantas (Haynes, 1991). El aparato bucal de los mamutes presenta molares con caras oclusales planas y deslizantes, adecuadas a hábitos alimenticios de tipo pasedor (Agenbroad com. pers.) De acuerdo con Haynes (1991) la principal fuente de alimento de estos animales, debieron ser aquellas plantas desarrolladas a las orillas de cuerpos de agua tales como charcas, lagos y pantanos en

claros de bosques. Se han encontrado macrorrestos de *Picea* y otras coníferas en las cavidades gástricas de algunos mamutes americanos pero resulta complicado aseverar que estos elementos formaban parte de la dieta.

A partir del hallazgo de excretas de mamutes en unas cuevas del condado de Utah, E.U. Davis *et al* (1984) hicieron análisis de macrorrestos y microrrestos, de lo cual se desprende que la dieta de los mamutes de ese sitio entre 12,900 y 11,670 años AP, consistió básicamente de gramíneas. Por otro lado, Agenbroad y Mead (1995) analizando las excretas de *M. columbi* halladas en cuevas de la meseta de Colorado, E.U. con un rango de edad de 13,505 y 11,605 años AP propone que la dieta de *M. columbi* consistió de fragmentos de árboles como: *Quercus* sp, *Sambucus* sp, *Salix* sp; arbustos como *Betula occidentalis*, *Juniperus comunis*, *Cornus stolonifera*, *Rosa* sp, *Symphoricarpos* sp, *Rubus* sp, *Ribes* sp; polen de hierbas como: *Artemisia tridentata*, *Oryzopsis hymenoides*, *Panicum* sp, *Spartina gracilis*, *Atriplex* sp, *Cirsium* sp; semillas de *Carex lenticularis*, *C. interror*, *C. lasiocarpa*; polen de plantas acuáticas como: *Scirpus* sp, *Potamogeton diversifolium* y *Thypha* sp. De los taxa analizados el 95% corresponde a hierbas y semillas, el otro 5% corresponde a los taxa restantes.

Se ha encontrado en el contenido gástrico de mamutes congelados de Siberia 45% de hierbas, 44% de musgos, 9% de arbustos y 2% de árboles.

#### **I.4. Extinción**

Existen tres hipótesis que tratan de explicar la extinción de los mamutes, la cual ocurrió durante el Pleistoceno tardío: A) La hipótesis del estrés climático u *Overchill*. B) La hipótesis de la sobrecaza u *Overkill* y C) La hipótesis de hiperenfermedad u *Overill*.

A) La hipótesis del estrés climático se basa en el supuesto de que el Pleistoceno tardío fue una época de inestabilidad climática asociada al periodo de deglaciación. El cambio climático durante el Pleistoceno tardío no sólo involucró cambios en las tasas de precipitación pluvial o en la temperatura media anual, sino que implicó cambios complejos en la distribución de la precipitación y la energía térmica, de lo cual resultó un

reordenamiento de las comunidades vegetales y animales. Si la dieta de los mamutes dependía de la disponibilidad de ciertas combinaciones vegetales, entonces es factible suponer que los cambios en dichas comunidades propició en los mamutes una disminución en la tasa de desarrollo y reproducción, así como un aumento de la morbilidad debido a la escasez de plantas con la calidad nutricional requerida.

Otro efecto del cambio climático puede verse en los periodos de sequía. Al menos para algunas regiones del suroeste de Norteamérica los cambios climáticos del Pleistoceno tardío indujeron cambios importantes en los sistemas aluviales que implicaron una disminución en los cuerpos de agua, restringiendo las zonas habitables para los proboscídeos (Fisher, 1996).

B) La hipótesis de la sobrecaza por grupos humanos postula un local pero intenso periodo de cacería de mamutes asociado a un incremento en las poblaciones humanas. Aún cuando es controversial la época de llegada de *Homo sapiens* al continente americano, la primera evidencia arqueológica de poblaciones paleoindianas está fechada en 12,000 años AP. La extinción de los mamutes se explica parcialmente por la "falta de experiencia" de estos animales frente a un predador efectivo como el hombre (Fisher, 1996). Una evidencia de ello, es la cultura Clovis, cuyos primeros registros arqueológicos están fechados en 15,000 años AP. En torno a esta cultura se han descubierto sitios de campamento con evidencias de cacería, así como sitios ceremoniales con apilamientos de osamentas de mamutes. Las evidencias paleontológicas y arqueológicas indican que la presencia de la cultura Clovis coincidió temporal y geográficamente con la extinción de los mamutes (Agenbroad, 1988).

C) La hipótesis de extinción por hiperenfermedad propone la extinción de los mamutes como resultado del contacto con patógenos hipervirulentos, llevados a América junto con la inmigración de las poblaciones humanas. Tal hipótesis asume que un organismo dado, no presenta antígenos de reconocimiento para patógenos con los cuales no ha estado en contacto anteriormente, por lo que un primer contacto puede resultar peligroso y hasta letal.

Los grupos humanos, sus comensales y especies sinantrópicas funcionaron como portadores de patógenos ausentes en el continente americano hasta entonces.

Existen patógenos que tienen capacidad de infectar a animales de diferente clase y de diferente especie, tal es el caso del moquillo, el newcastle, plasmodium, micobacterium y los herpesvirus por mencionar algunos.

A la luz de ésta hipótesis, las condiciones anteriormente expuestas pudieron generar una epizootia que diezmó particularmente a los animales de gran talla como los mamutes, ya que éstos presentaban bajas tasas de reproducción y largos periodos de gestación (18 a 22 meses) y de cuidados parentales (hasta 4 años). Tales características se traducen en una baja resistencia a nivel poblacional. Por otra parte, aún cuando una enfermedad puede afectar a todas las clases de edad, es particularmente severa con los neonatos, ya que éstos presentan un sistema inmune inmaduro (MacPhee y Marx, 1997).

Hasta el momento no parece claro que la extinción de los mamutes esté asociada de manera exclusiva a ninguna de las tres hipótesis planteadas. En Norteamérica los hallazgos de osamentas de mamutes así como las biotas asociadas a ellos se interpretan como un reflejo de los abruptos cambios climáticos ocurridos en el límite Pleistoceno-Holoceno.

Dado que se han encontrado evidencias de actividad humana asociadas a los hallazgos de mamutes, es razonable pensar que un factor importante en la extinción de los mamutes (Haynes, 1993) fue la presencia de depredadores humanos, de los cuales se tiene registro en Norteamérica por lo menos para un rango de edades que oscila entre 15,000 y 11,000 años AP. Este periodo es coincidente con la extinción de por lo menos el 70% u 80% de los taxa de mamíferos, por tanto, contrariamente a lo que opinan Lorenzo y Mirambell (1986) o Haynes (1991), el hombre pudo haber sido el principal depredador de mamutes si no el único durante el Pleistoceno. No se encuentran al menos en esta época carnívoros que parezcan ser depredadores de mamutes adultos, en este sentido únicamente existe evidencia de felinos depredando a mamutes de estadios juveniles. Por otra parte, la hipótesis del estrés climático presenta implicaciones factibles, aportando explicaciones para los hallazgos de mamutes no asociados a actividad humana.

En cuanto a la hipótesis de la hiperenfermedad, su argumento fuerte se centra en la

sincronía entre la llegada de grupos humanos y el periodo de extinción de los mamutes, así como en los efectos de un primer contacto entre mamutes y patógenos acarreados por humanos. No hay estudios que indiquen de manera segura la evidencia de epizootia, no obstante esta hipótesis contrariamente a la hipótesis de la sobrecaza, explicaría un proceso y no una consecuencia, dado que asume que los grupos humanos fueron preponderantemente carroñeros y no cazadores.

Finalmente, de acuerdo MacPhee y Marx (1997) las tres hipótesis plantean una hiperselección que posiblemente fue un cuello de botella del que los mamutes no pudieron recuperarse.

### **1.5. Distribución de *Mammuthus* sp en la Cuenca de México**

Se han reportado en la Cuenca de México, desde 1945 quince hallazgos de mamutes, cinco de los cuales corresponden a mamutes hallados en el Estado de México. De acuerdo con Lorenzo y Mirambell (1986) el primer resto óseo de mamut fue reportado por el INAH en el año de 1952 en el pueblo de Santa Isabel Iztapan; este ejemplar hallado en sedimentos lacustres corresponde a la especie *Mammuthus imperator* Leidy, fechado por hidratación de obsidiana en ca 9,000 años AP.

Un segundo hallazgo en esta localidad fue llamado Santa Isabel Iztapan II, el cual también corresponde a un ejemplar de *Mammuthus imperator* Leidy asociado a artefactos líticos, mismos que se utilizaron para fechar el hallazgo por comparación tipológica en ca 6,000 a 4,000 años AP. Otro hallazgo ocurrió en el año de 1956 en el poblado de Los Reyes Acozac, esta vez consistió de tres restos óseos de *Mammuthus* sp asociados a un ambiente lacustre, el desorden de los restos, así como la presencia de una lasca de obsidiana y otra de basalto, sugieren evidencias de cacería y destazamiento por humanos; la lasca de obsidiana se utilizó para el fechamiento por hidratación dando una edad de ca 10,000 años AP (Lorenzo y Mirambell, 1986).

En San Bartolo Atepehuacán, D.F., en el año de 1957, se encontró un mamut en posición anatómica, al cual se encontraron asociados 59 fragmentos de obsidiana y

basalto producto de la talla de artefactos. El fechamiento se hizo por hidratación de obsidiana proporcionando una edad de ca 9,400 años AP. Por otra parte en 1958 ocurrió el hallazgo de una osamenta de *Mammuthus* sp en un estrato fluvial entre los pueblos de Tepexpan y Totolcingo asociado a dudosa actividad humana. No se cuenta con fechamiento alguno aunque se le asocia mediante correlación estratigráfica con depósitos del Pleistoceno superior (Lorenzo y Mirambell, 1986).

En el Distrito Federal en la colonia Gertrudis Sánchez, se excavó un ejemplar de *Mammuthus* sp. Al norte del cerro Chimalhuaque, en Chimalhuacán-Atenco en el año de 1966 también se excavó una osamenta de *Mammuthus* sp (Lorenzo y Mirambell, 1986) no existen otros datos a cerca de estos dos hallazgos.

En el año de 1971 en la localidad de Los Reyes La Paz, Estado de México, se reporta un proboscídeo del género *Mammuthus* sp. En 1972 se reporta para la misma localidad un proboscídeo identificado como *Mammuthus imperator* Leidy. En el año de 1976 se reportan en la localidad de Santa Lucía (I), Edo. de México, dos proboscídeos del género *Mammuthus* sp. En 1980 se reporta el hallazgo en el sitio II de tres mamutes clasificados como *Mammuthus imperator* Leidi. Finalmente en la localidad de Caxiácatl, Chiconcuac, en el Estado de México, se reporta el hallazgo de otro proboscídeo del género *Mammuthus* sp. (Lorenzo y Mirambell, 1986). En todos estos hallazgos, los restos de mamutes fueron encontrados en asociación a sitios de carácter ripario, esto es, a las orillas de antiguos cuerpos de agua (Lorenzo y Mirambell, 1986).

Murillo y Carbajal (1994) reportaron el hallazgo de 2 osamentas de *Mammuthus* sp con restos asociados de équido, camélido y bisonte, en el municipio de Metepec, Estado de México. Los restos óseos fueron recuperados de un estrato fluvial, las edades de asignadas a tales restos presentan un intervalo entre  $27,180 \pm 410$  y  $24,500$  años AP.

En 1996 se reporta el hallazgo de un yacimiento de osamentas de *Mammuthus* sp. en la localidad de Tocuila (Morett, L., Arrollo-Cabrales, J. y Polaco, O.J.) halladas dentro de un lahar de 200 cm de espesor, el fechamiento arrojó una edad de  $11,188 \pm 76$  años AP. En 1997, en el municipio de San Mateo Atenco, en las cercanías del Río Lerma ocurrió el hallazgo de una osamenta de *Mammuthus* sp, muy fragmentada y en mal estado de preservación (Carranza-Castañeda, Com. Pers.).

## Capítulo II. Generalidades.

### II.1. Geología de la Faja Volcánica Trans-Mexicana

La Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) (Fig.1) es una provincia fisiográfica definida por un arco andesítico continental con límites geográficos entre los 19° y los 20° de latitud norte, la cual se extiende en dirección E-W desde la región del Volcán El Ceboruco en Nayarit, hasta el Volcán Citlaltépetl en Veracruz cubriendo un total de 1,200 km (Sánchez- Rubio, 1986). La extensión norte-sur que esta presenta oscila entre los 50 km en la región occidental, entre Nayarit y Jalisco, y los 150 km entre Toluca y Puebla (López-Ramos, 1979). Esta provincia fisiográfica está constituida por lavas y material piroclástico de aluvión de origen lacustre de edad terciaria y cuaternaria (López-Ramos, 1979). Los numerosos aparatos volcánicos presentes en la FVTM fueron edificados como resultado de la subducción de las placas de Cocos y Rivera (Macías, *et al.* 1997), además de edificios volcánicos, tales eventos geotectónicos originan una gran cantidad de estructuras de naturaleza extrusiva como calderas, axalapascos o maares, conos ígneos secundarios, restos de cuellos volcánicos, etc. (López-Ramos, 1979). Entre los accidentes geotectónicos de esta provincia fisiográfica se encuentran estructuras llamadas "graben" (Sherbon, 1977), dichas estructuras son hundimientos de bloques tectónicos delimitados por fallas normales paralelas de longitud mayor que la anchura (Lugo, 1989). Los grabens son el resultado de los efectos de esfuerzos distensivos generados entre dichas fallas. Como ejemplo se pueden mencionar el graben Chapala-Tepic, el cual constituye el extremo occidental de la FVTM, el graben de Colima. Además del vulcanismo del estado de Michoacán, así como los valles de México, Toluca y Puebla. (López-Ramos, 1979).

Los principales aparatos volcánicos que se encuentran sobre la FVTM son estratovolcanes de dimensiones muy variables, este tipo de aparatos volcánicos fueron edificados por capas alternadas de material fragmentario y corrientes de lava, lo cual demuestra que surgieron en épocas de actividad explosiva y que en otras épocas

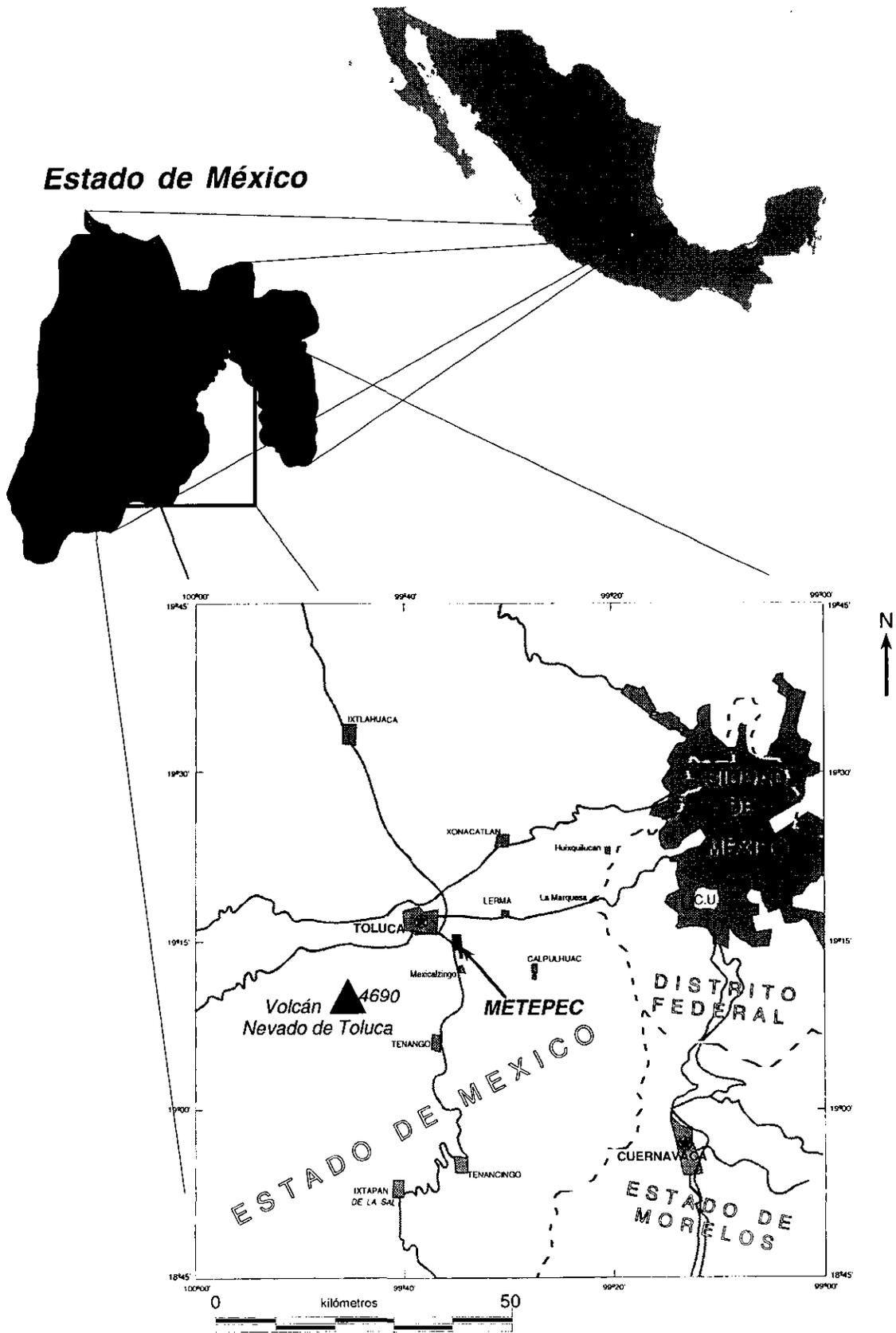


Fig. 1. El sitio de estudio se ubica cerca de la porción central del Estado de México.

arrojaron corrientes de lava fluida. A este tipo de volcanes pertenecen algunos edificios volcánicos de la FVTM como el Pico de Orizaba, el Iztaccíhuatl, el Nevado de Colima, y el Nevado de Toluca (López-Ramos, 1979).

## **II.2. El Volcán Nevado de Toluca, localización e historia eruptiva**

El Volcán Nevado de Toluca o Xinantécatl se ubica en la región central de la FVTM (Fig. 1), justo a 22km al sudoeste de la Ciudad de Toluca en el Estado de México (Yarza, 1992), sus coordenadas de localización geográfica son 19° 09' N; 99° 45'W. El Nevado de Toluca es un estratovolcán poligenético que se edificó alternando capas de lavas y tefra de composición intermedia, andesita y dacita (Macías *et al.*, 1997). El Nevado de Toluca tiene una altura de 4,600 msnm de tal manera que es el cuarto aparato volcánico más alto de la FVTM. Se le asigna una edad de Pleistoceno tardío (Bloomfield y Valastro, 1974; Cantagrel, *et al.* 1981). Los productos volcánicos más antiguos del Nevado de Toluca están fechados en 1,500,000 años, en tanto que los más jóvenes están fechados en ca 3,300 años AP. (Macías, *et al.* 1997). El estudio estratigráfico del Nevado de Toluca indica que el depósito más antiguo tiene una edad de 1,500,000 años AP y está formado por depósitos de lava de andesita-dacita, tal depósito es llamado "Paleo Nevado" o Viejo Nevado (Cantagrel, *et al.* 1981). El segundo depósito del Nevado de Toluca está constituido por una avalancha de escombros masiva de color gris claro, la cual cubre un área aproximada de 500 km<sup>2</sup> hacia el sur del volcán que involucraron la destrucción de domos centrales. La edad estimada de este depósito es mayor o igual a 37,000 años AP (Macías *et al.*, 1997). El tercer depósito corresponde a dos erupciones (Macías *et al.*, 1997), las cuales se caracterizan por ser violentas, de tal manera que modificaron el cráter del aparato volcánico y presentaron emisiones de ceniza en forma de "nubes ardientes" (Robinson, 1990). Las emisiones eruptivas de este tipo en el Nevado de Toluca produjeron grandes explosiones magmáticas que cubrieron áreas cercanas a los 630 km<sup>2</sup>; lo cual implica un gran impacto a las áreas adyacentes al Volcán, depositando capas de piroclastos de potencias muy grandes, que modificaron el relieve del terreno y el paisaje (Macías, *et al.*

1997). Los depósitos de esta etapa eruptiva tienen una edad asignada de  $37,000 \pm 1,125$  años AP, en tanto que el depósito más joven tiene una edad entre  $28,140 \pm 865$ , y  $28,925 \pm 625$  años AP. El siguiente depósito de tipo pliniano corresponde a la Pómez Toluca Inferior (PTI), el cual está compuesto de un depósito de pómez amarillenta inversamente gradado el cual fue fechado en 24,500 años AP (Bloomfield y Valastro, 1977). Este depósito cubrió un área aproximada de  $400 \text{ km}^2$  teniendo un eje de dispersión con orientación NE. La Pómez Toluca Superior (PTS) es una capa de pómez de color rosa, clastos juveniles de andesita-dacita roja alterada y pómez bandeada. Este depósito está fechado en 11,600 años AP y presenta un eje de dispersión con orientación  $65^\circ$  N el cual cubrió un área aproximada de  $2,000 \text{ km}^2$  (Bloomfield y Valastro, 1977). Autores como Caballero-Miranda *et al.* (en prensa) apoyan la idea de que esta última erupción afectó de manera importante al lago Chiconahuapan, influyendo sobre la batimetría del mismo, tal como sucedió en 1980 durante la erupción de el Volcán Santa Helena en EUA o la erupción de 1991 en el Volcán Pinatubo en las Filipinas.

El Nevado de Toluca es un volcán con actividad latente (Macías *et al.* 1997); su perfil muestra un cono de suave pendiente que la erosión ha logrado disectar muy poco, a excepción del flanco sur donde hay un desagüe que alimenta al Río Balsas. Las dimensiones del cráter son de  $1.8 \times 2.0$  Km de diámetro con un rompimiento del lado oeste (Sánchez-Rubio, 1978), asimismo un pequeño domo de lava dacítica conocido como "El Ombligo" selló la salida del cráter (Bloomfield y Valastro, 1974) en el que actualmente se encuentran dos lagos llamados " El Sol" y " La Luna ".

### II.3. Edafología

Los suelos originados en el Volcán Nevado de Toluca y las zonas adyacentes son derivados de los productos volcánicos del mismo. En su mayoría se trata de andosoles originados de cenizas volcánicas, de tal manera que las texturas son de tipo arenosas y arcillosas. Tales andosoles pueden ser de tipo Húmico, Mólico y Ocrico, los cuales

pueden encontrarse solos o en combinación entre ellos o con suelos de tipo litosol y feozem; este último es menos relevante y se le encuentra en dos variedades, las cuales son Háplico y Lúvico (Sandoval, 1987).

En los sitios más altos y en el cráter del Volcán Nevado de Toluca se encuentran suelos de tipo regosoles, los cuales son suelos someros derivados de basaltos y andesitas (Sandoval, 1987).

En las zonas bajas del Volcán Nevado de Toluca se presentan materiales acarreados de las partes más altas, tales suelos corresponden a fluvisoles de tipo Eutrico de texturas arenosas y arcillosas.

#### **II.4. Historia glacial**

Los periodos glaciares pueden ser conceptualizados como aquellos episodios de la historia del planeta durante los cuales se acumulan grandes masas de hielo de permanencia prolongada sobre grandes extensiones de tierra. Dichos periodos glaciares ocurren por la conjunción de diversos factores entre los que se puede mencionar una disminución de la temperatura global, aumento de la humedad, incremento en la superficie del albedo, y para el caso de glaciares continentales, la existencia de sitios con una elevación tal que posibiliten la formación de reservorios glaciares (Beaty, 1978; Lugo, 1989). Este último factor es determinante en la FVTM en virtud de que aquí las evidencias de periodos glaciares se encuentran representadas únicamente en los grandes edificios volcánicos (Vásquez, 1991), aquellos cuya elevación permitió la formación de reservorios glaciares (Beaty, 1978) entre los cuales se encuentra el volcán Nevado de Toluca, que es el cuarto aparato volcánico más alto de México.

Heine (1971) estableció una cronología glacial completa para la Malinche, y se basó en esta para construir una cronología glacial para el Nevado de Toluca, la cual se basa en las semejanzas que presentan los depósitos morrénicos de ambos volcanes. Para el Nevado de Toluca se registran dos periodos glaciares, el más antiguo tuvo dos avances

glaciares llamados MIII1 y MIII 2; de acuerdo con la clasificación que hace Heine (1971) para la Malinche, en razón de las semejanzas que ambos depósitos presentan, tales depósitos se encuentran desarrollados hacia las laderas norte y sureste del volcán, asignando a estas una edad entre 10,000 y 8,000 años AP. No obstante Heine (1994) asocia estos depósitos morrénicos con una capa de ceniza volcánica que corresponde a la **PTS** del Volcán Nevado de Toluca fechada en 11,600 años AP.

El segundo avance glacial registrado recibe de acuerdo con Heine (1971) el nombre de MIV y se le asigna una edad de 3,000 a 2,000 años AP.

## **II.5. Vegetación**

El área comprendida por el Volcán Nevado de Toluca se encuentra de acuerdo con Rzedowski (1978), dentro de la provincia florística de Las Serranías Meridionales. Las comunidades vegetales

presentes en el Volcán Nevado de Toluca se pueden agrupar dentro de tres categorías, las cuales son:

**Bosque de coníferas.** Dentro de esta categoría se encuentran comunidades de bosque de *Pinus sp.*, las cuales se hallan entre las cotas de 3,400 y 4,000 msnm (Sandoval, 1987), el bosque de *Pinus hartwegii* puede encontrarse en asociación con *Abies religiosa* y *Alnus acuminata*. En el estrato arbustivo de esta comunidad se encuentran plantas de la familia de las Asteraceae como *Senecio angulifolius* y *Senecio sinatus*, en tanto que en el estrato herbáceo se encuentran gramíneas como *Festuca toluscencis* y varias especies del género *Mullenbergia*. Asimismo se encuentran bosques mixtos de *Pinus* dentro del que se pueden mencionar, *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y *P. rudis* (Rzedowski, 1978).

Dentro de la comunidad de coníferas se encuentra también el bosque de oyameles o abetos, constituida de *Abies religiosa*, la cual se distribuye entre las cotas de 3,000 y 3,500 msnm (Sandoval, 1987).

Dentro del estrato arbustivo de esta comunidad se encuentran asteráceas de las

especies *Senecio cinerarioides*, *Eupatorium petiolare* y *Cirsium jorullense*, dentro del estrato herbáceo destacan *Alchemilla hisurta* y *Piqueria pilosa* (Rzedowski, 1978).

**Bosque de ailes y encinos.** Estos se conocen también como bosques de latifoliadas. Aquí se encuentra *Alnus acuminata*, el cual está distribuido entre las cotas de 3,000 y 3,300 msnm (Sandoval, 1987). Dentro de este mismo estrato arbóreo cabe mencionar a *Cupressus lindley* o cedro blanco, dentro del estrato arbustivo se encuentran los géneros *Senecio*, *Cirsium* y *Gnaphalium*. En el estrato herbáceo se puede encontrar a *Mullenbergia* (Rzedowski, 1978).

**Zacatonal Alpino.** Estos son conocidos como pastizales alpinos o páramos de altura, los cuales, en el Volcán Nevado de Toluca, se encuentran dentro de las cotas altitudinales de 4,000 a 4,300 msnm (Sandoval, B.,1987), dicha comunidad se compone de los llamados zacates amacollados como *Festuca tolescencis*, *Festuca hepraestophila* y *Calamagrotis tolescencis* (Rzedowzki, 1978).

## Capítulo III. El sitio de estudio.

### III.1. Localización

El sitio de estudio se localiza en la región central del Estado de México, dentro de la Cuenca del Alto Lerma en el municipio de Metepec (Fig. 2). Dicho municipio colinda hacia el norte con los municipios de Toluca, y San Mateo Atenco; al sur con los municipios de Tianguistenco, Mexicalcingo y Calimaya; al este limita con los municipios de Lerma, Calpulhuac y Tianguistenco; al oeste con los municipios de Calimaya y Toluca (Cuaderno Estadístico Municipal, 1993). El sitio de la excavación se ubica en el Barrio de San Miguel siendo las coordenadas de localización geográfica 19° 15' 06.2 " de latitud Norte y 99° 35' 52.1" de longitud Oeste (GPS), en tanto que la altitud es de 2,610 msnm (Cuaderno Estadístico Municipal, 1993).

### III.2. Geología

El sitio de estudio es una planicie que se encuentra dominada por rocas y productos de origen volcánico. Las más antiguas son de origen Terciario. Durante el Pleistoceno hubo un vulcanismo de tipo andesítico-basáltico, acompañado de emisión de tefras y lavas. En el Pleistoceno tardío ocurrió el desarrollo del Nevado de Toluca. Los productos volcánicos generados por este aparato volcánico son de carácter andesítico-dacítico (De Cserna *et al.* 1978). El sitio de estudio se encuentra relleno por los productos volcánicos explosivos y efusivos y es posible identificar los depósitos de 11,600 años AP correspondientes a la PTS, así como los de 24,500 años AP correspondiente a la PTI, y los flujos piroclásticos de 37,000 y 28,000 años AP (Macías, *et al.* 1997). La zona de estudio se encuentra circundada por diversos macizos montañosos de origen volcánico, de naturaleza tanto monogenética como poligenética.

# Localización del sitio de estudio

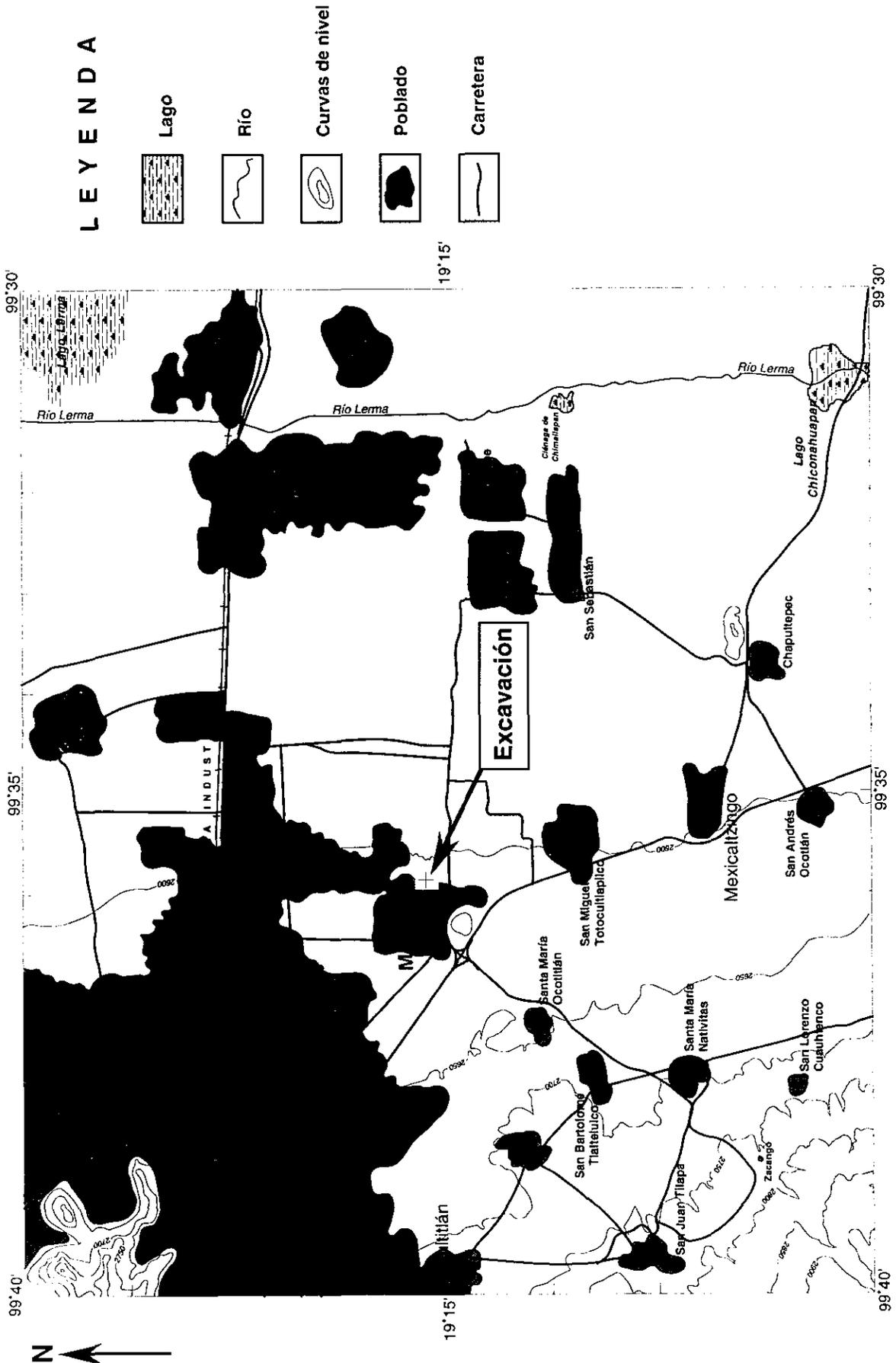


Fig. 2. Ubicación de la excavación del sitio de estudio.

Al oriente se encuentra la Sierra del Ajusco, la cual se prolonga en un eje hacia el noroeste en el cerro de San Miguel, la Sierra de las Cruces y Monte Alto; hacia el sur de la Sierra del Ajusco se encuentran los volcanes de Ocuilan, los lomeríos de Tenango que se extienden hacia el Volcán Nevado de Toluca situado en el suroeste de la zona (Albores, 1995). Como consecuencia de las condiciones anteriormente expuestas, en el sitio de estudio se acumularon los detritos originados por el intemperismo y erosión de tefras que resultaron de las emisiones del Volcán Nevado de Toluca convirtiendo al sitio de estudio en una zona de pantanos y depósitos lacustres donde se acumularon estratos de cenizas, lahares, así como materiales arcillosos y arenosos arrastrados por las escorrentías y depositados a lo largo de las depresiones y cauces de los ríos (Albores, 1995).

### **III.3. Suelos**

La fase de la zona de estudio es dúrica profunda, la cual está constituida de duripán entre los 50 y los 100 cm. de profundidad (CETENAL, 1976). En lo que respecta a las propiedades físicas que caracterizan a este tipo de suelo, puede afirmarse que la capa superior se halla fuertemente cementada con sílice, el cual impide a los fragmentos desintegrarse en el agua, aún cuando eventualmente se encuentren saturados de humedad. Debido a las características de esta capa se dificulta la penetración de las raíces de las plantas (Atlas Nacional de México, 1992).

Los tipos de suelos representados en el sitio de estudio son dos, un Feozem háplico de textura media a gruesa en los primeros 30 cm de suelo (Hh+1/2), y un Feozem + vertisol pélico de textura media en los primeros 30 cm de suelo siendo éste último el más dominante (CETENAL, 1976). Tal Feozem es un suelo con horizonte A mólico y horizonte B argílico con saturación de bases por encima del 50%, carece de horizonte cálcico o gípsico (Inst. Geogr. 1992). En lo que respecta a el régimen de humedad, el suelo se reporta como xérico con 90 a 180 días acumulados o continuos de suelo húmedo (Atlas Nacional de México, 1992).

### **III.4. Clima**

El clima predominante en el sitio de estudio es Cb(w2)(w), esto es, templado subhúmedo con lluvias en verano (Cuaderno Estadístico Municipal, 1993), mientras que en el otoño es semifrío con ligeras lluvias.

La tasa de precipitación pluvial media anual es de 788 mm (Secretaría de Gobernación, 1988).

Durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo no se registran lluvias, en tanto que en el mes de abril se registran de 0.1 a 40 mm de pp. En el mes de mayo se registra un incremento entre 40 y 80 mm de pp, a partir del mes de junio hasta septiembre se registra una tasa de precipitación pluvial inferior a la tasa de evapotranspiración, tal situación se puede prolongar hasta seis meses, en tanto que en los periodos de lluvias intensas ocurre una ligera lixiviación del terreno (Atlas Nacional de México, 1992).

La temperatura máxima en el mes de enero es de 12°C a 18°C mientras que la más baja oscila entre 0°C y 4°C. Por otra parte, la temperatura máxima en el mes de mayo fluctúa entre los 18°C y los 22°C, en tanto que la más baja en este mismo mes varía entre los 8°C y los 12°C, con una oscilación media mensual entre 5°C y 7°C. No está registrada la canícula (Atlas Nacional de México, 1992).

### **III.5. Hidrología**

En términos hidrológicos, el sitio de estudio de Metepec se encuentra dentro de la Cuenca Hidrográfica Lerma-Santiago, específicamente dentro de la Cuenca del Alto Lerma (Fig. 3). La cuenca hidrológica de Lerma-Santiago abarca desde el municipio de Almoloya del Río hasta el estado de Nayarit (Albores, 1995). La cuenca del Alto Lerma en cambio, es un área relativamente pequeña abarcando aproximadamente 740 km<sup>2</sup>, dentro de los cuales se localizan 19 municipios, incluido el de Metepec. Las condiciones geológicas junto con las condiciones ambientales del sitio de estudio hicieron posible el



nacimiento del Río Lerma. No obstante la extensión total de la Cuenca Hidrográfica Lerma-Santiago, es precisamente en la Cuenca del Alto Lerma donde existen tres cuerpos de agua, el primero de ellos se localiza hacia el sur de la cuenca y recibe el nombre de Lago Chiconahuapan o Ciénaga de Almoloya del Río, cuya extensión es de 50 km<sup>2</sup> desde San Pedro Kechuchulco hasta la Antigua Hacienda de Atenco. Hacia el centro de la Cuenca del Alto Lerma se encuentra el segundo cuerpo de agua conocido como Ciénaga de Chimaliapan con una extensión de 25 km<sup>2</sup>; y finalmente con una localización más norteña está la Laguna del Lerma, con una extensión de 10 km<sup>2</sup> (Albores, 1995).

Específicamente en Metepec, la influencia de las condiciones edafológicas del sitio de estudio, la precipitación pluvial y efecto del deshielo del Volcán Nevado de Toluca dan lugar a dos subcuencas que abarcan la superficie total del sitio de estudio, la primera y más extensa (78.25% de la superficie municipal) es la subcuenca R. Almoloya-Otzolotepec y con menor porcentaje de la superficie municipal (21.75%) la subcuenca R. Verdiguel (Cuaderno Estadístico Municipal, 1993).

Asimismo se encuentran dos corrientes de agua, una llamada Agua Bendita, localizada en posición suroeste del municipio; en tanto que la otra recibe el nombre de Barranca El Ahogado la cual se localiza hacia el este del municipio (Cuaderno Estadístico Municipal, 1993).

### **III.6. Vegetación**

La vegetación en la zona de estudio consiste actualmente de un bosque mixto, el cual en su estrato arbóreo se compone de *Pinus ligustrum lucidum*, *Cupressus*, *Fraxinus*, en tanto que el estrato arbustivo se constituye de *Salix* (Secretaría de Gobernación, 1992). No obstante las prácticas agrícolas y el crecimiento urbano en la zona de estudio han perturbado de manera considerable el paisaje, dando por resultado la sustitución de la flora propia de la región por vegetación de interés agrícola como agave (*Agave*), manzanilla (*Matricaria camomilla*), menta (*Mentha sp*), *Cascaria*, *Heteroteca inuloides*,

*Ruta chalepensis*, *Artemisia laciniata*, maíz (*Zea mais*), papa (*Solanum tuberosum*), chícharo (*Pisum sativum*), avena (*Avena sativa*), haba (*Vicia faba*), trigo (*Triticum aestivum*), zanahoria (*Daucus carota*) (Secretaría de Gob. 1992).

### III. 7. Antropología

El nombre de Metepec se compone en mexicano de *metl* (maguey), *tepetl* (cerro) y la terminación *c* que significa "en": El significado del nombre es "En el cerro de los magueyes" (Monogr. 1973). En el Valle de Toluca habitaban tres grupos, los otomíes, los nahuas y los matlatzincas. De estos, fue el grupo matlatzinca el dominante, dado que su imperio se extendió sobre los municipios de Metepec, Tenancingo, Villa Guerrero, Toluca, Zinacantepec, Tecaxic, Calimaya y Calixtlahuaca entre otros (Huitrón, 1962). El nombre *matlatzinca*, se origina de la palabra Matatl, cuyo significado es red, con la que se supone desgranaban el maíz (Quezada, 1996). Sin embargo, Sugiura (1968) propone que el uso de dicha red fue como herramienta para las actividades pesqueras, tal aseveración está sustentada en el hecho de que la actividad económica y social de los matlatzincas se centraba en torno al río Lerma y los tres cuerpos de agua adyacentes modulando su desarrollo económico y cultural. Eran fundamentales en la vida de los matlatzincas las labores de pesca, caza y recolección, manufactura de redes para la pesca y transporte de objetos. Otra actividad importante fue la confección de petates probablemente empleados para enterrar a los muertos. Todo indica que las condiciones hidrológicas del sitio favorecieron una temprana sedentarización de los matlatzincas. El temprano aprovechamiento de los recursos lacustres, continuó hasta la invasión española ocurrida entre los años de 1521 y 1550, con el cambio de sistema económico, sustentado esta vez, en las actividades agropecuarias (Albores, 1995).

No se sabe con certeza la fecha en que los grupos autóctonos fundaron Metepec (Huitrón, 1962; Quezada, 1996), sólo se sabe que los matlatzincas ya estaban establecidos en el Valle de Toluca por el año de 1120 d.C. fecha de la edificación de la

Ciudad de Toluca, cuando Metepec ya estaba constituido como un importante señorío matlatzinca (Huitrón, 1962). Albores (1995) sugiere sin embargo una edad de 1162 d.C. en la que piensa que ocurrió la consolidación y florecimiento del estado matlatzinca. El Valle de Matlatzingo revistió en tiempos prehispánicos, importancia geográfica como zona estratégica debido a que constituía un punto de interacción entre varias regiones mesoamericanas, y existía un flujo comercial entre las regiones de Michoacán, Morelos y Guerrero (Sugiura, 1968). Tales interacciones comerciales se hicieron más estrechas después de la desintegración de Teotihuacan, de tal manera que se ha planteado la hipótesis de que el Valle de Matlatzingo estaba incorporado dentro del macrosistema político-económico regido por el Valle de México.

Por otra parte, se puede hablar de la importancia que tuvo este sitio en la época prehispánica en relación a su producción pesquera. Albores (1995) reporta que de acuerdo con la información dada por Bernardino de Sahagún en el Códice Florentino, se explotaba el pescado blanco o Amilotl, bagre o Tenzonmichi, renacuajos o Atepocatl, ranas grandes o Tecalatl, cangrejo de río o Acocili, entre otros. También se cazaban aves como la gallina de agua o Atotoli, la codorníz de agua o Azolin, patos y ánsares entre otros (Albores, 1995). La actividad agrícola estaba representada por el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), chíca (*Salvia hispánica*), huautli o alegría (*Amaranthus leucocarpus*), algunas variedades de maíz (*Zea mays*) (Sugiura, 1968; Martínez, 1978; Quezada, 1996), así como el cultivo de maguey (*Agave sp*) del que se obtenía pulque y textiles (Quezada, 1996).

Hacia el año 1467 d.C. el Tlacatecutli azteca Axayácatl conquistó el Valle de Toluca sometiendo a los de Metepec al destituir a los señores naturales e imponer gobernantes mexicas (Albores, 1995). Quezada (1996) sostiene que la fecha de esta invasión fue en el año de 1474 d.C. después de la cual sufrieron otras dos por parte de los aztecas, capitaneadas por Tizoc y Moctezuma Xocoyotzin, siendo una práctica común el debilitamiento de los pueblos mediante ataques consecutivos. Como una consecuencia de la conquista de los aztecas, el pueblo de Metepec fue parcialmente deshabitado por los matlatzincas (Albores, 1995) y el dominio azteca perduró hasta la conquista española (Huitrón, 1962).

## **Capítulo IV. Metodología.**

A partir de la excavación de osamentas de mamut realizada por un equipo del INAH a cargo de la arqueóloga Silvia Murillo en el municipio de Metepec, Estado de México, se inició una investigación interdisciplinaria. A fin de analizar la secuencia estratigráfica producto de esta excavación relacionada a dichas osamentas, se planteó un proceso metodológico que cursó por tres fases, que fueron: metodología de campo en la cual se llevó a cabo todo el muestreo y la obtención de la columna estratigráfica. Metodología de laboratorio durante la cual se procesaron tanto las muestras obtenidas en el campo como los ejemplares de material herborizado útiles en la identificación de palinomorfos a nivel específico. Finalmente la metodología de gabinete durante la cual se llevó a cabo el vaciado de los datos derivados de las fases anteriores en programas de cómputo como Tilia 2., Claris Mc Draw Pro de Macintosh y Microsoft Word versión 3.11.

### **IV.1. Metodología de campo**

Para extraer las osamentas de mamutes el equipo del INAH a cargo de la arqueóloga Silvia Murillo, llevó a cabo en el sitio de estudio una excavación intensiva, extensiva y por capas naturales, mediante el trazado de una retícula de 10 m x 10 m la cual fue proyectándose hacia abajo a medida que la excavación avanzaba. A partir de los 2.90 m de profundidad se hicieron visibles las partes más distales de las defensas de uno de los mamutes y al llegar a los 4 m de profundidad finalizó el rescate de 2 osamentas de mamut y otros restos óseos de mamíferos. Posteriormente se continuó con una cala de un área de 8m x 2m y 3.06 m de profundidad en la pared este de la excavación, de tal manera que al finalizar la excavación se alcanzó un área total de 100 m<sup>2</sup> y una profundidad de 7.06 m.

Una vez que hubo terminado la excavación y el trabajo de recuperación de los restos

óseos, el grupo encabezado por los doctores Socorro Lozano, Jaime Urrutia, Linda Manzanilla y Margarita Caballero, procedieron a la realización de una descripción litológica a detalle y se procedió a la toma de las muestras de sedimento, la cual se efectuó en la pared norte. La recuperación de las muestras se hizo de la parte más profunda hacia la más superficial, con el fin de evitar la contaminación de las mismas. El muestreo se llevó a cabo a intervalos de 5 y 10 cm de acuerdo con el tipo de litología de cada capa obteniendo de esta manera un total de 67 muestras de sedimento con el fin de realizar estudios de análisis de polen, diatomeas, fechamiento por el método de radiocarbono, estudios de propiedades magnéticas y análisis de pérdida por ignición. Cada muestra se guardó en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de profundidad de la muestra y datos del sitio de estudio. Las muestras para fechamiento por el método de radiocarbono, se colocaron en paquetes de papel aluminio y se guardaron en bolsas etiquetadas con los datos de profundidad y localidad.

Asimismo, las muestras para estudios de propiedades magnéticas de los sedimentos se tomaron en cubos de plástico de 8cc de capacidad y también se les asignaron datos de profundidad, litología y localidad.

Se tomaron las coordenadas exactas del sitio de excavación con ayuda de un GPS; este aparato funciona por medio de señales vía satélite. Se tomaron tres mediciones y se obtuvo de ellas un promedio con el fin de reducir la probabilidad de error.

## **IV.2. Metodología de laboratorio**

Cada una de las 67 muestras obtenidas durante el trabajo de campo cursó por diferentes procesos fisicoquímicos que permitieron obtener diferentes fuentes de datos crudos, los cuales constituyeron registros de aproximación para el análisis del presente estudio. A continuación se describe cada uno de ellos.

#### **IV.2.1. Pérdida por ignición (Calcinación )**

Con el objeto de estimar el porcentaje de materia orgánica y de carbonatos presente en las muestras de sedimento, se realizó una calcinación. Esta consistió en colocar una fracción de peso conocido de cada muestra en crisoles de porcelana, los cuales se colocaron en una estufa a 50°C durante 24 horas para deshidratar las muestras, posteriormente se pesaron en una balanza analítica tomando este peso como peso inicial, después de lo cual se colocaron en un desecador para impedir que las muestras tomaran humedad del ambiente y se sometieron a calcinación en una mufla a 500°C durante una hora. A continuación se pasaron de la mufla al desecador, con el fin de que pierdan calor sin ganar humedad y posteriormente transportarlos hasta la balanza analítica, se pesaron y sometieron a calcinación a 1,000°C durante una hora después de lo cual se sacaron de la mufla y se pasaron al desecador para tomar los pesos finales.

A fin de calcular la cantidad de materia orgánica y carbonatos presente en cada una de las muestras de sedimento se empleó la siguiente fórmula (Bengtsson y Enell, 1986):

**Peso seco DW= C-A+B-A** Donde:

**DW=** Peso seco de la muestra

**C=** Peso de la muestra seca más el peso del crisol

**A=** Peso del crisol

**B=** Peso de la muestra fresca más el peso del crisol

**Contenido de materia orgánica= C-D+B-A** Donde:

**C=** Peso de la muestra seca más el peso del crisol

**D=** Peso de la ceniza a 500°C más el peso del crisol

**B=** Peso de la muestra fresca más el peso del crisol

**A=** Peso del crisol

**Contenido de carbonatos= D-E+B-A x f<sub>1</sub>** Donde:

**D=** Peso de la ceniza a 500°C más el peso del crisol

**E=** Peso de la ceniza a 1,000°C más el peso del crisol

**f<sub>1</sub>= 1.36** Esta constante se obtiene a partir del peso molecular de los carbonatos mediante la fórmula: **f<sub>1</sub>= 60 (peso molecular de CO<sub>3</sub>)+40 (peso molecular de CO<sub>2</sub>) = 1.36**

#### **IV.2.2. Susceptibilidad magnética**

Esta es fundamentalmente, la medida en que una muestra de material pétreo o sedimentario puede ser magnetizable, lo cual está en relación con los tipos y cantidades de minerales ferrimagnéticos, antiferromagnéticos y paramagnéticos presentes en cada muestra, así pues constituye la medida total de las susceptibilidades magnéticas dadas. El tipo de comportamiento magnético es detectado cuando se somete la muestra a un campo magnético conocido.

Para el caso de este estudio se empleó un sensor Bartington para muestras de material sedimentario, las muestras de sedimento fueron medidas en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) por el Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi del Instituto de Geofísica. Este sistema presenta un contador conectado con uno a cinco sensores, cada sensor funciona con un propósito específico, el sensor expresa la susceptibilidad magnética en CGS o unidades del Sistema Internacional. En primera instancia se colocaron los cubitos de plástico de 8cc de capacidad en los que se depositó la muestra, orientados siempre de la misma manera con el propósito de no viciar el registro, se aplicó un campo magnético de intensidad conocida y se midió en frecuencia baja, los datos obtenidos de este modo fueron graficados contra la variable profundidad.

### **IV.2.3. Técnica de fechamiento por radiocarbono**

Esta técnica de fechamiento se basa en la existencia de carbono 14 contenido en igual proporción en todos los sistemas vivos; dicho radiocarbono se origina en las partes más altas de la atmósfera. Debido a la acción de las radiaciones cósmicas con el nitrógeno, una vez que se ha formado el carbono 14 se combina con oxígeno formando dióxido de carbono radiactivo (Barba, 1981), el cual por los eventos de convección que ocurren en la atmósfera, se mezcla e incorpora en la biosfera. Esto último lo hace principalmente a través de los mecanismos fotosintéticos, de lo cual resulta un estado de equilibrio dinámico global. Cuando un organismo muere, se interrumpe el flujo de radiocarbono, y la desintegración radiactiva o tasa de decaimiento radiactivo es causa de que el contenido de radiocarbono en el sistema cerrado (organismo muerto) disminuya con el paso del tiempo; por lo tanto puede conocerse la edad de un evento (momento en que muere el organismo) a partir de la medición de su contenido de radiocarbono (Barba, 1981). Este método parte de algunas premisas como: La producción de radiocarbono ha permanecido constante en la atmósfera a lo largo del tiempo y se encuentra en estado de equilibrio dinámico, se conoce con precisión la tasa de decaimiento del radiocarbono o vida media, y no hay procesos de fraccionamiento que alteren las relaciones isotópicas de  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  y  $^{12}\text{C}$  (Barba, 1981).

#### **Metodología.**

Se tomaron cuatro muestras de sedimento para fechamiento por la técnica de radiocarbono. La toma de cada muestra se hizo de la parte más profunda a la más superficial del sitio de excavación con el objeto de evitar en la medida posible fuentes de contaminación y error en el fechamiento. El muestreo se llevó a cabo con guantes quirúrgicos mediante el empleo de espátulas bien lavadas y enjuagadas con agua tridestilada con filtro MiliQ. a fin de no contaminar la muestra con trazas de carbón actual. Una vez colectado el sedimento se empacó en papel aluminio y se guardó en bolsas de plástico etiquetadas con los datos de localidad, profundidad y litología. Las muestras tomadas fueron enviadas para su fechamiento a los laboratorios de Beta

Analytic, Miami, Florida, USA. por la Dra. Linda Manzanilla, del Instituto de Investigaciones Antropológicas.

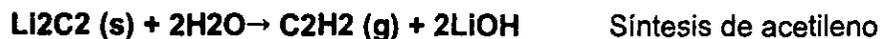
La técnica de laboratorio estándar empleada para tal fin consistió básicamente en un pretratamiento en el que se indujo el calentamiento de cada muestra con HCl para remover los carbonatos y el calcio presentes. Posteriormente se lavó cada muestra con agua destilada (Olsson, 1986), al término de lo cual se hizo un tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) diluido a 80°C durante 12 horas con el fin de extraer el ácido húmico dado que éste puede ser más viejo o más joven que la muestra, influyendo su presencia en la precisión del fechamiento. Finalmente, la fracción insoluble del tratamiento de álcali fue acidificada para remover el bióxido de carbono absorbido y la fracción soluble que se utilizó para precipitar el ácido húmico fue acidificada a pH 3 (Olsson, 1986).

#### Tratamiento de la muestra.

Durante el tratamiento de la muestra, por una serie de transformaciones físico-químicas se transformó el carbono presente en la muestra en benceno, tales transformaciones ocurrieron de la siguiente manera: el carbono contenido en la muestra se transformó en bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por combustión de oxígeno, el CO<sub>2</sub> así producido se purificó y fue solidificado a temperatura de nitrógeno líquido (-197°C) con el fin de que quedara atrapado y se pudiera disponer de él para hacerlo reaccionar con litio metálico fundido, y se obtuvo carburo de litio, el cual presenta la propiedad de reaccionar con el agua y producir acetileno (Barba, 1981). El acetileno así producido se purificó y se hizo pasar por una columna con catalizador de pentóxido de vanadio que transformó el acetileno en benceno líquido el cual fue pesado con el fin de que la variable volumen estuviera controlada, y finalmente se mezcló con líquido de centelleo cuyo principio es la fluorescencia dada por la energía que se libera durante la desintegración espontánea de los núcleos radiactivos contenidos en el benceno sintetizado a partir de la muestra. El conteo se hizo con la técnica de conteo por centelleo líquido, el cual es muy eficiente, ya que puede determinar niveles muy bajos de radiación. Durante el procesamiento de cada una de las muestras este conteo se llevó a cabo con tres muestras por vez, una que fue el patrón de referencia, otra que fue un blanco o testigo que indicó la señal de

fondo y por último la muestra problema.

La serie de reacciones que ocurrieron durante el procesamiento de la muestra fueron las siguientes (Barba, 1981):



#### IV.2.4. Técnica palinológica

La extracción de palinomorfos se llevó a cabo de acuerdo a la técnica de Erdtman (1960) modificada, la cual se detalla a continuación.

Se toman 2cc de muestra de sedimento y se pone en un vaso de precipitados de Nalgene conteniendo detergente Sigmaclin al 10% durante 24 horas con el fin de liberar los palinomorfos de la matriz de suelo que los contiene. Posteriormente se decanta conservando el sobrenadante, el cual se neutraliza centrifugando en tubos de ensaye con agua destilada a 1,200 r.p.m. durante 5 minutos.

A continuación se adiciona ácido fluorhídrico (HF) al 10% durante 24 horas a fin de remover los silicatos presentes en la muestra de sedimento (Moore, 1991). Transcurrido este tiempo, se neutraliza centrifugando con agua destilada, y se agrega una pastilla marcadora con esporas de *Lycopodium* y ácido clorhídrico (HCl) al 10% durante 10 minutos, posteriormente se somete la muestra a la etapa de digestión la cual se lleva a efecto mediante el empleo de Hidróxido de potasio (KOH) al 5% en Baño María a 70°C durante 5 minutos con agitación constante, con esto se consigue eliminar la materia orgánica presente (Traverse, 1988; Moore, 1991) después de lo cual se neutraliza centrifugando con agua destilada. A continuación se deshidrata la muestra con ácido

acético ( $\text{CH}_3 \text{COOH}$ ) haciendo dos cambios como mínimo con lo cual se asegura la completa deshidratación de la muestra y su preparación para el siguiente paso de esta técnica que es la acetólisis.

Se prepara la mezcla acetolítica, la cual consiste de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción 9:1 respectivamente. Se somete la muestra a la acción de esta mezcla durante 10 minutos en Baño maría a  $70^\circ\text{C}$  con agitación constante, con lo cual se consigue eliminar el material de naturaleza celulósica que pudiese estar presente en los palinomorfos (Traverse, 1988; Moore, 1991). Posteriormente se adiciona ácido acético glacial el cual detiene la reacción de la mezcla acetolítica produciendo una reacción exergónica menos violenta que la que se produciría al agregar directamente agua. Se centrifuga eliminando el sobrenadante y posteriormente se neutraliza centrifugando con agua destilada. Una vez que la muestra se encuentra a pH neutro, se tira el sobrenadante conservando el residuo, se añade una gota de safranina, se agita y enseguida se elimina el exceso de colorante centrifugando con agua destilada. Finalmente el residuo obtenido se monta en laminillas para microscopía óptica, empleando como medio de montaje gelatina glicerizada, la cual conserva adecuadamente los residuos palinológicos (Moore, 1991).

Una vez que el medio de montaje ha solidificado, se sellan las laminillas con laca transparente a fin de impedir el intercambio de humedad entre la preparación y el medio ambiente así como la proliferación de microorganismos degradadores (Moore, 1991).

Debido a la presencia constante y abundante en las muestras de sedimento de una espora de pteridofita de la familia Isoetaceae se decidió acetolizar ejemplares herborizados de esta familia con el fin de identificar a nivel específico la espora fósil presente en las muestras.

### IV. 3. Metodología de Gabinete

Esta comprendió dos fases, por una parte la observación de las laminillas en un microscopio óptico (Carl Zeiss Ultrafoto), con el propósito de cuantificar e identificar los palinomorfos presentes.

La identificación se realizó con ayuda de claves taxonómicas (Pfeifer, 1922; Krutzsch, 1967; Kapp, 1969; Tryon, 1982; Moore, 1991; Punt, *et al* 1994) y con el empleo de la colección palinológica de referencia del Instituto de Geología.

Posterior a la identificación de los palinomorfos se llevaron a cabo los conteos de los mismos, los cuales se estructuraron considerando conjuntos de 500 granos por muestra más las esporas marcadoras que apareciesen durante el conteo. Se consideraron 500 granos por muestra dado que es un número estadísticamente significativo, lo cual reduce errores. Para el caso de este trabajo también se consideraron los conteos menores a 500 granos debido a la escasez de muestras positivas en el perfil estratigráfico analizado. Por otra parte se contaron las esporas marcadoras de *Lycopodium clavatum* con el fin de obtener valores de concentración de palinomorfos (Berglund, y Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Una vez finalizadas las identificaciones y los conteos, los datos fueron vertidos en bases de datos que permitieran su ordenación y procesamiento en una hoja de cálculo del programa Tilia 2. Este programa consiste en una tabla que contiene los datos de taxas cuyo orden es el siguiente: árboles, arbustos, herbáceas, acuáticas, fungosporas, valores de susceptibilidad magnética, cantidad de palinomorfos contados, relación polen regional/polen local, concentración total, cantidad de pastillas marcadoras adicionadas, cantidad de esporas de *Lycopodium clavatum* contenidas en cada pastilla, concentración de esporas de *Lycopodium clavatum* por muestra, volumen de muestra, esporas de *Lycopodium clavatum* contadas en cada muestra.

Una vez vaciados los datos en la hoja de cálculo del programa Tilia, se procedió a la construcción del diagrama de polen en el programa Tilia Graph, en el cual los datos de los taxa se agruparon de acuerdo a un ordenamiento ecológico basado en el sistema de forma de vida o hábito y se graficaron como porcentajes de taxa contra tiempo y

profundidad.

La información contenida en el diagrama de polen se presenta en columnas de acuerdo con el siguiente orden: (1) La primera columna contiene información acerca de los fechamientos absolutos, en este caso se trata de fechas de radiocarbono en años AP las cuales se reportan sin corregir.

(2) Escala de profundidad desde la superficie hacia abajo.

(3) Columna estratigráfica. En ésta se describe mediante simbología cuantas y cuáles capas fueron identificadas a lo largo del perfil estratigráfico, incluyendo las capas producto de actividad volcánica.

(4) Susceptibilidad magnética, la cual está dada en unidades *Kappa* ( $\kappa$ ) del Sistema Internacional.

(5) Porcentajes de palinomorfos por taxa colocando al principio los taxa arbóreos, después los taxa que incluyen hierbas y gramíneas, todos los anteriores son taxa de carácter regional; posteriormente se incluyen los taxa de carácter local como son los taxa acuáticos.

(6) Relación polen regional, considerando polen de árboles y hierbas contra polen local en el que se incluyen las acuáticas.

(7) Concentración de polen, la cual está dada en número de granos por  $\text{cm}^3$ , ésta puede indicar cambios sedimentológicos y valores de redeposición.

## Capítulo V. Resultados.

### V.1. Columna estratigráfica del sitio de estudio (Fig. 4)

A continuación se presenta la descripción litológica del perfil estratigráfico del sitio de estudio, la cual se presenta de la parte más profunda a la más superficial.

Profundidad en cm.	Descripción
706 a 700 cm.	Ceniza volcánica de color gris.
700 a 675 cm.	Limo de color café.
675 a 640 cm.	Limo.
640 a 500 cm.	Ceniza de color gris pobremente estratificada.
500 a 410 cm.	Limo verdoso con huellas de raíces.
410 a 400 cm.	Limo de color café oscuro.
400 a 386 cm.	Limo arenoso de color gris.
386 a 365 cm.	Estrato fluvial, guijarros y cantos rodados con macrorrestos.
365 a 362 cm.	Limo arcilloso fino de tonos claros. Restos óseos de mamut, bisonte, camélido y équido.
362 a 355 cm.	Limo arenoso de color café rojizo con raíces y macrorrestos. Restos óseos de camélido, bisonte y équido.
355 a 350 cm.	Ceniza volcánica. Restos óseos de mamut, camélido, équido y bisonte.
350 a 310 cm.	Limo con algo de gravillas redondeadas y manchas rojizas. Restos óseos de mamut, camélido, équido y bisonte.
310 a 300 cm.	Pumicita. Restos óseos de mamut, camélido, équido y bisonte.
300 a 258 cm.	Lahar. Restos óseos de mamut, camélido, équido y bisonte
258 a 253 cm.	Ceniza volcánica.
253 a 232 cm.	Fluvial, guijarros con grava y arena.
232 a 120 cm.	Lahar.
120 a 80 cm.	Pumicita.
80 a 60 cm.	Ceniza gruesa.
60 a 40 cm.	Ceniza fina.
40 a 0 cm.	Suelo actual.

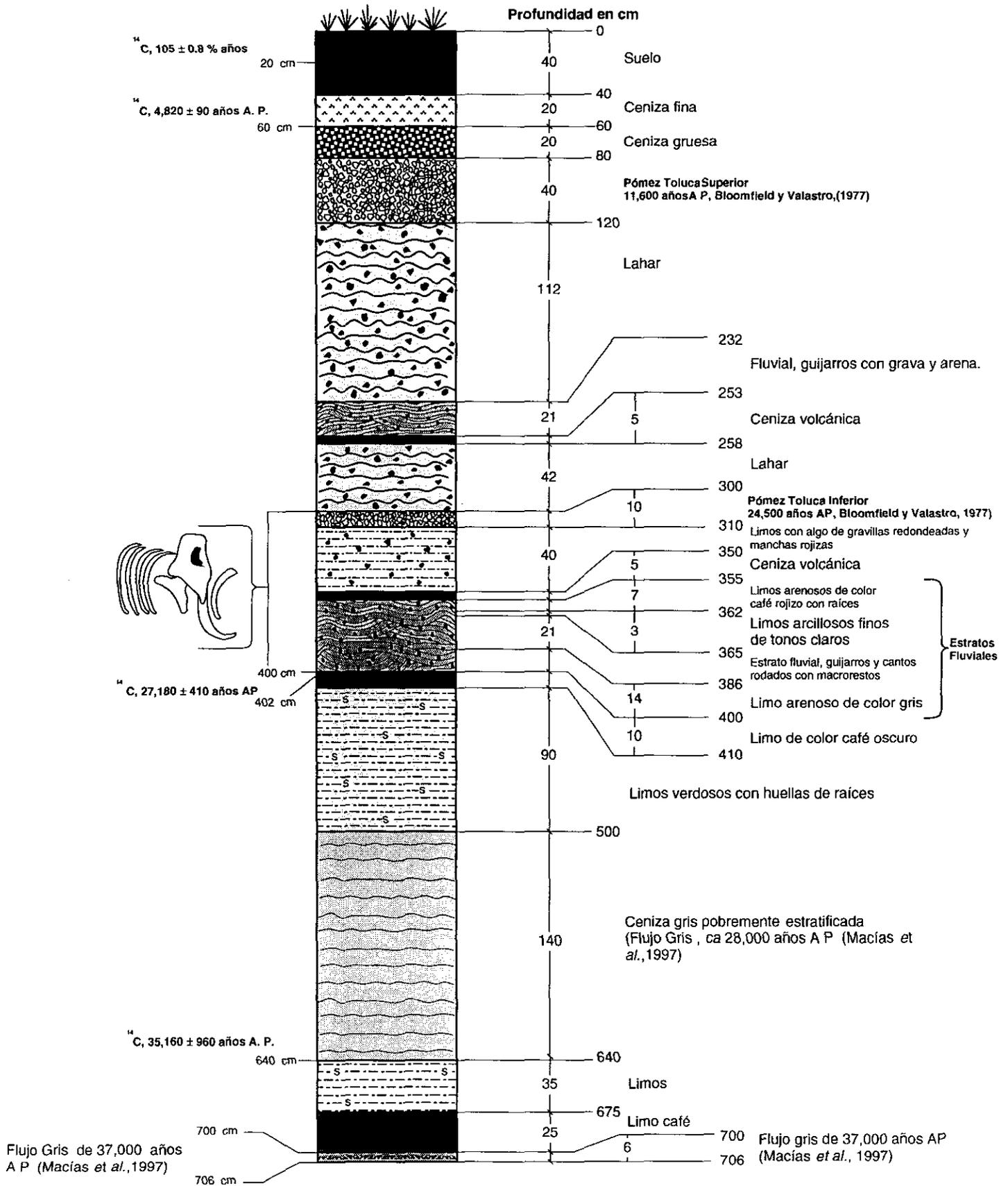


Fig. 4: Columna estratigráfica del sitio de Metepec.

## **V.2. Pérdida por ignición (Calcinación)**

Con el objeto de estimar el porcentaje de materia orgánica y de carbonatos presentes en las muestras se presentan en forma de tabla (Tabla 1, Fig. 5) los datos obtenidos a partir de la técnica de pérdida por ignición.

En términos generales los porcentajes de materia orgánica y de carbonatos presentan valores más bien bajos.

Los más bajos porcentajes de materia orgánica corresponden a 0.1%, en un estrato de limo verdosos con huellas de raíces, en tanto que los porcentajes más altos son de 16.1% en un estrato de ceniza de color gris pobremente estratificada.

Los valores más bajos de carbonatos son de 0.01% en una litología de ceniza de color gris pobremente estratificada. El valor más alto registrado es de 30.15% para una litología de limo verdosos con huellas de raíces.

Los valores de materia orgánica indican en este caso una productividad muy baja, la cual es correlacionable con la presencia de tefras y estratos aluviales.

Los valores de carbonatos son también muy bajos, lo cual indica que la cantidad de sales fluctúa de baja a nula y que no hubo variaciones importantes en dicha salinidad.

Tabla de Pérdida por Ignición

FB	Prof. (m)	Peso Total (g)	Peso seco (g)	Mat. Org. (g)	P.S. - M.O.	CaCO <sub>3</sub>	M.O.-CaCO <sub>3</sub>	MAT. ORG.	CaCO <sub>3</sub>
6453	0.10	10.810	10.615	10.212	0.403	10.205	0.007	3.797	0.024
6454	0.20	9.986	9.656	9.323	0.333	9.323	0.000	3.449	0.000
6455	0.30	7.245	6.589	6.529	0.060	6.268	0.261	0.911	5.508
6456	1.10	8.549	7.540	7.461	0.079	7.419	0.042	1.048	0.723
6457	1.20	8.229	7.418	7.336	0.082	6.444	0.892	1.105	14.794
6458	1.30	9.659	9.030	8.939	0.091	8.916	0.023	1.008	0.344
6459	1.40	10.195	9.576	9.481	0.095	9.459	0.022	0.992	0.315
6460	1.50	11.201	10.430	10.329	0.101	10.310	0.019	0.968	1.104
6485	1.60	10.337	9.570	9.469	0.106	9.450	0.019	1.055	0.256
6486	1.80	7.252	6.218	6.122	0.096	6.094	0.028	1.544	0.397
6487	1.90	9.212	7.849	7.684	0.165	7.641	0.043	2.660	0.286
6488	2.00	8.243	6.766	6.663	0.103	6.634	0.029	1.522	0.383
6489	2.20	10.667	9.757	9.652	0.105	9.627	0.025	1.076	0.324
6490	2.25	8.366	7.019	6.905	0.114	6.840	0.065	1.624	0.775
6491	2.65	8.275	7.215	7.071	0.144	7.046	0.025	1.996	0.236
6503	2.75	10.114	8.972	8.731	0.241	8.687	0.044	2.686	0.216
6504	2.85	8.870	7.980	7.771	0.209	7.737	0.034	2.619	0.221
6505	3.10	7.812	6.382	6.250	0.132	6.226	0.024	2.068	0.247
6506	3.20	9.227	8.080	7.967	0.113	7.945	0.022	1.399	0.265
6507	3.30	8.363	7.440	7.344	0.096	7.318	0.026	1.290	0.368
6508	3.40	8.624	7.562	7.474	0.088	7.462	0.012	1.164	0.137
6509	3.50	9.363	8.543	8.460	0.083	8.450	0.010	0.972	0.000
6510	3.53	10.893	9.965	9.904	0.061	9.893	0.011	0.061	2.452
6511	3.90	9.337	7.723	7.645	0.078	7.642	0.003	1.010	0.052
6512	4.00	7.838	5.360	5.048	0.312	5.030	0.018	5.821	0.078
6515	4.04	6.711	5.325	5.219	0.106	5.213	0.006	1.991	0.077
6513	4.10	8.677	7.640	7.567	0.073	7.113	0.454	0.955	8.458
6514	4.20	8.490	6.962	6.798	0.164	6.753	0.045	2.356	0.373
6516	4.30	7.456	6.088	5.987	0.101	5.926	0.061	1.659	0.821
6517	4.40	6.970	5.882	5.745	0.137	5.721	0.024	2.329	0.238
6518	4.50	6.519	5.500	5.389	0.111	5.369	0.020	2.018	0.245
6519	4.60	6.988	5.898	5.778	0.124	5.680	0.098	2.035	1.111

Tabla 1. En esta tabla se muestran los valores obtenidos de la técnica de calcinación.

**Tabla de Pérdida por Ignición**  
(Continuación)

PB	Prof. (m)	Peso Total (g)	Peso seco (g)	Mat. Org. (g)	P.S. - M.O.	CaCO <sub>3</sub>	M.O.-CaCO <sub>3</sub>	MAT. ORG.	CaCO <sub>3</sub>
6520	4.70	6.751	5.607	5.481	0.126	5.464	0.017	2.247	0.183
6521	4.80	10.438	8.636	8.630	0.006	8.497	0.133	0.069	30.149
6522	4.90	7.402	6.192	6.052	0.140	6.033	0.019	2.261	0.183
6428	5.00	8.837	6.678	6.462	0.216	6.419	0.043	3.235	0.271
6429	5.10	9.197	7.674	7.571	0.103	7.538	0.033	1.342	0.436
6430	5.20	9.285	7.744	7.626	0.118	7.599	0.027	1.524	0.311
6330	5.30	8.905	7.944	7.839	0.105	7.817	0.022	1.322	0.028
6331	5.40	7.351	6.427	6.342	0.085	6.334	0.008	16.882	0.010
6431	5.50	9.071	7.594	7.517	0.077	7.500	0.017	1.014	0.300
6326	5.60	8.658	7.761	7.694	0.067	7.682	0.012	0.864	0.243
6327	5.70	6.929	6.031	5.993	0.038	5.993	0.000	0.634	0.000
6328	5.80	9.060	8.839	8.777	0.062	8.777	0.000	0.007	0.000
6329	5.90	8.141	8.090	8.039	0.054	8.036	0.003	0.630	0.080
6523	6.00	7.348	6.511	6.483	0.026	6.474	0.009	0.430	0.437
6524	6.30	10.552	8.054	7.962	0.092	7.949	0.013	1.142	0.192
6525	6.40	8.394	6.387	6.183	0.204	6.153	0.003	3.194	0.200
6526	6.43	7.238	5.240	5.056	0.184	5.035	0.021	3.511	0.155
6584	6.50	8.385	7.007	6.965	0.042	6.945	0.020	0.599	0.648
6585	6.60	9.164	7.837	7.736	0.101	7.717	0.019	1.289	0.256
6586	6.70	9.138	8.020	7.935	0.085	7.924	0.011	1.060	0.176
6587	6.80	8.987	8.000	7.930	0.070	7.916	0.014	0.875	0.027
6588	7.00	9.248	7.467	7.428	0.039	7.419	0.009	0.522	0.314
6589	7.06	8.254	6.548	6.401	0.147	6.357	0.044	2.245	0.407

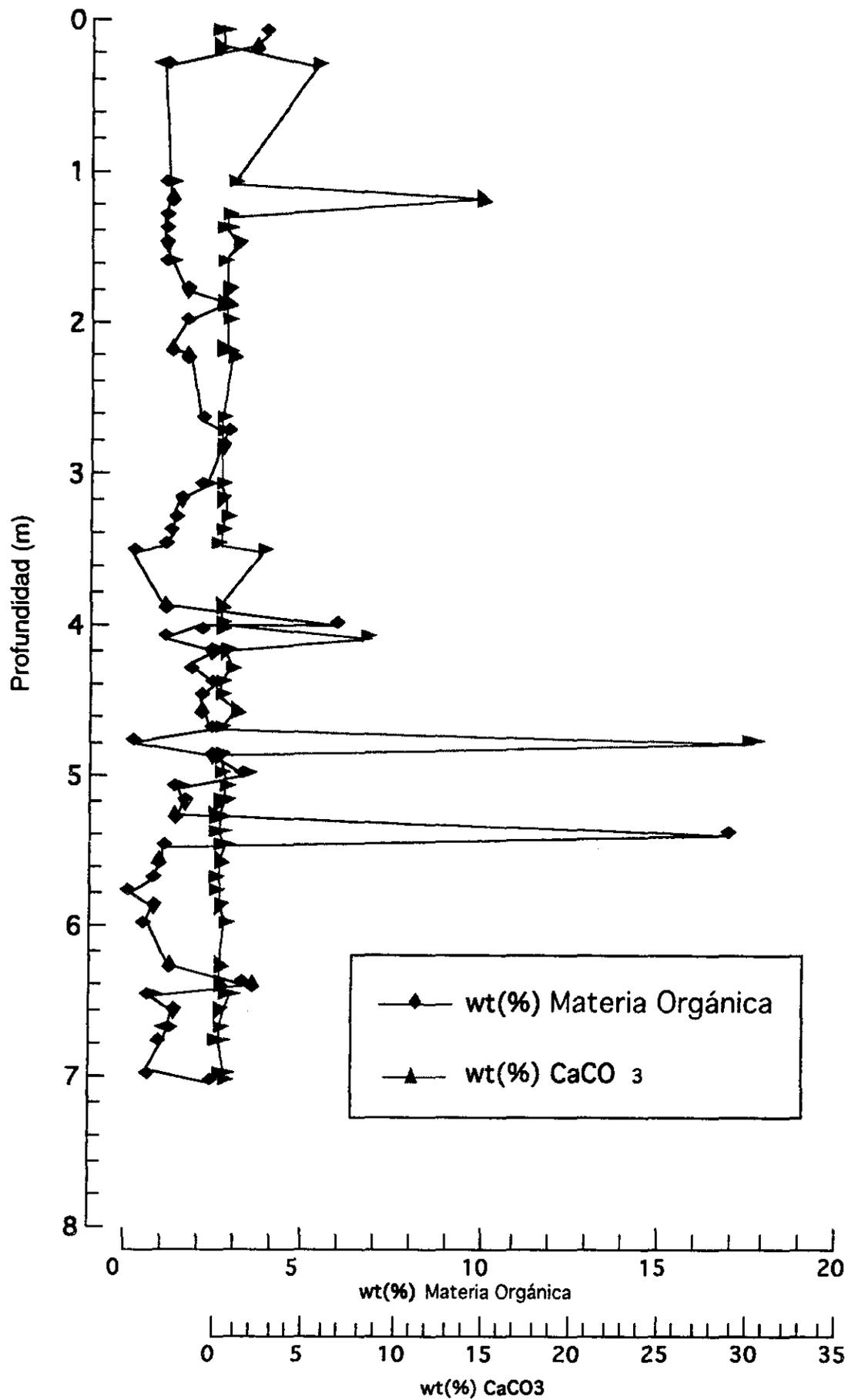


Fig. 5. Gráfica de pérdida por ignición de las muestras de Metepec.

### V.3. Susceptibilidad magnética

Los resultados de susceptibilidad magnética exhiben valores que en términos generales se pueden considerar altos en comparación con los valores de susceptibilidad magnética que fueron reportados por Lozano-García y Ortega-Guerrero (1994) en un núcleo del Lago de Chalco, en la Cuenca de México, donde el valor de susceptibilidad más alto que se registra corresponde a  $100\kappa$ , dichos valores están asociados a capas de tefra.

Los valores de susceptibilidad magnética reportados para el sitio de estudio de Metepec presentan oscilaciones muy marcadas (Tabla 2, Fig. 6), los valores más altos son correlacionables con capas de tefras y estratos fluviales, por ejemplo, los tres picos más altos desde la zona más profunda a la más superficial corresponden a el flujo de 28,000 años AP de el Volcán Nevado de Toluca, con un valor de  $286.62\kappa$ ; el segundo valor más alto corresponde a un estrato fluvial cuyo valor de susceptibilidad magnética es de  $241.61\kappa$ , finalmente el tercer valor más alto corresponde también a un estrato fluvial con una  $\kappa$  de 304.84.

El valor más bajo registrado corresponde a  $24\kappa$  en un estrato de ceniza volcánica que de acuerdo con Caballero *et al.* (en prensa) corresponde a la **PTS** del Nevado de Toluca.

## SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA

(Frecuencia baja, Unidades K)

Prof. (cm.)	Susc. mag.	Prof. (cm.)	Susc. mag.
0	0.000	360	241.611
10	0.000	370	113.668
20	0.000	380	126.448
30	0.000	390	169.833
40	96.042	400	88.961
50	45.592	410	36.856
60	43.053	420	47.493
70	47.424	430	39.941
80	31.436	440	46.056
90	20.283	450	40.492
100	43.329	460	42.926
110	48.370	470	40.569
120	55.765	480	47.594
130	81.538	490	55.523
140	98.206	500	53.279
150	135.605	510	61.651
160	116.720	520	59.100
170	182.216	530	45.176
180	78.597	540	46.871
190	78.539	545	95.775
200	79.103	570	59.810
210	84.126	580	168.119
220	97.273	590	105.132
230	145.455	600	224.776
240	179.819	610	286.622
250	304.841	620	115.387
260	51.482	630	87.259
270	48.068	640	53.760
280	63.740	650	89.866
290	79.420	660	104.157
300	123.212	670	122.853
310	56.959	680	136.307
320	35.932	685	149.895
330	56.108	700	82.299
340	72.312	706	30.930
350	77.931		

Tabla 2. Los valores de susceptibilidad magnética del sitio de estudio se encuentran reportados en  $\kappa$  ( $\times 10^{-5}$ ) S.I.

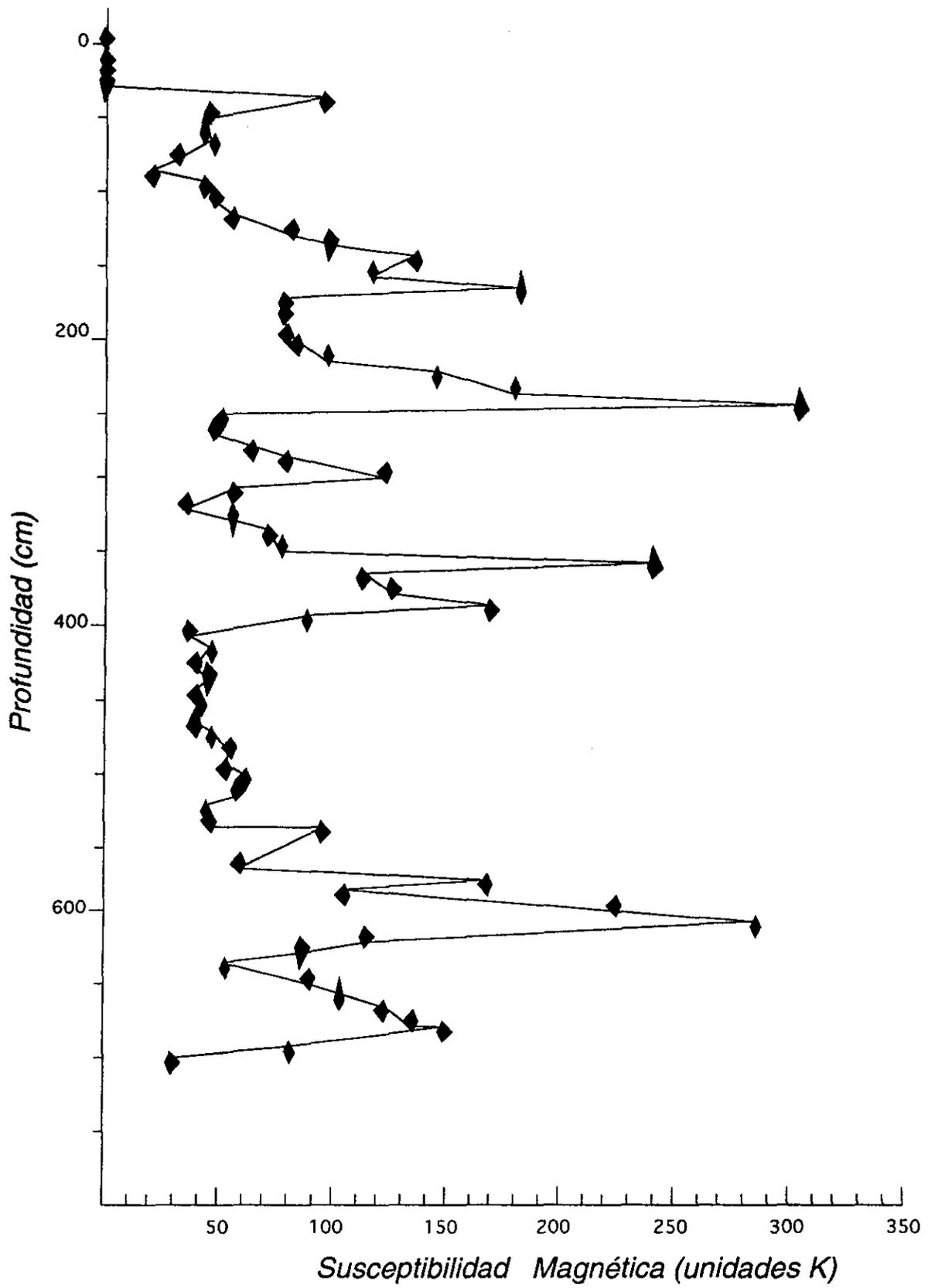


Fig. 6. Gráfica de susceptibilidad magnética de Metepec.

#### V.4. Fechamiento

Se cuenta para este estudio con un total de ocho edades (Tabla 3), cuatro corresponden a fechamientos por la técnica de radiocarbono realizados en sedimentos obtenidos de la secuencia litológica por los laboratorios Beta Analytic en Miami, Florida, USA. Mientras que las cuatro edades restantes se obtuvieron por correlación estratigráfica (tefracronología) los con eventos eruptivos del Volcán Nevado de Toluca previamente estudiados por Macías *et al.* (1997), que cuentan con fechamientos de  $^{14}\text{C}$ . Se consideraron también los mamutes encontrados en el sitio de estudio, los cuales constituyen marcadores de tipo bioestratigráfico de edad pleistocénica, tales restos de mamutes se encontraron entre dos estratos fechados en  $27,180 \pm 410$  años AP y 24,500 años AP.

Fechamientos por radiocarbono.			
Muestra (Prof. en cm)	Fecha (años AP)	Fuente	No. de laboratorio
20 a 25	105±0.8%	Beta Analytic Inc.	Beta 70708
60 a 70	4,820±90	Beta Analytic Inc.	Beta 70709
402 a 410	27,180±410	Beta Analytic Inc.	Beta 70712
640 a 650	35,160±950	Beta Analytic Inc.	Beta 70714
Fechamientos por correlación estratigráfica con el Volcán Nevado de Toluca.			
Muestra (Prof. en cm)	Fecha $^{14}\text{C}$ (años AP)	Fuente	
80 a 120	11,600 (PTS)	Bloomfield y Valastro, 1977	
300 a 310	24,500 (PTI)	Bloomfield y Valastro, 1977	
500 a 640	28,000 (FG)	Macías <i>et al.</i> , 1997	
700 a 706	37,000 (FG)	Macías <i>et al.</i> , 1997	

Tabla 3. Tabla donde se muestra el conjunto de fechamientos por la técnica de radiocarbono y correlación estratigráfica.

Los datos integrados no son anacrónicos (Fig. 7), antes bien, resultan ser coherentes con la ley de superposición de los estratos, la cual de acuerdo con Leet y Judson (1990) afirma que en una secuencia sedimentaria que no haya sufrido plegamientos tectónicos, la capa más superficial es la más joven en tanto que la más profunda es la menos joven. La secuencia estratigráfica indica un hiatus importante, entre los 4,820 años AP y los 105.8 años AP.

## FECHAMIENTOS

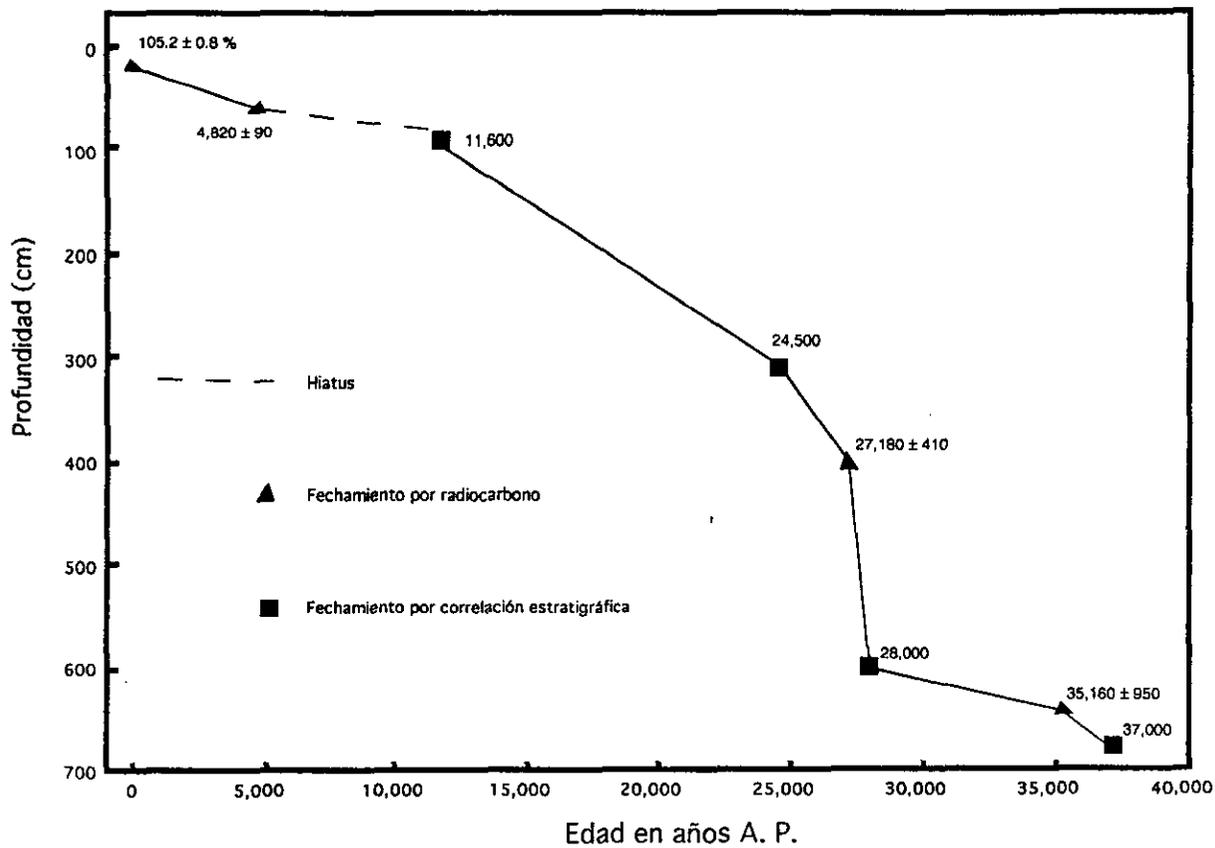


Fig.7. Gráfico de los fechamientos correspondientes al sitio de estudio con respecto a la profundidad.

## **V.5. Correlación estratigráfica con los eventos eruptivos del Volcán Nevado de Toluca**

A partir de la comparación de las capas de tefras identificadas en el sitio de estudio con la secuencia de eventos eruptivos registrados en el Volcán Nevado de Toluca se propone la correlación estratigráfica (Fig. 8) de dichos materiales. Desde la parte más profunda a la más superficial de la columna estratigráfica del sitio de Metepec y de la sección compuesta del Nevado de Toluca obtenida por Macías (1997) se encontraron cuatro capas correlacionables. La primera corresponde al Flujo Gris de 37,000 años AP, esta capa se compone de bloques grises y depósitos de tobas de flujo. La segunda está representada por el Flujo Gris de ca 28,000, la cual se compone de depósitos de color gris en una matriz de arena. La tercera capa está representada por la PTI de 24,500 años AP. La capa más superficial corresponde a la PTS fechada en 11,600 años AP.

# METEPEC

# NEVADO DE TOLUCA (Macías et al, 1997)

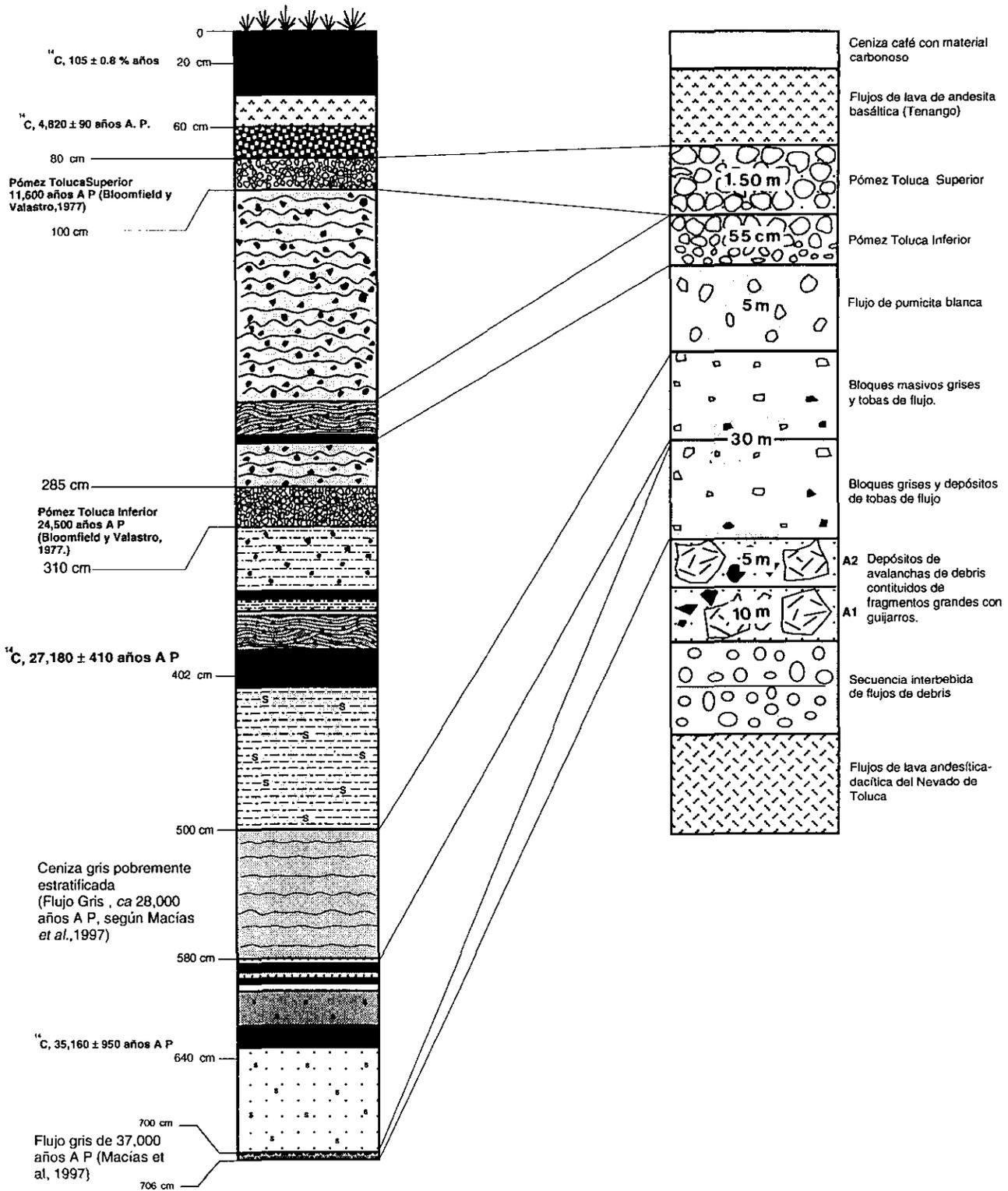


Fig. 8: Correlación estratigráfica entre el sitio de estudio y la sección compuesta del Volcán Nevado de Toluca obtenida por Macías et al., (1997).

## V.6. Conteos polínicos

A partir de el conteo e identificación de los palinomorfos recuperados de los sedimentos de Metepec, y su procesamiento en bases de datos, se obtuvieron los conteos polínicos (tabla 4) que en general muestran cantidades relativamente bajas de polen. A pesar de que el conteo estandar de palinomorfos es, en general, un mínimo de 500 granos de polen y esporas por muestra, en Metepec no se pudo realizar debido a la escasez de estos. Valores semejantes son reportados por Caballero *et al* (en prensa) para una *secuencia lacustre en el sitio de Zacango, Estado de México*, donde de ocho niveles analizados solamente dos resultaron positivos.

Aún cuando la cantidad de taxa recuperados en los sedimentos de Metepec es escasa, la tendencia general de los datos muestra que después de cada evento eruptivo del Volcán Nevado de Toluca ocurre una sucesión ecológica que inicia con el temprano establecimiento de *Isöetes mexicana* seguido de la aparición de taxa ruderales de las familias Asteraceae, Poaceae y Chenopodiaceae-Amaranthaceae, apareciendo al final de cada evento de sucesión ecológica los taxa arbóreos.

Tanto la secuencia de Metepec como la de Zacango se encuentran influenciadas por la actividad del Volcán Nevado de Toluca.

### TABLA DE CONTEOS POLINICOS

Prof (cm)	Pinus	Alnus	Asteraceae	Poaceae	Cheno-Am	Cyperaceae	Isóetes	Marchantiales	Polen total
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	1	1	0	0	0	110	125	112
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	16	0	8	0	0	0	476	91	500
265	6	1	9	0	0	0	79	313	95
275	0	0	0	0	0	0	0	0	0
285	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	30	1	0	0	0	0	469	0	500
320	0	0	0	0	0	0	9	317	9
330	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0
353	0	0	0	0	0	0	0	0	0
390	21	2	5	1	0	0	60	23	89
400	27	0	0	0	0	0	473		500
404	151	1	9	6	0	57	25	83	249
410	44	0	1	0	0	0	456	25	501
420	29	0	0	0	0	0	22	471	500
430	18	0	0	0	0	4	478	20	500
440	10	0	0	0	0	3	487	32	500
450	14	0	0	0	0	0	486	157	500
460	0	0	0	0	0	0	259	182	259
470	0	0	0	0	0	0	0	0	0
480	0	0	0	0	1	0	136	434	137
490	0	0	2	1	0	0	158	174	161
500	1	0	1	0	22	0	476	347	500

Tabla 4. Tabla de conteos del polen recuperado de las muestras de Metepec.



## V.7. Identificación de una espora fósil del género *Isöetes*

Con el objeto de identificar a nivel específico una espora fósil presente de manera importante a lo largo de el perfil estratigráfico en el sitio de estudio de Metepec, Edo. de México, se presentan los resultados de la descripción de las esporas de algunas especies del género *Isöetes*, obtenidas a partir de ejemplares herborizados de esporófilas de cinco especies obtenidas en los herbarios de la Universidad Nacional Autónoma de México, MEXU y la Universidad Autónoma Metropolitana UAM, campus Iztapalapa. Dichos resultados se presentan a manera de cuadro comparativo (Tabla 5) en el que se incluye la espora fósil. Los parámetros tomados para la descripción de las esporas fueron: longitud del eje ecuatorial mayor, longitud del eje ecuatorial menor, longitud del eje polar, ornamentación del perisporio, ornamentación del endosporio, asociación de las esporas, polaridad, simetría y forma. Cada parámetro tomado se midió en 25 esporas de cada especie incluyendo la especie fósil.

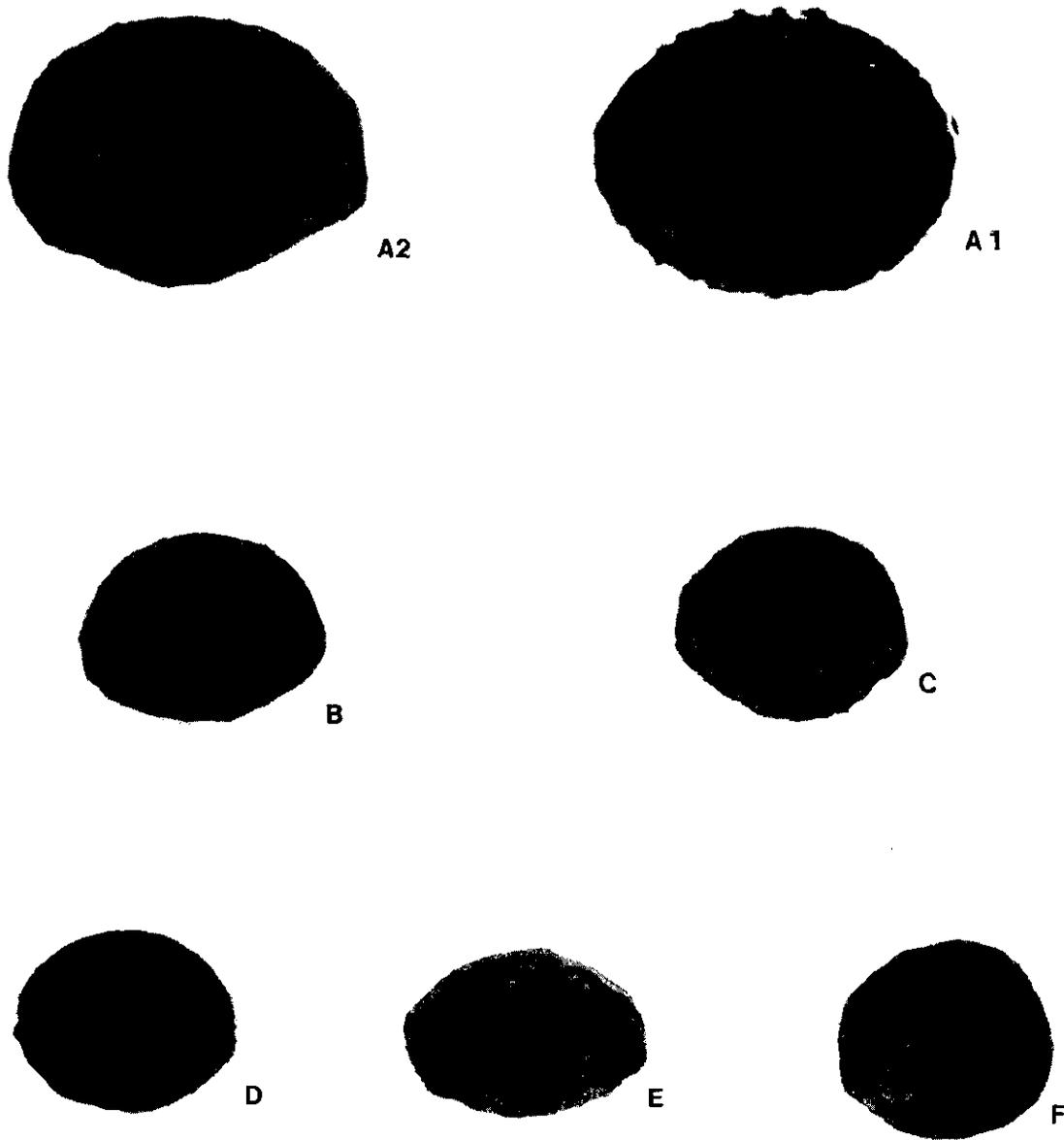
Posteriormente se hizo una comparación de las cinco especies estudiadas con la espora fósil, de lo cual resultó que *Isöetes mexicana* Underw. es la más parecida a la espora fósil presente en las muestras de sedimento de Metepec (Fig. 9). Bonilla y Novelo (1995) reportan para México una sola especie del género *Isöetes*, llamada *Isöetes mexicana* Underw. no obstante a lo largo del tiempo han existido sinonimias donde *Isöetes mexicana* corresponde a *I. montezumae*, e *I. bolanderi* variedad minima. Las longitudes en los ejes ecuatoriales de la espora fósil e *Isöetes mexicana* presentaron una variación del orden de 0 a 3.2  $\mu$ . Para el eje ecuatorial menor la variación fue de 1.6 a 0.8  $\mu$ .

La variación en el eje polar fue de 0 a 7.2  $\mu$ . Dichas variaciones pueden tener su origen en los procesos diagenéticos por los que atraviesa un material biológico antes de considerarse un resto fósil, o bien a la técnica palinológica, dado que ambos pueden alterar de alguna forma los palinomorfos.

Cuadro comparativo de algunas especies de *Isóetes* y la espora fósil.

Sp.	Abertura	Eje ecuatorial mayor	Eje ecuatorial menor	Eje polar	Perisporio	Endosporio	Asociación	Polaridad	Simetría	Forma
<i>Isóetes</i> fósil Metepec, Estado de México	Monolete, sulco con un rango que va de 29.6 a 40.0µ (x=34.7µ)	41.6 a 51.2µ (x=45.7µ)	25.6 a 40.0µ (x=32.2µ)	28.0 a 44.0µ (x=31.10µ)	Escabrado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Oblado esferoidal
<i>I. mexicana</i> Underw. Bot. Gaz. 13:93 1888	Monolete, sulco con un rango que va de 28.0 a 44.8µ (x=26.6µ)	41.6 a 54.4µ (x=48.8µ)	27.2 a 39.2µ (x=36.4µ)	28.0 a 36.8µ (x=32.1µ)	Escabrado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Oblado esferoidal
<i>I. lacustris</i> L. Sp. Pl. 1100 1753	Monolete, sulco con un rango que va de 18.4 a 22.4µ (x=22.9µ)	28.0 a 32.8µ (x=30.1µ)	27.6 a 27.2µ (x=21.5µ)	20.0 a 24.8µ (x=23.2µ)	Ligeramente rugulado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Oblado esferoidal
<i>I. braunii</i> Dur. Bull. Soc. Fr. 11:101 1864	Monolete, sulco con un rango que va de 16.0 a 28.0 µ (x= 23.2µ)	29.6 a 38.4µ (x= 30.4µ)	13.6 a 27.2µ (x= 20.4µ)	18.4 a 28.8µ (x= 30.4µ )	Rugulado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Oblado esferoidal
<i>I. storkii</i> Palmer	Monolete, sulco con un rango que va de 14.4 a 28.0µ (x= 20.6µ)	30.4 a 40.0µ (x=34.3µ)	21.6 a 28.8µ (x=24.2µ)	19.2 a 31.2µ (x= 25.6µ)	Escabrado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Esferoidal
<i>I. engelmannii</i> A. Braun Flora 29. 178 1874	Monolete, sulco con un rango que va de 16.0 a 25.6µ (x=20.3µ)	24.8 a 34.4µ (x=24.0µ)	16.8 a 24.0µ (x=20.0µ)	18.4 a 26.4µ (x= 22.0µ)	Escabrado	Psilado	Mónada	Heteropolar	Anisopolar	Oblado esferoidal

Tabla 5. En las descripciones de las esporas del género *Isóetes* se muestra el pequeño rango de diferencias que existen entre la espora fósil y las esporas de *Isóetes mexicana*.



**FIG. 9.** Microfotografías de algunos ejemplares herborizados de *Isöetes* Sp. y la espóra fósil. A1) *Isöetes* fósil (ML 1000 x) mónada en vista polar. A2) (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial. B) *Isöetes mexicana* (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial. C) *Isöetes lacustris* (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial. D) *Isöetes braunii* (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial. E) *Isöetes storkii*. (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial. F) *Isöetes engelmanni* (ML 1000 x) mónada en vista ecuatorial.

## V.8. Descripción, diagnóstico, distribución y ecología de *Isöetes mexicana*

La familia Isoetaceae tiene una distribución muy amplia, se trata de un género de helechos heterospóricos, los cuales comúnmente se encuentran asociados a ambientes acuáticos o bien a suelos que se encuentran saturados la mayor parte del año (Tryon y Lugardon, 1990). Tales helechos pueden ser acuáticos, sumergidos, palustres, anfibios, o terrestres (Pfeifer, 1922; Tryon y Tryon, 1982); se conforma de un tallo protostélico exarca (Pigg, 1992) erecto o bien, ligeramente extendido horizontalmente, de aproximadamente 6 cm de diámetro. Con micrófilas entre 1 y 2 cm de diámetro, dispuestas en cerrada formación espiral (Pfeifer, 1922), dichas micrófilas presentan en su base lígulas cubriendo al microsporangio o al megasporangio (Tryon y Tryon, 1982), las raíces presentan un patrón de crecimiento dicotómico (Pfeifer, 1922).

La familia Isoetaceae cuenta con un solo género: *Isöetes*, el cual a su vez se compone de más de 150 especies distribuidas en todo el mundo, el continente americano cuenta entre 50 y 60. En los trópicos de América las especies se desarrollan en lagos, para el caso específico de *Isöetes mexicana*, ésta se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 4,200 msnm aunque ocurre de manera más frecuente cerca de los 2,000 msnm. En México la presencia de *Isöetes mexicana* se limita a los estados de Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Querétaro, y Zacatecas (Bonilla y Novelo, 1995).

### Diagnóstico de *Isöetes mexicana*.

Se trata de un helecho heterospórico hidrófito, enraizado sumergido, con un corno bilobado; esporófilas de 8 a 18 cm de longitud con la base distendida, erectas, delgadas y el ápice agudo; lígula triangular, cubierta por un vélum. Las megasporófilas con esporas de color blanquecino con sus caras lisas o con tubérculos cortos. Las microesporófilas presentan microesporas de color grisáceo. El período de esporulación ocurre durante los meses de abril a octubre (Bonilla y Novelo , 1995).

### Hábitat.

Se trata de un helecho acuático de tipo enraizado sumergido, el cual habita en los márgenes de los lagos y en zonas pantanosas con un tirante de agua de hasta 20 cm de profundidad.(Bonilla y Novelo, 1995)

### Ecología.

*Isöetes mexicana* se desarrolla en hábitats donde los suelos están saturados de agua la mayor parte del año. También se les encuentra a las orillas de los estanques o de los ríos (Pfeifer, 1922; Bonilla y Novelo, 1995).

### Nombres locales y usos económicos.

El primer nombre popular de acuerdo con Dillenius en el año de 1741 (Pfeifer, 1922) está registrado como "Hierba de Merin" en el norte de Europa, aunque el nombre técnico (*Isöetes*) parece ser el de uso general. Tal nombre deriva del carácter siempre verde de este helecho, tal como lo indica la etimología de su nombre *Isöetes* de  $\iota\sigma\zeta$  igual y  $\epsilon\tau\omicron\zeta$  año.

En relación al interés económico que *Isöetes* pudiera tener se encuentra reportado por Dillenius en 1696 según Pfeifer (1922) como alimento para los peces. Por otra parte se han encontrado cormos de *Isoetes* en la cavidad gástrica de algunas aves, en Algeria se le reportó como alimento para cerdos, también se le ha encontrado ocasionalmente en las cavidades gástricas de ratones almizcleros y en el ganado vacuno, de manera que se le puede considerar una planta palatable (Pfeifer, 1922).

## V.9. Interpretación de los resultados

Con el objeto de interpretar los datos derivados del conteo e identificación de palinomorfos, se trabajó en una hoja de cálculo del programa Tilia 2.

El tratamiento de los datos se hizo por medio de porcentajes y se ordenó de acuerdo con las preferencias ecológicas en cuanto al hábito: árboles (*Pinus* y *Alnus*), hierbas (Asteraceae, Poaceae y Chenopodiaceae-Amaranthaceae), y acuáticas (*Isöetes mexicana* y Cyperaceae).

De acuerdo con Berglund (1986) se consideran taxa regionales a los que son transportados por corrientes de viento, agua o animales, esto es aquellos taxa de carácter alóctono, que en este estudio corresponden a *Pinus*, *Alnus*, Asteraceae, y Poaceae. Se consideran como taxa locales a los que se originan y depositan *in situ*, es decir, los autóctonos. En este caso los taxa acuáticos, *Isöetes mexicana* y Cyperaceae. Se incluyeron ambos tipos en el diagrama polínico (Fig. 10) por considerarse que este procedimiento no viciaba el registro y si permitía una mayor comprensión de los cambios ocurridos dentro de la secuencia estratigráfica de Metepec.

La zonación propuesta para el diagrama polínico se basa en la secuencia litológica, los fechamientos y los datos derivados del conteo de polen, este conjunto se presenta organizado en unidades o ventanas de tiempo.

**Unidad I.** Abarca de los 37,000 años a los 28,000 años AP. y corresponde a la profundidad de 706 a 510 cm.

De 706 a 680 cm la litología está conformada por el Flujo gris fechada por de 37,000 años AP. y limo café. Los porcentajes de materia orgánica disminuyen de 2.5 a 1%, en tanto que los carbonatos se mantienen en 0.5%. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 30 a 140κ. No se recuperaron palinomorfos.

De 675 a 625 cm la litología se compone de limo café, limos y la base del Flujo gris de 28,000 años AP. La materia orgánica aumenta de 1 a 3.5 %, en tanto que los

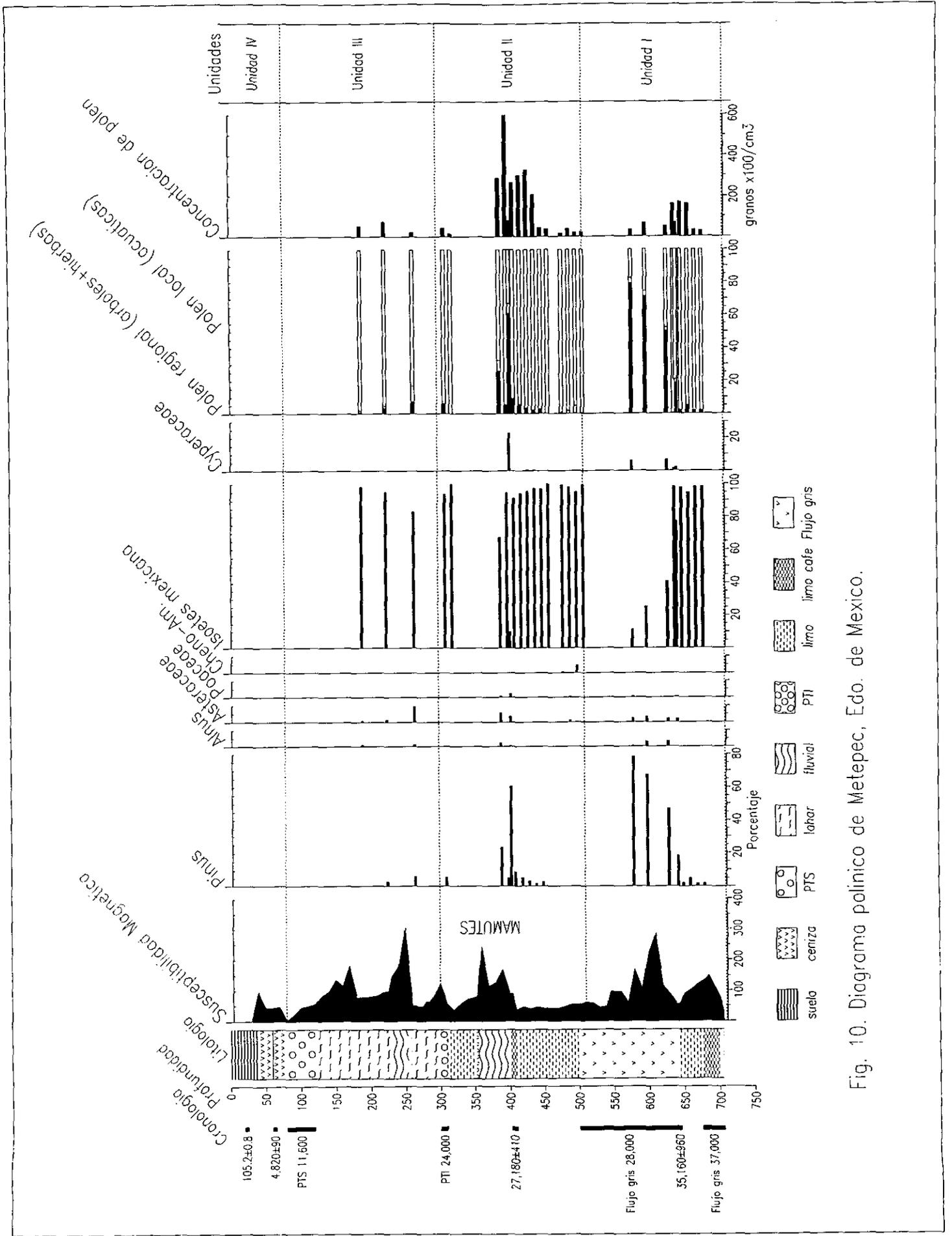


Fig. 10. Diagrama polínico de Metepec, Edo. de México.

carbonatos se mantienen en 0.5%. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 55 a 132κ. El polen recuperado a partir de esta capa muestra un incremento en los porcentajes de *Pinus* que va de 5 a 46%, bajos porcentajes de *Alnus* (4%). Asteraceae aumenta de 2 a 3%, Poaceae tiene porcentajes de 0.5%. El helecho acuático *Isöetes mexicana* presenta porcentajes entre 100 y 90%, los cuales muestran dos decrementos, el primero hasta 75% a los 635 cm de profundidad y el segundo hasta 42% a los 625 cm de profundidad. Ambos decrementos coinciden con la presencia de Cyperaceae (2 y 6% respectivamente). La relación polen regional/polen local muestra un comportamiento que tiende hacia el aumento, y finalmente el equilibrio en las proporciones de ambos. La concentración de polen muestra un comportamiento de tipo gaussiano en el cual la concentración más baja es del orden de 30 granos x 100/cm<sup>3</sup> y la más alta de 170 granos x100/cm<sup>3</sup>.

De 620 a 605 cm de profundidad, la litología se constituye únicamente del Flujo gris de 28,000 años AP. No se registran porcentajes de materia orgánica ni carbonatos. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 86 a 280κ. No se registra presencia de polen debido a la alta perturbación del sitio evidenciada por los elevados valores de susceptibilidad magnética.

De 600 a 575 cm de profundidad la litología continúa siendo de Flujo gris. Los contenidos de materia orgánica y los carbonatos no sobrepasan el 1%. Los valores de susceptibilidad magnética disminuyen de 226 a 108κ. El registro palinológico indica un aumento en el polen de *Pinus* de 67 a 77%, en tanto que *Alnus* disminuye de 4 a 1%. La familia de las Asteraceae disminuye de 4 a 3%, Poaceae muestra un bajo porcentaje de 0.5%. *Isöetes mexicana* presenta un importante decremento de 25 a 12%, el último de los cuales coincide con la presencia de Cyperaceae (7%). La relación polen regional/polen local tiende hacia la dominancia de los taxa regionales. Por su parte la concentración de polen disminuye de 70 a 40 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 570 a 515 cm de profundidad la litología continúa siendo de Flujo gris. Los porcentajes de materia orgánica aumentan ligeramente de 0.7 a 1.6%, en tanto que los carbonatos no exceden el 0.5%. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 60 a 95κ y finalmente disminuyen a 45κ. En esta capa no se recuperó material polínico.

**Unidad II.** Abarca de los 28,000 a los 24,000 años AP. Corresponde a la profundidad de 510 a 300 cm.

De 510 a 480 cm de profundidad la litología está integrada por la parte más superior del Flujo gris y por limos verdosos con huellas de raíces. El contenido de materia orgánica aumenta de 1.6 a 3.5% y finalmente disminuye de nuevo hasta hacerse cero. Por su parte los carbonatos aumentan desde 0.5 hasta 30% que es el más alto porcentaje de carbonatos registrado a lo largo de toda la columna estratigráfica de Metepec. Los valores de susceptibilidad magnética disminuyen de 60 a 55κ. El registro polínico muestra un porcentaje muy pequeño de polen de *Pinus* (0.5%). Asteraceae aumenta sus porcentajes de 0.5 a 1%. Se presenta 1% de Poaceae. Chenopodiaceae-Amaranthaceae disminuye de 5 a 1%. *Isöetes mexicana* presenta un porcentaje de 100%, el cual disminuye a 95% y finalmente vuelve a recuperarse hasta 100%. La relación polen regional/polen local indica la dominancia de este último. Los valores de concentración de polen son bajos y fluctuantes, siendo el menor de ellos de 20 granos x 100/cm<sup>3</sup> y el mayor de ellos 40 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 479 a 461 cm de profundidad la litología está formada por limos verdosos con huellas de raíces. El porcentaje de materia orgánica es de 2.5%, y el porcentaje de carbonatos es de 0.5%. Los valores de susceptibilidad magnética disminuyen de 55 a 40κ. En esta capa no se recuperó material polínico.

De 460 a 390 cm de profundidad la secuencia litológica se compone de limos verdosos con huellas de raíces, limo de color café oscuro y una secuencia fluvial compuesta a su vez por una secuencia de limo arenoso de color gris, guijarros y cantos rodados con macrorrestos, limos arcillosos finos de tonos claros, y limos arenosos de color café rojizo con raíces. La materia orgánica aumenta de 2.1% a 6.7%, en tanto que los carbonatos aumentan de 1 a 8.5% y finalmente disminuyen a 7%. Los valores de susceptibilidad magnética se incrementan de 42 a 88κ. En el registro de polen se observa un incremento de *Pinus* que va de cero a 9%, inmediatamente después se incrementa de manera abrupta a 61% (404 cm de profundidad), y enseguida experimenta un decremento hasta 6% (400 cm de profundidad), después de lo cual se recupera hasta un 24% (390 cm de profundidad). Los porcentajes de *Ainus* se

incrementan de 1 a 3%, Asteraceae también aumenta de 0.5 a 5%. En cambio Poaceae disminuye de 2 a 1%. *Isöetes mexicana* disminuye sus porcentajes de 100 a 92%, mostrando un notable decremento hasta 20% (404 cm de profundidad), del cual se recupera hasta alcanzar el 90% (400 cm de profundidad) y finalmente vuelve a disminuir hasta 67% a los 390 cm de profundidad. Cyperaceae aparece con un porcentaje de 1% coincidiendo con el decremento de *Isöetes mexicana*, y alcanza su mayor porcentaje (24%) al mismo tiempo que *Isöetes mexicana* presenta el más bajo porcentaje (404 cm de profundidad). La relación polen regional/polen local muestra una tendencia hacia la predominancia de los taxa locales sobre los regionales. La concentración de polen va de 40 a 600 granos x 100/cm<sup>3</sup> y posteriormente disminuye a 300 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 389 a 325 cm de profundidad la litología está constituida de limos arenosos de color café rojizo con raíces, ceniza volcánica y limos con algo de gravillas redondeadas y manchas rojizas. La materia orgánica disminuye de 1% a 0.2% aumentando paulatinamente hasta 1.5%. Los carbonatos aumentan sus porcentajes de 2.8 a 3.8% y posteriormente disminuyen hasta 2.8%. Los valores de susceptibilidad magnética tienen un comportamiento fluctuante, el cual disminuye de 170 a 115κ y después experimenta un incremento a 240κ que posteriormente desciende hasta 60κ. En este intervalo de profundidades no se recuperó polen.

De 320 a 300 cm de profundidad la litología es de limos con algo de gravillas y manchas rojizas. La materia orgánica aumenta de 1.5 a 2.2%, en tanto que los carbonatos están presentes en un 2.7%. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 38 a 58κ. El registro de polen muestra un bajo porcentaje de *Pinus* (6%). Así como muy bajos porcentajes de *Alnus* (0.5%). *Isöetes mexicana* en cambio presenta porcentajes que disminuyen de 100% a 90%. En la relación polen regional/polen local se hace evidente la dominancia de este último. La concentración de polen tiende a aumentar de 25 a 50 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

Los restos óseos de *Mammuthus columbi* y fauna asociada de camélido, équido y bisonte, fueron recuperados en esta segunda unidad entre los 399 y los 296 cm de profundidad dentro de un estrato fluvial en el que los primeros fueron encontrados en posición anatómica y poco disgregados.

**Unidad III.** Abarca de 24,000 a 11,600 años AP y corresponde a la profundidad de 300 a 80 cm. De 300 a 270 cm de profundidad la litología está integrada por la PTI fechada por Bloomfield y Valastro (1977) en 24,500 años AP. y lodo volcánico o lahar. La materia orgánica está presente con un 2.6%, mientras que los carbonatos se encuentran en un porcentaje de 0.2%. Los valores de susceptibilidad magnética disminuyen de 122 hasta 65κ. No se recuperó material polínico.

De 265 a 260 cm de profundidad la litología sigue siendo de lahar. Se registra un 2.2% de materia orgánica, los carbonatos están presentes en un 0.5%. Los valores de susceptibilidad magnética son de 50κ. El polen recuperado muestra 6% de *Pinus*, 1% de *Alnus*, 10% de *Asteraceae*, y 85% de *Isöetes mexicana*. La relación polen regional/polen local indica una dominancia de el polen local. La concentración de polen es de 20 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 255 a 230 cm de profundidad la litología se compone de ceniza volcánica, un estrato fluvial compuesto de guijarros con grava y arena, así como la base de una capa de lahar. No se registró materia orgánica ni carbonatos. Los valores de susceptibilidad magnética disminuyen de 305κ a 182κ. No se recuperó material polínico de esta capa.

De 225 a 220 cm de profundidad la litología continúa siendo de lahar. El contenido de materia orgánica es de 1.4% en tanto que el de carbonatos es de 1%. Los valores de susceptibilidad magnética son de 148κ. El polen recuperado muestra 4% de polen de *Pinus*, 2% de *Asteraceae* y 90% de *Isöetes mexicana*. La relación polen regional/polen local indica dominancia de el polen local sobre el regional. La concentración de polen es del orden de 90 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 215 a 195 cm de profundidad la litología es de lahar. La materia orgánica aumenta de 1.4 a 1.8%. Los carbonatos se mantiene en 1%. La susceptibilidad magnética disminuye de 100 a 70κ. No se recuperó material palinológico.

De 190 a 185 cm de profundidad la litología aún consiste de lahar. La materia orgánica es de 2.8% en tanto que los carbonatos están presentes en 1%. Los valores de susceptibilidad magnética es de 180κ. El registro de polen presenta 1% de *Alnus*, 1% de *Asteraceae* y 100% de *Isöetes mexicana*. La relación polen regional/polen local muestra la dominancia del polen local. La concentración es de 50 granos x 100/cm<sup>3</sup>.

De 180 a 85 cm de profundidad la litología está conformada por lahar, y la PTS fechada por Bloomfield y Valastro en 11,600 años AP. Los porcentajes de materia orgánica disminuyen de 1.8 a 1%. Los carbonatos se incrementan de 0.8 a 14.8% y posteriormente disminuyen hasta 1%. Los valores de susceptibilidad magnética se incrementan de 80 a 181 $\kappa$  y posteriormente vuelven a descender hasta 22 $\kappa$ . En este intervalo de profundidades no se recuperó material polínico.

**Unidad IV.** Abarca desde 11,600 años AP hasta  $105.2 \pm 0.8$ . y corresponde a la profundidad de 180 a 0 cm. La litología es una secuencia de lahar, PTS, ceniza gruesa, ceniza fina y suelo. La materia orgánica se incrementa de 2 a 5%. Los carbonatos disminuyen de 12.2 a 7.4%. Los valores de susceptibilidad magnética aumentan de 32 hasta 95 $\kappa$ . No se recuperaron palinomorfos en esta unidad debido tanto a los materiales volcánicos que la integran como a la perturbación del sitio.

## Capítulo VI. Discusión y Conclusiones.

De acuerdo con la cronología obtenida a partir del fechamiento por métodos radiométricos, los datos palinológicos y la correlación tanto estratigráfica como cronológica entre la secuencia de Metepec y la sección compuesta del Volcán Nevado de Toluca, se establecen cuatro ventanas o unidades de tiempo, las cuales se discuten de la más profunda a la más superficial.

**Unidad I.** (706 a 510 cm ) de 37,000 a 28,000 años AP. En esta ventana de tiempo se presenta una secuencia litológica compuesta de un flujo gris con una edad de 37,000 años AP (Macías, *et al* 1997), de 706 a 700 cm, limo de color café (700 a 675 cm), limo (675 a 640 cm), ceniza gris pobremente estratificada, también llamada Flujo gris (640 a 510 cm) fechado por Macías *et al* (1997) en 28,000 años AP. A partir de los estudios sobre la historia eruptiva del Nevado de Toluca se infiere que ambos flujos grises fueron producto de grandes erupciones de tipo explosivo del Volcán.

En el registro de polen de la unidad, se observa a partir de la porción media, un incremento de *Pinus* (2 a 80%). Se presentan valores bajos de Asteraceae (4 a 1%), Poaceae (2 a 4%). *Isöetes mexicana* que es un helecho acuático, presenta porcentajes de 100% en la porción basal de la unidad y disminuye hacia la parte media (40 a 12%). Las Cyperaceae están ausentes al inicio de la unidad y aumentan sus porcentajes (2 a 7%) en la parte media.

La ausencia de polen hacia la parte superior de la unidad probablemente se debe a la perturbación producida por la depositación de una gruesa capa (65 cm) del Flujo gris de 28,000 años AP.

A partir de los palinomorfos recuperados en esta unidad, se puede inferir la presencia de un ambiente de depósito consistente en un cuerpo de agua somero con importantes cantidades de *Isöetes mexicana*, dicho cuerpo de agua presenta periodos de disminución en el tirante de agua, evidenciado por el decremento en los porcentajes de *Isöetes mexicana* y la presencia de Cyperaceae. Tal cuerpo de agua se encontraba rodeado de escasa vegetación de tipo ruderal. La presencia de los taxa arbóreos en el

Flujo gris probablemente proviene de las zonas aledañas al sitio de estudio como el cerro Metepec o el Nevado de Toluca, para el cual Sandoval (1987) reporta una comunidad de bosque de *Pinus* con *Alnus* entre otros taxa.

La presencia relativamente abundante de polen de *Pinus* entre los 643 y 580 cm sugiere que se trata de polen proveniente de zonas alejadas, lo cual puede suponerse ya que el polen de *Pinus* viaja grandes distancias, o bien podría tratarse de polen acarreado durante la depositación del Flujo gris de 28,000 años AP. Es posible que el polen depositado haya sido acarreado en el frente del flujo piroclástico y no en las partes centrales o indistintamente todo el flujo, ya que de acuerdo con Fisher y Schmincke (1984) las temperaturas del frente de flujo son menos calientes que hacia el centro, en el cual se pueden registrar temperaturas muy cercanas a las magmáticas, conservándose éstas después de semanas e incluso meses después de que el flujo piroclástico ha sido depositado.

**Unidad II.** (510 a 300 cm) de 28,000 a 24,000 años AP. La secuencia litológica está compuesta por la parte superior del Flujo gris de 28,000 años AP (510 a 500 cm), limos verdosos con huellas de raíces (500 a 410 cm), una secuencia fluvial (400 a 355 cm), una ceniza volcánica (355 a 350 cm) y la PTI (310 a 300 cm). Esta es la unidad con mejor preservación de polen, dada la litología de limos y las concentraciones de palinomorfos que resultan ser las más altas de toda la secuencia de Metepec (hasta 600 granos x 100/cm<sup>3</sup>).

En el registro de polen, *Pinus* se presenta desde la parte media de la unidad con una tendencia hacia el aumento en sus porcentajes, el más alto de los cuales coincide con la presencia de bajos porcentajes de *Alnus*. *Isöetes mexicana* y los taxa herbáceos aparecen de manera temprana en el registro polínico de esta unidad lo cual puede interpretarse como el restablecimiento del cuerpo de agua, dándose al mismo tiempo la temprana recuperación de la vegetación local y los taxa ruderales en el sitio de Metepec, después de la erupción de el Flujo gris de 28,000 años AP. De acuerdo con la tasa de sedimentación obtenida (8.2 años x cm de sedimento depositado x año) se puede asumir una recuperación de los taxa arbóreos después de la erupción del flujo

gris hacia ca 27,580 años AP.

La edad asignada a los restos de mamutes se encuentra acotada hacia la parte inferior de la columna estratigráfica por una fecha de radiocarbono de 27,180±410 años AP y hacia arriba de la columna estratigráfica por la PTI de 24,500 años, siendo éste el intervalo de edades para dichos restos óseos. Asumiendo que el rango de edades para la presencia de *Mammuthus columbi* en Metepec, es de 28,000 a 24,000 años AP, y que al menos en el centro de México, los restos más antiguos de *Mammuthus* están fechados en ca 23,000 años AP, se puede afirmar que los mamutes de Metepec son tal vez los más tempranos documentados hasta ahora. Es importante destacar que estos restos óseos se pueden considerar como autóctonos en virtud del nulo grado de arrastre de que fueron objeto, como se deduce de la presencia de huesos totalmente articulados. Sin embargo, los fragmentos de fauna asociada de camélido, équido y bisonte tienen un carácter alóctono dado el grado de transporte y disgregación que presentan.

A partir de los elementos de juicio con los que se cuenta, no es posible determinar la causa de muerte de los mamutes, no obstante su presencia en el cuerpo de agua en un sitio abierto, tal como se evidencia el de Metepec, concuerda con los contextos de otros hallazgos de mamutes en sitios riparios (Mirambell, 1972; Lorenzo y Mirambell, 1986).

En lo que respecta a los hábitos alimenticios de los mamutes de Metepec, es factible que hubiesen incluido a *Isöetes mexicana* en su dieta, ya que de acuerdo con Pfeifer (1922) *Isöetes mexicana* es una planta palatable, en este mismo sentido Agenbroad (com. pers.) menciona reportes de *Loxodonta africana* que comen pastos acuáticos. Estas evidencias, junto con los análisis de excretas de mamutes en Utah y en Colorado, llevados a cabo por Davis *et al* (1984) y Agenbroad y Mead (1995) en las cuales se encontraron restos de vegetación acuática, indican con mucha seguridad que los mamutes de Metepec incluyeron en su dieta a *Isöetes mexicana* y que el sitio de estudio a la orilla del lago proporcionaba un ambiente adecuado para esta fauna.

**Unidad III.** (300 a 80 cm) de 24,000 a 11,600 años AP. La litología está compuesta por la zona de contacto entre la **PTI** (300 cm) y una capa de lahar (300 a 258 cm), así como por ceniza volcánica (258 a 253 cm), un estrato fluvial (253 a 232 cm), lahar (232 a 120 cm) y la **PTS** (120 a 80 cm). El registro polínico en esta unidad tiende hacia la disminución de los taxa arbóreos, así

como un aumento en los porcentajes de *Isöetes mexicana*, tal como se observa en la relación polen regional/polen local. El polen recuperado presenta discontinuidades en el registro, las cuales están dadas desde la parte inferior a la superior como sigue: De 300 a 270 cm de profundidad la ausencia de polen es atribuible a la presencia de la **PTI** y una capa de lahar, la cual es confirmada por los valores de susceptibilidad magnética la cual alcanza hasta 122κ

De 255 a 230 cm de profundidad se encuentra una capa de ceniza volcánica, un estrato fluvial, y la base de una capa de lahar, tal composición litológica impidió la preservación de los palinomorfos. Los altos valores de susceptibilidad magnética (182 a 305κ), así como la ausencia de materia orgánica contribuyen a confirmar el grado de perturbación y la nula productividad de esta capa.

De 180 a 85 cm de profundidad, la presencia de una capa de lahar y la **PTS** impidieron la depositación y preservación de los palinomorfos.

A partir de las evidencias litológicas y los elevados porcentajes de *Isöetes mexicana*, se puede pensar en un ambiente de depósito consistente en un cuerpo de agua cuya tendencia es hacia el aumento en el tirante de agua, dicho cuerpo de agua probablemente estuvo rodeado de escasa vegetación de tipo ruderal. La presencia de *Pinus* es atribuible a la vegetación existente en las elevaciones cercanas al sitio de estudio, tal vegetación arbórea desaparece a partir de la parte media de la unidad, debido a la actividad eruptiva del Volcán Nevado de Toluca, evidenciada en esta unidad por una capa de lahar y la **PTS**.

**Unidad IV.** (80 a 0 cm) de 11,600 años AP a  $105 \pm 0.8$  años. La litología es de ceniza gruesa (80 a 60 cm), ceniza fina (60 a 40 cm) y suelo (40 a 0 cm). Los fechamientos obtenidos en esta unidad ponen de manifiesto un hiatus que abarca buena parte del Holoceno temprano. La ausencia de registro de polen es atribuible por una parte a la presencia de ceniza volcánica, la cual impidió la depositación y preservación de palinomorfos, la ausencia de palinomorfos en la capa de suelo probablemente se debe a la perturbación del sitio.

## Conclusiones.

El análisis palinológico de la secuencia de Metepec revela que la diversidad a nivel polínico es baja. Dentro de los taxa regionales se encontraron representados como elementos arbóreos *Pinus* y *Alnus*, como hierbas se encontró polen de las familias Asteraceae, Poaceae y Chenopodiaceae-Amaranthaceae. Los taxa locales se hallaron bien representados por el helecho acuático *Isöetes mexicana* y la familia Cyperaceae también acuática.

A lo largo del tiempo que abarca la secuencia de Metepec las comunidades vegetales presentan cambios caracterizados por la recuperación de los taxa arbóreos después de cada evento eruptivo del Volcán Nevado de Toluca, durante estos cambios la tendencia general se orienta hacia el decremento y finalmente la desaparición de dichos taxa. Los taxa herbáceos por su parte se mantienen bajos y fluctuantes. Los valores de *Isöetes mexicana* se mantienen constantes y relativamente estables dado su carácter de elemento local, algunos de los decrementos que presenta coinciden con la presencia de Cyperaceae y a partir de ello se pueden inferir disminuciones en el tirante de agua.

La dinámica de las comunidades vegetales registradas en el sitio de Metepec, se encuentra modulada por la actividad volcánica del Volcán Nevado de Toluca en diferentes épocas, la cual además de incidir sobre las comunidades vegetales modificó la geomorfología de la zona. Autores como Caballero-Miranda *et al* (en prensa) proponen que la extensa e importante actividad volcánica depositó grandes cantidades de material volcánico en toda el área produciendo una elevación en la topografía del sitio de estudio, al mismo tiempo redujo la extensión del lago Chiconahuapan alejando el sitio de estudio del mencionado lago. De acuerdo con Fisher y Schmincke (1984), esto es posible dado que los flujos piroclásticos pueden fluír en grandes cantidades pudiendo de este modo enmascarar la topografía subyacente. Estas grandes masas de flujos piroclásticos viajan a velocidades oscilan entre 14 a 230 km/h cubriendo largas distancias

En la reconstrucción del ambiente de depósito se estableció una cronología que abarca los últimos 37,000 años AP al presente, con únicamente un hiatus para el Holoceno temprano. Tal cronología pone de manifiesto el intervalo de edades asignada a los restos óseos recuperados en el sitio de estudio, el cual corresponde a un lapso entre  $27,180 \pm 410$  y 24,000 años AP, la repercusión de ello se da en dos sentidos, por una parte se trata del primer registro de mamutes bien fechados, y además pone en evidencia lo que parece ser el registro más temprano de *Mammuthus columbi* en el centro de México.

El ambiente sedimentario que conforma el contexto de los restos óseos de los mamutes de Metepec, es un cuerpo de agua consistente en un río con una planicie de inundación, el cual presentaba gran abundancia de *Isöetes mexicana* y algo de Cyperaceae, dicho cuerpo de agua estuvo emplazado en un sitio abierto en el que crecía vegetación de tipo ruderal, el polen arbóreo probablemente fue depositado en el sitio de estudio por las corrientes fluviales y las corrientes eólicas provenientes de elevaciones como el cerro Metepec y El Nevado de Toluca.

La edad asignada a los restos de mamutes se encuentra acotada hacia la parte inferior de la columna estratigráfica por una fecha de radiocarbono de  $27,180 \pm 410$  años AP y hacia arriba de la columna estratigráfica por la PTI de 24,500 años, siendo éste el intervalo de edades para dichos restos óseos, asumiendo que el rango de edades para la presencia de *Mammuthus columbi* es de 28,000 a 11,000 años AP y que al menos en el centro de México, los restos más antiguos de *Mammuthus* están fechados en ca 23,000 años AP, se puede afirmar que los mamutes de Metepec son tal vez los más tempranos recuperados hasta ahora. Dichos restos óseos se pueden considerar como autóctonos en virtud del nulo grado de arrastre de que fueron objeto; los fragmentos de fauna asociada de camélido, équido y bisonte tienen un carácter alóctono dado el grado de transporte y disgregación que sufrieron.

## Bibliografía.

Agenbroad, L. D. 1988. *Clovis People: The Human Factor in the Pleistocene Megafauna Extinction Equation*. In: *Americas Before Columbus: Ice Age Origins*, compiled and edited by Ronald C. Carlisle. Ethnology Monograph 12, Department of Anthropology, University of Pittsburg, Pennsylvania. 63-67 p.

Agenbroad, L. D. and Mead, J. I. 1995. *Quaternary Geochronology and Distribution of Mammuthus on the Colorado Plateau*. Fossils of Arizona - Vol. III, Proceedings 1995; Southwest Paleontological Society and Mesa Southwest Museum, Mesa AZ 85201. 105-111 p.

Albores Z. B. A. 1995. *Tules y Sirenas. El Impacto Ecológico y Cultural de la Industrialización en el Alto Lerma*. Toluca, Estado de México: El Colegio Mexiquense: Gobierno del Estado de México. 478 p.

Atlas Nacional de México. 1992. Instituto de Geografía, U.N.A.M. México. 215 p.

Barba, P.L., 1981. *Guía Para el Fechamiento Por Carbono 14*. Instituto de Investigaciones Antropológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 21 p.

Beaty, Ch. B. 1978. *The Causes of Glaciation*. American Scientist Vol. 66:

Bengtsson, L., and Enell, M. 1986. *Chemical Analysis* 423-448 p. In: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Edited by B.E. Berglund. John Willey and Sons Ltd. New York, USA. 869 p.

Berglund, B.E. and Ralska-Jasiewiczowa, M. 1986. *Pollen Analysis and Pollen Diagrams*. In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology 423-448 p. Edited by B.E. Berglund. John Willey and Sons Ltd. New York, USA 869 p.

Bloomfield , K., and Valastro, S. 1974. *Late Pleistocene Eruptive history of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico*. Bull. Geol. Soc. Amer. 85: 901-906 p.

Bloomfield , K., and Valastro, S. 1977. *Late Quaternary Tephrochronology of Nevado de Toluca Volcano, Central, México*. Overseas Geol. Min. Res., 46: 1-15 p.

Bonilla-Barbosa, J.R., y Novelo, R.A. 1995. *Manual de Identificación de Plantas Acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México*. Cuaderno No. 26. del Instituto de Biología, UNAM. México. 168 p.

Bryant, V.M. Jr. 1990. *Pollen: Nature's Fingerprints of Plants*. In: Yearbook of Science and the Future. Encyclopedia Britannica, Inc., Chicago. 92-111 p.

Caballero-Miranda, M., Macías, V. J. L., Urrutia-Fucugauchi, J. Sedimentology. *Late Pleistocene-Holocene Volcanic Stratigraphy and Palaeoenvironments of the Upper Lerma Basin, Mexico. Late Quaternary Volcanic and Lacustrine Evolution, Central Mexico*. Sedimentology, 1997; 23 p. (in press).

Cantagrel, J. M., Robin, C., Vincent, P. 1981. *Les Grandes Étapes d'un Volcan Andésitique Composite: Exemple du Nevado de Toluca (México)*. Bull. Volcanol., Vol. 44-2, 177-188 p.

Carta Edafológica CETENAL. 1976. Toluca E 14-A-38. Escala 1:150,000.

Cuaderno Estadístico Municipal. *Meteppec, Estado de México*. Edición 1993. INEGI. 88 p.

Davis, O. K., Agenbroad, L. D., Martin, P. S., and Mead, J. I. 1984. *The Pleistocene Dung Blanket of Bechan Cave, Utah* In: Genoways, H. H., and Dawson, M. R., eds., *Contributions in Quaternary vertebrate paleontology* Carnegie Museum of Natural History Special Publication. 267-282 p.

De Cserna, Z. *Excursión México, D.F.-Temascaltepec*. 1-25 p. In: Libro-Guía de la excursión Geológica a Tierra Caliente Estados de Guerrero y México. Sociedad Geológica Mexicana. Convención Geológica Mexicana. México, D.F. 10 - 13 de septiembre de 1978. 44 p.

Erdtman, G. 1960. *The Acetolysis Method. A Revised Description*. Svensk Bot. Tidskr., v. 54, n. 4, 564 p.

Fisher, D. C. 1996. *Extinction of Proboscídeans in North America*. In: Shoshani J. and Tassy P. (eds.) "The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and their Relatives". Oxford University Press, Oxford, England. 470 p.

Fisher, R. V. and Schminke, U.H. 1984. *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag. New York. 471 p.

González-Quintero, L. y Sánchez-Martínez, F. 1980. *Determinación Palinológica del Ambiente en que Vivieron los Mamútes en la Cuenca de México*. Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología. F. Sánchez M. Coordinador. Colección Científica 86 I.N.A.H. México, D. F. 80 p.

Harington, C.R. *Mammoths, Bison and Time in North America*. In: Quaternary Dating. Methods Developments in Palaeontology and Stratigraphy. Editor: W.C. Mahaney 340 p.

Haynes, G. 1991. *Mammoths, Mastodonts and Elephants. Biology, Behaviour and the fossil record*. Cambridge University Press. Printed in USA. 195-273 p.

Heine, K. 1971. *Fechas C14 de los Sedimentos del Volcán de La Malinche, México*. Anuario de Geografía, 11; 177-184 p.

Heine, K. 1994. *The Late Glacial Moraine Sequences in Mexico: is there Evidences for the Younger Dryas Event?* Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 112: 113-123 p.

Huitron, A. 1962. *Metepec. Miseria y Grandeza del Barro*. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. México, D.F. 188 p.

Kapp, R. O. 1969. *How to Know Pollen and Spores*. Picture key nature series. W. M. C. Brown Co. Pub. Dubuque Iowa. USA. 249 p.

Krutzsch, W. 1967. *Atlas der Mittel- und Jungertiaren Dispersen Sporen-und pollen-sowie der Mikroplanctonformen des Nordlichen Mitteleuropas, Lieferung IV-V Weitere azonotrilete ( apiculata, muronata), zonotrilete, monolete und alete Sporenformen*. Veb Gustav Fisher Verlag Jena. Mitteilung aus den Zentralen Geologischen Institut Berlin. 232 p.

Leet, L. D. y Judson, S. 1990. *Fundamentos de Geología Física*. Edit. LIMUSA. México, D.F. 450 p.

Lister, A. M. 1993. *Evolution of Mammoths and Moose: the Holartic Perspective*. 178-204 p. In: Morphological Change in Quaternary Mammals of North America. Edit. by Robert A. Martin and Anthony D. Barnosky. Cambridge University Press. USA. 415 p.

Lorenzo, J. L. y Mirambell, L. 1986. *Mamutes Excavados en la Cuenca de México (1952-1980)*. Cuaderno de trabajo No. 32. INAH. 151 p.

López, R. E. 1979. *Geología de México*. Tomo III. 2a. edición. México, D.F. 446 p.

Lozano-García, M. S. and Ortega-Guerrero B. 1994. *Palynological and Magnetic Susceptibility Records of Lake Chalco, Central Mexico*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109 (1994) 177-191 p.

Lugo, H.J., 1989. *Diccionario Geomorfológico. Con Equivalentes de los términos de Uso Más Común en Alemán, Francés, Inglés y Ruso*. Universidad Nacional Autónoma de México. 337 p.

Macías, J.L., García, A., Arce, J.L., Siebe, G. C., Espindola, J.M., Komorowski, J.C. y Scott, K. 1997. *Late Pleistocene, Holocene Cataclismic Eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlán Volcanoes, Central México*. Excursión No. 14 Field Guide. January 28<sup>th</sup> to February 1<sup>st</sup>, 1997. IAVCEI Plenary Assembly Puerto Vallarta, Jalisco, México. 63 p.

Macías, J.L., García, A.P., Arce, J.L., Siebe, G. C., Espindola, J.M., Komorowski, J.C. y Scott, K. *Late Pleistocene, Holocene Cataclismic Eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlán Volcanoes, Central México*. *BYU Geology Studies* 1997, Vol. 42, Part 1; 493-528 p.

MacPhee, R. D. and Marx, P. A. 1997. *The 40,000-Year Plague: Humans, Hyperdisease, and First-Contact Extinctions*. In: S. M. Goodman and B. D. Patterson. *Natural Change and Human Impact in Madagascar*. Smithsonian Institution Press. 169-217 p.

Mapa Topográfico de Toluca, Edic. 1994. Escala 1: 50,000. INEGI.

Martínez, M. 1987. *Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas*. Fondo de Cultura Económica. México. 1247 p.

Metepec, Gobierno del Estado de México. 1973. *Monografía*. Metepec, Estado de México. 140 p.

Mirambell, L. 1972. *Una Osamenta Fósil en el Exlago de Texcoco*. Boletín No. 2 del INAH. Epoca II julio-septiembre de 1972; 64 p.

Moore, P.D., Webb, J. A. and Collinson, M.E. 1991. *Pollen Analysis*. Second Edition. Blackwell Sci. Pub. Great Britain. 216 p.

Morett, L., Arrollo-Cabrales, J. y Polaco, J.O. 1996. *El sitio Paleontológico de Tocuila*. Revista Arqueología Mexicana. V. 5, Num. 30: 57p.

Murillo, R.S. 1994. *Hallazgo de Fauna Pleistocénica en Metepec, Estado de México*. Centro INAH, Estado de México. 1-7 p.

Murillo, R.S. y Carbajal, C. .1994. *El Mamut de Metepec*. Revista Arqueología Mexicana. 1;5: 78-79p.

Olsson, I. U. 1986. *Radiometric Dating*. In: Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. 273-296 p. Edited by B.E. Berglund. John Willey and Sons Ltd. New York, USA. 869 p.

Pigg, Kathleen, B. *Evolution of Isoetalean Lycopoids*. Ann. Missouri Bot. Gard. 79: 589-612. 1992.

Pfeifer, N. E. 1922. *Monograph of Isoetaceae*. Ann. Mo. Bot. Gard. Vol. 9:79-232 p.

Punt, W. et al. 1994. *Glosary of Pollen and Spore Terminology*. LPP Foundation, Utrecht, LPP Contributions Servies No. 1 Lab. of Palaeobotany and Palinology, Univ. of Utrech Heidelberglaan, Netherlands. 90 p.

Quezada, R. Ma. N. 1996. *Los Matlatzincas. Época Prehispánica y Época Colonial Hasta 1650*. Primera reimpresión. Edita: La Dirección General de Publicaciones del Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 142 p.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Edit. LIMUSA. México. 432 p.

Robinson, E. S. 1990. *Geología Física Básica*. Edit. LIMUSA, S.A. México. 699 p.

Sánchez-Rubio, G. *Excursión Temascaltepec, México*. 26-33-p. In: Libro-Guía de la excursión Geológica a Tierra Caliente Estados de Guerrero y México. Sociedad Geológica Mexicana. Convención Geológica Mexicana. México, D.F. 10 - 13 de septiembre de 1978; 44 p.

Sandoval, B. A.J., 1987. *Actualización y Análisis Cartográfico Sobre Usos de Suelo y Vegetación del Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México*. Tesis, Licenciatura. Biol. Univ. Nal. Autón. México. 120 p.

Sugiura, Y. Y. 1968. *El Material Cerámico Formativo del Sitio 193, Metepec, Edo. de México. Algunas Consideraciones*. Anales de Antropología, Tomo I: Arqueología y Antropología Física, México, UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas. 129-148 p.

Torquemada, Fray Juan de. 1943. *Monarquía Indiana*. Ed. Salvador Chávez Hayhoe. México, D.F. 768 p.

Traverse, A. 1988. *Palaeopalynology*. Published by Academic Division of Unwin Hyman Ltd, printed in Great Britain by Bidles of Guildford. 435 p.

Tryon, R. M. 1982. *Ferns and Allied Plants. With Special Reference to Tropical America*. Springer Verlag-New York. 500 p.

Tryon, A.F. and Lugardon, B. 1991. *Spores of the Pteridophyta*. Springer-Verlag New York Inc. 648 p.

Vázquez, S. L. 1991. *Glaciaciones del Cuaternario Tardío en el Volcán Teyotl, Sierra Nevada*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. 22, 1991, 25-45, México.

Yarza, De la Torre, E. 1992. *Volcanes de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. 173 p.