

28  
23

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

AREA: EDAFOLOGÍA

**LOS CAMBIOS AMBIENTALES A TRAVÉS DE LA  
DETERMINACIÓN DE FASES Y SUS EFECTOS  
SOBRE LAS VARIACIONES FÍSICAS, QUÍMICAS  
Y BIOLÓGICAS EN SUELOS DEL ALTO LERMA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O**

PRESENTA:

**PEDRO JUAN MÉNDEZ CORTÉS**

L

DIRECTOR DE TESIS:  
M.C. JOSÉ MIGUEL CASTILLO GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F.

DICIEMBRE 1998



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*... detrás de los fríos cristales llovía tristemente y entre lagrimas de duelo padres, hermanos y amigos escuchando al pastor que decía:  
"el no ha muerto, el no morirá, solo la naturaleza lo cambia de lugar"...*

Con amor y cariño para aquellas personas que se adelantaron, pero que en mí corazón siguen presentes: Moisés Méndez Aguilar (Papá), Germán y Francisco (Hermanos).

Para mi madre: Maximina Cortés Mexca con todo el amor y cariño que siento por ella.

Para mis hermanos: Andrés, Aurelia, Guille, Teresa, Luz y Damián. Así mismo para mi cuñada (os) y todos mis sobrinos.

Para ti que eres la **Luz** que ha llegado a alumbrar mi camino.

**GRACIAS**

Ya que sin ustedes no lo habría logrado

## **GRACIAS:**

Al M.C. Miguel Castillo González, por su apoyo y amistad para lograr este objetivo, así como la dirección y revisión del presente trabajo y por haberme hecho participe de este proyecto de investigación.

Al Biól. Ramiro Ríos Gómez, por las sugerencias en la revisión del escrito.

A la M.C. Lourdes Castillo Granada, por el apoyo en la lectura de las muestras, revisión y sugerencias del escrito y por brindarme su amistad.

A la Biól. Maricela Arteaga Mejía, por dedicarme tiempo para la lectura de muestras y la revisión y sugerencias del escrito y por brindarme su amistad.

A la Biól. María de los Angeles Galván Villanueva, por la revisión y sugerencias y por brindarme su apoyo y amistad en el curso de la licenciatura.

**Un agradecimiento especial para:**

La Dra. Yoko Sugiura Yamamoto, por su apoyo incondicional y sus consejos, gracias a los cuales llegue a esta etapa.

Al profesor Antonio Flores Díaz, por su ayuda en la revisión y sugerencias del trabajo.

Al profesor Gilberto Matamoros Trejo, por su amistad y apoyo en los momentos difíciles.

Al profesor Germán Calva Vásquez, que aunque no lo crea aprendí muchas cosas al llegar al Laboratorio de Contaminación Atmosférica.

A mis compañeros de licenciatura, Chucho, Luis y Juan Carlos.

**GRACIAS**

ESTE TRABAJO FUE REALIZADO GRACIAS:

AL APOYO OTORGADO POR CONACYT PARA EL PROYECTO " EL  
AGUA, EL BOSQUE Y EL HOMBRE EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO  
LERMA UN ESTUDIO MULTIDISCIPLINARIO", DESARROLLADO EN  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS, UNAM.  
DIRECTORA: DRA. YOKO SUGIURA Y.

AL LABORATORIO INTEGRAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO  
(LIDET) FES ZARAGOZA UNAM.  
RESPONSABLE: M.C. MIGUEL CASTILLO GONZÁLEZ.

AL LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA  
RESPONSABLE: BIÓL. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ.

AL LABORATORIO DE QUÍMICA Y SUELOS DEL INAH  
RESPONSABLE: BIÓL. ANTONIO FLORES DÍAZ.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	8
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	9
4.1. LOCALIZACIÓN .....	9
<b>5. MEDIO FÍSICO</b> .....	11
5.1. CLIMA .....	11
5.2. GEOLOGÍA.....	12
5.3. GEOMORFOLOGÍA.....	16
5.4. TOPOGRAFÍA.....	18
5.5. EDAFOLOGÍA.....	20
<b>6. MEDIO BIOLÓGICO</b> .....	22
6.1. VEGETACIÓN .....	22
<b>7. MEDIO LACUSTRE</b> .....	26
7.1. HIDROLOGÍA.....	26
<b>8. OBJETIVOS</b> .....	29
8.1. OBJETIVO GENERAL .....	29
8.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	29
<b>9. HIPÓTESIS</b> .....	30
<b>10. MÉTODO</b> .....	29
10.1. LOCALIZACIÓN DE LOS PERFILES .....	31
10.2. TRABAJO DE CAMPO .....	33
10.3. TRABAJO DE LABORATORIO .....	33
10.4. ANÁLISIS FÍSICOS .....	33
10.5. ANÁLISIS QUÍMICOS .....	33

<b>11. RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>12. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
12.1 PERFIL 1 "EL TEJOCOTE" .....	34
12.1.1. <i>Análisis de resultados.</i> .....	34
12.1.2. <i>Determinación de fases</i> .....	43
12.1.3. <i>Interpretación de los resultados.</i> .....	45
12.2 PERFIL 2 "EJIDO SANTA CRUZ" .....	47
12.2.1. <i>Análisis de resultados.</i> .....	47
12.2.2. <i>Determinación de fases</i> .....	59
12.2.3. <i>Interpretación de resultados</i> .....	61
12.3. PERFIL 3 "LA MUSARAÑA" .....	63
12.3.1. <i>Análisis de resultados</i> .....	63
12.3.2. <i>Determinación de fases</i> .....	74
12.3.3. <i>Interpretación de resultados.</i> .....	77
<b>13. CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
13.1. PERFIL 1 "EL TEJOCOTE" .....	78
13.2. PERFIL 2 "EL EJIDO S.C." .....	79
13.3. PERFIL 3 "LA MUSARAÑA" .....	80
13.4. CONCLUSIÓN GLOBAL.....	81
<b>15. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>



## RESUMEN

Los suelos y sedimentos se ven afectados en su desarrollo y evolución por factores internos y externos, los cuales en una relación dinámica causan las variaciones de los estratos que los conforman. Estas variaciones se ven reflejadas en las propiedades físicas, químicas y biológicas definiendo eventos semejantes a nivel ambiente, de donde pueden ser tomadas y agrupadas en fases presentándose como una consecuencia de los eventos sucedidos a través del tiempo

En el Valle del Alto Lerma situado aproximadamente a una altitud de 2580 m, se han presentado una variedad de eventos, como volcánicos, tectónicos y climáticos, que están asociados a procesos de sedimentación y la desecación del cuerpo lacustre, que en conjunto dan las variaciones a los estratos de suelos y sedimentos.

En este estudio se realizaron tres perfiles pedológicos para determinar las variaciones físicas, químicas y biológicas para la identificación de los paleoambientes que se presentaron en la zona a través de la definición de sus fases.

Se siguió un transecto de NE-SW partiendo de la localidad de San Pedro Tlaltizapan. El estudio de las variaciones en los perfiles, determinaron 3 fases y una zona de transición para el primero; 6 fases y dos zonas de transición en el segundo y 4 fases y 3 zonas de transición para el tercero, los cuales reflejan las condiciones ambientales de gran variabilidad.

La determinación de las diferentes fases permiten concluir la ocurrencia de 4 etapas en los eventos ambientales: 1) Etapa seca, inducida por eventos volcánicos fechados entre los 11,000-10,000 años A.P. (antes del presente); 2) Etapa húmeda, presentándose entre los 9,000-8,000 años A.P., donde las constantes precipitaciones producen un crecimiento en el cuerpo lacustre; 3) Etapa húmeda-seca, que produce una mayor variabilidad en los perfiles, la cual se determinó en dos épocas, de 8,000-5,000 años A.P., siendo de menor humedad y de 6,000 a 3,000 años A.P., con fluctuaciones de húmedo-seco, siendo la de mayor variabilidad y 4) Etapa seca, cuyo comienzo es aproximadamente hace 3,000 años A.P., y que en la actualidad se ha visto acelerada

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los suelos y sedimentos, se ve afectado en sus procesos de formación por factores externos e internos, los que influyen de manera directa en la variación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, a lo largo del perfil o de su estratificación durante los procesos sedimentarios, de tal manera que al someterlas a un estudio, existen evidencias que permiten identificar las condiciones del medio, sus cambios y estabilidad.

La utilización de sedimentos lacustres y materiales edáficos, así como los análisis de polen y diatomeas, además de otras técnicas, son herramientas de gran importancia en el estudio de los ambientes del pasado, los sistemas lacustres proporcionan información sobre una región determinada, incluyendo su historia biológica y el desarrollo histórico sedimentológico, para poder inferir los paleoambientes ocurridos en el proceso evolutivo de la zona de manera local o regional.

Los sedimentos y suelos de origen lacustre, han sido poco estudiados, a pesar de que a partir de ellos pueda obtenerse una buena parte de la historia de sus cuencas y el desarrollo de los lagos (Engstrom y Wright, 1987).

Los suelos y sedimentos en su desarrollo son afectados por diversos factores y procesos de formación, los cuales reflejan los elementos ambientales, que dieron origen a un determinado tipo de suelo y a la acumulación de sedimentos. De esta forma, la complejidad de los factores externos o formadores influyen de manera general a la edafogénesis, mientras que los procesos formadores del suelo, otorgan las características distintivas para el desarrollo de las capas u horizontes (Retellack, 1990).

Estos factores y procesos de formación, actúan de manera distinta, pero siempre conducen al desarrollo y evolución del suelo, así como a la dinámica de sedimentación

Jenny en 1941 establece los principales factores formadores del suelo: clima, vegetación, material parental, topografía (relieve) y tiempo, mientras que los procesos de

formación se reducen a tres: físicos, químicos y biológicos (Retzlack, 1990), dentro de los cuales destaca la adición, la translocación y la transformación, entre otras

El clima es considerado como el factor más importante en la determinación de las propiedades de los suelos, donde la precipitación y temperatura influyen en el control de los caracteres edáficos. La humedad es fundamental, debido a que participa en la mayor parte de los procesos físicos, químicos y bioquímicos del suelo, mientras que la temperatura interviene principalmente en los procesos químicos, bioquímicos y biológicos.

La topografía controla la distribución y catenas de los suelos en los distintos paisajes, contrastando con la morfología y propiedades físicas, las cuales mantienen un equilibrio con las condiciones locales existentes. Muchas de las diferencias de los suelos, se deben a la variedad de la topografía y a sus combinaciones con el microclima, pedogénesis y la geología superficial

El material parental influye de manera determinante en el grado de variación de las propiedades, destacando las relacionadas con el aporte de rocas y minerales, que proporcionan características distintivas primarias en el suelo y sus horizontes, con la interacción del tiempo y otros factores.

La vegetación regula el contenido de humedad, los procesos bioquímicos y químicos que promueven la degradación del material parental; además de intervenir en la formación y regulación del microclima. De igual forma resulta la fuente primordial de materia orgánica y controla los procesos de mineralización y humificación.

El tiempo es un factor que determina el desgaste de las rocas, intemperización de minerales, dinámica de la materia orgánica y el desarrollo de las características del suelo. Favorece además la ocurrencia de una diversidad de tipos de intemperismo y varias características del suelo, por la transformación paulatina de los minerales primarios y la formación en otros de tipo secundario

Los procesos que forman al suelo, son físicos, químicos y biológicos. por ejemplo el desgaste o la erosión. Los procesos físicos no alteran la naturaleza química y mineralógica de las rocas y minerales durante la formación del suelo y actúan fundamentalmente sobre las rocas y sedimentos, y se relacionan con el desgaste del material parental, debido en muchos

casos a la presencia o no de organismos vegetales, así como el fracturamiento de las rocas, a consecuencia de la expansión y contracción causada por la alternancia de la temperatura diaria, que determina de manera general el tamaño de las partículas, lo que a su vez favorece la circulación del aire y agua en el interior del suelo.

Los procesos químicos modifican la naturaleza de las rocas y minerales y los transforman en otros elementos, los indicadores de los procesos químicos son carbonatación, hidrólisis, oxidación, hidratación, disolución además de sus reacciones inversas, como son la alcalinización, reducción, deshidratación y precipitación.

Por último, los procesos biológicos, influyen en las condiciones químicas y propiedades físicas, se presentan asociados a la influencia de los diferentes organismos vivos, que juegan un papel importante como elementos que regulan diferentes características químicas y físicas, producto de su actividad fisiológica, además del aporte de una gran diversidad de residuos y desechos orgánicos, los que se liberan al medio.

## 2. ANTECEDENTES

Tanto los sedimentos como el suelo sufren dos principales procesos de formación, los de tipo endógeno (vulcanismo, tectonismo y climáticos como serían las glaciaciones) y los exógenos (como la erosión producto de la topografía, escurrimientos superficiales, transporte de material, deforestación, asentamientos y actividades humanas, entre otros). De tal manera que la génesis y la morfología de los suelos y sedimentos, conservan rasgos que permiten distinguir la influencia de los procesos y factores.

El suelo al formar parte del ecosistema se ve influido por los cambios ambientales antes y después de su formación (Martini y Chessworth, 1992). En los sedimentos se reflejan componentes pertenecientes a los procesos de depositación, debido a los cambios presentados durante las distintas etapas y eventos, tales variaciones se manifiestan en la transición en las fases sedimentarias, las cuales son controladas principalmente por factores físicos, tal como se presenta en los ciclos glaciares (Lysa y Landvik, 1994).

El registro de la historia de los paisajes lacustres, es preservado en muchos casos en las columnas sedimentarias (Thomas, 1988), los sedimentos contienen una mezcla de componentes fósiles, como el polen, microfósiles de plantas, diatomeas, entre otros, los cuales proveen información de la región como su riqueza vegetal tanto actual como antigua, así como información de la historia de su pasado hidrológico o "paleohidrología" (Engstrom y Wright, 1988). El estudio de los sedimentos lacustres es muy complejo, debido a su gran heterogeneidad. El volumen de los sedimentos está constituido por componentes orgánicos e inorgánicos, los primeros incluyen, organismos autóctonos y alóctonos, mientras que los componentes inorgánicos son partículas de minerales, que pueden ser del área o tener un origen distante o alóctono. Por lo tanto la mezcla heterogénea de los sedimentos lacustres, se puede clasificar, de acuerdo con su origen, en materiales aloigenéticos que son los que provienen del exterior y los autigenéticos, que son depositados directamente (Engstrom y Wright, 1984).

Los estudios de las zonas lacustres se han enfocado principalmente a determinar los efectos provocados por las acciones humanas, al modificar las cuencas hidrográficas (Thomas, 1988), ya que transforman su morfología, destruyen la vegetación circundante y en algunos casos construyen montículos dentro del lago. De esta forma los estudios de zonas lacustres, no solo reflejan los efectos derivados de las actividades antropogénicas, sino

que son una ayuda para la determinación de la historia y estabilidad del paisaje, su respuesta a los cambios del clima y el desarrollo del suelo

Por otra parte, cabe destacar que los trabajos realizados para la descripción del clima y de los cambios ambientales, que acontecieron durante el Periodo Cuaternario y la Época del Holoceno en México, son escasos, originando un limitado conocimiento de los cambios ambientales sucedidos durante ese tiempo en la República Mexicana

Los diferentes trabajos realizados en la zona central del país encaminados al estudio de los distintos eventos del Holoceno, en lo que se refiere a cambios ambientales y climáticos, son inconcluyentes y contradictorios, además de que varios autores hacen mención a la existencia de una inestabilidad ambiental en esta región (Metcalf, 1991)

Por lo anterior se hace necesario el estudio de los cambios ambientales-climáticos ocurridos, en la Época del Holoceno en México, ya que esta Época está rodeada de una inestabilidad ambiental a nivel mundial, con grandes cambios que modificaron los distintos paisajes, aunado a la influencia humana, que en un tiempo relativamente corto (a partir de los 3,000 años) hasta la actualidad, han contribuido a su deterioro. De esta forma y teniendo en cuenta que esta degradación se ha acentuado en los últimos años, es necesario realizar estudios encaminados a conocer los elementos de análisis presentes en los materiales lacustres, que permitan reconstruir los paleoambientes y las causas e intensidad de los procesos de formación de estos sistemas.

Cabe mencionar que los estudios acerca de los cambios ambientales en las zonas lacustres, en el centro de México se han llevado de manera aislada, presentándose dificultades en la reconstrucción de los paleoambientes, debido a los diferentes criterios y técnicas de trabajo (Metcalf, 1991).

Los cambios ambientales en distintos sitios del país, registrados de manera contundente en la estratigrafía, han dado como resultado la existencia de climas de condiciones frías a secas, como lo menciona Mirambel (1978), Heine (1973), y Bradbury (1971) quien infiere un clima seco aproximadamente a partir de los 10,000 años en el Lago de Texcoco. Estas conclusiones han sido confirmadas por varios autores a través de diferentes tipos de estudios, como los relacionados con el polen, que han verificado

información de gran relevancia para el esclarecimiento del Cuaternario en México, debido a que proporcionan la información de la vegetación pasada y actual "in situ" y sus alrededores

Dentro de los estudios que se han realizado en la zona centro de México, se tienen los de Bradbury (1971) cuyos trabajos sobre el Lago de Texcoco, menciona que aproximadamente hace 100.000 años, el lago era inmenso donde prevalecían las condiciones frías y abundantes precipitaciones, y que posteriormente las condiciones fueron menos húmedas reduciendo el cuerpo lacustre y aumentando la salinidad en el centro del lago. A partir de los 10.000 años la historia del lago es marcada por el retorno de la masa floral xerica sugiriendo un clima seco. Además el mismo autor establece que existe una transición climática entre el Pleistoceno y el Holoceno, que se presentó cerca de los 10.000 años, los cuales varían de condiciones frías y secas a cálidas y húmedas (Bradbury, 1982).

González Quintero (1980), determina las variaciones climáticas para el Holoceno en la zona central de México, por medio del análisis polínico, sugiriendo cinco etapas las cuales son: fría-árida, fría-húmeda, templado-seca, fría-húmeda y, por último, cálida-seca. Además menciona que las dos etapas frías-húmedas, ocurrieron en los periodos glaciares en la zona central de la República, en el cual el más antiguo posiblemente corresponde al Tardiglacial, anterior a los 10,000 años. En el estudio realizado en las costas de Guerrero, González Quintero (1980) define cuatro etapas las cuales parten de una cálida-húmeda aproximadamente a los  $3,170 \pm 280$  A.P., posteriormente entre los  $2,270 \pm 105$  A.P. se presenta una etapa cálida-seca; después una templada y por último la actual, la cual el autor no definió puntualmente, pero a través de sus gráficas de periodicidad climática se observa que la precipitación disminuye y la temperatura aumenta, pero con una marcada tendencia hacia una etapa cálida-seca.

La tendencia de partir de un clima frío-árido o templado-húmedo, sólo refleja el método utilizado así como de la zona de estudio, la cual en muchas ocasiones enmascara dichas variaciones que pueden interferir en el logro de una mejor definición, aunado a la falta de fechamientos, lo que dificulta su correlación. Diferentes autores presentan estas características pero al final determinan una tendencia hacia una etapa cálida-seca, como González y Montufar (1980), González y Fuentes (1980), Sears (1951, 1952 y 1955) y González (1986).

Existen otros trabajos que no están relacionados con estudio de polen, pero que son importantes para la determinación de la variabilidad climática. tal es el realizado por Flores (1986) en Tlapacoya, Estado de México, donde empieza por definir los cambios climáticos mediante el agrupamiento de capas, las cuales determinan condiciones pedológicas similares en su desarrollo y que como consecuencia determinan las oscilaciones de manera mas fina y puntual en el esclarecimiento de un modelo climático. En este estudio el autor menciona que antes de 33,000 A.P las condiciones eran de una mayor humedad, pero que posteriormente fueron disminuyendo hasta llegar a una estabilización y presentarse una etapa de sequía aproximadamente a los 25,000 a 24,000 años A.P. (antes del presente), todo esto en condiciones más frías

Después de estas etapas, sobreviene un aumento en la humedad (pero menor que la anterior), que posteriormente se presentaron con oscilaciones de mayor-menor humedad, aproximadamente a los 8,000 a 3,000 años A.P. todas estas variaciones con un clima menos frío. La última etapa descrita se presenta de los 2,000 años al actual, con una tendencia hacia una sequía además de un aumento en la temperatura, lo cual se define como un clima seco-cálido.

Por otra parte, la escasa información de los cambios climáticos y ambientales ocurridos en el país durante el periodo Cuaternario, han ocasionado que sean motivo de estudio por varios investigadores, proporcionando una gran información, que sin embargo resulta insuficiente en el estudio de las cuencas lacustres de la zona central de México



### 3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo, pretende ofrecer una aportación al estudio de los eventos paleoambientales y sus características presentes en el Valle de Toluca, tomando como base las variaciones en suelos y sedimentos, que han sido el resultado de una gama de diferentes cambios registrados. Además de aportar otra forma de desarrollar el estudio y comprensión de los distintos fenómenos que ocurren en el suelo, con la intención de estimular la producción de otros trabajos similares, y de esta forma, acrecentar el escaso número que existe actualmente. Cabe resaltar la importancia histórica y ecológica de esta zona en tiempos pasados, como sitio de desarrollo de culturas prehispanicas.

Se resalta la importancia del trabajo al proporcionar información valiosa que puede correlacionarse con diferentes acontecimientos que están sucediendo a nivel mundial, como el cambio climático global, que como consecuencia secundaria produce distintas modificaciones ecológicas, las que asociadas al intenso crecimiento de los asentamientos humanos incrementan su efecto. Cabe recordar que existen evidencias que demuestran un cambio ambiental, el cual tiene una tendencia hacia condiciones más áridas (secas), por lo que se hace un llamado para la formación de profesionistas e investigadores interesados en este tipo de trabajos, tomando en consideración que las zonas húmedas serán cada día más escasas, mientras que las zonas secas ocuparan una mayor superficie, situación que se traduce, a futuro, en acelerar los distintos mecanismo de la desertificación y, por ende, un descenso de la producción alimenticia, entre otros aspectos.

## 4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

...primero se formaron la tierra, las montañas y los valles; se dividieron las corrientes de agua, los arroyos se fueron corriendo libremente entre los cerros, y las aguas quedaron separadas cuando aparecieron las altas montañas.

Papal Yuh.

### 4.1. Localización

El Estado de México, está situado en la zona que conforma la Altiplanicie Meridional, formada por varias sierras, otorgándole un aspecto muy accidentado y variado. Es atravesado de Oriente a Poniente por el Eje Neovolcánico Transversal, el cual lo divide en dos partes: 1) la mesa del Anahuac, que corresponde a la zona Norte, con una mayor elevación; y 2) la cuenca del Río Balsas, al Sur, que es una región de menor altitud y que vierte sus aguas al Océano Pacífico (figura. 1).

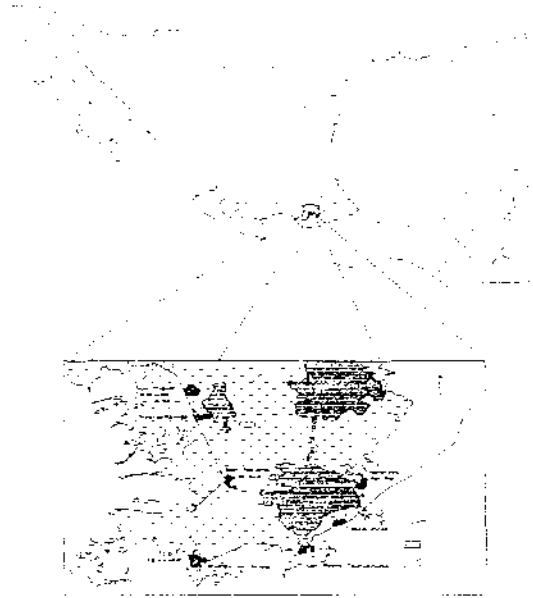


Figura 1. Localización de la cuenca alta del río Lerma, ubicada en la porción central del Estado de México.

La zona de estudio esta comprendida en el extremo sur del sistema hidrológico 12 Lerma-Chapala-Santiago, ubicada en la provincia fisiográfica llamada Faja Volcanica Transmexicana (Mosser, 1969), la cual es el producto del vulcanismo del Cuaternario principalmente, cuyo origen se remonta desde el Oligoceno. Esta provincia fisiografica se compone de grandes estratos volcánicos de composicion variada, además de pequeños volcanes monogenéticos de composición basáltica y andesítica

Al igual que la cuenca de México, el Valle de Toluca se ve rodeado por elevaciones volcánicas y en su porción interna presenta una serie de lagunas que actualmente se encuentran desecadas casi en su totalidad

El Valle es circundado por altos estratos volcánicos, dentro de los cuales dominan el Ajusco (3,937 msnm) situado al Sureste y el Xinantécatl o Nevado de Toluca (4,575 msnm) situado al Suroeste (Heine, 1976, White y Valastro, 1984). El Valle se delimita al Este por las serranías de Las Cruces y Los Montes Altos, de origen Terciario, el cual se extiende de Norte a Sur (Fries, 1960; Mosser, 1975). La parte Sur está definida por estratos volcánicos de menor tamaño, los cuales constituyen la formación Chichinautzin y parte del Nevado de Toluca. Al Suroeste, lo limita el Nevado de Toluca y el Oeste por el volcán San Antonio (Bloomfield y Valastro, 1974; Bloomfield, 1975).

Para la parte Norte se toma como limite, una serie de regiones elevadas, que corren de Este-Oeste, la zona Norte de Temoaya y la Cañada de Ixtlahuaca (Sugiura, 1991)

El Valle de Toluca, se encuentra separado de la cuenca de México por la Sierra de Las Cruces y queda limitada por las Sierras de Monte Bajo (Atzacapotzaltongo) al Oeste, la de Monte Alto (Jilotzingo) al Norte, cuya altitud promedio es de 3,217 msnm.

La cuenca del Alto Rio Lerma es una de las más elevadas, con una altitud promedio de 2,580 msnm, dentro de todas las series de cuencas lacustres localizadas a lo largo del Eje Neovolcánico, en la zona centro de México, aproximadamente a una latitud Norte de 19° (Demant, 1981)

## 5. MEDIO FÍSICO

### 5.1. Clima

Muchas de las características del clima en México, se deben a factores importantes como la distribución de temperaturas, régimen de lluvias, humedad y viento (García, 1980).

Por la altitud la cuenca del Lerma, está caracterizada por ser un lugar muy frío, como lo menciona Sahagun (1956, citado por Sugiura, 1991), "...en el Valle que llaman Matlatzínca, hace grandísimo frío". El clima del Valle está caracterizado por inviernos secos y lluvias en verano, el mes más frío es Enero, con un promedio de temperatura mensual de 9.5 a 10.2 °C y temperaturas de 14.7 a 15.6 °C, que se presentan en los meses de Mayo a Junio (García, 1980).

En la zona de estudio, se tienen reportes de temperatura y precipitación de las partes más cercanas como San Pedro Techuchulco que tiene un promedio de temperatura en el mes de Enero de 7.9 °C y una precipitación anual de 900.1 mm, Almoloya del Río con 8.6 °C y 1,008.8 mm anuales; Santiago Tianguistenco 11.7 °C y 1,053.8 mm de precipitación y Tenango del Valle con 10.6 °C y una precipitación de 807.5 mm al año.

Köppen clasifica la llanura aluvial como C(w2)(w), templado Subhúmedo con lluvias en verano, y las partes altas de Las Cruces y el Nevado de Toluca, lo menciona con un clima C(h)(w2)(w), semifrío Subhúmedo con lluvias en verano.

INEGI (1985), reporta un promedio de precipitación anual, para el Centro-Occidental del Valle, la que recibe la menor cantidad, con un promedio de 800 mm, mientras que las zonas que mayor cantidad de lluvia recibe es la Este, Sur y Noroeste con 1000 mm, que comprende la mayor parte de la región. Heine (1973) hace referencia a la presencia de lluvias en los meses de Junio a Septiembre, siendo el mes de Julio el de máxima pluviosidad.

## 5.2. Geología

El Eje Neovolcánico ubicado a los 19° de Latitud Norte, se presenta como un producto del vulcanismo del período Cuaternario principalmente. Dicha formación geológica que dio lugar a la cuenca del Alto Lerma, de acuerdo con Mosser (1974, citado por Sugiura, 1991), se describe en tres etapas, todas ellas asociadas a los procesos volcánicos y tectónicos.

La primera etapa corresponde a las erupciones Terciarias que representan el Mioceno principalmente, caracterizadas por el material andesítico y riolítico. La primera etapa dio origen a una serie de sierras y valles, dentro de los cuales se formó la Sierra de las Cruces, la cual el Instituto Mexicano del Petróleo (I.M.P.), define con una edad de siete millones de años, presenta rocas porfídicas, constituidas por fenocristales de plagioclasa, hornblenda en diferentes grados de oxidación, además de contar en algunas partes, con cuarzo, biotita y piroxeno (Sánchez, 1984), en asociación con depósitos piroclásticos y posiblemente lahares.

La Sierra de las Cruces está compuesta de rocas andesíticas, de origen más antiguo, la intemperización y alteración de minerales feldespáticos, produce suelos residuales que dan una característica de alta permeabilidad.

Dentro de los estratos volcánicos que tuvieron su origen en el Mioceno, destaca el volcán Calixtlahuaca y de acuerdo con Sánchez (1984), se compone de lavas andesíticas de plagioclasa-andesítica porfídica y lava dacítica con piroclastos y algunos conglomerados.

La segunda etapa se ve fuertemente afectada por los movimientos tectónicos y emisiones volcánicas. Los movimientos tuvieron una orientación E-W, debido a una serie de fracturas, por donde surgió la lava formando una barrera, cerrando el sistema de drenaje hacia el Norte, para posteriormente irse azolvando y rellenando, con aluviones, productos volcánicos y tóbas lacustres.

Esta segunda etapa que se presenta en el Cuaternario, continúa con movimientos tectónicos y emisiones volcánicas, produciendo la separación de la gran laguna de Toluca-Atlacomulco, convirtiendo la gran cuenca cerrada en dos subcuencas abiertas.

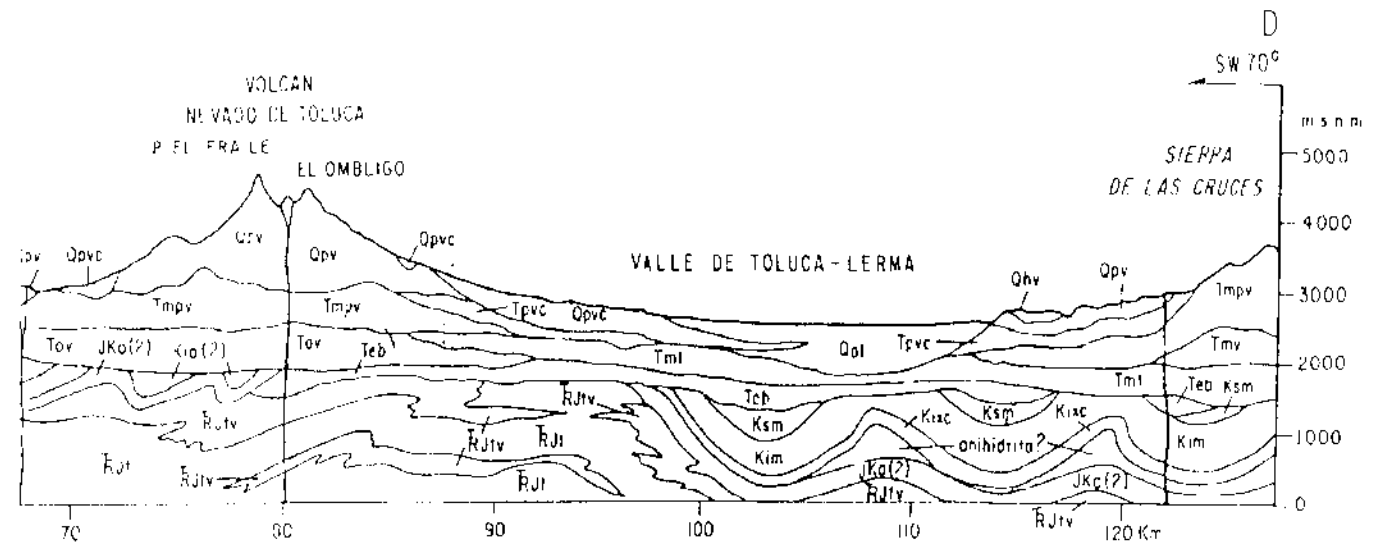
Las emisiones volcánicas, fueron de tipo basáltico-andesítico, con efusión de lavas y material efusivo. El dominio de los conos volcánicos que circundan la zona del Alto Lerma, cuya altura relativa, en promedio, es de 650 m y con una cobertura de 1 km<sup>2</sup>, se menciona que son de dos tipos: 1) los céntricos como por ejemplo Cuautle y El Tezontle, en su mayor parte están conformados de tezontle (color variado) y de fragmentos de ceniza basáltica, 2) los de bloques de lava, como el Chapultepec, Tlacotepec y el Lerma. Todos estos conos volcánicos, son paralelos a la dirección, que domina en las fracturas, Este-Oeste (Bloomfield, 1973, Sánchez, 1984)

Dentro de la segunda etapa se forman numerosos estratos volcánicos, el de mayor importancia es el Nevado de Toluca o Xinantécatl, con una altitud de 4,575 msnm, es un volcán poligenético, ya erosionado, sus lavas dacíticas y andesíticas porfídicas, se componen de minerales como hornblenda, piroxena, plagioclasa y cuarzo (Bloomfield, 1974), que descansan sobre rocas terciarias y éstas, a su vez, sobre formaciones cretácicas

La primera erupción violenta que cubrió sus laderas con lahares, fue alrededor de los 28,000 años A.P., seguida de erupciones más débiles, durante los siguientes 8,000 años, los cuales dieron origen a la formación de valles de lahares (Bloomfield y Valastro, 1977), Bloomfield (1973, 1975) y Bloomfield y Valastro (1974). La erupción violenta que cubrió las laderas con lahares, se remonta hacia los 25,000 años A.P., la segunda erupción violenta se presentó a los 11,600 años A.P., produjo la pómez dacítica o "tripartita de grano fino", que se localiza en dirección Este, que cubre una distancia de 85 km<sup>2</sup>, detectada en la cuenca de México, como producto de la erupción del Nevado de Toluca (Bloomfield, 1974; 1978)

Durante la actividad volcánica del Cuaternario, se producen otros estratos, como el cerro del Águila que limita la parte norte del Valle de Toluca y el cerro de la Venta de Canchem (Sugiura, 1991).

En la tercera etapa continúa la actividad volcánica, que representa al Holoceno, caracterizada por el grupo Chichinautzin, con una orientación Este-Oeste. Las edades de los conos volcánicos (41) y lavas tienen de 8,390 ± 100 y 40,000 años A.P., estas edades se establecieron usando parámetros geomorfológicos (Bloomfield, 1975), quien además menciona que las rocas de esta zona, presentan 52% a 64% de SiO<sub>2</sub>, clasificadas como andesíticas y hacia los extremos como basaltos alcalinos y dacitas (figura 2)



**Figura 1.** Corte geológico transversal del valle, con dirección NE 70°. Tomado de Herrera 1993

- Qal: Aluvión, arena, grava y limo con interstratificación de ceniza volcánica
- Qpvc: Lahar y depósitos volcánico-lásticos
- Qpv: Derrames de lava de composición esencialmente basáltica y andesítica con depósitos cineríticos
- Qhv: Derrames de lava de composición andesítica, basáltica y dacítica con depósitos cineríticos
- Tpvc: Principalmente rocas volcánicas epiclásticas
- Tmi: Depósitos volcánico-lásticos, principalmente lahar de composición andesítica
- Tmpv: Derrames de lava de composición andesítico-basáltica
- Teb: Conglomerado, arenisca y limonita, todos de origen continental

### 5.3. Geomorfología

El Valle de Toluca, desde su formación se ha caracterizado por ser producto de un intenso vulcanismo, representado por conos cineríticos, derrames de lava y depósitos piroclásticos. La geomorfología que no tiene un origen asociado a una formación ignea, es la planicie formada con el acarreo de material clástico y piroclástico, así como de materiales de aluvión (Sugiura, 1995), que fueron rellenando zonas lacustres y lugares poco y muy accidentados.

Los eventos tanto volcánicos como tectónicos, junto con los cambios climáticos y topográficos, han moldeado la forma del terreno, muy quebrado en la parte alta, mientras que la baja se observa de forma casi horizontal (pendiente nula en algunos casos) (figura 3)

En tiempos recientes la forma del terreno, ha sido modificada debido a la influencia humana. Dentro de los agentes que modifican las geformas de la región, Sugiura (1995) menciona dos tipos: los **endógenos**, tales como los eventos volcánicos, fracturas y fallas además se puede agregar el clima, ya que modifica las partes elevadas del relieve al producirse deslaves por las lluvias o por acumulación de nieve y como consecuencia modifica las partes bajas; los **exógenos**, dentro de los más importantes en la zona de estudio son: la erosión y el intemperismo. Estos dos tipos de agentes afectan el proceso de formación y desarrollo de los suelos y sedimentos.



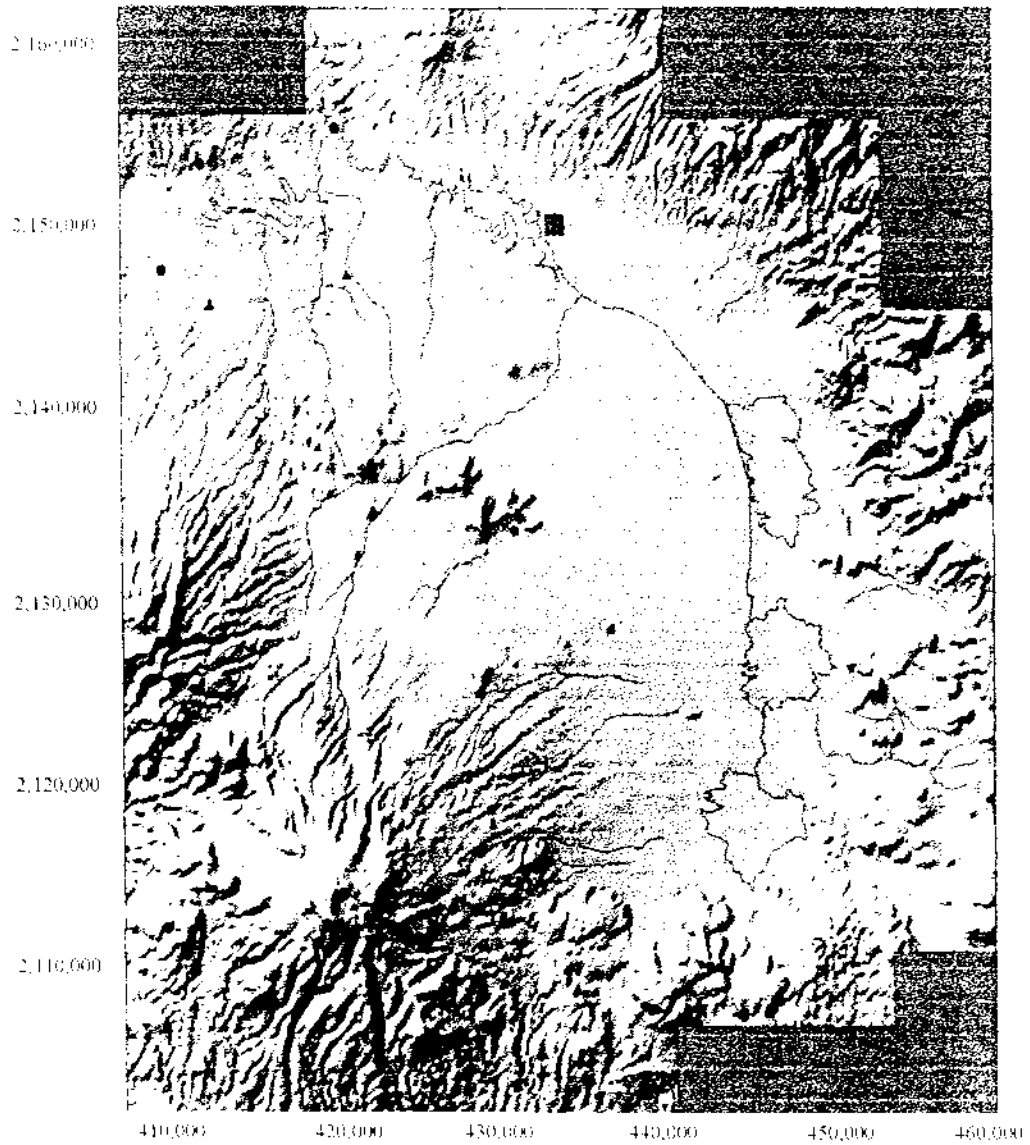


Figura 3 Aspecto geomorfológico del Valle de Toluca, donde la zona lacustre del Alto Ierma se localiza en la parte Oeste del Nevado de Toluca. Tomado de Jiménez Delgado y Cedeño Nicolás, Departamento de Cartografía IIA-UNAM.

#### 5.4. Topografía

Los fenómenos que han dado la fisonomía al Valle de Toluca, tan accidentado como toda la zona central de México, son los movimientos tectónicos aunados a las continuas erupciones a través de su historia. El tectonismo regional ha provocado la formación de sierras elevadas como Las Cruces y el Nevado de Toluca, con una orientación SE-NW.

La zona de la planicie lacustre del Alto Lerma se encuentra ubicada a una altitud aproximada de 2,580 msnm, está rodeada de altos conos cineríticos y sierras, que se formaron por emisiones volcánicas y movimientos tectónicos.

La topografía de la zona aledaña ha influido de manera importante en la formación geomorfológica del valle, debido a los eventos expuestos, además por su elevada altimetría, la zona lacustre, sufre de los cambios causados por las bajas temperaturas. Por otra parte en los terrenos que rodean al valle, se pueden presentar fenómenos glaciares, periglaciares y de soliflucción, que aumentan el proceso erosivo (Flores, 1995).

Las fallas geológicas que se presentaron con una orientación E-W, son consideradas como más jóvenes, dentro de las cuales se encuentran las fallas de la zona de Tenango del Valle y la de Perales; estas a su vez tienen dos orientaciones E-W, que se localiza sobre la margen derecha de río Lerma, y la de orientación SE-NW presentada en la margen izquierda. Estos eventos dieron como consecuencia la separación entre el Valle de Toluca e Ixtlahuaca. (Sugiura, 1991). La presencia de estas fallas, de forma escalonada a lo largo del río Lerma han originado valles de diferentes elevaciones, como son los mencionados. Los desplazamientos de forma escalonada, son recientes, dando indicios para señalar que en un tiempo no muy lejano, los dos valles se encontraban a un mismo nivel, formando una gran laguna, que después de los sucesos geológicos mencionados, se dividió en dos.

La topografía es determinante en el azolve de la zona, se observan dos puntos altimétricos: el de 2,800 a 3,200 msnm presentando pendientes poco pronunciadas y el de 3,500 a 4,565 que es la altitud del Nevado de Toluca con pendientes muy pronunciadas (figura 4).

Estas características otorgan a la planicie, ubicada en los 2,580 a 2,700 msnm aproximadamente, una gran influencia de aportes aluviales, derivados de los materiales presentes en los puntos más elevados, el cual guarda estrecha relación con los procesos geomorfológicos de sedimentación en el valle

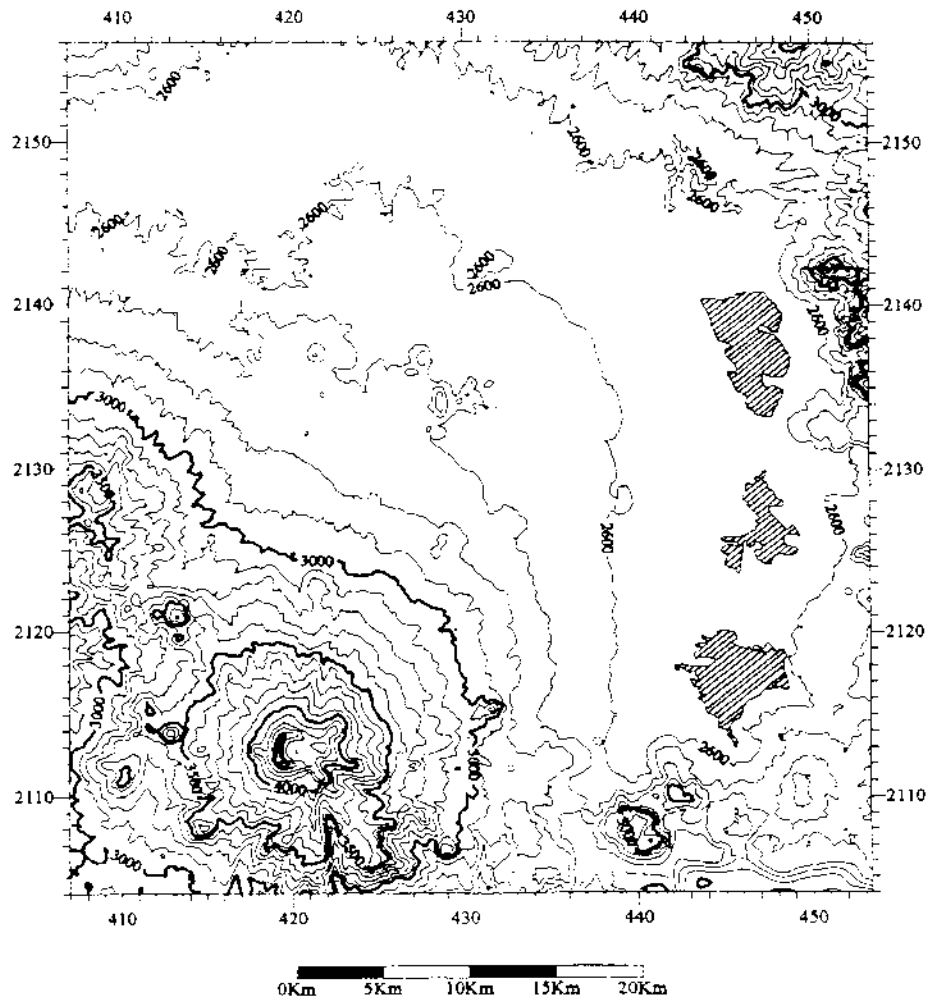


Figura 4. Mapa topográfico del área de estudio en el que se muestra el relieve dominante. Tomado de Jiménez delgado y Cedeño Nicolás, Departamento de Cartografía IIA-UNAM.

## 5.5. Edafología

Dentro de la carta edafológica del INEGI (1976), en la zona del Valle de Toluca se localizan las siguientes unidades de suelo: Histosol, Gleysol, Vertisol y Feozem, con variaciones y combinaciones entre ellos.

Los más abundantes en la zona de estudio, son el Histosol eútrico y Gleysol húmico con textura media, suelos orgánicos que se ubican en las zonas bajas de la planicie donde alguna vez, el valle era una gran laguna, presentando una gran riqueza en organismos vegetales y animales, que al irse desecando, son los responsables de la acumulación de cantidades considerables de materiales orgánicos.

Alrededor de las grandes lagunas, donde predomina el Histosol, los Vertisoles son los segundos en abundancia dentro de la zona de estudio, localizados también en las planicies aluviales, es rico en material fino, arcilla Montmorillonita del tipo 2:1. De acuerdo con INEGI (1976), la subunidad predominante es el Vertisol pélico, con las combinaciones de Feozem gléyico y háplico, dominando la textura fina.

El Feozem es la tercera unidad de suelo que se localiza circundando la zona de estudio, también están presentes en la planicie, las subunidades háplico y gléyico, presentando asociaciones con Vertisol pélico, Cambisol eútrico, Andosol húmico, todos con textura media. Dentro de estos límites hay una pequeña porción de un Cambisol eútrico con Feozem háplico, de textura gruesa.

Otras unidades de suelo que es importante señalarlas, son los que se localizan en las partes altas de las serranías y estratos volcánicos, aledaños a la zona de estudio, debido a que gran parte del material aluvial proviene de estas zonas. Los suelos de estas partes altas son de origen volcánico, presentándose Andosoles húmicos con combinación de Feozem háplico, Andosol étrico con Andosol húmico, Andosol mólico y Litosol con combinación de Andosol húmico, todas estas unidades de suelo tienen una textura media.

Dentro de todas las unidades de suelo presentes en la zona del Valle de Toluca y sus alrededores, los horizontes de diagnóstico son poco definidos. Además con base a los resultados y observaciones de campo, sobresale la existencia de un nuevo proceso, el de salinización de la zona lacustre del Valle del Lerma, por tal circunstancia los suelos antes descritos, pasarían a clasificarse en otra unidad. Los Histosol y Gleysol, serán tomados como suelos en fase salina o bien como Solonchak, ya que las condiciones del lugar cumplirían con uno de los requisitos para la formación de esta unidad de suelo, el nivel freático que se encuentra aproximadamente a 1 m de profundidad, así como una gran cantidad de sales que se han detectado en los análisis químicos.

En general se pueden agrupar los suelos salinos de la zona en una unidad, que es la de suelos tipo Solonchak, y su variante para las demás unidades como fase salina.

## 6. MEDIO BIOLÓGICO

### 6.1. Vegetación

La importancia de la vegetación natural e inducida, está asociada a la gran abundancia de recursos acuícolas, utilizados por los pobladores desde tiempos remotos. Esta característica no sólo la reflejan las extensas zonas de cultivo, sino que es palpable en la presencia de bosques, y en aquellos terrenos donde el agua no los satura completamente.

El conocimiento que se tiene sobre la vegetación acuática y subacuática es aun fragmentario, ya que existen grandes zonas que no han sido estudiadas, además de que un gran número de áreas hoy en día se encuentran desecadas, soportando un uso agrícola y en consecuencia la pérdida de una gran cantidad de recursos naturales, tanto vegetales como animales.

La vegetación que habitaba la zona de estudio, eran comunidades ligadas al medio acuático o al suelo saturado con agua (condiciones que prevalecieron anteriormente en el valle). La vegetación acuática y subacuática tiene una amplia distribución, pero existen algunas, que sólo crecen en zonas limitadas por ciertas condiciones de temperatura, luminosidad, pH, salinidad, oxígeno, entre otros, lo cual puede generar endemismos.

Las necesidades humanas mal satisfechas que han orillado al hombre a hacer mal uso de los recursos, han provocado la desecación de ríos, lagos, arroyos y pantanos, modificando los ambientes acuáticos y subacuáticos, en donde paralelamente se ha extinguido la vegetación original.

Existen diversos trabajos de reconocimiento realizados sobre la vegetación del Valle de Toluca, uno de los pioneros y más antiguos, fue el elaborado por Herrera en el periodo comprendido de 1951 a 1954, que identifica grupos de algas y fanerógamas, incluyendo las cultivadas, las especies identificadas eran localizadas en las ciénegas, lagunas y canales.

Otro de los trabajos realizados en la zona de estudio, es el de Gómez (1969), el cual identifica la flora espontánea. Existen otros trabajos pioneros como el de Martínez y Matuda publicado en 1979, que trabajan por largos periodos, aproximadamente más de cinco años (1952-1957), y posteriormente Eizi Matuda, continua la colecta y clasificación de diferentes comunidades vegetales hasta 1972.

Según Herrera y Cantú (1954), en la vegetación acuática y subacuática se encuentran asociaciones de plantas arraigadas que surgen, otras que están completamente sumergidas y las flotantes. Dentro de estas asociaciones, los mismos autores mencionan cuatro grupos

1.- Vegetación francamente acuática: Dentro de esta clasificación se encuentran las asociaciones de plantas sumergidas y plantas flotantes. Las especies de plantas sumergidas más importantes fueron: *Potamogeton illinoensis*, asociada con *P. foliosus* y *P. pectinatus*, *Ceratophyllum* y *Myriophyllum heterophyllum*, *M. hippuroidea*, donde *Ceratophyllum demersum* fue la más abundante. Las plantas flotantes estaban representadas por varias especies de *Lemna* y *Wolffia* asociadas con *Azolla carolina* y *Spirodela polyrrhiza*. Existieron también otras asociaciones como lo fueron las de *Eichhornia crassipes* (introducida), *Nymphaea gracilis*, *Hydromysstria laevigata* y *Nymphoides fallax*. Dentro de la asociación de *Eichhornia crassipes* se encontraban también dos tipos de orquídeas como lo eran *Spiranthes graminea* y *Habenaria limosa*

2.- Vegetación de litoral: por la escasa profundidad en la que se desarrollan estas asociaciones, resultan muy numerosas, dentro de las cuales las más importantes son: *Sagittaria latifolia* y *S. macrophylla*. Otras asociaciones que se desarrollaron en las zonas amplias de las ciénegas fueron *Scirpus validus*-*Juncus effusus*, la cual se encontraba con varias especies como lo eran: *Scirpus americanus*, *Thypha latifolia*, *Sparganium eurycarpum* y *Carex hystrix* extendidas hasta el interior de la laguna, y otras que solamente se limitaban en la orilla de la laguna como: *Loeria hexandra*, *Juncus scirpoides*, *Hydrocotyle verticillata*, *Agampaea bellidiflora*, *Bidens chrysanthemoides* y *Berula erecta*.

3 - Vegetación de las praderas húmedas o anegadas. Dentro de este tipo las más frecuentes eran *Eleocharis macrostachya*, *Polygonum persicarioides*, *Lopezia racemosa*, *Nemastylis tenuis*, *Nasirinchium scabrum*, *Geranium potentillaeifolium*, *Panicum holciiformis*, *Agrostis schiedeana*, *Dalea leporina* y *Cologetonia congesta*. Además de los sauces, saucos, tejocotes, pirúles y tepozanes, así como una gran cantidad de gramíneas que se localizaban en las partes menos húmedas.

4 - Vegetación ruderal: Este tipo de asociación se localizaba en las partes de praderas y litorales (también en lagunas). Dentro de las especies relevantes encontramos a: *Taraxacum officinale*, *Galinsoga parviflora*, *Solanum rostratum*, *Amaranthus hybridus*, *Urtica dioica*, *Sicyos deppet* y *Datura stramonium*.

Como se ha descrito anteriormente la gran riqueza biológica, que se desarrolló en la zona lacustre, fue de gran importancia, pero también la vegetación original y la que se encuentra actualmente con pocos espacios, debido a la gran deforestación y al cambio en el uso del suelo, las zonas aledañas, como los lomeríos y sierras, presentan una gran riqueza que se ha logrado desarrollar a distintas altitudes, de tal manera que a los 2,450 y 2,800 msnm se encuentran los Bosques de Juniperos, donde las especies más frecuentes son *Juniperus deppeana* (enebro), *J. monticola* y *J. flaccida* (Martínez y Matuda, 1979).

Los Bosques de *Quercus* o encinares, se pueden localizar a una altitud de hasta 3,100 msnm, su mayor densidad se presenta entre los 1,200 a 2,800 msnm (Martínez y Matuda, 1979), la distribución de las distintas especies de acuerdo a las altitudes en las que se localizan, así por ejemplo: *Quercus crassipes*, *Q. rugosa*, *Q. obtusata* predominan a alturas menores de 2,500 msnm. Entre los 2,500 y 2,800, las especies dominantes son: *Q. rugosa*, *Q. mexicana* y *Q. crassipes*. Para las alturas mayores de 2,800 msnm, las especies que se encuentran son *Q. laurina*, *Q. rugosa* y *Q. crassipes* (Rzedowski, 1978).

En alturas superiores entre los 2,300 a 4,000, se ubican los Bosques de *Pinus*, muchas veces asociados con encinares. *Pinus leiophylla* predomina a los 2,350 y 2,600 msnm. *Pinus montezumae* y *P. ridleyi* en altitudes cercanas a los 2,500 msnm y para altitudes mayores de 2,900 msnm, predomina *Pinus hartwegii* (Rzedowski, 1978).



Los Bosques de *Abies* se presentan con asociaciones de *Pinus*, localizados en alturas de 2,600 a 2,700 msnm, predominando la especie *Abies religiosa*. Para Martínez y Matuda (1979), estos bosques se ubican en cañadas, lugares muy húmedos y sombríos.

Es importante señalar que la zona que forma en conjunto el Alto Valle del Lerma (serranías, estratos volcánicos, planicies, ríos y manantiales), ha sufrido una gran transformación; lo que antes era una gran laguna, actualmente se ha ido desecando y junto con la deforestación, las asociaciones vegetales han disminuido, y en algunos casos han desaparecido.

Las planicies aluviales y lagunas, se han transformado a zonas de cultivo desplazando a la flora antes descrita. Estos cultivos que se han introducido, son especies alimenticias tales como: maíz, haba, lechuga, col, calabaza, huazontle, frijol, además de la introducción de pastizales para el ganado.

Dentro de lo que queda de la gran laguna, existen otras asociaciones vegetales que han sobrevivido a todos estos cambios que ha sufrido la zona lacustre, que además son especies importantes para la artesanía de la población local y por lo consiguiente para su economía. Estos tipos de vegetación, que no son incluidos dentro de las cuatro clasificaciones antes mencionadas, pero que tienen una gran importancia, son los "tulares" y "carrizales" que se distribuían ampliamente, dominados por: *Thypha latifolia* y *Scirpus spp* (Martínez y Matuda, 1979, Goldman, 1951)

## 7. MEDIO LACUSTRE

### 7.1. Hidrología

El Valle de Toluca en el pasado, estaba formado por dos grandes lagunas que unidas, daban un cuerpo de agua continuo, que al irse desecando, ha visto reducir sus corrientes hidrológicas, que emanaban de numerosos manantiales.

Al pie de las sierras, entre las zonas de contacto del material volcánico y el sedimentario y a la mayoría de las partes llanas, los manantiales eran abundantes. Dentro de estos un grupo muy importante se localizaba en las inmediaciones de Almoloya del Río, lugar de origen del Río Lerma. En tiempos pasados existían nueve grupos de fuentes, entre las cuales destacan las de Texocuapan con aproximadamente 73 manantiales y Tecalco con 95 manantiales, que formaban las ciénagas de Chignahuapan y Lerma (Sugiura, 1991)

Los manantiales y ojos de agua, que daban vida al Río Lerma, tienen su origen en las zonas de recarga que se alimentan de la lluvia, localizados principalmente en las partes altas y conducidos a través de los basaltos del Cuaternario, hacia la planicie, donde la gran cantidad de agua emerge a la superficie. Lo anterior es consecuencia de la permeabilidad del material volcánico el cual descansa en las zonas de captación, sobre material impermeable compuesto por andesitas, de rápida infiltración y así el agua puede encontrarse a escasa profundidad, y aflorar en forma de manantiales o surgencias de aguas termales.

El Río Lerma forma parte de la Región Hidrológica 12, denominada Lerma-Santiago que pertenece a la vertiente del Océano Pacífico, cuyo origen está en las sierras que rodean el Valle de Toluca, tiene una dirección Noroeste y durante su trayecto recibe afluentes provenientes de la margen derecha de la Región Hidrológica 26 denominada Pánuco.

El Río Lerma, recorre dentro del Estado de México, aproximadamente 125 km, recogiendo varios aportes de diferente orden y atravesando la planicie del valle hacia el Norte, los manantiales que brotan de la zona occidental del Ajusco y las Cruces, son los principales tributarios de dicho río; otros afluentes que alimentan al río son los que fluyen hacia el Norte, Noroeste y Este, que proceden de la vertiente Nororiental del Nevado de Toluca. En su curso hacia el Norte, el Lerma se alimenta de las cauces de diferente tipo como el Otzolotepec, Tejalpa y La Gavia (Sugiura, 1995)

Las lagunas más importantes formadas por las aguas de los manantiales, son las que pertenecen a las serranías de las Cruces y Ajusco, el Nevado de Toluca, la zona de Texcalyacac y Tebuchulco, son alimentadores en pequeña proporción de las lagunas, en especial la de Almoloya (Sugiura, 1995).

Las tres lagunas que en el pasado formaban un gran lago, se han visto reducidas, debido principalmente a una sobreexplotación. A partir del siglo XVIII se presentaron los primeros proyectos que promovieron la desecación de la cuenca, en el año de 1948, las aguas son captadas para abastecer a la Ciudad de México, y los túneles y acueductos, además de la perforación de un gran número de pozos realizados en ambos márgenes del Río Lerma, han provocado un avanzado proceso de desecación de las lagunas, ríos y ciénegas (Newton, 1995).

La desaparición de las ciénegas y zonas de lagunas, de donde se obtenían productos alimenticios, naturales o cultivados, pesca, aves acuáticas o materia prima como el tule, utilizado para hacer objetos artesanales, ha disminuido, ocasionando graves afectaciones a la región y las zonas circundantes

La captación de agua en toda la cuenca del Río Lerma para abastecer del vital líquido a la ciudad de México, acaba con la riqueza biológica de la zona, provocando la emigración o extinción de especies animales y vegetales y una reducción importante en la producción de los cultivos, además de que propician la emigración de sus habitantes.

## 8. OBJETIVOS

### 8.1. Objetivo General

Identificar las variaciones físicas, químicas y biológicas así como las fases involucradas de los diferentes perfiles del suelo, que permitan determinar los paleoambientes de la Cuenca Alta del Río Lerma

### 8.2. Objetivos Particulares

1.- Reconocer las variaciones físicas, químicas y biológicas para, posteriormente y mediante su descripción, confirmar las fases presentes en los perfiles de la zona lacustre del Valle del Lerma.

2.- Comparar las variaciones físicas, químicas y biológicas, para determinar los cambios ambientales en los distintos perfiles

3 - Establecer los posibles paleoambientes por medio de las fases y variaciones físicas, químicas y biológicas de los diferentes perfiles

## 9. HIPÓTESIS

Es posible definir por medio de datos físicos, químicos y biológicos, las distintas variaciones y fases involucradas en los diversos perfiles de los suelos, ya que son consecuencia de los cambios ambientales registrados en ellos.

Los procesos endógenos (vulcanismo, tectonismo y clima) y exógenos (erosión, transporte de material y desecación de la zona lacustre), determinan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, que al ser agrupadas en fases y observando sus variaciones dentro de los perfiles, permitirán definir la secuencia de los cambios ambientales ocurridos en la zona del Alto Lerma.

## 10. MÉTODO

Para conseguir los objetivos planteados, el trabajo se llevo a cabo mediante la realización de tres perfiles, sobre un transecto cuya dirección fue Noroeste-Sureste (figura 5), el cual permitiera una visión general de los procesos edafogeneticos y sedimentarios que se presentaron en la Cuenca del Alto Lerma

Debido a que la zona de estudio, es lacustre sometida a un proceso de desecación paulatino, se hace necesario abordar el conocimiento de los cambios ocurridos, iniciando de la orilla del antiguo lago y dirigirse hacia su porción central, donde la información obtenida refleje las variaciones horizontales y verticales de los acontecimientos ocurridos, asociado a las cambios ambientales

El trabajo experimental se llevo a cabo siguiendo cuatro etapas las cuales son

- 1) Localización de los perfiles en la zona.
- 2) Trabajo de campo (muestreo y descripción)
- 3) Trabajo de laboratorio.
- 4) Trabajo de gabinete (análisis de resultados, interpretación y conclusiones)

A continuación se detalla cada una de las etapas desarrolladas

### 10.1. Localización de los Perfiles

Para la ubicación de los perfiles, que muestran de forma mas precisa las variaciones de la zona asociada a los procesos tanto exógenos como endógenos, se utilizaron fotografías aéreas y su fotoidentificación, así como de mapas topográficos. La ubicación de los puntos de muestreo fue la siguiente (figura 5).

1 - El perfil uno "El Tejocote", se encuentra en las coordenadas 19° 12' 12" latitud Norte, 99° 31' 17" longitud Oeste, perteneciente a la localidad de San Pedro Taltizapan, Municipio de Santiago Trianguistenco. La ubicación de este perfil en la zona corresponde a la antigua orilla de la laguna.

2.- El perfil dos "Ejido de Santa Cruz", se localiza en las coordenadas  $19^{\circ} 10' 42''$  latitud Norte,  $99^{\circ} 31' 39''$  longitud Oeste, perteneciente a la localidad de Santa Cruz Atizapan, municipio del mismo nombre, ubicado en la margen izquierda del Río Lerma y considerado en las inmediaciones de la superficie de la laguna durante gran parte del Holoceno

3.- El perfil tres "La Musaraña", se ubica en las coordenadas  $19^{\circ} 09' 89''$  latitud Norte,  $99^{\circ} 31' 22''$  longitud Oeste, Santa Cruz Atizapan, al Suroeste del Río Lerma. Se considera cercano a la zona centro de la antigua laguna.

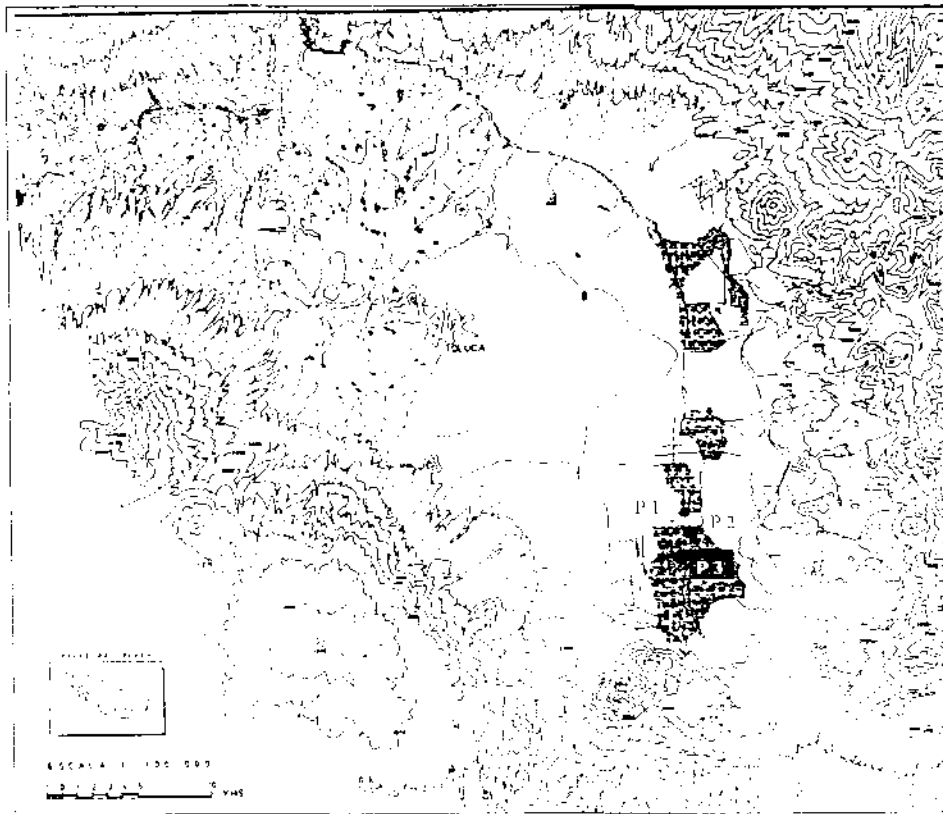


Figura 5 Ubicación de los perfiles en el Valle del Alto Lerma. Tomado de Sugiura 1995

## 10.2. Trabajo de Campo

El trabajo de campo se realizó siguiendo un transecto con dirección NW-SE, en el cual se excavaron tres perfiles a cielo abierto, con el fin de definir su estratigrafía y muestreo de acuerdo a las observaciones pedológicas, así como los procesos sedimentológicos implícitos en cada uno de los estratos u horizontes definidos.

La técnica utilizada fue con base al criterio pedológico, tomando la muestra por capas; determinando el espesor o los límites de cada una, se consideraron parámetros como color, granulometría, estructura, compactación y presencia de raíces; también se realizaron observaciones de minerales presentes en cada horizonte. El límite del muestreo, en cuanto a la profundidad, fue determinado por la presencia del nivel freático.

## 10.3. Trabajo de Laboratorio

Después de secar las muestras a la intemperie, se tamizaron con una malla de 2 mm de apertura, para ser sometidos a los siguientes análisis físicos y químicos.

### 10.4. Análisis Físicos

Densidad Aparente - Método de la probeta (Am. Soc. for Test and Mat., 1958)

Densidad Real - Método del picnómetro (Am. Soc. for Test and Mat., 1958)

Porosidad (%) - Relación entre la densidad real y aparente (Vomocil, 1966)

Humedad (%) - Gravimétrico (Gavande, 1982)

Color - Comparación con las tablas de colores Munsell; en húmedo y seco.

### 10.5. Análisis Químicos

pH Activo - Método potenciométrico, relación 1:2.5 con agua (Jackson, 1982)

pH Potencial - Método potenciométrico, relación 1:2.5 con KCl 1N (Jackson, 1982)

Materia Orgánica - Método de Walkley y Black modificada por Walkley (1947).

Conductividad Eléctrica - Conductimétrico de la pasta de saturación (Jackson, 1982).

Cationes Solubles  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  - Absorción Atómica (Jackson, 1982)

Aniones Solubles - A partir de los extractos acuosos de la pasta de saturación, los aniones cuantificados fueron  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^{-}$ ,  $\text{Cl}^{-}$  y  $\text{SO}_4^{--}$



- 1) Los aniones  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , se titularon con ácido sulfúrico (0.05 N) usando como indicadores fenoltaleína y anaranjado de metilo respectivamente (Reitemeier, 1943)
  - 2) El Cl<sup>-</sup> por titulación con nitrato de plata (0.05 N) y como indicador cromato de potasio (Reitemeier, 1943).
  - 3) Para los  $\text{SO}_4^{2-}$ , se utilizó el método turbidimétrico, precipitando los sulfatos como sulfato de bario, con la utilización de cloruro de bario y solución tween 20 como solución estabilizadora (APHA - AWWA, WPCF, 1980)
- Cationes Totales  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  Digestión ácida con ácido nítrico conc cuantificado por Espectroscopia de Absorción Atómica con flama.
- Fósforo - Método colorimétrico, del ácido molibdofosfórico y solución extractora de Morgan (Jackson, 1982)
- Nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$ ) - Solución extractora de Morgan y reactivo de Nessler (Jackson, 1982).

Análisis Sedimentológico.- El método utilizado para la determinación de materiales muy finos, se llevó a cabo en tres pasos para eliminar cementantes:

- 1) Los carbonatos y sales solubles por medio de acetato de sodio,
- 2) La materia orgánica con utilización de agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), y
- 3) Los óxidos-hidróxidos por medio del ditionito de sodio.

Posteriormente se realizó la separación del material, de acuerdo al diámetro de las partículas por centrifugación, obteniéndose de acuerdo con su tamaño y peso las fracciones de arcillas, limos y arenas (Flores, 1980).

Óxido-Hidroxidos - Los elementos cuantificados fueron, Al, Fe y Si, obtenidos por medio del método Ditionito-Citrato de sodio (Jackson, 1956) posteriormente se cuantificaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica con flama.

Para el desarrollo de la descripción de las variaciones biológicas, se determinan de una manera visual tanto en campo como en el estudio de lámina delgada realizado por Flores (1995) y que sirve de complemento al presente trabajo

Asimismo se hace necesario describir el análisis de las fases presentes, que corroboran los diversos fenómenos presentados en el área de estudio, que dieron forma y

características específicas a los distintos perfiles de la zona, destacando las deposiciones lacustres, eólicas y aluviales, constituidas de diferentes materiales, producto de emisiones volcánicas, principalmente, otros eventos importantes, son los cambios ambientales, predominio de la vegetación y movimientos tectónicos, que en conjunto dieron caracteres propios a otro tipo de variaciones. De esta forma, la discontinuidad presente en los perfiles le dan rasgos determinados a cada capa, por lo que, para una mejor comprensión y un detallado análisis de los resultados obtenidos, se muestra una descripción minuciosa, integrando las observaciones de campo y resultados de laboratorio. El análisis global se logra agrupando las capas que presentan eventos semejantes y que en conjunto forman una fase, integrada por una o más capas del perfil, que definen la ocurrencia de eventos importantes en un tiempo dado y las condiciones de estabilidad del ambiente.

**Las Fases** se denotan como un conjunto de eventos semejantes de composición mineral o vegetal homogénea, de esta manera se tienen tres tipos: Inorgánica (mineral), Biológica y Orgánica (restos vegetales). A continuación se indica su clasificación y principales características que le confieren sus rasgos distintivos entre ellas.

La **Fase Inorgánica**, contiene elementos minerales en mayor grado, predominando materiales acumulativos y eruptivos; la primera esta definida por la presencia de material acarreado a través de un medio acuático, y en la segunda el material es transportado por el viento. Dentro del evento eruptivo, también existe el acarreo de una fuente y el transporte eólico, lo cual sugiere que el material es movilizadado tanto por agua como por el viento.

La **Fase Orgánica** presenta una abundancia de material vegetal en diferentes grados de descomposición, de ahí se desprende la clasificación de turba, material turboso y material coloidal, que para este trabajo corresponde a la fase orgánica.

La **Fase Biológica**, caracterizada por la predominancia de diatomeas, organismos que abundan en dichas capas y que pueden estar representadas por diferentes especies. En esta fase también se pueden incluir los ostracodos como organismos representativos.

Aunado a estos tres tipos, se integra una que puede presentar características de dos o más fases, y que no pueden ser tomada como una sola, la cual se considera como una **Fase Mixta**, definida como una asociación de fases.

## 11. RESULTADOS

### 12. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La descripción, análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los perfiles se realiza partiendo de la capa más profunda hasta llegar a la superficie, es decir de los estratos más antiguos a los más recientes, ya que de esta manera se obtiene una visión más detallada, clara y secuencial de los eventos que sucedieron en la zona a través del tiempo. La descripción se acompaña de un esquema representativo de cada perfil, con las principales características y su posible proceso de formación.

#### 12.1. Perfil 1 "El Tejocote"

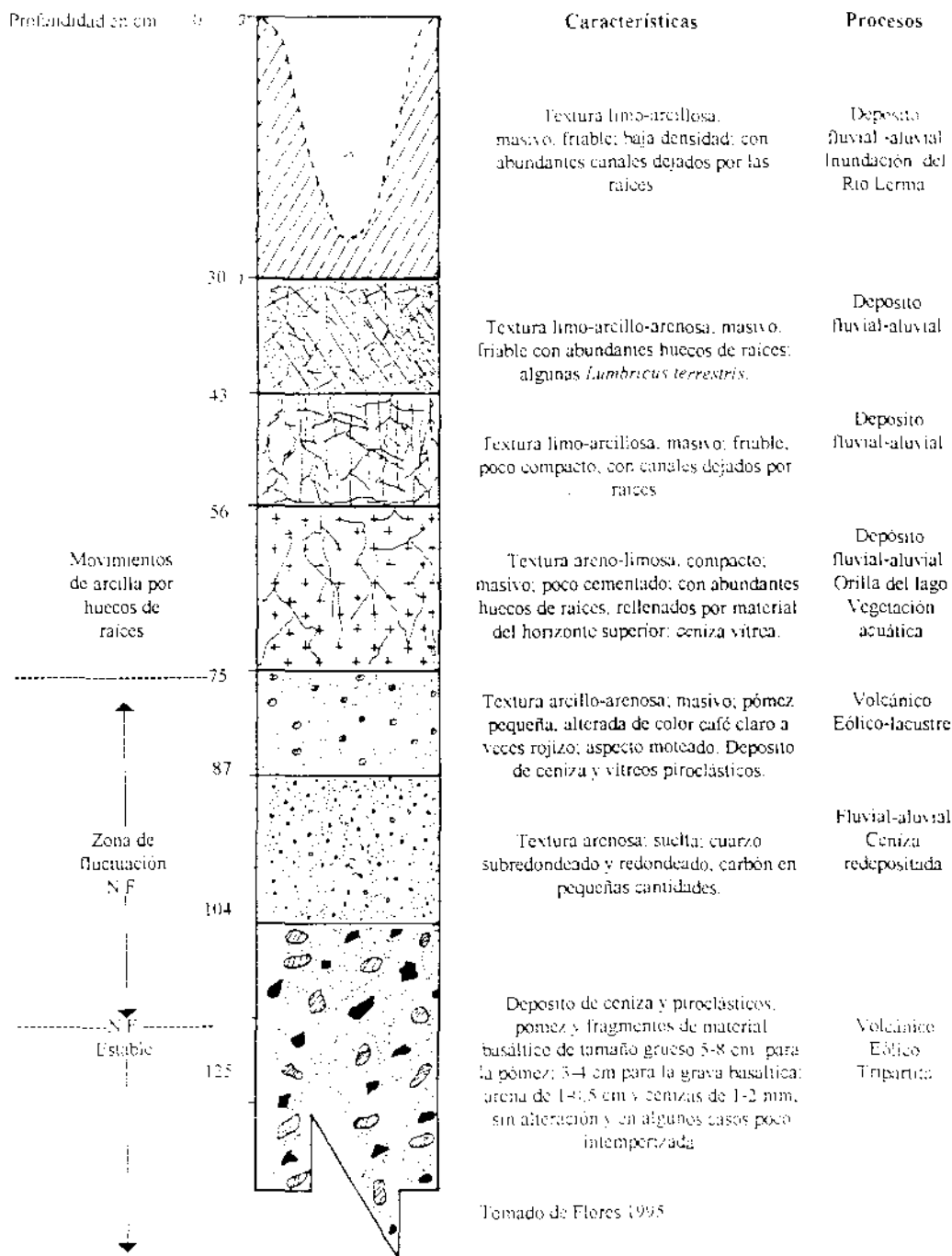
Este perfil (esquema 1) se localiza en una zona de cultivo de temporal, principalmente maíz, el relieve es poco accidentado, considerando una pendiente nula. Cuando no está desarrollándose el maíz, la vegetación presente es un pastizal, utilizado para la alimentación de ganado.

##### 12.1.1. Análisis de resultados del perfil 1.

El análisis de los resultados químicos y físicos se realizó tomando en consideración el esquema indicado anteriormente, el cual se inicia de la capa más profunda hacia la superficie, tratando de determinar las características semejantes y agruparlas para empezar a definir la posible fase presente en dicho espesor. Por tal motivo se conjuntan las capas mencionando las características físicas y químicas determinadas, definiendo en esta etapa preliminar el posible tipo de fase.

El análisis sedimentológico de la capa de 125-87 cm, presenta gran abundancia de material grueso como es la arena en sus cuatro subdivisiones (tabla II), que en suma alcanzan un valor mayor del 70% de todo el estrato, con un bajo porcentaje de materiales finos (arcilla y limo).

PERFIL 1 "EL TEJOCOTE", SAN PEDRO TLALTIZAPAN, MÉXICO.



Tomado de Flores 1995

En lo que corresponde a la densidad real (D.R.) es baja en comparación con todo el perfil, teniendo un valor de 2.17 g/cc. asociado al hecho de que esta capa corresponde a una fase inorgánica, con material mineral de baja densidad como el cuarzo, feldespato, hornblenda y principalmente material vítreo (Flores, 1995). Para la densidad aparente (D.A.), su valor es mayor al de las demás capas, con 1.06-1.2 g/cc demostrando una textura gruesa causada por el material arenoso. Aunado a las densidades, el Espacio Poroso (E.P.) tiene valores bajos en comparación con las capas restantes, presentándose de 44.70-51.15%, indicando una porosidad favorable para el desarrollo de raíces y microorganismos.

El porcentaje de materia orgánica (% M.O.) es bajo, obteniendo valores desde 0.0 a 0.23%, originando niveles bajos de Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), de 0.0049-0.0050 ppm. Además la escasa M.O. no resulta determinante en el pH y la D.R., influyendo sobre los valores de fósforo (P), que tenderían a ser menores con respecto a las demás capas, pero en este caso los valores son semejantes y en algunos hasta mayores, esto es causado probablemente por aportes de sales de fosfatos provenientes de aguas termales, que se localizaban anteriormente muy cercanas a la zona de estudio, dichas sales presentan valores de 0.35-0.58 ppm (tabla I).

El valor de pH permanece estable, siendo ligeramente alcalino con un valor de 7.8, sin presentar un incremento tan notable, el que se podría esperar por tener un porcentaje ligeramente elevado de sales (gráfica 5).

La cantidad de sales solubles es baja en comparación con los valores de las demás capas, como se observa en los análisis químicos y físicos (ver tabla I). Los valores más altos de sales solubles corresponden al catión  $\text{Na}^+$  con 114.1-179.9 ppm y al anión  $\text{SO}_4^{2-}$  con valores de 13.61-16.45 ppm, la presencia de los sulfatos, formadores de sales neutras, explica por que el pH no se incremente a valores más alcalinos, manifestando solo un elevado valor de conductividad que es de 1,136-1,167  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En los valores de cationes totales, se presenta un incremento superior en el catión  $\text{Na}^+$  con 27.744 ppm y el  $\text{K}^+$  con 364-972 ppm; causado por los aportes de materiales minerales ricos en estos cationes como son los feldespatos y anfíboles.

La presencia de óxidos-hidróxidos, reflejan el grado de intemperización de los materiales minerales, contenidos en el suelo. Así los valores de Silice (Si) se incrementan conforme se avanza a la superficie, presentando un valor de 800 ppm que concuerda con los valores elevados de  $\text{Na}^+$ , dando paso a la formación de silicatos de sodio solubles. Los valores de Al se presentan altos, de 21-24.6 ppm, debido a que son fácilmente intemperizados. El Fe presenta un intervalo de 23.37-24.21 ppm, y permanece estable con pocas variaciones a lo largo del perfil (gráfica 4). De acuerdo con los valores obtenidos principalmente en el porcentaje de arcilla y arena, la fase determinada es de tipo **inorgánica**.

La profundidad de 87-75 cm, presenta valores de D.R y D.A semejantes a los de la capa anterior siendo de 2.17 y 1.03 g/cc respectivamente, determinado por las características que le dieron origen y se refleja también en el porcentaje de M.O. La cantidad de sales solubles baja considerablemente (gráfica 1), dando un valor menor de C.E que es de 964  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En esta zona se tiene un pH ligeramente alcalino de 8.0

Los valores de óxidos-hidróxidos, así como los de N, P y cationes totales, no sufren variaciones notables en relación a las otras capas.

En el análisis sedimentológico, se incrementa la presencia de los materiales más finos, como el limo grueso (0.05 mm) y arcilla fina (0.2  $\mu$ ), con porcentajes de 21.18 y 10.85 respectivamente, esto aunado con lo descrito anteriormente determina una **zona de transición**.

En la capa de 75-56 cm, la D.R se mantiene estable, sufriendo cambio solamente la D.A, que disminuye a un valor de 0.91 g/cc, observándose la tendencia a contener mayores porcentajes de material fino, que corresponde principalmente al limo en sus tres subdivisiones, limo fino (2-5  $\mu$ ), limo (5-20  $\mu$ ) y limo grueso (0.05 mm), que en suma representan más del 50% de material, aparte del alto porcentaje de arcilla (0.2-2  $\mu$ ) con 13.95%

La M.O. no se incrementa y mantiene bajos niveles de N y P cercanos a los descritos anteriormente. Se presenta un ligero incremento del pH (8.1), sales solubles y cationes totales, que a su vez elevan la C.E. que alcanza un valor de 2.610  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tabla 1 y gráfica 3).

Los valores de óxidos-hidróxidos, se comportan de manera diferente, presentando concentraciones de Fe menores de 20.96 ppm, pero muy cercanos a los valores más altos de todo el perfil, el Al tiende a seguir disminuyendo con 21.7 ppm, de manera contraria el Si aumenta, teniendo en esta fase un valor de 2,000 ppm. Los altos valores de material coloidal como el limo fino y limo, el incremento en el Silice y la presencia de diatomeas observadas en las laminas delgadas, determinan la existencia de una **fase biológica**.

En la capa de 56-0 cm, se presenta un incremento en la D R con un valor de 2.27 g/cc siendo todavía menor debido al material mineral y al incremento de M O con valores 0.68-3.19%. La D A sufre un decremento presentándose entre 0.75-0.83 g/cc, a consecuencia del aumento en el material fino (tabla II y gráfica 2).

El aumento de la materia orgánica también se asocia a un incremento de Nitrógeno y Fósforo a 0.0056-0.0149 y 0.45-0.78 ppm, respectivamente.

Las sales solubles y cationes totales siguen la tendencia a aumentar conforme se llega a la superficie, elevando la C.E a un rango de 1205-1387  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con estos valores se esperaría un aumento en el pH, lo cual no sucede teniendo valores de 7.4-7.9, presentándose los más bajos en la superficie debido al incremento de la materia orgánica.

Las variaciones de los óxidos-hidróxidos siguen la tendencia antes descrita, los valores de Fe se incrementan a 21.56-24.57 ppm, mientras que el Al sufre un decremento teniendo valores de 19.9-18.5 ppm, la tendencia del Si sigue en aumento, presentándose valores de 2,800-3.000 ppm. En esta capa la predominancia de materiales finos, principalmente arcillas y arenas, definen una **fase inorgánica**.

Tabla I. Resultados de los análisis químicos y físicos del perfil 1 "El Tejacote"

Prof (cm)	% H <sub>2</sub> O	D.A (g/g)	D.R (g/g)	% F.P	pH (0.1M)	pH (KCl)	C.F (µS/cm)	M.O (‰)	Cationes y Aniones solubles							
									Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/litro)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/litro)	Cl <sup>-</sup> (meq/litro)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)
0-30	37.55	0.75	2.27	66.96	7.4	6.5	1387	3.19	90.9	94.3	199.75	4.74	6.62x10 <sup>-5</sup>	7.95x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	17.41
30-43	43.47	0.78	2.27	65.63	7.5	6.6	1205	1.39	27.35	95.7	199.75	6.05	6.62x10 <sup>-5</sup>	7.95x10 <sup>-3</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	22.90
43-56	50.82	0.83	2.27	63.43	7.9	6.9	1231	0.68	36.35	128.4	197.25	6.27	13.2x10 <sup>-5</sup>	11.9x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	23.87
56-75	47.49	0.91	2.17	58.06	8.1	7.0	2610	0.38	27.25	93.8	179.9	5.32	13.2x10 <sup>-5</sup>	7.95x10 <sup>-3</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	19.67
75-87	34.95	1.03	2.17	52.53	8.0	7.3	964	0.23	18.15	21.8	95.5	2.71	-----	3.97x10 <sup>-3</sup>	-----	10.00
87-104	42.45	1.2	2.17	44.70	7.8	7.4	1136	0.22	27.25	68.2	179.9	8.88	13.2x10 <sup>-5</sup>	9.27x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	16.45
104-125	49.25	1.06	2.17	51.15	7.8	7.4	1167	0.00	27.25	22.7	114.1	3.38	6.62x10 <sup>-5</sup>	5.3x10 <sup>-3</sup>	-----	11.61

Prof (cm)	Óxidos-Hidróxidos					Cationes totales					Color (Hanesby)	Color (Soc)
	Fe (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K (ppm)			
0-30	24.57	18.5	3000	0.0149	0.78	665	3.850	28.818	1.024	7.5 Y/R 2.5/1	10 Y/R 4/1	
30-43	23.01	18.7	3600	0.0112	0.47	1350	3.812	27.087	1.054	7.5 Y/R 3/1	10 Y/R 5/1	
43-56	21.56	19.9	3800	0.0086	0.45	1780	3.868	28.030	904	10 Y/R 3/1	10 Y/R 6/1	
56-75	20.96	23.7	2000	0.0049	0.39	1350	3.862	28.188	952	10 Y/R 4/1	10 Y/R 8/1	
75-87	21.56	24.9	ND	0.0034	0.52	984	3.798	27.086	874	10 Y/R 6/2	10 Y/R 7/2	
87-104	23.37	21.0	ND	0.0049	0.35	984	3.778	27.244	972	10 Y/R 5/1	10 Y/R 7.2	
104-125	24.21	24.6	800	0.0050	0.58	1200	3.626	27.244	364	10 Y/R 5/1	10 Y/R 7.3	

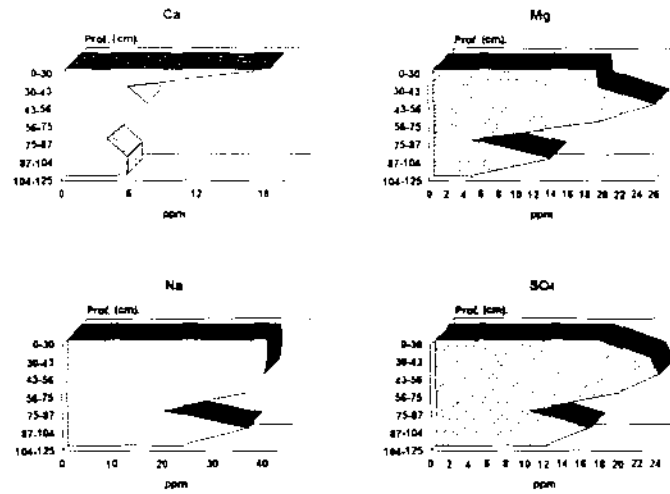
- N.D. No detectado



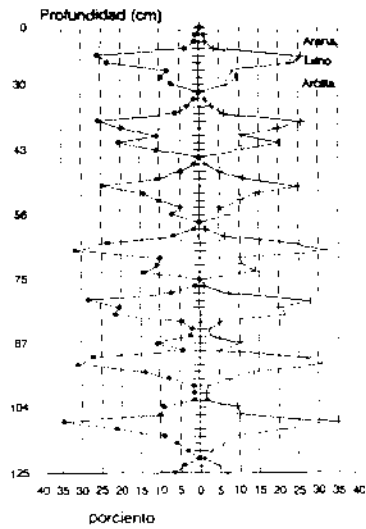
Tabla II. Comportamiento sedimentológico del perfil 1

Prof (cm)	arcilla fina (0.2 $\mu$ )	arcilla (0.2-2 $\mu$ )	limo fino (2-5 $\mu$ )	limo (5-20 $\mu$ )	limo grueso (0.05 mm)	arena fina (0.10 mm)	arena media (0.25 mm)	arena gruesa (0.5 mm)	arena muy gruesa (1 mm)
0 - 30	6.9000	9.6000	8.0850	23.2035	25.7135	3.5965	1.2695	1.0305	-----
30 - 43	10.7000	20.4000	10.6425	19.7015	25.7095	6.1775	2.9885	1.2505	-----
43 - 56	7.000	4.8500	10.2525	14.1175	24.7150	10.7670	4.9060	1.2350	-----
56 - 75	0.2000	13.9500	10.7175	10.0260	31.6580	23.5115	6.4535	1.3835	-----
75 - 87	10.8500	2.5000	2.1450	4.7500	21.1795	20.3315	28.0790	7.1755	1.1810
87 - 104	9.2500	1.6000	1.5900	1.7510	7.6700	13.7550	30.8540	27.0405	4.2810
104 - 125	6.6500	4.3500	0.6300	2.9150	5.8645	8.9255	21.1725	34.6345	9.0005

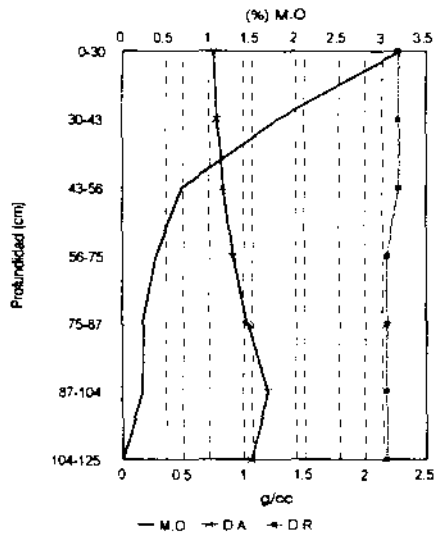
----- No obtencion de muestra



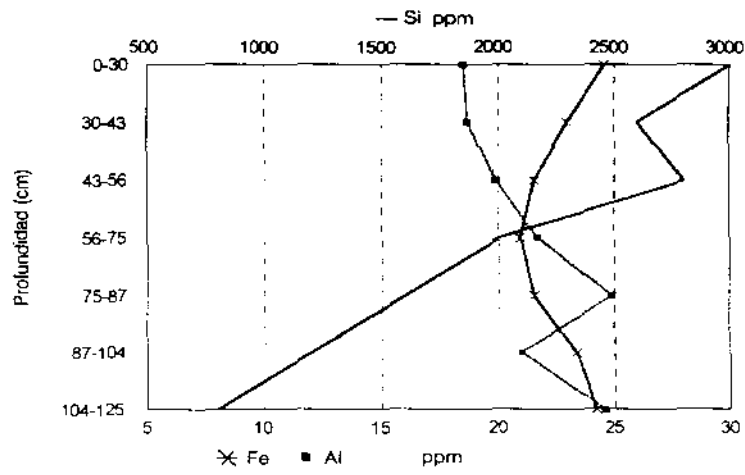
Gráfica 1. Distribución del calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{--}$ ) en su fracción soluble en relación con la profundidad en el perfil "El Tejocote".



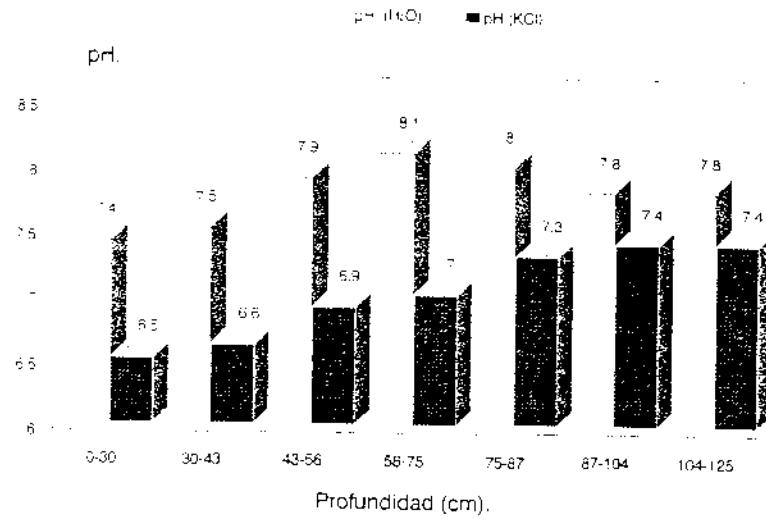
Gráfica 2. Análisis sedimentológico del perfil 1, donde las primeras cuatro divisiones de cada capa representan los valores de arena, las siguientes tres de limo y las dos últimas de arcilla.



Gráfica 3. Variación del porcentaje de materia orgánica (M.O.), densidad aparente (D.A.) y densidad real (D.R.) en el perfil 1.



Gráfica 4. Comportamiento de los óxidos e hidróxidos de hierro (Fe), aluminio (Al) y sílice (Si) en relación a la profundidad del perfil 1.



Gráfica 5. Variación de pH potencial (KCl) y activo (H<sub>2</sub>O) en relación a la profundidad en el perfil "El Tejocote".

#### 12.1.2. Determinación de fases

De acuerdo con los resultados, el perfil 1 se ha dividido en tres fases y una zona de transición, que se describen a continuación dando el evento posible que la conforma, retomando la descripción de la capa más profunda hasta la superficie.

Una de las **fases inorgánicas** se encuentra entre los 125-87 cm, formada por material transportado por el viento y acarreo de otros sitios, presenta principalmente minerales como pomez, cuarzo, feldespatos, augita y hornblenda (Flores, 1995), con una alteración que tiene un comportamiento de mayor a menor grado, partiendo hacia abajo de los 87 cm. La presencia de pomez, en función a su diámetro, aumenta a mayor profundidad dando la apariencia de ser un material diferente, derivado de un evento eruptivo más antiguo.

La estratificación presente en esta fase, está asociada a su posición ubicada en las orillas del lago, logrando una redistribución en el material de acarreo por el viento y por el cuerpo lacustre, aunado al material eruptivo, principalmente pomez, que se estratificó de acuerdo a sus diferentes tamaños. Se puede mencionar que este último fue arrojado por el Nevado de Toluca, el cual según Bloomfield y Valastro (1977), tiene una edad aproximada de  $11,580 \pm 70$  A.P. y redepositado posteriormente. En estas dos capas que forman dicha fase, se presenta carbón en pequeñas cantidades, con lo cual se puede mencionar la existencia de vegetación circundante, que al ser quemada por las emisiones de material volcánico, fue transportado por el viento y depositado en la zona.

La **zona de transición** la localizamos en la profundidad de 87-75 cm, la que tiene material tanto de la fase antes descrita, como de la capa posterior, cuya definición como zona de transición se debe al cambio de fase inorgánica a fase orgánica, reflejando un cambio en el ambiente, los cuales son consecuencia de un aumento en la humedad del medio causado por una mayor precipitación, derivando en un aumento del nivel del cuerpo lacustre, y el incremento de elementos vegetales.

La **fase biológica** está localizada a una profundidad de 75-56 cm, se observa una gran abundancia de diatomeas (Flores, 1995) cuya presencia está definida por condiciones exógenas, como la ocurrencia de un evento volcánico que aporta principalmente cenizas que contiene cantidades importantes de Silicio, derivado rápidamente a partir de la solubilización de los minerales que lo contienen, siendo un elemento fundamental para el desarrollo de las diatomeas.

El evento volcánico, así como el nivel del lago que permanece estable, son un rasgo distintivo de esta fase, además de que los minerales presentan un alto grado de intemperización, causado por el agua que mantiene el nivel permanente de la laguna y que a su vez cubrieron completamente las emisiones de cenizas, acarreadas de las dos formas mencionadas anteriormente.

La **fase inorgánica**, ubicada desde los 56 cm a la superficie, presenta un alto proceso de intemperización que disminuye hacia la superficie, donde el continuo acarreo de material, es el principal evento aunado a los cambios en el nivel del agua. Estos cambios o fluctuaciones determinan cierta estratigrafía que se presenta en el desarrollo de tres capas, las cuales van de 56-43, 43-30 y 30-0 cm, donde la segunda, ha sido fechada por el método de  $C^{14}$  dando una edad de  $2,579 \pm 127$  años A.P (Rios, 1995), lo que permite señalar que en dicho período el nivel del agua era irregular, debido a la desecación paulatina del lago causado por condiciones de sequía, favoreciendo una alta intemperización de los minerales de acarreo.

### **12.1.3. Interpretación de los resultados**

La interpretación de los resultados obtenidos de los análisis así como de las fases determinadas, permiten dar una visión de las características físicas, químicas y biológicas de los eventos que dieron origen y variación de los perfiles estudiados.

En el perfil 1 existen eventos asociados con las emisiones volcánicas y con los niveles de humedad que dan un lago estable asociado a una paulatina desecación del mismo, situación que se presentan en los otros dos perfiles, pero con una menor definición.

La **fase inorgánica** (125-87 cm), está relacionada con las emisiones volcánicas que son depositadas en forma aérea, en una vasta zona del valle. El material ígneo cubrió el área con ceniza volcánica, pómez y material basáltico, provocando la quema de la poca vegetación localizada en la zona. Este evento ocurrió en condiciones de poca humedad.

En esta misma fase después de las emisiones volcánicas, se presenta un mayor contenido de humedad, lo cual provoca una redeposición del material por un continuo acarreo de tipo fluvial y aluvial, dando la conformación estratigráfica de este sitio, con el predominio de un material más fino y de tamaño homogéneo

En la **zona de transición** (87-75 cm), se mantienen las condiciones de un mayor contenido de humedad del medio, causado por las constantes precipitaciones pluviales, que provocan un aumento en el nivel freático, produciendo un crecimiento del cuerpo de agua

Para la **fase biológica** (75-56 cm), el crecimiento del sistema lacustre alcanza una estabilidad, dando como resultado un lago somero, que con los aportes eólicos de material volcánico (ceniza vítrea principalmente), así como de un pH de neutro a alcalino, favorecen las condiciones adecuadas para el crecimiento de las diatomeas, situación que se refuerza con la presencia de diversas especies (Flores, 1995).

La **fase inorgánica** (56-0 cm), se origina por el aporte de material mineral, causada por los depósitos fluviales y aluviales, provocados por los cambios de humedad, que originan la disminución de diatomeas y la proliferación del material vegetal

En esta fase se empiezan a manifestar las condiciones de una menor humedad, que se traducen en un descenso en el nivel del lago, dando el inicio de una sequía, inducida por el medio y las actividades del hombre, así como un incremento en el contenido de sales superficiales en el perfil.

## 12.2. Perfil 2 "Ejido Santa Cruz"

La zona sigue siendo primordialmente cultivo de maíz de temporal, asociado al desarrollo del pastoreo. El relieve de la zona es accidentado del tipo de gilgai, el cual tiene como característica presentar una microtopografía de pequeños montículos debido a la presencia de arcillas expandibles, del tipo 2.1, donde la principal es la montmorillonita. Presenta diversos procesos de formación (esquema 2).

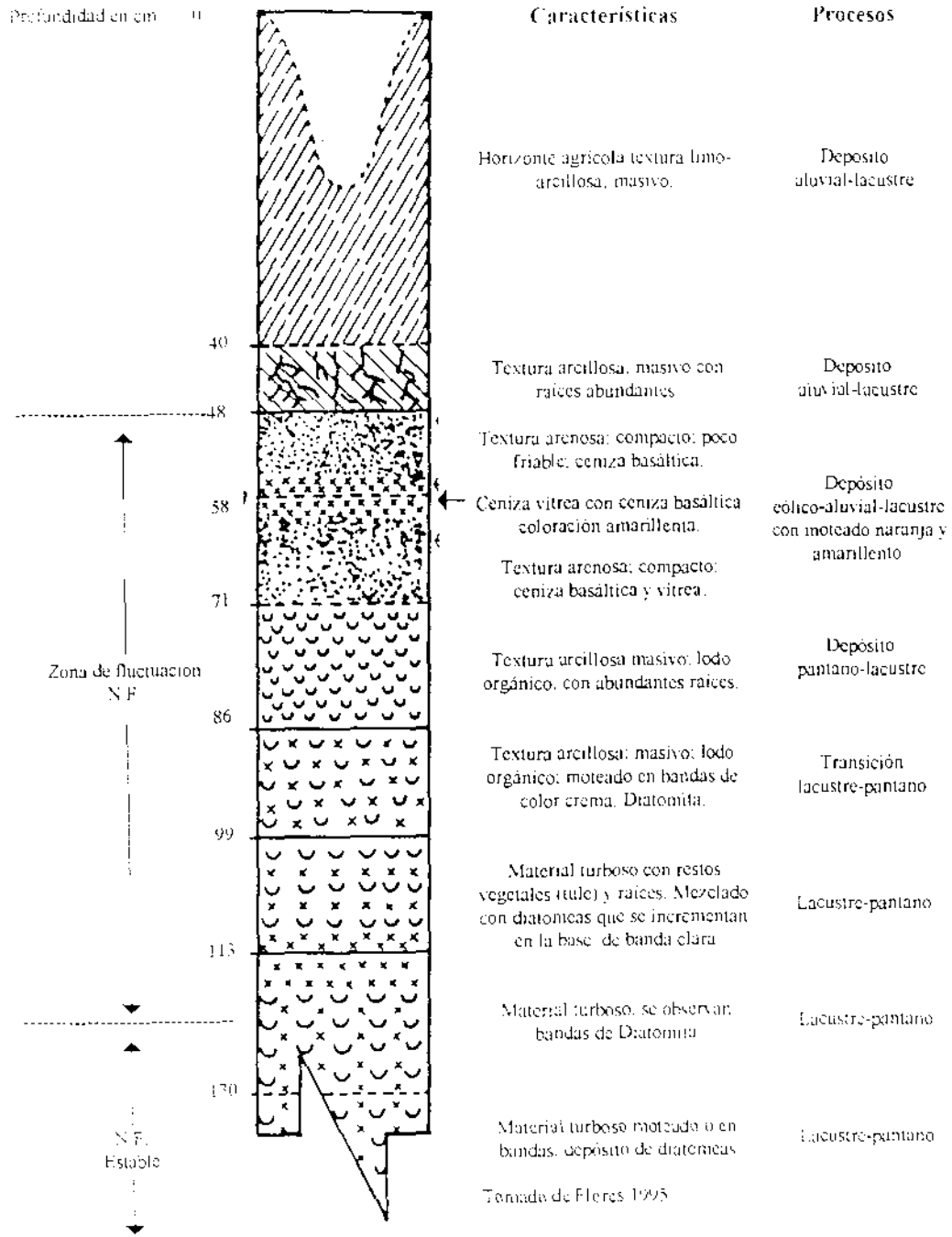
### 12.2.1. Análisis de resultados

La descripción y discusión de los análisis físicos y químicos, siguen el esquema mencionado anteriormente, de tal forma que para la capa de X-130 cm, el análisis sedimentológico muestra un alto contenido de arcilla fina ( $0.2\ \mu$ ), arcilla ( $0.2-2\ \mu$ ) y limo fino ( $2-5\ \mu$ ), alcanzando más del 80% de material. En lo que respecta a la D.R. se tiene un valor de 2.08 g/cc considerado como bajo, debido al alto contenido de M.O., para la D.A. el valor es de 0.33 g/cc indicando una alta presencia de material mineral fino, proveniente de acarreo, debido también al alto contenido de M.O. (tabla IV y gráfica 7, 8). El porcentaje de espacio poroso se mantiene en niveles adecuados en todo el perfil, favoreciendo el desarrollo de raíces y microorganismos.

El contenido de M.O. es alto, presentando un valor de 12.69%, esto indica que la zona presenta además de diatomeas (en mayor abundancia), una gran cantidad de material vegetal que prolifera en condiciones de pantano. Los niveles de N son de 0.0134 ppm, siendo alto en comparación con los valores intermedios, el P presenta un valor de 0.58 ppm, superado por las capas más superficiales, íntimamente asociado con una elevada M.O. (tabla III).



PERFIL 2 "EL EJIDO S.C." SANTA CRUZ ATIZAPAN, MÉXICO



El pH de 5.5 refleja condiciones ácidas, que proporciona una visión de la complejidad de la zona, que presenta altos contenidos de sales solubles como  $\text{Na}^+$  (492.55 ppm),  $\text{Ca}^{++}$  (327.25 ppm),  $\text{Mg}^{++}$  (555.5 ppm) y  $\text{SO}_4^-$  (220.6 ppm), siendo mayores que los otros dos sitios, lo cual indicaría una elevación en el pH con tendencia a la basicidad, pero el valor obtenido muestra condiciones ácidas (gráficas 6 y 10). La posible explicación de esta contradicción, es que en algún momento el lago tuvo un paisaje de pantano, favoreciendo la acumulación de importante contenido de materia orgánica, que aunado a la gran concentración de  $\text{SO}_4^-$  bajo las condiciones prevaletientes de anaerobiosis, dieron origen a ácidos orgánicos e inorgánicos. La C.E. refleja alto contenido de sales, uno de los más elevados con un valor de 2.410  $\mu\text{S/cm}$ , la prevalencia de sales neutras es mayor.

Para los cationes totales el  $\text{Na}^+$  sigue siendo el más alto (20.000 ppm), seguido de  $\text{Mg}^{++}$  (4.000 ppm),  $\text{Ca}^{++}$  (2.896 ppm) y  $\text{K}^+$  (500 ppm), donde los materiales minerales primarios como la albita y hornblenda de mayor abundancia en las emisiones de material vítreo.

Los óxidos-hidróxidos presentan una tendencia semejante al perfil 1; el Si aumenta a 3.600 ppm manteniéndose los demás valores dentro de ese rango; las concentraciones de Fe continúan estables en todo el perfil con 24.81 ppm. El Al con un valor de 20.17 ppm, se encuentra dentro del rango obtenido, teniendo un incremento de material de limo y de sílice que determinan la presencia de una **fase biológica**.

En el estrato de 130-113 cm, la D.R. sufre un decremento a 1.78 g/cc, causado por los valores altos de M.O. con 14.29%. La D.A. se incrementa considerablemente a partir del valor inicial de 0.55 g/cc, en comparación de la fase anterior, debido al mayor aporte de material grueso como la arena de diferentes diámetros, como muestra el análisis sedimentológico, manteniendo características similares a la fase anterior (tabla IV).

Para los cationes totales la tendencia es mantenerse estables, donde solamente el  $\text{Ca}^{++}$  aumenta a 4.956 ppm y el  $\text{Mg}^{++}$  disminuye a 3.726 ppm. En los óxidos-hidróxidos, se presenta un descenso del Si a 3.060 ppm, mientras que el Fe y Al aumenta a 26.26 y 24.16 ppm, respectivamente (gráfica 9).

Los valores de N y P tienden a disminuir paulatinamente con valores respectivos de 0.0142 ppm y 0.45 ppm; el valor de la C.E. se incrementa a 2,770  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en esta zona los valores de  $\text{HCO}_3^-$  se incrementan a  $9.27 \times 10^{-4}$  meq/100g, provocando un pH ácido de 6.03 causado por las sales ligeramente ácidas formadas por el catión  $\text{Na}^+$  tanto soluble como total y siendo este último el más alto. Por estas razones de estabilidad-inestabilidad, se hace mención de una **zona de transición**.

En la capa de 113-86 cm, se presenta una D.R. de 1.56-2.27 g/cc, acorde con los porcentajes de M.O., que al ir disminuyendo hacia la superficie presentan valores de 17.76 a 11.17%, ocasionando un incremento en la D.R. La D.A. tiene la misma tendencia presentándose de 0.44-0.49 g/cc ocasionado por la presencia de materiales más gruesos (tabla III y gráfica 7).

El valor de la C.E. presenta una tendencia a disminuir siendo de 2,040-1,888  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , como consecuencia de un descenso de cationes y aniones solubles. En el pH se esperaría la misma tendencia a disminuir, pero los valores obtenidos aumentan de 6.66-6.91, en función de la disminución del contenido de M.O. Los valores de  $\text{HCO}_3^-$  sufren un incremento de  $3.97 \times 10^{-4}$  a  $10.6 \times 10^{-4}$  meq/100g (tabla III).

Los cationes totales se incrementan para después disminuir, como es el caso del  $\text{Ca}^{++}$  con 14.012-9.162 ppm,  $\text{Na}^+$  de 20.944-20.314 ppm. Los óxidos-hidróxidos de Si y Al aumentan, alcanzando valores de 3,200-3,800 ppm y 23.74-27 ppm respectivamente. Para el Fe los valores tienden a disminuir siendo de 28.67-27.19 ppm, como resultado de las condiciones de un medio pantanoso y de constantes acarrees.

Los valores de N y P disminuyen de 0.0193-0.0110 ppm y 0.57-0.18 ppm respectivamente, como respuesta del decremento de niveles de M.O. que empiezan a manifestarse hacia la capa superior, debido a que continúan los altos porcentaje de M.O., condicionan la definición de una **Fase orgánica**.

Para la profundidad de 56-71 cm, los valores de D.R. 2.63 g/cc y D.A. de 1.35 g/cc son mayores que los anteriores, a consecuencia de la disminución de la M.O., mientras que el aumento de la D.A. está relacionado por los materiales gruesos de los diferentes acarreos de lomo grueso, arena fina y mediana (tabla III y gráfica 8).

En esta capa sobresale el valor de pH, que se incrementa a 7.84, considerado como alcalino, el más alto en todo el perfil y con una C.E. de 1,302  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores de cationes y sales solubles son bajas en comparación con los anteriores, presentando alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  con  $7.95 \times 10^{-4}$  meq/100g, además en esta capa se detecta  $\text{CO}_3^{2-}$  con un valor de  $6.62 \times 10^{-2}$  meq/100g. En los cationes totales la tendencia es a disminuir, a excepción del  $\text{Mg}^{++}$  que se incrementa con un valor de 4.004 ppm causado por el aporte de material volcánico transportado, rico en Magnesio como es la augita (Flores, 1995).

El porcentaje de M.O. con un valor menor de 0.91, manifestó los bajos niveles de N con 0.0054 ppm, mientras que el P aumenta a 0.42 ppm favorecido por la alta concentración de sales, consecuencia de la precipitación y acumulación de fosfatos.

Para los óxidos-hidroxidos de Si aumentan a 4,000 ppm, los de Al disminuyen a 19.8 ppm, los únicos que permanecen estables son los de Fe con 27.83 ppm. La diferencia en estos valores se debe a que el medio propicia la alternancia de condiciones ácidas y alcalinas, lo cual explica el aumento y disminución del Al, contrario a la estabilidad del Fe y el incremento del Si, como consecuencia de estas características se puede definir como una **Zona de transición**.

En la profundidad de 71-58 cm, se tienen valores en la D.R. de 2.17 g/cc debido al incremento en los materiales de acarreo, como la ceniza vitrea, cuarzo y feldespatos. La D.A. es de 1.13 g/cc favorecido por la presencia de materiales de redeposición aumentando los porcentajes de material grueso como la arena (tabla III y gráfica 8). El % de espacio poroso continúa siendo favorable para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, así como el crecimiento radicular de los vegetales.

La M.O. comienza a aumentar presentando un valor de 0.99%. Los valores de sales solubles siguen disminuyendo, siendo los valores más bajos de todo el perfil (tabla III y gráfica 6), dando como consecuencia que la C.E. alcance un valor de 1,003  $\mu\text{S/cm}$ , que es uno de los dos valores más bajos. Para el pH, con valor de 7.65, empieza a mostrar una tendencia a disminuir conforme se alcanzan las capas superficiales.

Los cationes totales se mantienen dentro del rango de los demás valores obtenidos en el perfil, donde el  $\text{Na}^+$  (20 156 ppm),  $\text{K}^+$  (272 ppm) y  $\text{Mg}^{++}$  (3 878 ppm), son los más sobresalientes, debido al acarreo de material mineral volcánico rico en estos elementos. Con lo que respecta al N y P, con 0.0056 ppm y 0.59 ppm respectivamente, son valores de los más bajos, provocado por la escasez de M.O.

Los óxidos-hidróxidos muestran un comportamiento asociado a las condiciones imperantes, ya que mientras que aumenta el Si a 4,400 ppm, a consecuencia del continuo acarreo de material volcánico, el Al presenta el valor más bajo de todo el perfil, 17.3 ppm, y para el Fe el valor es de 25.54 ppm, manteniéndose entre los demás valores. Este agrupamiento de capas define una **fase inorgánica**.

En la capa de 58-48 cm, los valores de la D.R son los más elevados presentándose de 2.67 g/cc, mientras que la D.A tiene 1.13 g/cc, que reflejan el incremento de los materiales menos finos, así como el material mineral más denso.

La C.E. es la más baja siendo de 960  $\mu\text{S/cm}$ , que se debe principalmente a los niveles bajos de sales solubles y a los compuestos que forman entre sí, siendo los más altos el  $\text{Na}^+$  con 47.64 ppm y  $\text{SO}_4^{--}$  con 40.64 ppm. El pH desciende a 7.44 asociado con la disminución de la M.O. a 1.65% (gráfica 8), así como bajos valores del N y P que tienden a aumentar con 0.0062 ppm y 0.61 ppm, respectivamente.

Los valores de cationes totales siguen dentro del rango de las capas anteriores, el  $\text{Na}^+$  con 19 842 ppm es el más alto. Para los óxidos-hidróxidos, el valor de Si disminuye drásticamente a un valor de 2,800 ppm, el Al con 28.5 ppm corresponde al valor más alto del perfil, para el Fe el valor de 23.66 ppm continúa una tendencia estable a lo largo de todo el perfil. La fase determinada corresponde a una **fase orgánica**.

Para la capa de 48-40 cm. los valores de DR disminuyen a 2.08 g/cc, gracias al aumento de M.O. que es de 5.92%, así como de material volcánico de acarreo, en la D.A. el valor es de 0.65 g/cc también con tendencia a decrecer debido al material fino que es redepositado y que se determina en el análisis sedimentológico, en el cual los valores de material más fino como la arcilla son mayores del 50% (tabla IV)

El pH es ligeramente alcalino con un valor de 7.42, mientras que las sales solubles tienden a aumentar, los valores más elevados los presentan el  $\text{SO}_4^{2-}$  (72.90 ppm),  $\text{Na}^+$  (286.6 ppm) y  $\text{Mg}^{++}$  (224.6 ppm), el cual solamente se manifiesta en el valor de la C.E. que es de 1140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , situación que no se refleja en el pH debido al alto valor de  $\text{SO}_4^{2-}$ , formador de sales neutras (tabla III)

En los cationes totales se presenta un incremento en los valores, siendo los más notables el  $\text{Ca}^{++}$  con 2.230 ppm y  $\text{K}^+$  con 416 ppm, causado principalmente por el aporte de material volcánico que los contiene como los feldespatos. El valor de N aumenta a 0.0168 ppm, el P a 0.64 ppm, como respuesta al incremento en la M.O.

Para los óxidos-hidróxidos de Fe y Al la variación es estable ya que el primero presenta un valor de 24.9 ppm el cual se mantiene entre los valores de las demás fases, y el Fe sufre un ligero aumento con un valor de 26.98 ppm. El Si aumenta a 4,000 ppm siendo uno de los valores más altos del perfil, debido al aumento de material volcánico redepositado en la zona (gráfica 9). Con estos valores se define una **fase biológica**.

En la capa de 40-0 cm. disminuye la DR a 1.78 g/cc debido al incremento de material mineral y al alto contenido de M.O. que es de 16.43%; la D.A. también disminuye a 0.61 g/cc por la arcilla y limo redepositadas, que alcanzan más del 80% como se observa en el análisis sedimentológico

El alto porcentaje de M.O. no se refleja en un valor bajo de pH, que es de 7.12, siendo casi neutro, mientras que la C.E. se presenta de 1,180  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como consecuencia de niveles altos de sales solubles

Se presentan altos valores de sales solubles, destacando el  $\text{SO}_4^{2-}$  con 74.83 ppm,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  con 265.5 y 251.15 ppm respectivamente; en esta capa los niveles de  $\text{CO}_3^{2-}$  son mayores, teniendo un valor de  $26.5 \times 10^{-5}$  meq/100 g.

Los cationes totales, en algunos casos, presentan valores elevados, como el  $\text{Ca}^{2+}$  con 4.978 ppm y una tendencia a disminuir el  $\text{Na}^+$  con 19.526 ppm, demostrando una vez más la complejidad de los eventos sucedidos y la diversidad de minerales volcánicos acarreados (tabla III).

En los óxidos-hidróxidos, los valores siguen manteniéndose dentro del rango normal, siendo los siguientes: Fe 25.18 ppm, Al 23.7 ppm y Si con 3,800 ppm; los valores de N y P aumentan por el incremento de M.O., siendo de 0.0241 y 0.73 ppm respectivamente. Esta última capa está determinada como **fase inorgánica**.

Tabla III Resultado de los análisis químicos y físicos del perfil 2 "El Ejido S.C."

Prof (cm)	% H <sub>2</sub> O	D.A (g/oc)	D.R (g/oc)	% F.P	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	C.E (μS/cm)	M.O (%)	Cationes y Aniones solubles							
									Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	CO <sub>3</sub> (meq/100g)	HCO <sub>3</sub> (meq/100g)	Cl <sup>-</sup> (meq/100g)	SO <sub>4</sub> (ppm)
0-40	39.13	0.61	1.78	65.73	7.12	6.5	1180	16.43	109.05	251.15	265.5	3.91	26.5x10 <sup>-3</sup>	10.6x10 <sup>-3</sup>	2x10 <sup>-3</sup>	74.83
40-48	48.67	0.65	2.08	68.75	7.42	6.9	1140	5.92	90.9	224.6	286.6	8.91	6.62x10 <sup>-3</sup>	10.6x10 <sup>-3</sup>	5x10 <sup>-3</sup>	72.90
48-58	45.26	0.78	2.63	70.34	7.44	6.9	960	1.65	18.15	96.2	238.2	8.79	6.62x10 <sup>-3</sup>	9.27x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-3</sup>	40.64
58-71	49.55	1.13	2.17	47.92	7.65	7.2	1003	0.99	9.05	44.05	168.7	6.25	-----	2.65x10 <sup>-3</sup>	-----	31.61
71-86	48.76	1.35	2.63	48.66	7.84	7.4	1302	0.91	18.15	90.0	246.85	12.93	6.62x10 <sup>-3</sup>	7.05x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-3</sup>	42.58
86-99	48.52	0.49	2.27	78.41	6.91	6.4	1888	11.17	118.15	300.9	370.95	19.05	-----	10.6x10 <sup>-3</sup>	3x10 <sup>-3</sup>	118.0
99-113	51.93	0.44	1.56	71.79	6.66	6.2	2040	17.76	154.5	300.0	362.25	17.27	-----	3.97x10 <sup>-3</sup>	8x10 <sup>-3</sup>	170.9
113-130	52.56	0.55	1.78	69.10	6.03	5.5	2770	14.29	290.9	435.05	419.35	21.12	-----	9.27x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-3</sup>	198.3
130-X	50.85	0.33	2.08	84.13	5.65	5.1	2410	12.69	327.25	555.5	492.55	23.05	-----	3.97x10 <sup>-3</sup>	1.7x10 <sup>-3</sup>	220.6

Prof (cm)	Oxidos-Hidróxidos					Cationes totales				Color (Hummel)	Color (Seser)
	Fe (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)		
0-40	25.18	23.7	3800	0.0241	0.73	4.978	3.766	19.526	424	7.5 Y/R 2.5/1	10 Y/R 4/1
40-48	26.98	24.9	4000	0.0168	0.64	2.230	3.752	20.156	416	7.5 Y/R 2.5/1	10 Y/R 5/1
48-58	23.06	28.5	2800	0.0062	0.61	4.92	3.742	19.842	344	7.5 Y/R 3/1	10 Y/R 6/1
58-71	25.54	17.3	4400	0.0056	0.59	2.78	3.878	20.156	272	7.5 Y/R 3/1	10 Y/R 6/1
71-86	27.83	19.8	4000	0.0054	0.42	5.14	4.004	19.684	278	7.5 Y/R 3/1	10 Y/R 5/1
86-99	27.10	27.0	3800	0.0110	0.18	9.162	3.778	20.374	300	10 Y/R 2/1	10 Y/R 5/1
99-113	28.67	23.74	3200	0.0193	0.57	14.012	3.732	20.944	400	10 Y/R 2/1	10 Y/R 3/1
113-130	26.26	24.16	3000	0.0142	0.45	4.956	3.726	20.156	458	10 Y/R 2/1	10 Y/R 4/1
130-X	24.81	20.17	3600	0.0134	0.58	2.896	4.000	20.000	500	7.5 Y/R 3/2	10 Y/R 6/2

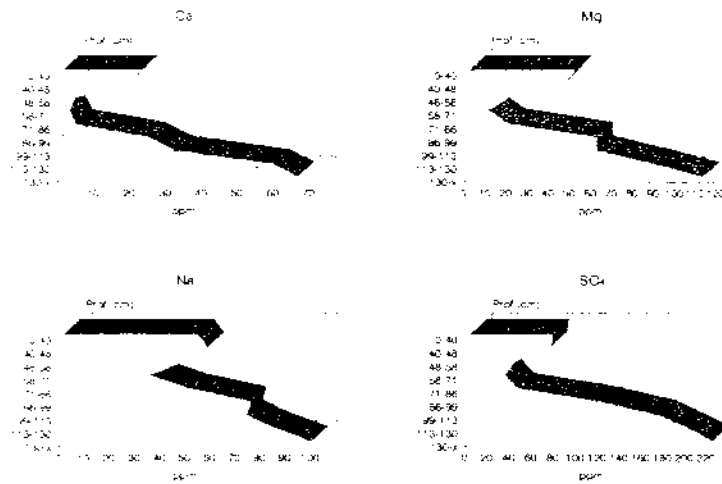
----- No detectado



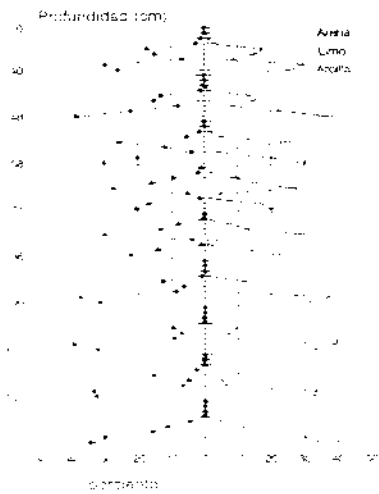
Tabla 1V Análisis sedimentológico del perfil 2

Prof (cm)	arcilla fina (0.2 $\mu$ )	arcilla (0.2-2 $\mu$ )	limo fino (2-5 $\mu$ )	limo (5-20 $\mu$ )	limo grueso (0.05 mm)	arena fina (0.10 mm)	arena media (0.25 mm)	arena gruesa (0.5 mm)	arena muy gruesa (1 mm)
0 - 40	26.0000	29.8500	6.6400	15.1150	17.4265	2.6795	1.2045	-----	-----
40 - 48	38.5000	22.2000	7.9075	15.3950	13.1620	1.1070	0.4320	-----	-----
48 - 58	30.4000	20.1500	3.8475	11.8160	25.7755	5.4020	1.5050	-----	-----
58 - 71	20.5000	16.9000	1.3800	5.1010	27.5060	15.8990	9.3215	2.0590	1.0765
71 - 86	22.4000	14.1500	0.9900	3.6995	30.1045	13.3495	7.9070	0.5630	-----
86 - 99	31.5500	37.4500	8.49500	6.2050	12.6815	0.9995	0.2745	-----	-----
99 - 113	32.4000	39.5000	9.2300	7.1265	9.58100	0.6105	0.4050	-----	-----
113 - 130	32.7500	33.5500	6.7200	4.8950	15.5290	2.7340	0.5325	0.4685	-----
130 - X	34.7000	30.3000	16.0325	11.5110	4.6035	0.5265	-----	-----	-----

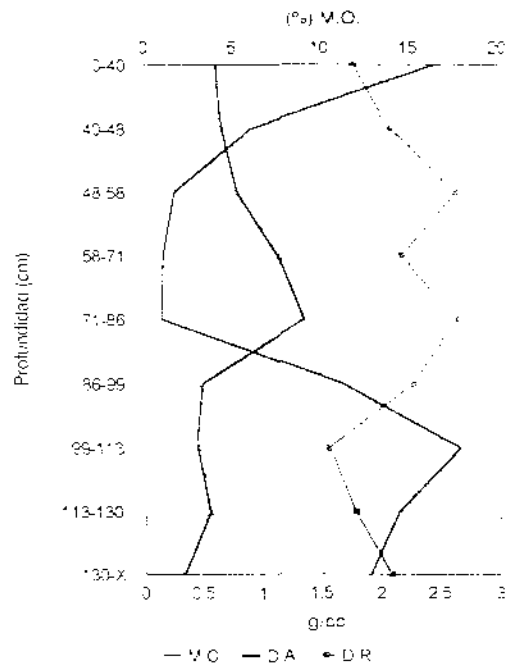
----- No obtención de muestra



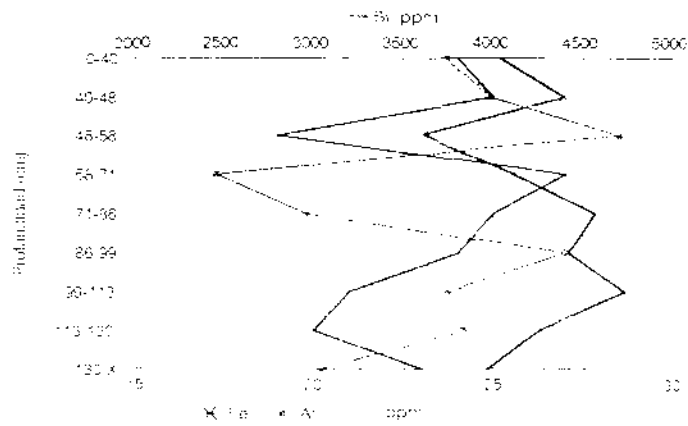
Gráfica 6. Distribución del calcio, magnesio, sodio y sulfato en profundidad en el perfil 2.



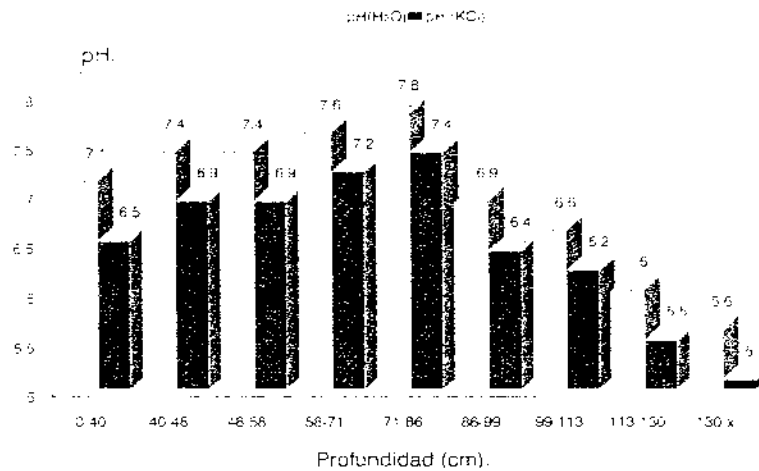
Gráfica 7. Análisis sedimentológico del perfil El Ejido S.C., para las diversas fracciones de material.



Gráfica 8. Distribución de la materia orgánica, densidad aparente y real a través de la profundidad en el perfil 2.



Gráfica 9. Relación de los óxidos-hidroxidos de hierro, aluminio y silice con la profundidad en el perfil 2.



Gráfica 10. Variación del pH en función de la profundidad presente en el perfil 2 El Ejido S.C.

### 12.2.2. Determinación de fases

Con una profundidad mayor de 130 cm, este perfil es el resultado de diversas variaciones que sucedieron en la laguna, ya que se pueden determinar varias fases y zonas de transición. La visión que proporciona son cambios ocurridos de una manera vertical, definidos por el tiempo. Asimismo estas variaciones no se definen tan claramente como en el perfil anterior, dando la apariencia de contener dos fases en una misma capa.

En la profundidad de N=130 cm, se presenta una **fase biológica** la cual tiene el predominio de Diatomita. La profundidad máxima, en la cual descanza esta fase, no se pudo establecer debido a la presencia del nivel freático.

El desarrollo de esta fase se determino por la deposición de material volcanico rico en silice, además de vidrio, cuarzo y feldespatos. La proliferación y abundancia de diatomeas se asocia a una zona con abundante vegetación y a un lago estable poco profundo.

En la profundidad de 130-113 cm, se establece una **zona de transición** la cual contiene diatomeas, pero con un alto contenido de material vegetal, que se empieza a desarrollar en mayor abundancia, al disminuir paulatinamente el nivel del lago.

En la profundidad de 113-86 cm se presenta un paisaje completamente tipico de pantano, dando origen a una **fase orgánica** que contiene gran cantidad de restos vegetales en diversos grados de descomposicion. Asimismo en esta fase se localizan restos de diatomeas, por lo que se pone de manifiesto una gran posibilidad de desarrollo de estos organismos en zonas aledañas, así como de diversas fluctuaciones en el nivel de la laguna para su posible establecimiento.

De 99-86 cm se tiene el fechamiento del material orgánico con el método de  $C^{14}$ , dando una edad de  $8.588 \pm 117$  años A.P. (Rios, 1995), lo cual da la pauta para mencionar que en ese periodo existia una zona anegada con gran abundancia en vegetación, probablemente tulares.

La capa de 86-71 cm de profundidad, se define como una **zona de transición** muy compleja, debido a que presenta características propias de una fase orgánica por la gran abundancia de restos vegetales, biológica por la existencia de diatomeas y por una fase inorgánica que contiene una cantidad importante de minerales, con un grado alto de intemperismo ocasionado por una posible sequía.

De la profundidad de 71-58 cm, se observa una **fase inorgánica**, la cual se presenta por los aportes de material volcánico acarreados por el viento y agua. El nivel del lago fue en aumento, causado principalmente por depositos fluviales, inducidos por las constantes precipitaciones.

En la profundidad de 58-48 cm, la **fase orgánica** vuelve a dominar debido a los constantes flujos de agua que inundaron la zona, dando las condiciones propias para el establecimiento de organismos vegetales (tulares), así como de diatomeas y aportes de

materiales volcánicos como ceniza, cuarzo, feldespato, hornblenda y augita (Flores, 1995), además de los aportes de material fino como arcillas.

Para la profundidad de 48-40 cm la **fase biológica** predomina, con abundancia de diatomeas en asociación con restos vegetales (raíces), el acarreo de material fino y de ceniza vítrea es el evento que determina la proliferación de estos organismos. De esta forma se infiere un incremento del nivel del lago, asociado a una mayor humedad en la zona, para esta capa se tiene un fechamiento de  $3408 \pm 104$  años A.P. (Rios, 1995).

La última capa de 40-0 cm, se define como una **fase inorgánica** la cual tiene diatomeas y material volcánico, así como componentes arcilloso-limoso. Destaca la presencia de sustancias húmicas, que se encuentran envolviendo los minerales de esta fase, donde el continuo acarreo de material es el evento predominante.

### 12.2.3. Interpretación de resultados

En la interpretación de los resultados de los análisis, se sigue el mismo esquema propuesto, que es el de las fases como una consecuencia de las condiciones del medio.

Este perfil empieza a contener características no tan claras para definir que se trate de una sola fase, además de que los valores de materia orgánica continúan en aumento, dando una imagen de zonas pantanosas, así como de constantes redepositaciones de material.

La **fase biológica** (X-130 cm), se presenta en un lago somero en el cual las diatomeas encuentran condiciones adecuadas para su desarrollo, asociadas a los niveles altos de Siliceo, aportado por acarreo. En esta fase también los niveles de M.O. son elevados, debido al paisaje de pantano que se presenta en la zona.

Esta condición de pantano favorece el medio adecuado para el desarrollo de organismos de diatomeas y vegetales, beneficiados por los aportes de material mineral y constantes precipitaciones.

En la **zona de transición** (130-113 cm), se tiene claramente el paso de una fase biológica a orgánica, la cual es causado por una disminución en el aporte de material mineral erosionado y por ende de agua, causando que la disminución del nivel del cuerpo lacustre y como consecuencia una mayor condición de pantano, en la cual ocurrió una mejor adaptación de los vegetales, originando un incremento en el contenido de materia orgánica.

Para la **fase orgánica** (113-86 cm), el paisaje de pantano llega a una estabilidad provocando un aumento en los organismos vegetales y de los valores de M.O., y que posteriormente desaparecen, debido a un aumento en el cuerpo de agua que provocan los constantes acarreo de material.

La **zona de transición** (86-71 cm), se presenta con el aumento de los aportes de material mineral causado por la inundación de la zona, que en un momento dado desplaza a los organismos vegetales, provocando un incremento en el pH.

La **fase inorgánica** (71-58 cm), corresponde a un aumento en el material de acarreo causado por la inundación de la zona, de tipo aluvial y que eleva los niveles de material mas grueso, como la arena.

En la **fase orgánica** (58-48 cm), el incremento en los niveles de humedad provoca un aumento en los organismos vegetales, que a su vez origina mayor contenido en los niveles de M.O., y como consecuencia favorecen las condiciones para el desarrollo de las diatomeas.

Para la **fase biológica** (48-40 cm), las condiciones son las adecuadas para el desarrollo de las diatomeas, debido al aumento en los niveles de Sílice causados principalmente por acarreo de tipo aluvial-lacustre, que incrementa los valores de minerales vitreos. El nivel del cuerpo lacustre comienza a disminuir empezando a elevar los valores de sales, y aumentando la C.F.

La última **fase inorgánica** (40-0 cm), se presenta debido al aporte continuo de material que empieza a rellenar la zona, aunado a la disminución de la humedad y el inicio de una sequía.

### 12.3. Perfil 3 "La Musaraña".

Este perfil (esquina 3) se localiza en las partes cercanas de zonas anegadas, sigue dominando el cultivo de maíz, además de seguir siendo área de pastoreo y en algunas partes aledañas el desarrollo de tulares. La ubicación del perfil corresponde a la parte cercana de la zona central del antiguo lago y por tal motivo presenta una mayor variabilidad.

#### 12.3.1. Análisis de resultados.

En este perfil el paisaje de pantano es el predominante, aunado en algunos casos a los niveles fluctuantes del cuerpo lacustre.

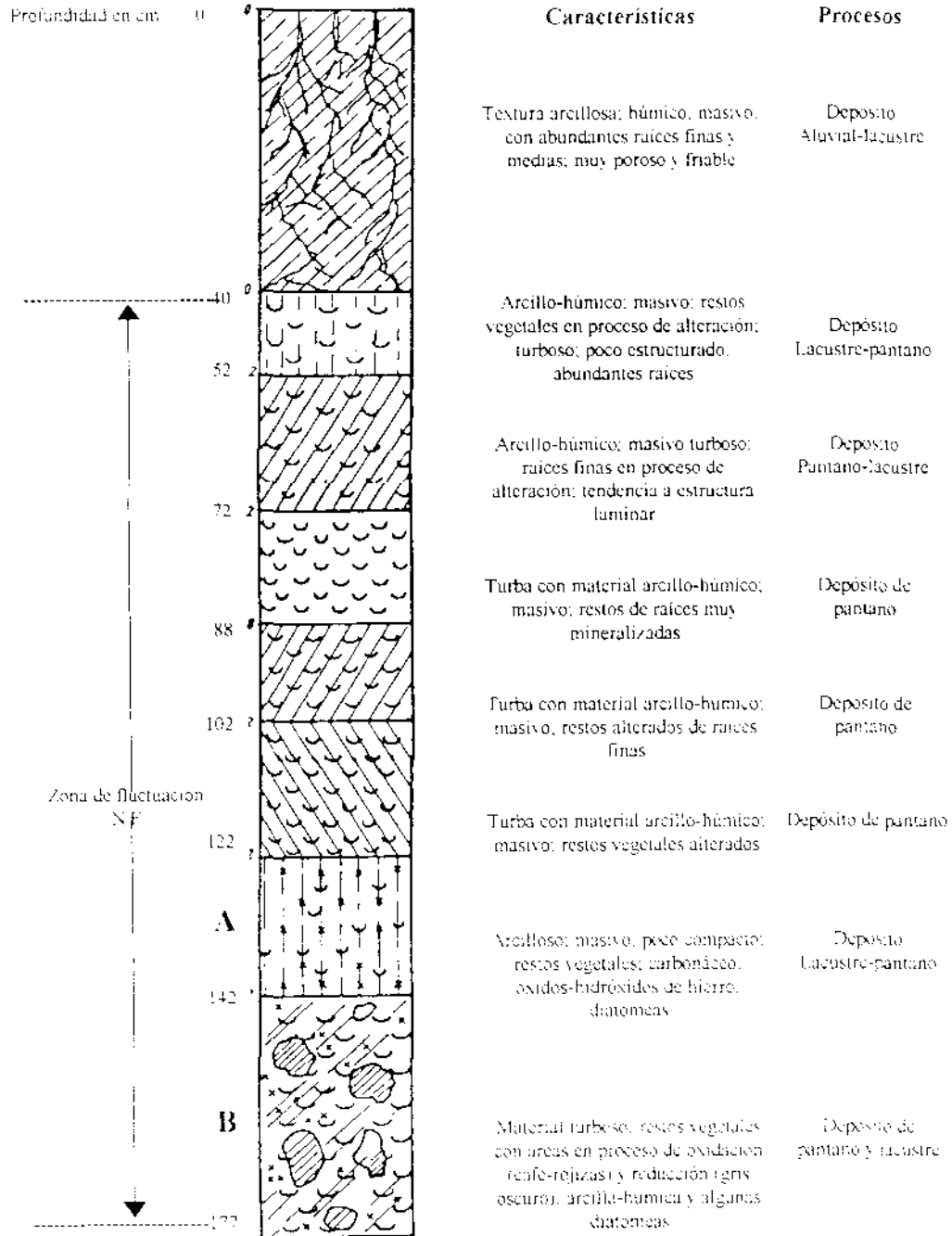
La primera capa de 257-202 cm, la D.R. es de 2.59 g/cc densidad alta que es causada por la compactación de la misma; la D.A. presenta un valor de 0.87 g/cc, que es bajo debido al incremento del material redepositado, que contiene arcillas, limo con 80% y arenas gruesas, así como minerales del mismo tamaño (tabla VI y gráfico 12).

Los valores de M.O. son de 8.33%, manteniendo los niveles estables de N y P con 0.0264 y 0.66 ppm respectivamente. El valor de pH se presentó de 6.9, casi neutro, dado por los contenidos de sales para este perfil son mayores que los dos anteriores, la C.E. es de 2.006  $\mu\text{S cm}$  reflejando alto contenido de sales, en el análisis el  $\text{SO}_4^{2-}$  y el  $\text{Mg}^{++}$  son los más elevados con 80.96 y 3.682 ppm, causado quizás por el aporte de aguas termales (tabla V y gráficas 11, 15).

Para los cationes totales, los valores se presentan dentro de los rangos de todo el perfil, donde el  $\text{Na}^+$  tiene 19.366 ppm y  $\text{Ca}^{++}$  4.102 ppm siendo los más altos, debido al material de origen volcánico.

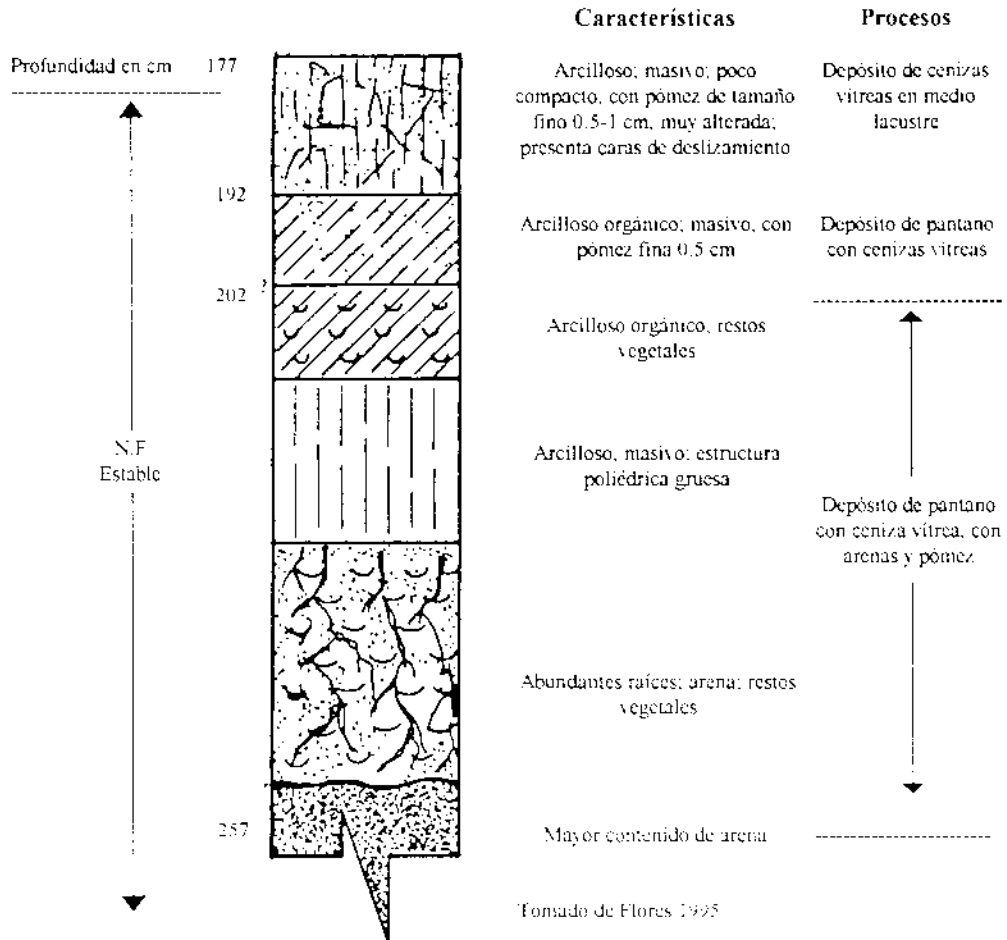


PERFIL 3 "LA MUSARAÑA" SANTA CRUZ ATIZAPAN, MÉXICO



CONTINUACIÓN.

PERFIL 3 "LA MUSARAÑA" SANTA CRUZ ATIZAPAN, MÉXICO.



Los valores de óxidos-hidróxidos, principalmente de Si son los más elevados: 4 000 ppm causado por el material vítreo depositado. El valor de Al es el más bajo con 19.77 ppm y el de Fe con 29 87 ppm manteniéndose dentro de ese rango en todo el perfil. Para esta capa se define una **Zona de transición**

En la profundidad de 202-192 cm, se presenta un valor de D.R de 2 50 g/cc tiene las mismas condiciones que la capa anterior, la D.A disminuye a 0.64 g/cc causado por un incremento mayor en el material fino, como arcilla fina (0.2  $\mu$ ) con 32.65%, arcilla (0.2-2  $\mu$ ) con 28.3%, así como de limo fino, limo y limo grueso con un 30% (tabla VI).

Los valores de M.O. se incrementan por la abundancia de material vegetal, y por las condiciones de pantano presentándose con un valor de 16.13%, como consecuencia de este aumento el valor de pH disminuye a 6.4 causado por la cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos. Los niveles de sales solubles siguen elevados, principalmente los  $\text{SO}_4^{=}$  con 169.6 ppm y el  $\text{Ca}^{++}$  con 131.35 ppm que formaran sales ligeramente ácidas.

La C.E. presenta un valor de 2 011  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sufriendo un incremento a consecuencia de las sales solubles, como se observa en la gráfica 11, cuya causa puede ser por el aporte a través de corrientes de aguas termales.

En los cationes totales los valores comienzan a disminuir, solo el  $\text{K}^+$  con 382 ppm es el que se incrementa. El  $\text{Na}^+$  presenta el valor más alto con 19 542 ppm: debido al material mineral de acarreo rico en Sodio.

El aumento de M.O, influye en un incremento del P con 0.72 ppm y un valor de 0.0254 ppm de N. De esta forma se determina una **fase biológica**

La capa de 192-177 cm, presenta una D.R de 2.0 g/cc siendo menor que la fase anterior, causado por el alto porcentaje de M.O. y la abundancia de material mineral vítreo. La D.A. es de 0.51 g/cc la cual es baja debido al material fino como la arcilla y representa más del 50% de material, así mismo el % F.P. es favorable en todo el perfil.

La M.O. es alta, presentándose en la zona suelos orgánicos con un valor de 15.24%. Con este valor de M.O. el N y el P presentan contenidos que permanecen estables debido a las condiciones de pantano, con 0.0231 ppm de N y 0.09 ppm de P; por el contrario el valor de pH disminuye a 5.9 siendo el más bajo de todos, causado por la gran abundancia de ácidos húmicos y fúlvicos así como la formación de sales ligeramente ácidas y la presencia de  $\text{HCO}_3^-$  con  $3.97 \times 10^{-1}$  meq/100 g y que se localizan en todo el perfil (tabla V y gráficas 13 y 15).

La C.E. tiene un valor de 2.493  $\mu\text{S/cm}$ , es alta debido a la gran cantidad de sales solubles, que se presentan en la zona. Las sales con valores más altos son los  $\text{SO}_4^{2-}$  con 200.9 ppm y  $\text{Mg}^{2+}$  con 567 ppm, en general son valores muy elevados para todo el perfil.

En relación a los cationes totales, el  $\text{Na}^+$  mantiene con un valor superior a todos los demás siendo de 19.298 ppm, causado como consecuencia del intemperismo de los minerales.

Los óxidos-hidróxidos de Si son altos teniendo un valor de 5.200 ppm provocado sobre todo por los acarreo de material volcánico, los de Fe y Al no presentan variaciones tan notables ya que se mantienen con valores muy cercanos, para el Fe de 29.27 ppm y el Al con 26.02 ppm. Debido a estos resultados se define como una **zona de transición**.

El estrato 177-122 cm, presenta valores de D.R. entre un rango de 1.66-1.56 g/cc determinado por el elevado porcentaje de M.O. de 21.20-22.33%, la cual favorece una baja densidad. El valor de la D.A. disminuye de 0.45-0.44 g/cc causado por los constantes aportes aluviales de material fino como la arcilla y limo, que se observan claramente en la gráfica sedimentológica (gráfica 12).

El pH tiene una ligera acidez, como lo demuestran los valores de 6.0-6.6, asociado al incremento del contenido de sales de  $\text{Na}^+$ , que presentan un valor de 368.45-430.5 ppm, así como los  $\text{SO}_4^{2-}$  con 157.4-174.8 ppm.

Los cationes totales presentan valores fluctuantes, ya que en algunos casos aumentan o disminuyen causado por una complejidad en el ambiente, provocado por el acarreo de los minerales y los depósitos lacustres-aluviales, que incrementan el material volcánico rico en Sodio como es el caso de anfíboles y feldspatos, con un rango de 20 000-20 046 ppm siendo el más elevado en el perfil

Los valores de óxidos-hidróxidos, en el caso del Si comienzan a disminuir de 4,600-3,600 ppm, mientras que los de Al y Fe permanecen dentro de los valores de las demás fases, con los siguientes intervalos: Al con 21.19-23.30 ppm y Fe con 29.63-29.39 ppm. En virtud de que no existe una clara definición de este estrato, se define como una **fase mixta**.

Para la profundidad de 122-88 cm, la D.R es la más baja con valores de 0.66-0.56 g/cc causado por el gran incremento de la M.O con valores de 18.25-32.73%. La D.A presenta valores de 0.41-0.43 g/cc, lo que representa un alto contenido de material fino proveniente de los acarreos de las zonas aledañas y que se notan claramente en la gráfica sedimentológica, donde el porcentaje de arcilla fina ( $0.2 \mu$ ) y arcilla ( $0.2-2 \mu$ ) sobrepasa el 50% de material fino (tabla VI).

Los valores de N y P son similares a los demás, siendo de 0.0292-0.0301 y 0.54-0.79 ppm, respectivamente, generados por el alto contenido de materia orgánica

La cantidad de sales solubles continua en aumento como lo demuestra la gráfica correspondiente, los más elevados son los  $\text{SO}_4^-$  con 187.7-216.1 ppm y  $\text{Na}^+$  con 485.1-692 ppm (gráfica 11), lo que incrementa la C.E a un valor de 2.529-2.015  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , presenta un pH de 5.9-6.1, debido a los aportes de ácidos húmicos y fúlvicos provenientes de la materia orgánica, aunado a los altos contenidos de  $\text{SO}_4^-$ , formadores de sales neutras

Para los valores de óxidos-hidróxidos, el Si continua con la tendencia a disminuir con 3.800-3.200 ppm y los de Fe y Al permanecen estables con valores de 30.6-28.69 y 21.08-22.18 ppm respectivamente. Por la presencia de altos valores de M.O, se define como una **fase orgánica**

En la capa de 88-72 cm, los valores obtenidos tienden a disminuir, la cantidad de sales solubles son menores que la anterior fase, como se demuestra en la gráfica 11, pero los valores de  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Na}^+$  son mayores que los demás, con una C.E. de 2 801  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El porcentaje de M.O es elevado con 24.11%, asociado a valores altos de de N, 0.0251 ppm y P con 0.81 ppm.

Los óxidos-hidróxidos de Si disminuyen a 3 000 ppm, y para Fe y Al aumentan a 30.12 y 23.16 ppm, reflejando condiciones de estabilidad

Para los cationes solubles, el  $\text{Na}^+$  (636 ppm) es el único con valores mas elevados causado por el intemperismo de los materiales de origen volcánico. Por lo descrito anteriormente esta capa se define como una **zona de transición**.

Para la última capa 72-0 cm, los valores tienden a ser muy variables, debido a los constantes cambios en el nivel del cuerpo lacustre. Dentro de los más notables son los incrementos de Si que va de 2 800-4 000 ppm. Por otro lado la cantidad de sales tienden a disminuir conforme se avanza hacia la superficie, pero continuando con los valores altos de  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Na}^+$  (tabla V y gráfica 11).

Para el pH los valores son de 6.3-7.1, pasando de ligeramente ácido a neutro. Los porcentajes de M.O tienen un intervalo de 30.28-31.29 %.

Tanto los valores de Si como los de M.O, así como el nivel lacustre determinan las diversas variaciones de este estrato, que se presenta como asociaciones de fases, manifestándose con abundancia de organismos de diatomeas, organismos vegetales y el material mineral volcánico proveniente de otra zona por la erosión y acarreo. Por tal motivo y al no ser tan clara la diferenciación, se define como una **fase mixta**

Tabla V. Análisis químicos y físicos del perfil 3 "La Musaraña"

Prof (cm)	% H <sub>2</sub> O	D A (g/100)	D R (g/100)	% F.P.	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	C E (μS/cm)	M.O (%)	Cationes y Aniones solubles							
									Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	CO <sub>3</sub> (mEq/100g)	HCO <sub>3</sub> (mEq/100g)	Cl <sup>-</sup> (mEq/100g)	SO <sub>4</sub> (ppm)
0-40	-----	0.57	1.51	62.37	7.1	6.8	2154	31.29	154.5	347.8	452.8	10.18	-----	11.9x10 <sup>-4</sup>	-----	157.7
40-52	-----	0.69	2.00	65.50	7.0	6.6	2583	28.84	127.2	384.8	522	19.90	-----	18.5x10 <sup>-4</sup>	5x10 <sup>-4</sup>	159.3
52-72	-----	0.51	1.04	51.00	6.3	5.9	2749	30.28	481.8	666.5	636	24.53	-----	15.9x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup>	207.0
72-88	-----	0.40	0.69	42.36	6.2	5.9	2801	24.11	527	648.5	636	23.89	-----	10.6x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	209.0
88-102	-----	0.43	0.56	24.29	6.1	5.8	2015	32.73	663.5	709	692	28.12	-----	14.5x10 <sup>-4</sup>	3x10 <sup>-4</sup>	216.1
102-122	-----	0.41	0.66	38.43	5.9	5.6	2529	18.25	300	541	485.1	24.54	-----	7.95x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	187.7
122-142	-----	0.44	1.56	71.83	6.6	6.2	2074	22.33	128.6	389	430.5	24.64	-----	11.9x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	174.8
142-177	---	0.45	1.66	72.98	6.0	5.5	2015	21.20	154.1	319.9	368.4	21.39	-----	5.30x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	157.4
177-192	---	0.51	2.00	74.50	5.9	5.0	2493	15.24	373.9	567	378.4	23.31	-----	3.97x10 <sup>-4</sup>	8x10 <sup>-4</sup>	200.9
192-202	-----	0.64	2.50	74.40	6.4	6.1	2011	16.13	131.3	345.4	297.7	16.10	-----	5.30x10 <sup>-4</sup>	2x10 <sup>-4</sup>	169.6
202-257	-----	0.87	2.50	65.20	6.9	6.3	2006	8.33	28.1	614	219.6	12.34	-----	3.97x10 <sup>-4</sup>	-----	80.96

No detectado

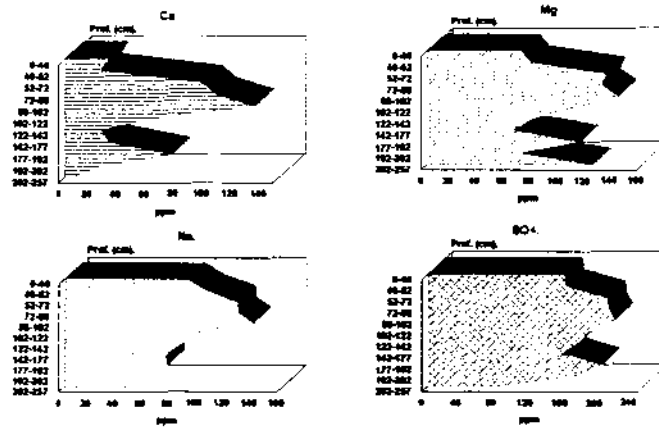
Prof (cm)	Óxidos-Hidróxidos					Cationes totales				Color (H)	Color (S)
	Fe (ppm)	Al (ppm)	Si (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	Ca <sup>++</sup> (ppm)	Mg <sup>++</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)		
0-40	30.36	28.22	4000	0.0293	0.73	3.622	3.820	19.302	396	7.5 YR 2/0	10 YR 3/1
40-52	30.24	27.13	3000	0.0264	0.68	3.260	3.762	19.794	430	7.5 YR 2/0	10 YR 3/1
52-72	28.55	24.09	2800	0.0209	0.63	3.044	4.046	21.156	400	7.5 YR 2/0	10 YR 2/1
72-88	30.12	23.16	3000	0.0251	0.81	3.014	4.100	20.156	416	7.5 YR 2/0	10 YR 2/2
88-102	28.79	22.18	3200	0.0301	0.79	3.362	3.994	19.770	344	7.5 YR 2/0	10 YR 4/1
102-122	30.00	21.08	3800	0.0292	0.54	4.180	3.906	19.538	272	7.5 YR 2/0	10 YR 2/1
122-142	29.39	23.30	3600	0.0316	0.61	3.870	4.324	20.046	386	10 YR 2/1	10 YR 6/2
142-177	29.63	21.19	4600	0.0308	0.82	3.960	4.234	20.000	430	10 YR 2/1	10 YR 6/3
177-192	29.27	26.02	5200	0.0231	0.69	3.608	4.162	19.298	368	10 YR 3/1	10 YR 7/1
192-202	31.68	22.86	3600	0.0254	0.72	3.726	3.660	19.542	382	7.5 YR 2/0	10 YR 4/1
202-257	29.87	19.77	4000	0.0264	0.66	4.102	3.682	19.366	300	7.5 YR 2/0	10 YR 4/1

Tabla VI Análisis sedimentológico del perfil 3

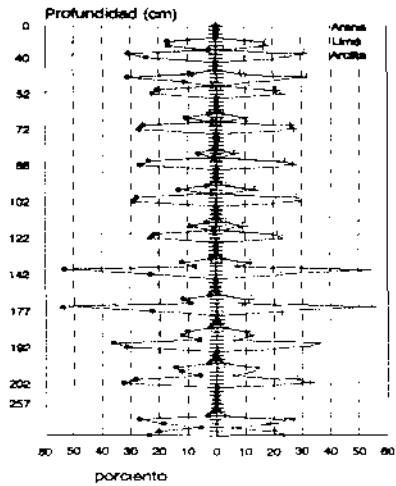
Prof (cm)	arcilla fina (0.2 $\mu$ )	arcilla (0.2-2 $\mu$ )	limo fino (2-5 $\mu$ )	limo (5-20 $\mu$ )	limo grueso (0.05 mm)	arena fina (0.10 mm)	arena media (0.25 mm)	arena gruesa (0.5 mm)	arena muy gruesa (1 mm)
0 - 40	24.3000	30.9000	2.7000	16.7325	17.2120	-----	-----	-----	-----
40 - 52	22.5500	20.8000	1.5150	11.3995	31.4565	8.4805	-----	-----	-----
52 - 72	27.1000	25.9000	1.5525	10.7195	2.6345	-----	-----	-----	-----
72 - 88	26.8000	23.9000	1.1400	6.3515	0.7615	-----	-----	-----	-----
88 - 102	29.1500	27.9500	1.7400	13.3210	3.4175	-----	-----	-----	-----
102 - 122	23.0500	21.6000	1.0800	9.1710	3.4835	-----	-----	-----	-----
122 - 142	22.8000	53.1000	7.4175	11.9865	2.0400	-----	-----	-----	-----
142 - 177	22.7500	53.9000	9.1425	11.7815	2.1560	-----	-----	-----	-----
177 - 192	31.6000	36.1000	6.1750	12.1005	10.3675	2.2375	1.1930	-----	-----
192 - 202	32.6500	28.3000	5.9125	12.412	14.3910	2.7460	0.8090	0.6620	-----
202 - 257	23.5500	20.2000	5.5050	18.6400	27.0295	2.9860	1.3465	0.2410	-----

-----No obtención de muestra

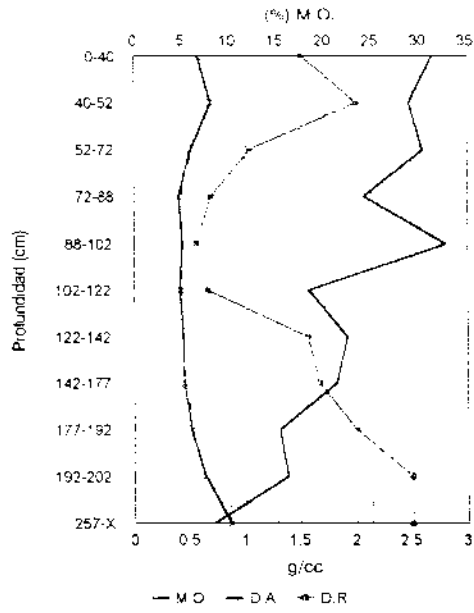




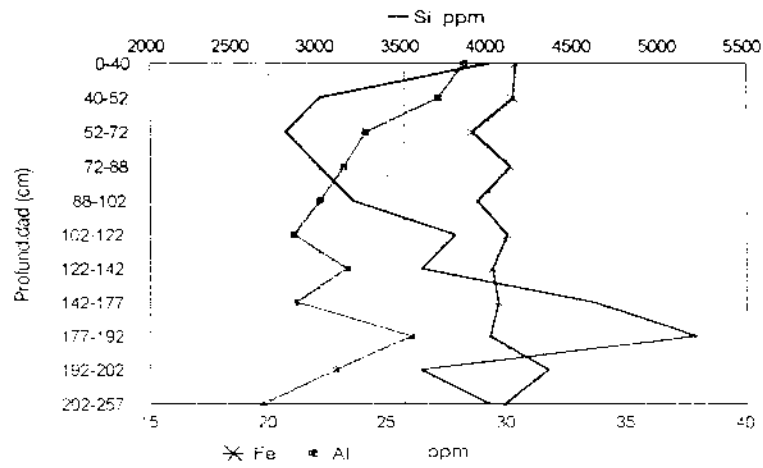
Gráfica 11. Representación de las variaciones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en el perfil 3.



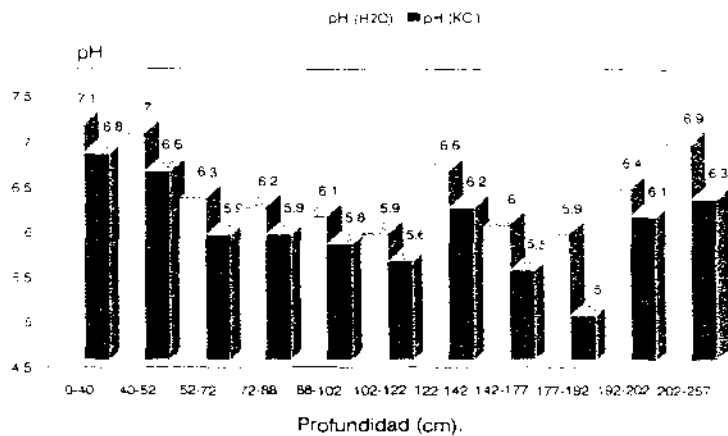
Gráfica 12. Análisis sedimentológico del perfil 3 con la misma división utilizada en los perfiles anteriores para las fracciones de material.



Gráfica 13. Comportamiento del porcentaje de la materia orgánica, densidad real y aparente en relación a la profundidad del perfil 3.



Gráfica 14. Relación de los óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y sílice a través de la profundidad para el perfil 3.



Gráfica 15. Distribución de los valores de pH activo (H<sub>2</sub>O) y potencial (KCl) en el perfil 3, La Musaraña.

### 12.3.2. Determinación de fases

El desarrollo es semejante al perfil 2, ya que en muchas ocasiones las fases no son tan claras, dando la apariencia de estar constituidas de dos o más, las cuales son definidas como mixta; también en algunas ocasiones las zonas de transición no son visibles, presentándose cambios ambientales paulatinos, es decir se presentan ligeras modificaciones

En la profundidad de 257-202 cm, se establece una **zona de transición** con una gran cantidad de material orgánico, diatomeas y de minerales como la augita y hornblenda, además de cuarzo, feldspatos y ceniza volcánica (Flores, 1995). La capa se desarrolló en una zona pantanosa con acarreo de material de otras partes cercanas. La parte que se encuentra por debajo de 257 cm fue fechada por medio de C<sup>14</sup> teniendo una edad de 6.595 ± 121 años A.P. (Ríos, 1995)

De 202-142 cm, se encuentra una **fase biológica** con gran abundancia de diatomeas. Los aportes de material volcánico de tamaño variable (arena gruesa a media), así como de minerales como cuarzo, feldespato, augita y hornblenda (Flores, 1995), son resultado principalmente de los constantes acarreos de material, causado por una inundación de la zona y manteniendo un nivel estable del lago.

Para la profundidad de 192-177, se localiza una **zona de transición**, que se asocia a la existencia de una sequía en la región, provocando el paisaje de pantano. El desarrollo de la vegetación se ve incrementada por estas condiciones, pero conteniendo material mineral y de diatomeas de la fase antes descrita.

En la profundidad de 177-122, se presenta una **fase mixta** que se define como una asociación, y se presenta como fase orgánica-biológica en la profundidad de 177-142, debido al contenido en material orgánico de restos vegetales y diatomeas. En la profundidad de 142-122, se determina una fase biológica-orgánica que al contrario de la antes descrita, el material de diatomeas es mayor, pero también se presentan restos vegetales en abundancia, en esta profundidad se registro un fechamineto por  $C^{14}$  de  $4,309 \pm 102$  años A.P. (Ries, 1995) Cabe aclarar que la mención de la primer fase, indica simplemente lo observado en campo, que no debe entenderse como la dominante

El desarrollo de esta capa fue consecuencia de las condiciones de pantano, que en muchas ocasiones no eran estables

La fase de 122-88 cm de profundidad, se considera como **orgánica** con alto contenido de restos vegetales muy intemperizados, prevaleciendo las condiciones de pantano. El material mineral presente se encuentra fuertemente intemperizado, así se obtiene que a partir de la mayor profundidad a la superficie, el desgaste es menor, presentándose algunas partículas de cuarzo en la parte más profunda, mientras que en la superficie va se localizan minerales de cuarzo y feldespatos de tamaño medio y fino.

En la profundidad de 88-72 cm, se determina una **zona de transición**, predominando las condiciones de pantano, relacionado con un material orgánico muy intemperizado. En este se presentan espículas de esponja, que migraron a través de los orificios dejados por las raíces de los vegetales.

A partir de la profundidad de 72-0 cm, se vuelve a presentar una **fase mixta** (asociación de fases), que se superponen, para formar una triple combinación, donde la primera sería la más visible en campo, como se mencionó anteriormente. Los minerales en estas tres capas están representados por partículas de cuarzo, feldespato y arena fina a media.

En la capa de 72-52 cm, se presenta una fase biológica-orgánica, representada por diatomeas y espículas de esponja que se presentan como fragmentos, mientras que la fase orgánica está determinada por los restos vegetales (raíces muy alteradas) que predominan dadas las condiciones de pantano.

Para 52-40 cm, la asociación de fases está formada por las características orgánica-biológicas, donde el material vegetal está completamente transformado en humus. Las espículas de esponja, así como restos de organismos de diatomeas representan la fase biológica; las condiciones predominantes siguen siendo las de pantano. La transformación de material vegetal en humus favorece la presencia de un material orgánico complejo con la limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Para esta capa el fechamiento por  $\text{C}^{14}$  es de  $1,849 \pm 102$  años A.P. (Rios, 1995).

La última capa de 40-0 cm se determina como una fase biológica-orgánica, donde las condiciones de pantano van desapareciendo, pero dejando material vegetal que sufre un proceso de alteración. Las diatomeas y espículas de esponja dan el sello de fase biológica. El material mineral contiene cuarzo, feldespato y arena fina y media; además de vidrio subangular y subredondeado. El aporte de estos materiales es resultado de los depósitos aluviales-lacustres.

### 12.3.3. Interpretación de resultados

Este perfil contiene gran variedad de eventos, todos asociados con los niveles de humedad en el medio, manteniendo altos contenidos de materia orgánica derivada de restos vegetales desarrollados bajo condiciones de pantano.

La **zona de transición** (257-202 cm), presenta un paisaje de pantano inducida por una disminución en el cuerpo lacustre, manteniendo los aportes de material mineral.

La **fase biológica** (202-192 cm), es el resultado principalmente por los aportes provenientes de las inundaciones de la zona y de los alrededores, causando un aumento en el nivel del lago y desarrollándose abundantes organismos como las diatomeas.

En la **zona de transición** (192-177 cm), disminuye el nivel del lago, dando inicio a las condiciones de pantano, pero manteniendo el contenido de diatomeas y material vegetal.

La **fase mixta** (177-122 cm), se origina como una consecuencia de las condiciones de pantano, que a veces no eran estables, sufriendo un aumento en los niveles de agua dando como resultado altos contenidos de material vegetal y diatomeas, en asociación con los materiales minerales provenientes de los acarreos.

En la **fase orgánica** (122-88 cm), prevalecen las condiciones de pantano, causada por la estabilidad de las condiciones húmedas del medio, iniciándose un mayor desarrollo de vegetación acuática, incrementando el contenido de M.O.

Para la **zona de transición** (88-72 cm), las condiciones del medio se mantienen, pero se tiene un aumento de material de acarreo principalmente de origen volcánico y que favorece las condiciones para el establecimiento de la última fase

En la última fase, determinada como **mixta** (72-0 cm), los cambios en los niveles de humedad del cuerpo lacustre y de las zonas inundables, provocan la asociación tanto de vegetales, diatomeas y material mineral. Se mantienen los altos contenidos de material orgánico y el alto desarrollo de diatomeas. En esta fase la disminución de la humedad del medio, se traduce en un incremento en el contenido de sales.

### 13. CONCLUSIONES

Con la ayuda de las fases determinadas, el análisis de resultados y su interpretación, se derivan conclusiones para cada uno, posteriormente se dará una global en la cual los tres perfiles en estudio sean involucrados, para así poder tratar de entender los eventos que les dieron origen, en tiempo y espacio.

#### 13.1. Perfil 1 "El Tejocote"

Este perfil presenta grandes aportes de material de tipo fluvial y aluvial.

El probable paleoambiente corresponde a un paisaje menos húmedo, causado por las emisiones volcánicas.

Los distintos tipos de materiales de acarreo fueron redepositados, cubriendo la zona con material volcánico, provocando una sequía parcial o momentánea. Este evento se presentó aproximadamente entre los 10,000 a 11,000 años A.P., y que corresponde a la llamada Pómez Toluca Superior.

Posterior al término de los eventos volcánicos, continúa un aumento en las condiciones de humedad, precipitación pluvial y aparición de manantiales que causan un crecimiento del cuerpo lacustre inundando diversas partes del área, hasta formar una gran laguna. Esta etapa de mayor humedad, llega a su clímax con la proliferación de microorganismos vegetales como las diatomeas.

Posteriormente, se empieza a presentar una sequía paulatina causada por el medio ambiente, reflejada en la sucesión de diatomeas y material mineral provenientes de los acarreos; esta alternancia de eventos de sequía-humedad, van configurando la forma actual de la zona.

A partir de la fecha de  $2,579 \pm 127$  A.P. (capa de 43-30 cm), se inicia un período seco causada por una menor precipitación en el medio y en tiempos recientes por causas antropogénicas, dando así inicio de una tendencia hacia un clima más seco.

### 13.2. Perfil 2 "El Ejido S.C."

El perfil presenta fluctuaciones en el registro de humedad ambiental, con diversas variaciones que provocan la proliferación de diatomeas y una asociación con otros vegetales.

El inicio del ambiente en el perfil, comienza con una condición de humedad que mantiene un lago estable y poco profundo con gran aporte de material mineral, el cual favorece las condiciones adecuadas para el desarrollo de las diatomeas, organismos predominantes en esta fase, pero en el cual el desarrollo de los vegetales indican un nivel somero del lago.

Posteriormente hacia los  $8,588 \pm 117$  años A.P., el nivel del lago disminuyó paulatinamente causado por un descenso en la precipitación pluvial, formando una zona pantanosa con el desarrollo de organismos vegetales.

En esta etapa de evolución del lago se puede mencionar una intensa dinámica de los niveles fluctuantes del cuerpo lacustre y que en ciertos periodos mantenía la zona anegada, o formando charcas temporales.

Después de esta disminución en la precipitación y por consiguiente en el nivel del lago, prosigue una etapa de fluctuaciones de mayor-menor humedad, que repercuten en el aporte de material vegetal y mineral que pueden ser del mismo lugar o transportados de lugares cercanos, con variaciones en las especies de diatomeas encontradas.

El aumento en la precipitación provoca un continuo acarreo de material, erosionando las laderas. Este evento incrementa el nivel del lago, inundando diversas zonas en la cual se establecen organismos vegetales y diatomeas.

El incremento en la precipitación y los afluentes de la zona, tienen como consecuencia el aumento en el nivel del lago, el cual se presentó aproximadamente a los  $3,408 \pm 104$  años A.P., originando el desarrollo de diatomeas.

El periodo que le sigue a esta etapa de mayor humedad es un incremento de los materiales minerales de acarreo, posteriormente al dar inicio una desecación paulatina, el material inorgánico presenta una mayor acumulación en el perfil.

**ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE AQUÍ**



### 13.3. Perfil 3 "La Musaraña"

Este perfil, es el más variable, teniendo cambios menos notorios en determinadas condiciones de fluctuación de la precipitación.

El perfil inicia con un ambiente de pantano causado por un incremento en los niveles de humedad y con gran acarreo de material mineral aproximadamente a los  $6,595 \pm 121$  años A.P.; el incremento en el aporte de agua origina el aumento en el cuerpo lacustre, dando inicio al desarrollo de diatomeas, manteniendo un lago poco profundo.

Después de este aumento en el lago, sobreviene una disminución de la precipitación en el medio, causando una baja en el nivel del cuerpo lacustre, asociado al desarrollo de los tulares, típicos de este ambiente, además se presentan periodos de mayor-menor precipitación y como consecuencia un incremento de diatomeas y organismos vegetales (acuática y subacuática), presentándose como un periodo de inestabilidad, el cual se considera que ocurrió en los  $4,309 \pm 102$  años A.P.

Posteriormente prevalecen las condiciones de pantano, manteniendo un desarrollo de los organismos vegetales. El mínimo aumento en la humedad provoca aporte de material mineral y organismos vegetales, que en conjunto determinan la inestabilidad de las condiciones de humedad, lo que se refleja en la presencia de las tres fases (Orgánica, Inorgánica y Biológica), ubicada aproximadamente a los  $1,849 \pm 102$  años A.P.

Al mantenerse estas fluctuaciones de humedad, el cuerpo lacustre tiende a disminuir y por consiguiente las condiciones de pantano también, esto provoca una tendencia a su desaparición, por la deriva un cambio climático más seco, aunado a la actividad antropogénica.

### 13.4. Conclusión global

Los cambios ambientales sucedidos en la zona lacustre del Alto Lerma, se ven claramente definidos en las fases determinadas, que muestran el paisaje dominante. En esta definición de los cambios ambientales se integraron espacio y tiempo para entender las posibles variaciones encontrados en los perfiles.

En el Valle del Alto Lerma existía un gran lago el cual abarcaba la mayor parte de la planicie de la zona, que posteriormente entre los 10,000-11,000 años A.P., de los constantes y variados eventos volcánicos así como los cambios en las condiciones ambientales empezaron a dar forma al paisaje que actualmente se presenta. Destaca el vulcanismo del Nevado de Toluca, que cubrió la mayor extensión de área, provocando un relleno de las zonas de menor profundidad del cuerpo lacustre y de sus orillas, reduciendolo parcialmente e induciendo una sequia temporal del valle dando condiciones muy distintas en diversas partes, que causaron el desarrollo de variados hábitat y el devastamiento de otros, el paisaje que se podía observar era el de lagunetas o charcas así como el de zonas altamente quemadas por las emisiones volcánicas.

Así se inicia la historia del cuerpo lacustre a partir de una condición seca inducida por el medio, que posteriormente redujo en cuanto a extensión (espacio) el cuerpo lacustre, y que fue aumentando por los constantes aportes de agua provenientes de las altas precipitaciones, este evento se puede ubicar aproximadamente a los 9,000 a 8,000 años A.P., con el desarrollo de diatomeas, condiciones que se asocian a una estratificación bien definida causada por el acarreo de material por gravedad o por el arrastre de la lluvia, lo que conlleva a una estabilidad de las condiciones del medio.

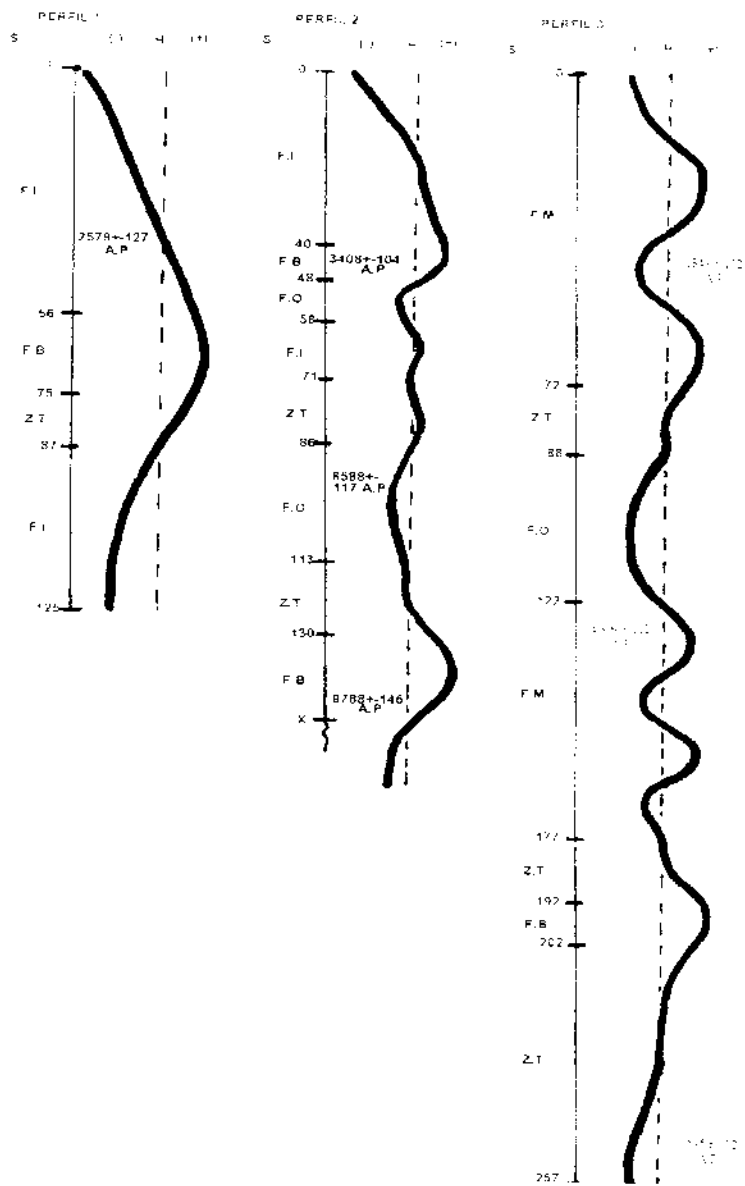
Estas condiciones de humedad causadas por una mayor precipitación, provocaron inundaciones de las zonas menos elevadas y el arrastre de materiales minerales de los lugares de mayor altitud. Además en muchas partes del valle el arrastre de material dio lugar a una variedad de condiciones para el desarrollo de diversos organismos y de hábitat, toda esta complejidad de eventos determinó muy individualmente a los tres perfiles en estudio marcándose las condiciones cambiantes en el último perfil.

Las constantes precipitaciones fueron disminuyendo en cuanto a intensidad pero manteniendo los lugares húmedos favorables para la aparición de la vegetación adaptada a zonas pantanosas con la consecuente acumulación de materia orgánica, originando las llamadas turbas, lo que ocurrió entre los 8,000 y 5,000 años A.P. Posteriormente los diversos cambios en el medio causados por menores o mayores precipitaciones, dan como consecuencia una gran variedad en las fases y en muchos casos una mezcla de ellas debido a los diversos hábitat que se presentaron, determinados en los dos últimos perfiles, todos estos cambios de fluctuaciones en el medio se presentan entre los 6,000 a 3,000 años A.P., siendo claramente definidos en el perfil No 3

La complejidad de la zona, así como de los cambios en el ambiente presentan una transición de mayor-menor humedad y viceversa, el aporte de minerales mediante su transporte horizontal, así como el incremento de material vegetal en las zonas de inundación, con una altitud variable, lo accidentado del paisaje y de la cubeta lacustre, aunado a los eventos tectónicos, se puede inferir que los perfiles representan distintos lugares, situación que resulta como un claro reflejo de la sucesión de los diversos hábitat existentes.

Todos estos eventos así como las recientes actividades humanas provocan una disminución del cuerpo lacustre y el incremento en la erosión de las zonas aledañas, propiciando una tendencia acelerada hacia condiciones más secas, aumentando de manera indirecta la concentración de sales en la superficie.

Por medio de los resultados, la interpretación de los mismos, así como de las conclusiones y observaciones, se propone el siguiente esquema de variación climática holocénica reflejada en los diferentes perfiles.



Esquema de variación climática, en la cual se observa el cambio paleoambiental en cada perfil teniendo un comportamiento diferente como resultado de la complejidad de la zona. Las abreviaturas son las siguientes: S-sequía, H-humedad, FI-fase inorgánica, FO-fase orgánica, FB-fase biológica, FM-fase mixta, Z.T-zona de transición.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- 1 - Am. Soc. for Test. and Mat. 1958. Procedures for testing soils. Am. Soc. Testing Mater., Philadelphia, U.S.A. pp 35-52
- 2 - APHA, AWWA, WPCF. 1989. Metodos Normalizados. Diaz de Santos S.A., 234 pp
- 3 - Bloomfield, K. 1973. The Age and significance of the Tenango Basalt, Central Mexico. Bull. volcanol. n 37, pp 586-595
- 4 - Bloomfield, K and Valastro, S.Jr. 1974. Late Pleistoceno Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. Geological Society of American Bulletin. v 85, pp 901-906
- 5 - Bloomfield, K, 1975. A Late-Quaternary monogenetic volcanofield in Central Mexico. Geologische Rundschau, Bd. n 64, pp. 476-497
- 6 - Bloomfield, K and Valastro, S.Jr. 1977. Late Quaternary Tephrochronology of Nevado de Toluca volcano, central Mexico. Overseas geol. miner. resour. n 46, pp 1-16.
7. Butzer, Karl W. 1993. No Eden in New World. Nature, vol. 362; pp. 15-17.
8. Bradbury, J. P., 1971, Paleolimnology of Lake Texcoco, México. Limnology and Oceanography, vol. 16, No 2, pp; 180-200.
- 9 Demant, A., 1981, L'Axeneo-volcanique transmexicain étude volcanologique et Pétrographique signification géodynamique, Thèse, Université de Droit, d'économie et des sciences d'Aix., Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de St, Jérôme, pp 12-24.
- 10 Departamento de Distrito Federal, 1966. Estimación preliminar de los recursos de Agua Subterránea en la Cuenca Alta del Rio Lerma hasta el estrechamiento de Atlacomulco. México, DDF, Servicios Geológicos, S.A. 325 pp.
- 11 Engstrom, D. R. and Wright, H. E. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as record of environmental change. In: Lakes sediments and environmental history, de Hawoth, Y, Elizabeth, Great Britain; 411 pp.
12. Flores, D. A. 1980. Arcillas. Departamento de Prehistoria I N A H., México. 76 pp
13. Flores, D. A. 1986. Fluctuaciones del Lago de Chalco desde hace 35,000 años al presente. En Tlapacoya: 35,000 años de Historia del lago de Chalco. Colección Científica, Serie Prehistoria, INAH, México; pp 109-156
- 14 Flores, D. A. 1995. Informe Anual Proyecto CONACYT "El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma, un estudio multidisciplinario" Directora Dra Yoko Sugiura 726 pp.
- 15 Gavande, S. A. 1982. Física de Suelos, Ed Limusa, Mexico; 351 pp.

16. Garcia, E. 1989. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, 245 pp.
17. Goldman, E. A. 1951. Biological investigation in Mexico. Published by the Smithsonian Institution, Washington, pp. 183-463.
18. Gonzales, Q. L. 1986. Paleoecología de un sector costero de Guerrero, México (3000 años). En Memorias III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología. Colección Científica 86, INAH México. pp133-157.
19. Gonzales, Q. L. y Fuentes, M. M. 1989. El Holoceno de la porción central de la Cuenca del Valle de México. En Memorias III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología. Colección Científica 86, INAH México. pp 113-132.
20. Gonzales, Q. L. y Montúfar, L. A. 1980. Interpretación paleoecológica del contenido Polínico de un núcleo cercano a Tula Hgo. En Memorias III Coloquio sobre Paleobotánica y Palinología. Colección Científica 86, INAH México. pp 157-172.
21. Gomez, Gutierrez, A. 1969. Flora espontánea en los municipios del Estado de México, comprendidos dentro de la Cuenca del Río Lerma. Plan Lerma. Asistencia Técnica. Manuscrito. 154 pp.
22. Heine, K. 1976. Blockgletscher-und Blockzungen-Generationen am Nevado de Toluca, México, Die Erde, No 107, pp. 330-352.
23. Heine, K. 1973. Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40,000 años en México. Comunicaciones Proyecto Puebla-Flaxcala, México; pp. 51-58.
24. Herrera, F. M. 1993, Estratigrafía y recursos minerales del Edo de México. Carta geológica.
25. INEGI, 1976. Carta Edafológica del Estado de México. CETENAL.
26. INEGI, D.G.G. 1985. Carta de efectos climáticos, México.
27. Jackson, M. L. 1982. Análisis químicos de suelos, Ed. Omega, Barcelona, España, pp 562.
28. Jackson, M. L. 1956. Soil chemical analysis, Advanced course. Publ. by the Author, Dept. Soils, Univ Wisconsin, 991 pp.
29. Lysa, A. and Landvik, J. Y. 1994. Cyclic changes in the sedimentary environment during the Last interglacial-glacial cycle; Coastal Jameson Land, East Greenland, Paleo, No 112, pp. 143-156.
30. Martini, L. P. and Chessworth, W. 1991. Developments in Earth surface processes 2., Weathering soils and paleosols., Elsevier, Amsterdam, 350 pp.
31. Martinez, M. Matuda, F. 1979, Flora del Estado de Mexico. Gobierno del Estado de México, Comisión Exploradora del Edo. Toluca, México; 259 pp.

- 32 Metcalf, S. 1989. Late Holocene human impact on lake basins in central Mexico. *Geoarchaeology*, vol 4, No 2, pp. 119-141.
- 33 Metcalf, S. 1991. Palaeolimnology of the Upper Lerma Basin, Central Mexico: a record of climatic change and antropogenic disturbance since 11600 yr BP. *Journal of Paleolimnology*, n 5, Belgium, pp 197-217.
- 34 Mirambell, L. 1978. Tiapacoya, a late Pleistocene site in Central Mexico. In: *Early Man in America-from a circum-Pacific perspective*, A. L. Bryan (ed). Department of Anthropology, University of Alberta, Edmonton: 327 pp.
- 35 Mooser, F. 1969. Mapa geológico de la cuenca de México y zonas colindantes, en *Memoria de las obras del sistema de drenaje del Distrito Federal*. México, Distrito Federal, pp 362.
- 36 Newton, Quiroz. 1995. Informe Anual Proyecto CONACYT "El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma, un estudio multidisciplinario" Directora Dra Yoko Sugiura. 726 pp.
- 37 O'Hara, Sarah, I. 1993. Accelerated soil erosion around a Mexican highland lake caused by prehispanic agriculture. *Nature*, vol. 362; pp. 48-51.
- 38 Ramírez, Cantu, D. y Herrera, T. 1954. Contribución al conocimiento de la vegetación de Lerma y sus alrededores, *An. Inst. Biol. Mex.* XXV; pp. 65-95.
- 39 Retellack, G. J. 1990. *Soils of the past*, Unwin-Hyman, London; 520 pp.
- 40 Rios, P, M. Informe Anual Proyecto CONACYT "El hombre, el agua y el bosque en el Alto Lerma, un estudio multidisciplinario" Directora Dra Yoko Sugiura. 726 pp.
- 41 Rzedowsk, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México. 432 pp.
- 42 Thomas, R. L. 1988. Lakes sediments as indicadores of changes in land erosion rates. In: *Physical and Chemical weatering in geochemical cycles*, Ed Lerman, A. Switzerland; pp 143-164.
- 43 Sanchez, R. G. 1984. *Notas sobre volcanología Cenozoica de la Region entre Temascaltepec y la Marqueza, Estado de México*. Libro-Guia de la excursion geológica a Tierra Caliente, Estados de Guerrero y Mexico. México, Sociedad Geologica Mexicana, Cipres, IV, Rodolfo del Arenal, 156 pp.
- 44 Sugiura, Y. Y. 1991. *El Epiclástico y el Valle de Toluca, un estudio de patron de asentamientos*. Tesis de doctorado. UNAM Facultad de Filosofía y Letras. 543 pp.
- 45 Sugiura, Yamamoto, Yoko. 1995. *El hombre, el agua y el bosque en el alto lerma*. Informe INAH. 25 pp.
- 46 Vomocil, J. A. 1966. *Porosity methods of soil analysis*. Agronomy Monograph, No 9, Part 1. Academic Press, New York, 216 pp.

47 Walkley, A. 1947. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. *Jour. Agr. Sci. England*, 169 pp.