

El agua, la tierra, el bosque y el hombre en el Alto Lerma: un estudio multidisciplinario

Resultados preliminares

Yoko Sugiura, Antonio Flores,** Beatriz Ludlow,****

*Francisco Valadez,*** Michèle Gold,*** Jean-Michel Maillol*****

Introducción

La importancia del valle de Toluca, el más elevado de la República Mexicana, fue claramente advertida desde los tiempos de los cronistas. Sahagún por ejemplo, mencionaba: "Estos quaquatas, como en su tierra de ellos, que es en el valle que llaman Matlatzinca, hace grandísimo frío... la tierra de estos solamente se da maíz y frijoles, y unas semillas que son de mantenimiento que se llama huautli. Carecen de sal y ají". Estos quaquatas o matlatzincas o toluca "eran grandes trabajadores en labrar sus sementeras, y recios y para mucho, y cargábanse grandes cargas" (Sahagún, 1956: 200-201) Clavijero (1964: 3), por su parte, describe que "el hermoso y fértil valle de Toluca tiene quince leguas de largo del sureste al noroeste, y nueve de ancho por donde más se dilata". En estos y muchos otros relatos queda patente, a pesar de su gran elevación, la reconocida riqueza agrícola de esta zona.

De la misma manera que la cuenca de México, el valle de Toluca se caracteriza por la presencia de los volcanes que lo circundan y por las lagunas, hoy en día desecadas. Aunado a un suelo aluvial fértil, las ciénagas del Alto Lerma y el río Lerma, que surca en su lecho, han jugado un papel primordial en la milenaria historia de este valle. Así, desde tiempos remotos, han constituido un medio insustituible para la vida humana. Esta estrecha relación entre el hombre y su medio cenagoso se evidencia por la presencia de asentamientos antiguos a lo largo de la ribera lacustre de la región, cuya cronología se remonta, por lo menos, a unos tres mil años atrás.

* Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.

** Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH.

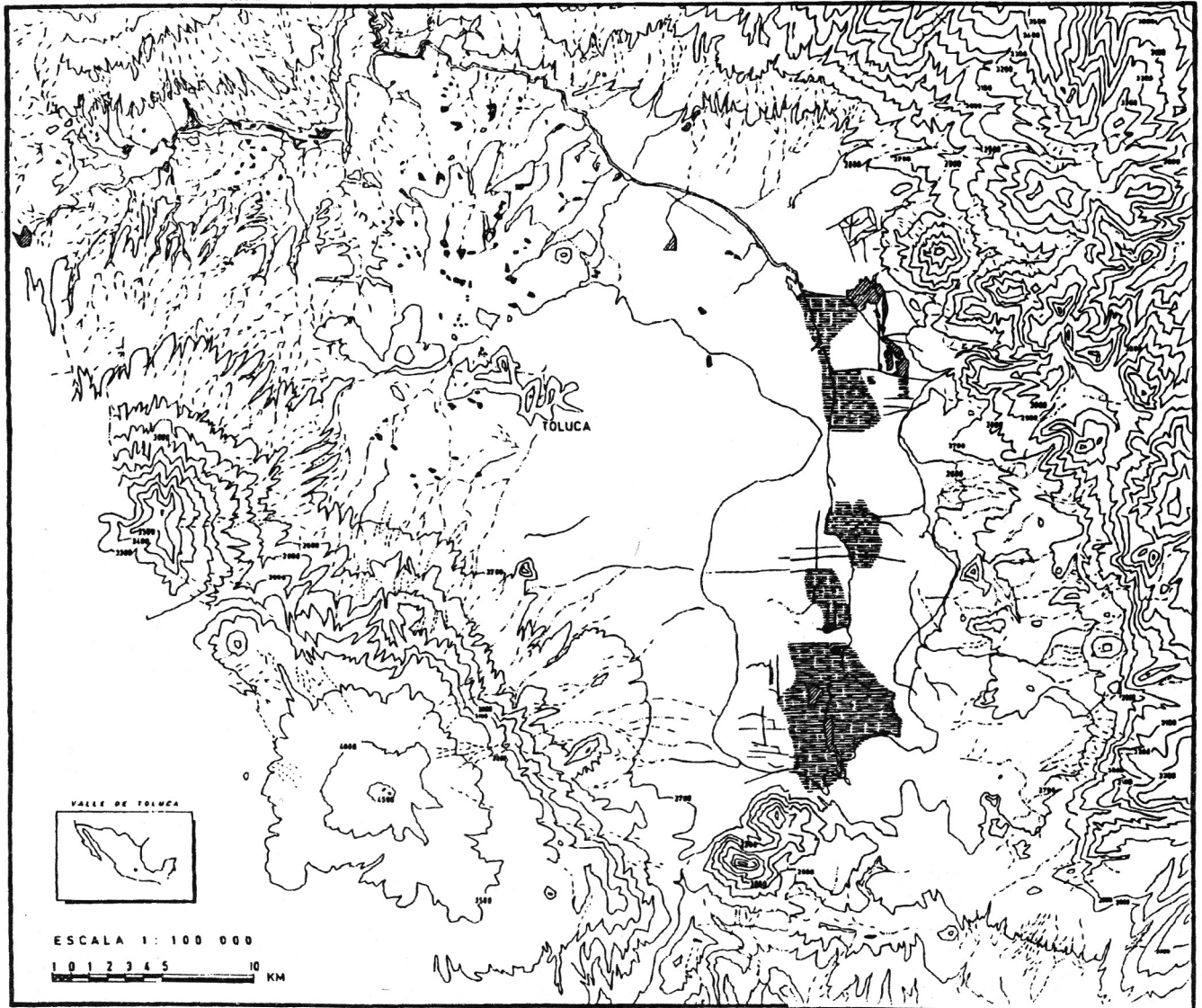
*** Facultad de Ciencias, UNAM.

**** Laval University, Canadá.

Área de estudio: delimitación geográfica

La región que comprende el área de estudio ocupa una pequeña porción en el extremo sur de la Región Hidrológica 12, es decir, la cuenca del río Lerma-Chapala-Santiago, ubicada, a su vez, en la provincia fisiográfica constituida por la Faja Volcánica Transmexicana (Mooser, 1969). Esta cadena volcánica, cuyo origen se remonta al Oligoceno, se compone principalmente de grandes estratos volcánicos de diferentes composiciones y miles de otros pequeños volcanes monogenéticos basáltico-andesíticos. El área de estudio se encuentra, a su vez, en una de las subcuencas de la Alta Cuenca del Lerma, denominada la cuenca de Almoloya-Otzolotepec (Gobierno del Estado de México, 1993). Desde el punto de vista geográfico, ésta se limita en su flanco oriental por el parteaguas de las serranías de Las Cruces, que corren en dirección nortesur; al occidente, por el volcán de San Antonio, y al suroeste por el Nevado de Toluca, el estrato-volcán más alto de la región del Alto Lerma con 4 680 msnm (Bloomfield y Valastro, 1974, Bloomfield, 1975: 478, 1977). Hacia el norte, el límite geográfico se trazó a la altura de una serie de cerros que atraviesan en dirección este-oeste al norte de la cañada que conduce a la otra subcuenca del Alto Lerma, la de Ixtlahuaca, y finalmente en el sur, el valle se separa de la región de tierras calientes por una serie de pequeños cuerpos volcánicos, ubicados al sur de los pueblos de Tenango, Jajalpa y Texcalyacac, parte de la formación Chichinautzin y del Nevado de Toluca.

Este estudio se concreta en la laguna de Chignahuapan o de Almoloya, la más meridional de las tres lagunas del Alto Lerma, que comprenden la mitad oriental de la subcuenca de Almoloya.



Valle de Toluca, Estado de México.

Paisaje y evolución

Geología

La formación geológica de la Alta Cuenca del río Lerma (DDF, 1966: 34-35) se resume en tres etapas; la primera en su historia geológica se remonta a las erupciones miocénicas del Terciario inferior, cuando una actividad volcánica dio lugar a una serie de sierras y valles, conformados por rocas principalmente dacíticas-andesíticas. En aquel tiempo debió haber existido un drenaje bien definido en todo el valle.

La segunda etapa se caracteriza por un volcanismo ba-

sáltico-andesítico del Pleistoceno (Cuaternario), con efusión de lavas y material cinerítico. El malpaís que se extiende por el lado occidental de la sierra de Las Cruces se formó gracias a esta actividad volcánica. Así mismo, un gran número de conos volcánicos localizados en dirección este-oeste, paralelos a la dirección dominante de las fracturas de esta región (Bloomfield, 1973, Sánchez Rubio, 1984: 52) pertenece al volcanismo de esta etapa. En esta segunda etapa hubo movimientos tectónicos con orientación este-oeste, los cuales formaron una barrera, impidiendo el drenaje de la antigua cuenca hacia el norte. Como resultado, el antiguo relieve de la cuenca terciaria se fue azolvando y rellenando con aluviones, materiales

volcánicos y tobas lacustres, formándose una cuenca semicerrada. La parte superior de estos depósitos está formada por el aluvión y hacia la periferia del valle se encuentra cierto grado de interdigitalización de lahares y lava (Sánchez Rubio, 1978).

Una vez rellenada la laguna Toluca-Ixtlahuaca-Atlacomulco, se inició la tercera etapa, con tectonismo y volcanismo este-oeste, que dio lugar a los escalones de falla. Como consecuencia, la gran laguna antes mencionada se separó en dos subcuencas (Sánchez Rubio, 1984: 57). Se inició un nuevo sistema de drenaje y la antigua cuenca semicerrada se convirtió en dos subcuencas abiertas. El volcanismo asociado a esta actividad tectónica fue de tipo basáltico del Cuaternario y produjo numerosos conos cineríticos y derrames de basalto hasta épocas recientes.

Las rocas andesíticas que constituyen la unidad más antigua de esta serranía de Las Cruces están fracturadas y presentan menor grado de compacidad. No obstante, el suelo residual, producto de intemperización de las rocas andesíticas, que cubren, a su vez, a las andesitas antiguas, reduce la permeabilidad del agua pluvial. El basamento impermeable que delimita por el lado oriental de la Alta Cuenca del río Lerma está conformado, probablemente, por dichas andesitas antiguas.

De los numerosos volcanes y conos volcánicos del valle de Toluca, el más importante, sin duda, es el Nevado de Toluca, estratovolcán poligenético, formado principalmente por lavas dacíticas y andesíticas. Este volcán, también conocido por el nombre Xinantecatli, se formó sobre una serie de rocas volcánicas terciarias que descansan sobre las formaciones cretácicas. Hacia 25000 a.p., su erupción violenta cubrió sus laderas con lahar. Posteriormente, hacia 11600 a.p., sobrevino una segunda erupción violenta que produjo una gran cantidad de pómez dacítica. Ésta se extiende hacia el este, a una distancia de 85 km. La pómez, conocida como la "tripartita de grano fino", identificada en la cuenca de México, es producto de la erupción del Nevado de Toluca (Bloomfield, 1973: 587, 1975, Bloomfield y Valastro, 1974). Finalmente, con la extrusión de un domo dacítico, hacia 8500 a.p. concluyó la historia de este volcán (Fries, 1960).

La tercera etapa se caracteriza por las actividades volcánicas del Holoceno, relacionadas con el grupo Chichinautzin (Bloomfield, 1975). También es importante mencionar derrames de lavas basáltico-andesíticas como las del cerro Tetepetl, municipio de Tenango, el que se extiende al sur de los poblados de Texcalyacac y el cual se encuentra frente al pueblo de San Pedro Atlapulco (Bloomfield, 1973: 592).

Junto con el volcanismo, el tectonismo ha jugado un papel importante en la configuración del valle de Toluca. Los movimientos tectónicos de fallas más antiguas con

orientación sureste-noroeste han formado las sierras de Las Cruces y el Nevado de Toluca. Los más jóvenes son de orientación este-oeste, como los registrados en la zona de Tenango del Valle, mientras que las fallas observadas en el estrechamiento de Perales tienen dos componentes de orientación: sobre la margen derecha del río Lerma, con orientación este-oeste y sobre la izquierda, con orientación sureste-noroeste. Con estas fallas, se produjo un escalón que provocó la separación entre el valle alto de Toluca y el bajo de Ixtlahuaca. Aparentemente, los últimos movimientos de estas fallas son bastante jóvenes, lo cual indica que los dos valles se encontraban originalmente a un mismo nivel y que formaban una gran laguna que posteriormente se dividió en dos.

Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, esta región tiene origen ígneo y la mayoría de las geoformas son producto de volcanismo, como los conos cineríticos, los derrames de lava y los depósitos piroclásticos; además, la región se caracteriza por planicies formadas por los materiales clásticos y piroclásticos del tipo de sedimentos lacustres y materiales de aluvión.

Los principales agentes geomórficos de la zona son dos: los endógenos, que se representan por un volcanismo joven, alineado en dirección este-oeste, y el diseminado, como las fracturas y fallas; y los exógenos, entre los que los más importantes son la erosión fluvial y el intemperismo.

Condiciones climáticas

El valle de Toluca es conocido como un lugar muy frío. Sahagún (*op. cit.*, 128) escribe: "en el valle que llaman Matlatzinka, hace grandísimo frío".

En términos generales, las condiciones climáticas del valle se caracterizan por una variación menos pronunciada que la de la cuenca de México, ya que, a grandes rasgos, tiene dos climas. De acuerdo con la clasificación de Köppen, prácticamente toda la planicie aluvial pertenece a un clima C(w2)(w), es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano, mientras que la zona de serranías altas de Las Cruces y el Nevado de Toluca presenta un clima C(E)(w2)(w), semifrío subhúmedo con lluvias en verano.

Con respecto al régimen pluvial, el volumen medio anual reportado por el INEGI (1985) señala que la zona centro-occidental del valle recibe la menor cantidad de lluvia anual, con 800 mm. Las zonas este, sur y noreste, que comprenden la mayor parte de la región, pertenecen a la isoyeta de 1000 mm.

La oscilación isotérmica presenta patrones bastante homogéneos, quedando entre 12°C y 14°C (DDF, 1966).

Hidrología

Antes de abordar la hidrogeología, es necesario distinguir las zonas de recarga y de acuíferos; las primeras se localizan en las partes bajas de la cuenca, sobre todo en los afloramientos de los materiales piroclásticos del Terciario, que descansan sobre un basamento impermeable de andesitas; también se encuentran en la zona de afloramientos de basaltos cuaternarios que cubren la parte sureste de la cuenca.

Con respecto a las segundas zonas acuíferas, éstas se localizan en las partes bajas de la cuenca, dentro de los rellenos lacustres y aluviones del valle. En esta parte se forman acuíferos de tipo confinado. Aparentemente, este tipo de acuíferos se extiende desde las faldas del Nevado de Toluca hasta las zonas bajas del valle (DDF, 1966: 36-37).

Como hemos mencionado, para comprender la historia del valle de Toluca no se puede pasar por alto la presencia del gran río Lerma, que a lo largo de su historia ha recibido diferentes nombres, tales como Cihnuhtenco, Quauhpanoayan, río de Matlatzingo, río Grande, etcétera.

El Lerma nace en Almoloya del Río y de allí atraviesa el lecho de la planicie de dicho valle hacia el norte. El principio del colector general del Lerma se encuentra en las caudalosas y abundantes corrientes de los manantiales que brotan al pie occidental de las sierras de Ajusco y Las Cruces, en el terreno del municipio del Almoloya del Río. Así mismo, se puede decir que parte de los alimentadores del río son varios torrentes que fluyen hacia el norte, noreste y este, procedentes de la vertiente nororiental del Nevado de Toluca. En su curso hacia el norte, el Lerma recibe alimentadores como los ríos Otzolotepec, Tejalpa y La Gavia.

En el valle de Toluca se han localizado numerosos manantiales y ojos de agua. Algunos de estos manantiales se forman de la siguiente manera: las zonas de recarga elevadas y los afloramientos de basalto captan el agua de lluvia y la conducen a través de acuíferos libres, como en los basaltos, o a través de los acuíferos confinados, hacia las partes bajas de la cuenca, donde parte del agua sale a la superficie en forma de manantiales, como, por ejemplo, en la margen oriental de la Alta Cuenca del río Lerma, específicamente a lo largo del pie occidental de las sierras del Ajusco y de Las Cruces, donde se localizan zonas de manantiales. Las cuatro más importantes son Almoloya, Texcaltengo, Alta Empresa y Ameyalco. Miguel Salinas escribe acerca de los manantiales de Almoloya (1929, citado por Romero Quiroz, 1978: 101-102): "...se da uno cuenta de que bajo la capa rocallosa que sirve de base a la loma en que se asienta Almoloya, corren presurosos abundantes raudales de agua fresca, limpia y sabrosa que brotan por multitud de puntos y forman el hermoso lago."

La Alta Cuenca del Lerma se ha conocido no sólo por el río que corre en su llanura, sino también por sus lagunas de agua cristalina, dulce y fluida. Estas lagunas se formaron con la caudalosa agua de los manantiales que brotaban en la base occidental de las serranías de Las Cruces y Ajusco. Junto con ellos, las reducidas aportaciones del Nevado de Toluca y de la zona de Texcalyacac y Techuchulco también se consideran alimentadores de agua a las lagunas, especialmente la de Almoloya.

El volumen y caudal de agua de los diversos surtidores son de tal magnitud que el cauce del río Lerma es insuficiente para contenerlo, de manera que se desborda e inunda la zona cercana. Además, una parte del agua contenida en los acuíferos confinados se filtra por su gradiente ascendente hacia la superficie, propiciando la formación de extensas zonas pantanosas y de niveles freáticos someros. Así se formaron las tres lagunas someras cenagosas que se extienden desde Texcalyacac al sur hasta Atarasquillo al norte (Salinas, citado por Romero Quiroz, 1978: 102).

En condiciones normales, las tres lagunas estaban comunicadas entre sí por cauces del río Lerma. En el extremo sur, se encuentra el tramo 1, que se conoce con el nombre de Ciénega de Almoloya o Chignahuapan. Esta tiene, según el cálculo de Alcalá, unos 50 km² de superficie y abarca desde Tecalyacac o Techuchulco hasta la hacienda de Atenco, municipio de Santa Cruz Atizapán. Esta laguna era la más alta de las tres que, en escalones sucesivos, descendían hacia el norte; el segundo tramo, conocido como la laguna de Lerma, se extendía desde esa hacienda hasta la cabecera del municipio de San Mateo Atenco. El mismo autor calculó su extensión en unos 25 km². El tercer y último tramo, llamado laguna de San Bartolo, tenía unos 10 km² de superficie y se extendía desde el pueblo de Lerma hasta San Nicolás Peralta (Salinas, 1929, citado por Romero Quiroz, 1978: 102-103). Entre la primera y la segunda lagunas se encuentra un estrechamiento. Existe otro semejante entre la segunda y la tercera. Por este escalonamiento y la aportación constante de los alimentadores, el agua de las lagunas no se estancaba, sino fluía, conforme al cauce del río Lerma.

A lo largo de su historia, la fisonomía de las lagunas ha cambiado y su extensión ha fluctuado considerablemente. En efecto, estas tres lagunas ya constituían una zona lacustre en avanzado proceso de senectud natural. Cabe señalar, sin embargo, que los principales agentes que han provocado estos cambios fueron los factores climáticos, pero, sobre todo, los antropogénicos, por explotar, en forma desmedida, los acuíferos subterráneos de la zona.

Magnetismo ambiental

Método de muestreo

El muestreo se realizó mediante técnicas normales para sedimentos no consolidados. Para la obtención, se utilizaron cajas acrílicas de 2 cm³, las cuales se colocaron en cortes verticales previamente preparados. Los intervalos entre las muestras se mantuvieron en lo mínimo con el fin de asegurar la toma de las muestras en columnas de sedimento lo más continuas posible. Las cajas se sellaron inmediatamente y se mantuvieron en un ambiente húmedo. De El Tejocote se obtuvo un total de 43 muestras, mientras que de El Tiradero se extrajeron 44 cajitas de muestras de sedimento.

Análisis y resultados

Las muestras se pesaron en el laboratorio antes y después del secado, para estimar la cantidad de agua y corregir las medidas magnéticas. Posteriormente, en el laboratorio, se midieron las propiedades magnéticas de todas las muestras. Varios parámetros formaron tres categorías principales, que representan mejor los sedimentos; susceptibilidad magnética (K), magnetización remanente anhistéica (K_{arm}) y magnetización remanente isotermal (Sirm). El primero es para medir con qué facilidad un material puede ser magnetizado; el segundo se tiene sometiendo un material a un fuerte campo magnético alternante, el cual es progresivamente reducido a cero en presencia de un pequeño campo constante y el tercero se adquiere por exposición a un fuerte campo magnético a una temperatura determinada.

Las relaciones entre los parámetros como Sirm/K, K_{arm}/K y Sirm/K_{arm} son, en cierta medida, independientes de la concentración de los minerales y por lo tanto, son características del tamaño de grano y variaciones dentro de los granos magnéticos.

En cuanto a los resultados, se puede señalar lo siguiente: se observan variaciones considerables y súbitas en la concentración y en el tamaño de grano en todos los perfiles. Esto implicaría que la historia de sedimento, y por ende, ambiental, de la zona, manifiesta una complejidad considerable y que se marca por cambios rápidos en condiciones; es decir, indica un ambiente muy dinámico; los perfiles magnéticos pueden ser atribuidos a un cambio en la fuente de materiales magnéticos, posiblemente en el volcanismo de la región o de una condición subacuática a una subaérea; finalmente, las variaciones dentro de cada perfil, así como entre los perfiles parecen apuntar a que predominaban condi-

ciones con cuerpo de agua somera con cambios súbitos ocurridos en diferentes periodos en diferentes partes de la región. Por otra parte, los estudios de minerales magnéticos son útiles para delimitar las unidades sedimentarias dentro de las columnas estratigráficas, ya que diferentes unidades, que corresponden a condiciones ambientales diferentes, aparecen marcadas por concentraciones, tamaño de grano y en ocasiones, minerales diferentes.

Perfiles

Para obtener las muestras de los perfiles de suelo, partimos del supuesto de que un vaso lacustre presenta una forma de cajete abierto y que los perfiles deben trazarse desde la playa lacustre hacia el interior del mismo, ya que esto nos permite obtener una visión más completa de los sedimentos depositados en la zona de ribera, así como su dinámica con respecto a la fase terrestre y lacustre.

De acuerdo con esta perspectiva, se trazó un transecto de unos 4 km de distancia en dirección noroeste al sureste, que comprende los terrenos de San Pedro Tlaltizapán, municipio de Santiago Tianguistenco y los de Santa Cruz Atizapán. En éste se excavaron un total de siete perfiles estratigráficos a "cielo abierto", cada uno de los cuales tiene dos metros de largo y uno de ancho. La profundidad varió de acuerdo con el nivel freático. En este trabajo presentamos los resultados preliminares de dos perfiles: el primero se localiza en la zona de playa lacustre al suroeste de San Pedro Tlaltizapán y el segundo está ubicado al suroeste de la ex hacienda Atenco, municipio de Santa Cruz Atizapán.

La descripción acerca de su posible proceso de sedimentación y ambiente, observada en los perfiles pedológicos, es el siguiente:

a) Los perfiles no mostraron procesos pedológicos marcados. Cabe señalar, sin embargo, que se observaron algunos efectos producto de la vegetación natural y de los cultivos realizados en su superficie.

b) El estrato superior presentó una estrecha relación con los procesos de sedimentación fluvial, deposición de materiales finos que por su tamaño limo-arcilla, al secarse en su superficie, producen agrietamiento superficial e incipientes fenómenos de "vertisolización", inversión de perfil, *self mulching* y microrrelieve ondulado.

c) La estratigrafía, en la mayoría de los casos, mostró contactos netos, por lo que se pudo separar por etapas de sedimentación o de ambiente. Éstas, a su vez, se dividieron en fases de alternancia o transgresión-regresión del área lagunar, o bien en ciertos periodos volcánicos o erosivos diferenciados.

d) Sobre la paredes de algunos perfiles, después de dos o tres horas de exposición, apareció eflorescencia salina a una profundidad de 40 o 50 cm. Esto nos indicó el proceso de salinización al que se encuentra sometido el suelo de la zona.

Observaciones de sedimentación y paleoambiente: dos perfiles pedológicos

Perfil 1, El Tejocote

El primer perfil, denominado El Tejocote, presenta las siguientes características (partiendo de la base hacia la superficie):

a) Las características del material depositado, de pómez gruesa, material basáltico de tamaño grueso, parecen indicar que a una profundidad aproximada de 125 cm, se encuentra la llamada pómez tripartita, fechada en 9920 ± 200 años a.p. (Flores Díaz, 1986) en la cuenca de México y 11500 ± 70 a.p. (Bloomfield y Valastro, 1977) en los depósitos del Nevado de Toluca. El contenido en piroxenos y anfíboles, que, además, se presentan sin alteración, parece confirmar lo dicho.

El depósito de pómez tripartita parece haber tenido lugar en un ambiente lagunar somero, por lo que se relleno rápidamente o pudo haber ocurrido en un periodo de sequía.

El siguiente depósito (109-87 cm) es arenoso subredondeado y de origen volcánico, pero retrabajado, sobre todo la pómez. Lo anterior sugiere que se trata de un material de acarreo erosionado por el agua.

Le sigue la deposición (87-75 cm) que se caracteriza por una granulometría arcillosa-arenosa: el material volcánico aparece con aristas, lo que indica que se depositaron directamente en una zona lacustre de poca profundidad. Ésta quedó expuesta posteriormente al aire, algo provocado quizá por una transgresión o sequía, y ligado a procesos de hidromorfía por el ascenso y descenso del nivel freático. Dicho fenómeno se manifiesta por el moteado y la presencia de óxidos-hidróxidos de hierro, principalmente goetita-limonita-hematita. Estas particularidades nos señalan que el sedimento pudo haber desarrollado un suelo donde el proceso de gleización esté presente.

La deposición súbita de cenizas volcánicas (75-56 cm) selló posteriormente este proceso. Estas cenizas volcánicas presentan una rápida alteración, por lo que es posible suponer que fueron depositadas en un ambiente lacustre y en la ribera del mismo lago. La vegetación acuática y subacuática se desarrolló y formó un suelo en el que que-

daron raíces. Éstas, a su vez, se meteorizaron en condiciones aeróbicas, dejando los huecos que se rellenan por migración del material suprayacente. La alteración de los minerales, de cenizas vítreas, produce la bentonita que cementa las partículas. En este caso, se desarrolla también un suelo en condiciones de hidromorfía.

El siguiente estrato (56-43 cm) es de poco espesor y no alcanza a sellar los procesos que se encontraban presentes, de manera que el perfil tuvo sólo un cambio en el contenido mineralógico y granulométrico. Aparentemente, continuaron las condiciones de hidromorfía y de aerobiosis y anaerobiosis. Las partículas presentan formas subangulares. El depósito tiene características de acarreo por agua.

Le sigue el estrato (43-30 cm) que, aunque presenta características similares a las del depósito anterior, difiere de éste por la actividad biológica de lombrices, por poco peso y porosidad, por abundantes huecos de raíces y restos vegetales. Se trata de un depósito de materiales transportados por agua, y representa un proceso erosivo.

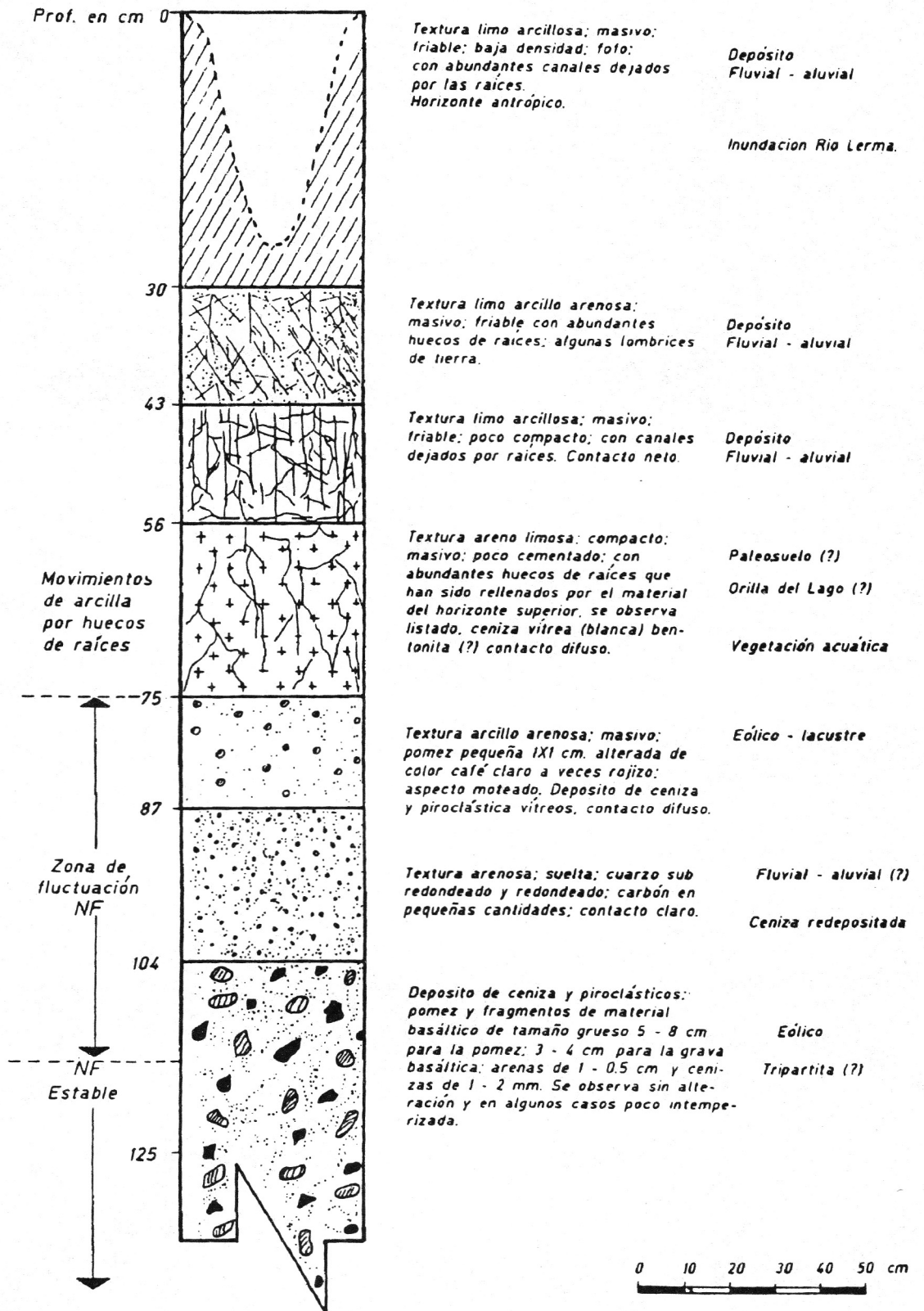
El siguiente (30-0 cm) fue un estrato superficial, con poca alteración antrópica. Es importante señalar que no tiene fuertes cambios en su proceso natural de sedimentación. Éste es cambiante por ser el estrato superficial. Las variaciones observadas se atribuyen a la transgresión y regresión del cuerpo de agua, con periodos de aerobiosis y anaerobiosis, cambios en el nivel freático y actualmente sujeto a los acarreos aluviales y fluviales.

De lo dicho se resume que, en efecto, el perfil se ubica en la zona de ecotono del área lacustre y que los diferentes sedimentos encontrados responden a periodos lacustres de poca profundidad. En la base del perfil se encuentra la llamada tripartita y en posición intermedia la tefra de Tres Cruces. A partir de este momento, comienza una deposición aluvial-fluvial que indica las transgresiones y regresiones del cuerpo de agua. La desaparición de éste se hace cada vez más patente; así se incrementan los procesos de acumulación de sedimentos, los procesos hidromórficos y la salinización. En lo que se refiere al cuerpo de agua, éste fue de poca profundidad y alcanzó a comprender un área mayor a la actual, debido a que su extensión disminuyó drásticamente en la medida en que se fue azolvando por materiales volcánicos y orgánicos y por la desaparición de su fuente alimentadora.

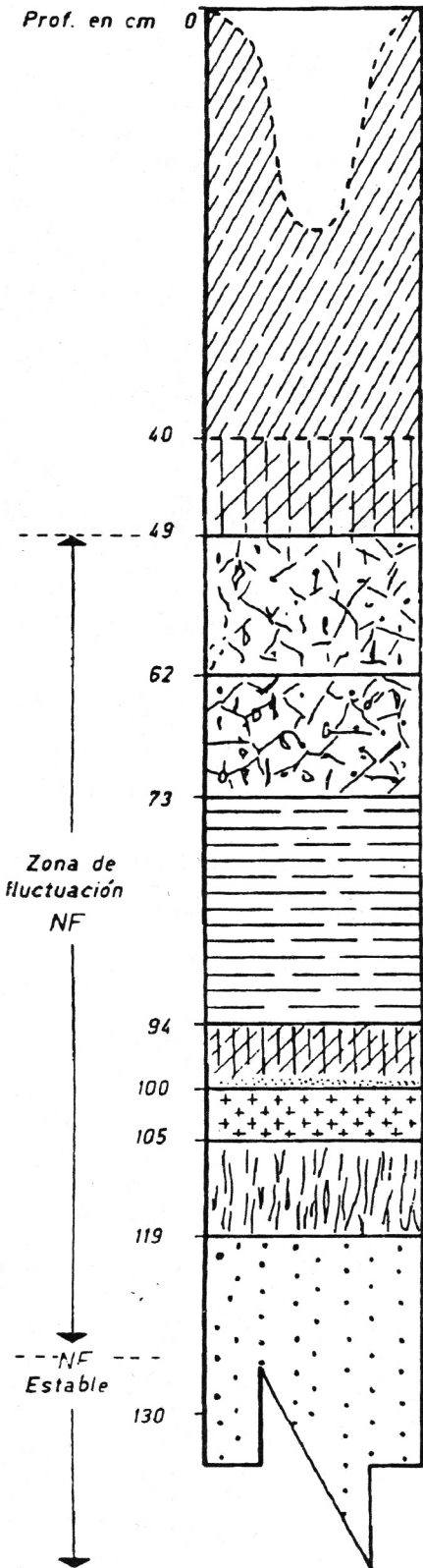
Perfil 2, El Tiradero, municipio de Santa Cruz Atizapán

Este perfil se localiza aproximadamente a un kilómetro al sur de El Tejocote.

Su estratigrafía muestra los siguientes eventos, partiendo de la base hacia la superficie: el sedimento identi-



Perfil de El Tejocote, San Pedro Tlaltizapán.



Horizonte agrícola
 Textura limo arcillosa Masivo.
 Presenta lombriz de tierra en
 su base. Contacto gradual.

Depósito aluvial

Pantano

Textura arcillo limosa masivo,
 con lombrices en su base.
 Materia orgánica.

Depósito aluvial

Pantano

Textura arenosa; zonalmente duro
 y compacto " Tepetate ". Compuesto
 por ceniza basáltica y vitrea, con
 óxidos - hidroxidos de Fe por los
 huecos de raíces.

Depósito eólico
 en zona lacustre

Paleosuelo

Bacterias del Fe

Textura areno- arcillosa; poco
 compacto. Friable; los huecos de,
 las raíces presentan óxidos-hidro-
 xidos

Depósito eólico
 en zona lacustre

Paleosuelo

Bacterias del Fe

De textura, arcillosa, limo arcillosa
 y arcillo arenosa.
 Masivo, se presenta en franjas de
 arcilla, arena basáltica, diatomita,
 material vitreo y turbosas.

Depósito en zona
 lacustre, eólico
 aluvial, lacustre
 pantano

Bacterias del Fe

Zona de transición. Textura arcillo
 arenosa; poco compacto, friable,
 masivo. En su base aparece banda
 de ceniza basáltica no continua.

Depósito eólico
 en zona lacustre

Lacustre

Diatomita

Textura areno arcillosa; masivo
 con abundantes raíces (Tule) Turba?

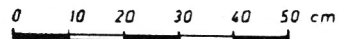
Lacustre

Lacustre - Pantano

Paleosuelo

Textura suelta oscura ; cuarzo con
 ceniza - basáltica.

Fluvial - Lacustre



Perfil de El Tiradero, Lago Chignahuapan, Santa Cruz Atizapán.

cado en la base (130-119 cm) presenta las mismas características que las del estrato más profundo de El Tejocote es decir, arenoso. Contiene los mismos minerales y se conforma por material re TRABAJADO como consecuencia de acarreo por agua y redepositado en zona con condiciones más lacustres.

El siguiente estrato (114-105 cm) parece representar una etapa de estabilidad, con una deposición de arcilla-arena, material que sirvió de sustrato para desarrollar una vegetación acuática del tipo tular, la cual deja sus raíces y tallos en el fondo, conformando una capa orgánico-arcillosa. Al parecer, estuvo siempre cubierta por un cuerpo de agua de escasa profundidad.

Le sigue una capa delgada de diatomeas (105-100 cm), la cual marca una estabilidad lacustre, con abundantes silicatos en solución. Dicha estabilidad se vio afectada por la caída de cenizas volcánicas. Posteriormente se fue azolvando por detritus volcánicos y arcilla (100-94 cm). La zona debió permanecer con agua de poca profundidad. Le sigue una serie de deposiciones (94-73 cm) de diferente granulometría, que indican diferentes eventos o fases dentro de un ambiente lagunar somero; arcilla y depósito lagunar; cenizas volcánicas, erupción volcánica (¿Tres Cruces?); arcillo-arenoso, acarreo aluvial; orgánico, turboso, posible tular; diatomita, estabilidad lagunar. Posteriormente, el material fue expuesto a condiciones aeróbicas. En esta etapa posiblemente desapareció la condición lagunar. Se formaron óxidos-hidróxidos de hierro por actividad biológica, causada por bacterias.

El siguiente estrato (73-62 cm) se formó cuando todavía caían las cenizas volcánicas en un medio lacustre, las cuales, a su vez, fueron expuestas a condiciones aeróbicas, como muestran los óxidos-hidróxidos de hierro. Este sustrato permitió la proliferación de una vegetación acuática, que dejó sus huellas en un gran número de canales. Se observó migración de arcilla y restos orgánicos del vegetal en mineralización.

El siguiente depósito (62-49 cm) está compuesto por cenizas volcánicas calientes que cayeron en un medio acuático. Esto provocó una rápida cementación y formación de una capa dura conocida como "tepetate". En los canalitos dejados por las raíces se observaron óxidos e hidróxidos de hierro.

El siguiente estrato, de depósito aluvial (49-40 cm) de poco espesor, cubrió una incipiente acumulación de materia orgánica producida por el proceso de desarrollo vegetal. Su principal característica es la actividad biológica de las lombrices de tierra. Aparentemente todavía se mantiene un área lacustre de poco espesor.

La última deposición (40-0 cm) es de origen aluvial. Continúan la misma granulometría y composición mine-

ralógica de la capa anterior, pero con cambios ligeros producidos por la actividad antropogénica.

De lo dicho resalta que este perfil muestra claramente que la profundidad del cuerpo de agua fue muy somera, puesto que la capa de base en El Tiradero mide 130 cm de profundidad y tiene 11 cm de espesor, mientras que en El Tejocote, la misma capa aparece a una profundidad de 104 cm y tiene 17 cm de espesor.

Esto implica que la diferencia entre estas dos es de apenas 26 cm.

La presencia de diatomeas se hace más patente a la profundidad de 100-105 cm, donde aparece una capa de diatomita. Esto indica la presencia más constante del cuerpo de agua, que en ocasiones forma un tular. Cabe enfatizar que este tipo de vegetación requiere de agua en constante renovación o en movimiento.

Hacia la profundidad intermedia, aparecen los materiales volcánicos, que podrían corresponder a las cenizas Tres Cruces. Los estratos superiores se caracterizan por los sedimentos aluviales y fluviales, los cuales pueden señalar un proceso erosivo generalizado para la zona, que causa la desaparición del cuerpo de agua, por razones no definidas. Los procesos hidromórficos no están definidos, pero sí está presente el de salinización.

Análisis químicos

Métodos

Las muestras obtenidas por horizontes se secaron al sol y posteriormente se tamizaron con un tamiz de malla de 2 mm. Después, las muestras fueron sometidas a los análisis físico y químico correspondientes. Se midieron pH activo, pH potencial, materia orgánica, conductividad eléctrica, cationes solubles, aniones solubles, cationes totales, fósforo y nitrógeno; el pH activo se determinó mediante un potenciómetro en una relación suelo-agua de 1:2.5. (Jackson, 1982); el pH potencial, por medio del potenciómetro en una relación suelo-KCl de 1:2.5 (KCl es de concentración 1N); para medir la materia orgánica, se hizo una digestión húmeda con ácido crómico (1N), con espontánea producción de calor; la conductividad eléctrica se cuantificó mediante un conductímetro en el extracto obtenido de la pasta de saturación (Jackson, 1982); para cationes solubles, se cuantificaron Ca, Mg, Na y K de los mismos extractos, por medio de absorción atómica; para aniones solubles, se utilizaron los mismos extractos y se cuantificó el CO_3 y HCO_3 con titulación con ácido sulfúrico (0.05N) e indicador de cromato de potasio (Reitemeier, 1943); para Cl, por titulación con nitrato de

Prof (cm)	% H ₂ O	D.A	D.R	% E.P	pH H ₂ O 1:2.5	pH KCl 1:2.5	C.E (u ^s)	NO %	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	CO ₃ (meq/l 100g)	HCO ₃ (meq/l 100g)	CL (meq/l 100g)	SO ₄ (ppm)
0-30	37.55	0.75	2.27	66.96	7.4	6.5	1387	3.19	18.18	0.949	39.95	18.86	6.625-5	7.95-4	1-4	17.41
30-43	43.47	0.78	2.27	65.63	7.5	6.6	1205	1.79	5.45	1.211	39.95	19.14	6.625-5	7.95-4	2-4	22.90
43-56	50.82	0.83	2.27	63.43	7.9	6.9	1231	0.68	7.27	1.254	39.45	25.68	1.325-4	1.19-3	1-4	23.87
56-75	47.49	0.91	2.17	58.06	8.1	7.0	2610	0.38	5.45	1.064	35.98	18.76	1.325-4	7.95-4	2-4	19.67
75-87	34.95	1.03	2.17	52.53	8.0	7.3	964	0.23	3.63	0.542	19.10	4.36	-----	3.97-4	-----	10.00
87-104	42.45	1.2	2.17	44.70	7.8	7.4	1136	0.23	5.45	1.776	35.98	13.64	1.325-4	9.27-4	1-4	16.45
104-125	49.25	1.06	2.17	51.15	7.8	7.4	1167	0.00	5.45	0.677	22.82	4.54	6.625-5	5.3-5	-----	11.61

Análisis químicos. Pozo El Tejocote.

N (ppm)	P (ppm)	Ca (t) (ppm)	Na (t) (ppm)	K (t) (ppm)	Mg (t) (ppm)	Color (H)	Color (S)
0.0149	0.78	6.65	144.09	5.12	19.29	7.5 2.5/1	10 4/1
0.0112	0.47	6.75	135.43	5.27	19.06	7.5 3/1	10 5/1
0.0056	0.45	8.90	140.15	4.52	19.34	10 3/1	10 6/1
0.0049	0.39	6.75	140.94	4.76	19.31	10 4/1	10 8/1
0.0034	0.52	4.92	135.43	4.37	18.99	10 6/2	10 7/2
0.0049	0.35	4.92	136.22	4.86	18.89	10 5/1	10 7/2
0.0050	0.58	6.00	136.22	1.82	18.13	10 5/1	10 7/3

Totales (extracción con HNO₃).

Prof (cm)	% H ₂ O	D.A	D.R	% E.P	pH H ₂ O	pH KCL	C.E (u ^s)	M.O (%)	Ca (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Mg (ppm)	CO ₃ (meq/l 00g)	HCO ₃ (meq/l 00g)	CL (meq/l 00g)	SO ₄ (ppm)
0-40	38.96	0.75	2.17	65.43	6.03	5.1	561	10.52	7.27	1.457	42.43	13.45	-----	6.62-4	5 -4	22.90
40-49	49.27	0.81	2.17	62.67	6.47	5.6	581	5.43	3.63	1.115	43.92	15.07	-----	9.27-4	2 -4	25.16
49-62	46.81	1.09	2.50	56.40	7.39	6.8	620	0.83	1.81	0.412	25.31	3.31	-----	2.65-4	-----	14.83
62-73	50.15	1.16	2.50	53.60	7.62	7.1	801	0.99	5.45	1.242	42.43	12.60	6.62-5	9.27-4	1 -4	22.58
73-94	45.22	1.14	2.63	56.65	7.50	7.0	655	1.08	3.63	1.121	41.68	11.27	6.62-5	9.27-4	1 -4	20.96
94-100	44.45	0.49	1.85	73.51	7.05	6.3	937	3.98	9.09	1.596	51.61	13.64	-----	3.97-4	3 -4	50.32
100-105	49.31	0.46	1.72	73.25	7.00	6.3	984	2.29	5.45	1.991	65.26	20.56	6.62-5	9.27-4	5 -4	60.64
105-114	58.16	0.37	1.56	76.28	6.99	6.5	1006	871	9.09	2.135	67.74	33.08	6.62-5	7.95-4	1 -4	79.03
114-130	61.21	1.11	2.50	55.60	7.51	7.1	1010	0.60	9.09	2.237	49.87	18.67	6.62-5	9.27-4	2 -4	29.67

Análisis químicos. Pozo El Tiradero.

N(ppm)	P(ppm)	Ca(t) ppm	Na(t) ppm	K(t) ppm	Mg(t) ppm	Color (H)	Color (S)
0.0121	0.32	7.08	108.66	2.73	18.96	7.5 2.5/1	10 4/1
0.0101	0.21	5.25	97.63	1.99	18.66	7.5 2.5/1	10 4/1
0.0058	0.57	2.57	99.21	1.28	18.31	10 3/1	10 5/1
0.0058	0.39	2.78	100	1.34	18.63	10 3/1	10 5/1
0.0054	0.63	3.00	98.42	1.40	18.31	10 3/1	10 5/1
0.0058	0.54	18.66	102.36	1.01	18.76	10 2/1	10 6/1
0.0054	0.75	2.68	104.72	2.00	18.38	10 5/2	10 7/2
0.0112	0.17	10.30	101.57	1.49	18.05	10 3/2	10 6/2
0.0056	0.12	3.75	96.85	1.17	18.03	10 6/3	10 7/3

Totales (extracción con HNO₃).

plata (0.05N) y como indicador, cromato de potasio y SO_4 por método turbidimétrico, precipitando los sulfatos de bario con la utilización de cloruro de bario y solución tween 20 como estabilizador (APHA, AWWA, WPCF, 1980); para cationes totales, se cuantificaron los elementos Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ mediante una digestión ácida con ácido nítrico concentrado, para ser cuantificados por absorción atómica; el fósforo se cuantificó por un método colorimétrico (Jackson, 1982) y el nitrógeno, por el método del reactivo de Nessler para determinación de nitrógeno amoniacal (Jackson, 1982).

Resultados preliminares

El contenido de materia orgánica en el primer perfil, El Tejocote, se incrementó en los estratos superiores. Esto indica la falta de vegetación o acumulación de restos vegetales. Cabe señalar, además, que la capa más profunda, conformada por la tripartita, debido a su caída súbita, no contuvo materia orgánica, lo cual demuestra también lo cambiante o dinámico del ecotono o playa. En el caso del perfil El Tiradero, de condición más lacustre, propició el crecimiento de la vegetación de tipo tular, y como consecuencia, se dio una mayor acumulación de materia orgánica. Al morir las plantas componentes del tular, dejaron restos vegetales que, junto con otros materiales orgánicos, formaron acumulaciones de aspecto turboso.

Otro aspecto que merece la pena mencionar es la presencia de los sulfatos. En ambos perfiles se registró un valor alto de este elemento, sobre todo en los estratos más profundos de El Tiradero (94-130 cm). Si se considera que este sulfato provino de la actividad volcánica, debe encontrarse en forma de azufre elemental o bien de gases en forma de óxidos sulfurosos. Por lo tanto, este azufre no tuvo su origen en la actividad volcánica. Ahora bien, el azufre que se acumula se transforma en sulfatos por actividad biológica. Esta transformación requiere de condiciones ambientales diferentes a las descritas. Lo anterior sugiere que la acumulación de los sulfatos, en ambos perfiles, se atribuye a una surgencia o manantial de aguas calientes o sulfatadas, las cuales contenían también carbonatos. Éstos aparecen constantemente y bien definidos en El Tiradero, salvo en los tres estratos superiores, considerados como depósito aluvial-fluvial. Los estratos fueron poco afectados por la surgencia de aguas calientes. En cuanto al perfil El Tejocote, su condición más evaporítica permitió la presencia de ambos elementos: carbonatos y sulfatos. Todo ello sugiere la influencia de los manantiales de aguas sulfurosas y carbonatadas, que formaban parte de la zona lacustre de poca profundidad. Además, estos hechos se apoyan en los datos de pH más alcalinos y la conductividad eléctrica mayor en la

zona evaporítica del perfil El Tejocote, comparado con El Tiradero, ya que en éste último se registró un valor más alto en los estratos inferiores.

Otro aspecto importante es el alto contenido de magnesio y sodio, ya sea soluble o total. Esto se debe al elevado contenido en piroxenos (hiperstena, augita) o bien anfíboles (hornblenda), que son fácilmente meteorizados en un medio acuático y que dejan en libertad, además del sodio y magnesio presente en su estructura cristalina, hierro ferroso, aluminio, sílice. Este último propicia el desarrollo de la flora de diatomeas.

El rápido intemperismo de los minerales se observó en los cortes de lámina delgada. En éstos, los minerales se ven corroídos y con un gran número de oquedades o poros de disolución.

Finalmente, el espacio poroso (EP) que tienen las muestras (60-65% en promedio), indicaría que pudo y puede tener una gran actividad biológica por bacterias del grupo del azufre, hierro, además de hongos y micorrizas, así como bacterias fijadoras de nitrógeno, nitrificantes y denitrificantes.

Reconstrucción de la vegetación

El polen puede dispersarse por la acción de agentes como insectos, viento, agua, etc. La identificación de los palinomorfos encontrados en el fondo de los lagos nos proporciona valiosos datos para la reconstrucción de la historia de las plantas en la zona.

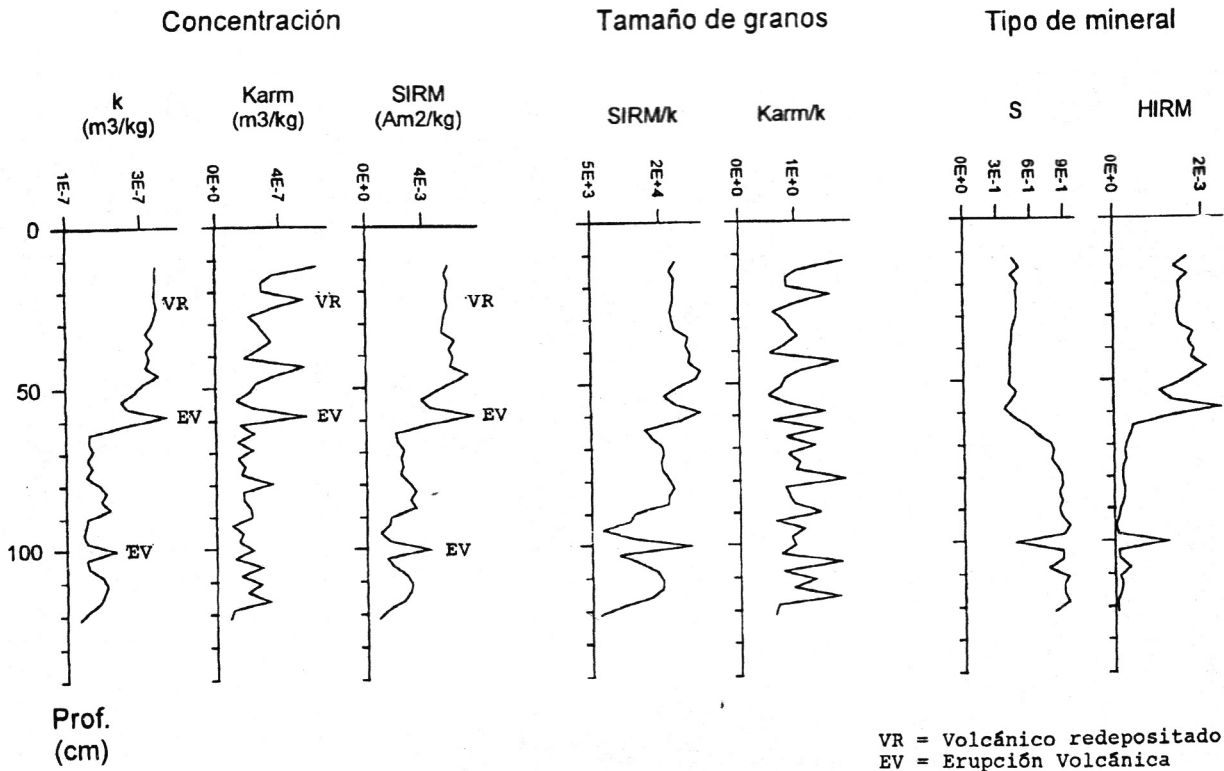
Método de muestreo

Desde la superficie hasta el estrato de tripartita que conforman las paredes de los perfiles estratigráficos, se colectaron muestras en un intervalo de 5 cm. Las muestras se guardaron en recipientes de plástico estériles y enjuagados con agua destilada. Se numeraron en secuencias según su profundidad.

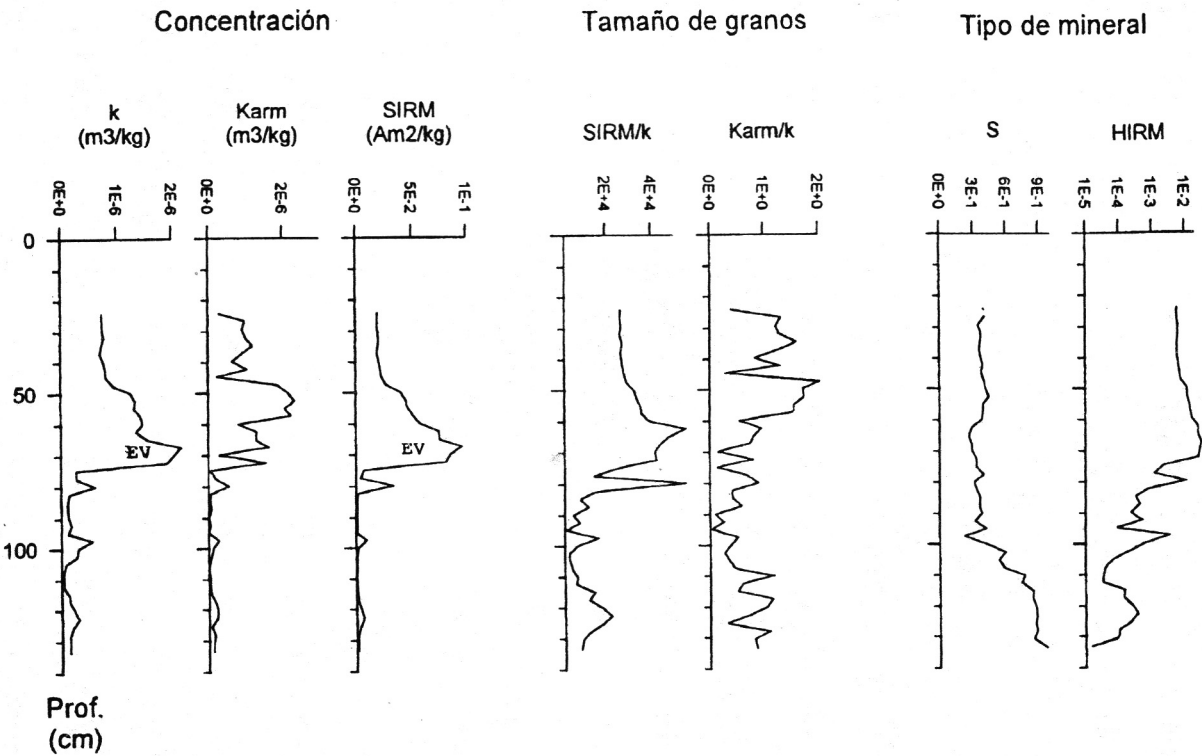
Análisis y resultados

Para el procesamiento de las muestras, se tomaron 20 g de sedimentos y se agregó ácido clorhídrico al 10%, de 12 a 18 horas, para eliminar los carbonatos. Se lavó cada muestra hasta obtener un pH de 7 (neutro).

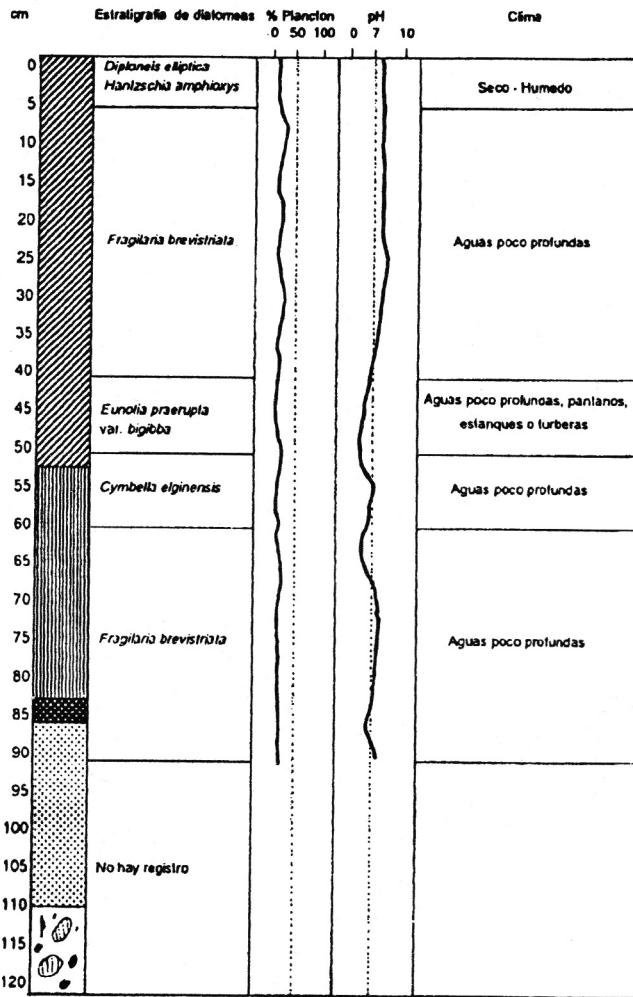
Se eliminaron los silicatos, agregando ácido fluorhídrico al 35% durante 12-72 horas. Fue necesario evitar que la reacción producida resultara exotérmica. Una vez disueltos los silicatos, se decantó y agregó agua destilada hasta neutralizar la muestra (pH 7). Los ácidos húmicos se eliminaron agregando KOH al 5% durante 40 minutos. Posteriormente, se lavó el material con agua destilada



El Tejocote.



El Tiradero.

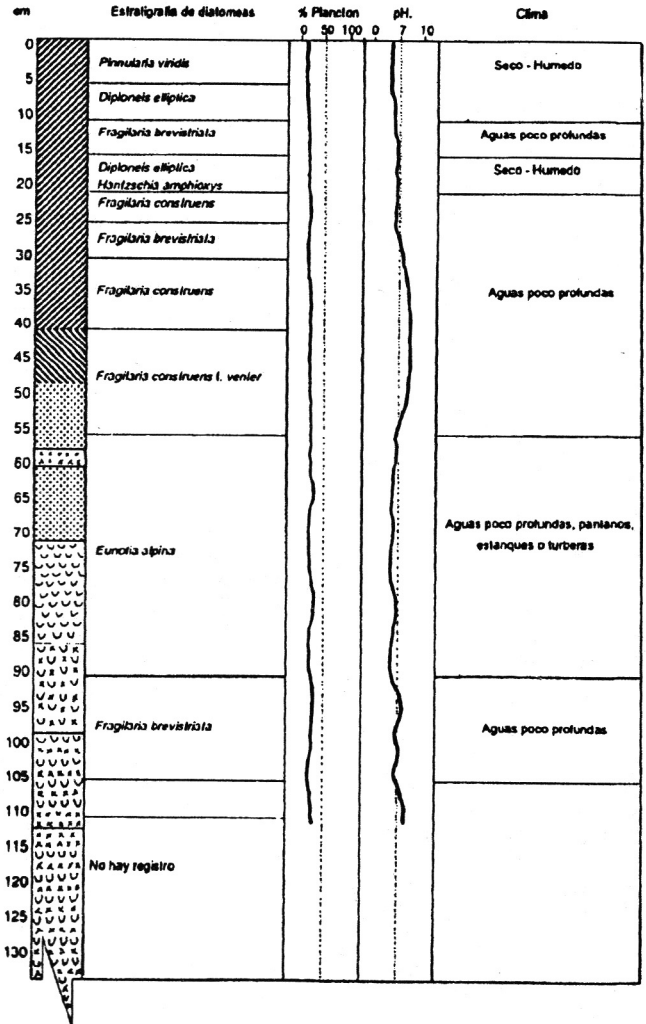


El Tejacote

varias veces, centrifugando a 1 500 RPM durante 3 minutos; se decantó y, en seguida, se deshidrató con ácido acético glacial, centrifugando siempre a las mismas revoluciones y tiempo.

El material ya deshidratado se procesó con la mezcla acetolítica por espacio de 5 minutos entre 50 y 60 grados, manteniéndolo siempre en baño maría. Se suspendió la reacción con ácido acético glacial, se centrifugó y se decantó. Luego se procedió a neutralizar y lavar el material mediante la adición de ácido acético glacial; se centrifugó y se decantó. Finalmente, se montó en laminillas permanentes mediante el material en gelatina glicerinada con dimetilsulfóxido.

Los palinomorfos muestran tres biozonas correlacionables entre sí, las cuales representan diferentes estadios del lago y la forma como las condiciones geológicas han afectado la vegetación.



El Tiradero.

Paleolimnología: estudio de diatomeas

Las diatomeas son indicadores para el estudio paleoambiental por la relación estrecha que guardan muchas de las especies con diferentes parámetros ambientales, como la acidez o alcalinidad, la concentración de nutrientes, la profundidad de agua, etc. Además, muestran una gran resistencia a la descomposición de sus frústulas (de sílice). De esta manera, las diatomeas tienen una importancia propia para la reconstrucción parcial de ambiente y su cambio a lo largo del tiempo.

Método de muestreo y análisis

Se colectaron sedimentos de dos perfiles con intervalo de 5 cm. Para la limpieza y la preparación de las muestras, se siguió la técnica estándar combinada con la técnica de

oxidación ácida (Rushforth *et al.*, 1984). Posteriormente, las muestras se montaron en laminilla mediante la resina Naphrax. Para la identificación a nivel género, se siguió el esquema propuesto por Bourrelly (1968). Primero, se tomaron en consideración las especies dominantes y las más comunes como indicadores de rangos de salinidad, pH, temperatura, concentración de nutrientes y de materia orgánica, presencia de carbonatos, profundidad de agua, movimiento de ésta, etcétera.

La identificación de diatomeas de cada estrato y sus implicaciones ecológicas permitió establecer cinco zonas en El Tejocote y diez en El Tiradero.

En El Tejocote, la Zona 1 presenta el predominio de *Diploneis elliptica*, así como *Hantzschia amphioxys*, que es una especie típicamente de suelo. Estas especies, junto con algunas especies de *Fragilaria*, indican condiciones de húmedas a secas. El pH resultó alto (7.8-8.0), lo cual indica que el cuerpo de agua es alcalina (Lowe, 1974). En la Zona 2 predominan *Fragilaria brevistriata* y otras especies de *Fragilaria*, que reflejan condiciones de agua somera y pH alcalino (7.5-7.8). También se identificaron varias especies de *Eunotia* que, junto con las de *Fragilaria*, indican condiciones bajas en el contenido de nutrientes. La Zona 3 se caracteriza por *Eunotia praerupta* var. *bigiibba* y algunas otras especies de este género. Son especies bentónicas, litorales o epífitas de musgos y de macrofitas sumergidas, lo que indica condiciones de agua ácida estancada o de poca profundidad. La Zona 4 presenta el predominio de *Cymbella elginensis* y algunas otras especies del mismo género. Son especies bentónicas de agua dulce con pH ligeramente alcalino. Su presencia indica condiciones de aguas estancadas. Y la Zona 5 presenta condiciones similares a las de la Zona 2, por el predominio de *Fragilaria brevistriata*.

En el perfil de El Tiradero, la Zona 1 se caracteriza por *Pinnularia viridis*, especie bentónica de aguas dulces, de ácidas a ligeramente alcalinas. Es indicador de condiciones secas a húmedas, aunque suele encontrarse abundantemente en aguas semi o permanentemente estancadas. En la Zona 2 predomina *Diploneis elliptica*, especie típicamente aerófila, común en los sedimentos de esquitos. Soporta un amplio rango de desecación y concentraciones de Ca⁺⁺, lo cual indica que se encuentra en aguas de moderada a alta conductividad (Werner, 1977). En la Zona 3, la 6 y la 10, abunda *Fragilaria brevistriata*, que indica condiciones similares a la Zona 2 del perfil El Tejocote. La Zona 4 se representa por *Diploneis elliptica* y *Hantzschia amphioxys*, cuyo predominio indica condiciones similares a las de la Zona 1 del perfil anterior. La Zona 5 y la 7 presentan preponderancia de *Fragilaria construens* var. *construens*, que comúnmente refleja condiciones neutras a alcalinas (pH de 7.7-7.8) y condiciones

bajas en el contenido de nutrientes; es frecuente en aguas someras. La Zona 8 presenta condiciones similares a las de la Zona 3, por el predominio de *Fragilaria construens f. venter*. La Zona 9 se caracteriza por *Eunotia alpina*, especie bentónica o epífita de musgos del tipo de *Sphagnum*, algas filamentosas o plantas superiores, que indica condiciones de cuerpo de agua ácida y somera. En otras palabras, puede considerarse como pantanos o turberas (Werner, 1977).

Resumen e interpretación preliminar

De los resultados obtenidos por diferentes estudios realizados, se definen con claridad varias características comunes:

a) La poca profundidad de agua, lo cual se evidencia por el escaso desnivel que mantiene el estrato más profundo de El Tejocote en relación con el de El Tiradero. Dicho desnivel es de 32 cm (capa arenosa y fluvial); por lo tanto es posible conjeturar que la profundidad de agua en la zona fue, a lo sumo, de 50 cm.

b) Existe en los perfiles una clara diferenciación, que indica un ambiente de formación y desarrollo; uno se localiza en la orilla, representada por El Tejocote, el cual muestra particularidades de deposición, medio reductor y oxidante, además de variabilidad en los organismos presentes y procesos de secado o evaporíticos. El otro, El Tiradero, indica una zona de condiciones lacustres más marcadas, por lo que se caracteriza por una homogeneización en sus propiedades químicas y sedimentológicas.

c) Se pueden definir tres fases en el perfil, con variaciones internas que señalan una dinámica de deposición lacustre, "tular", fluvial y aluvial. Puede representar la estabilidad en el paisaje o la erosión.

Las fases mayores, desde de la base del perfil hacia la superficie, son los siguientes: lacustre, lacustre-tular-pantano, más cenizas volcánicas, pantano, lacustre, fluvial y aluvial. Las dos primeras fases son resultado principalmente de sedimentación y la última se debió a procesos erosivos en el área circundante.

d) El área se caracteriza por la presencia tanto de agua dulce como de agua termal con alto contenido de sulfato que propició cambios en el ambiente para el desarrollo de las diatomeas.

Esto también provocó que la alcalinidad variara desde baja hasta alta. Es importante señalar la alta concentración de sodio y magnesio en los perfiles, debida al intemperismo químico de los piroxenos y anfíboles, presentes en las cenizas volcánicas depositadas en forma aérea o por acarreo hídrico.

0-5	cultivo de Zea mays y pastizal	Zona I	Biozona I	Facie 1
5-10	bosque de Pinus sp.	Zona I	Biozona I	Facie 1
10-15	vegetación acuática y subacuática	Zona I	Biozona I	Facie 2
15-20	bosque de Pinus, bosque de Quercus, pastizal,	Zona I	Biozona I	Facie 2
20-25	vegetación acuática y subacuática	Zona I	Biozona I	Facie 3
25-30	bosque de Pinus sp., pastizal,	Zona I	Biozona I	Facie 3
30-35	no polen	Zona II		
35-40	no polen	Zona II		
40-45	no polen	Zona II		
45-50	no polen	Zona II		
50-55	no polen	Zona II		
55-60	bosque de Pinus sp.	Zona III	Biozona II	
60-65	no polen	Zona IV		
65-70	no polen	Zona IV		
70-75	no polen	Zona IV		
75-80	vegetación acuática y subacuática	Zona V	Biozona III	
80-85	no polen	Zona V	Interfase	
85-90	vegetación acuática y subacuática, bosque de Pinus sp.	Zona V	Biozona III	
90-95	no polen	Zona VI		
95-100	no polen	Zona VI		
100-105	no polen	Zona VI		
105-110	no polen	Zona VI		
110-115	no polen	Zona VI		
115-120	no polen	Zona VI		

Prof. (cm)

Análisis palinológico e interpretación paleoambiental de El Tejocote.

0-5	vegetación acuática y subacuática	Zona I	Biozona I	Facie 1
5-10	pastizal, bosque de Pinus sp.	Zona I	Biozona I	Facie 1
10-15	vegetación acuática y subacuática	Zona I	Biozona I	Facie 2
15-20	pastizal, bosque de Pinus, bosque de Quercus,	Zona I	Biozona I	Facie 2
20-25	vegetación acuática y subacuática	Zona I	Biozona I	Facie 3
25-30	pastizal, bosque de Pinus sp.	Zona I	Biozona I	Facie 3
30-35	no polen	Zona II		
35-40	no polen	Zona II		
40-45	no polen	Zona II		
45-50	no polen	Zona II		
50-55	no polen	Zona II		
55-60	bosque de Pinus sp.	Zona III	Biozona II	
60-65	no polen	Zona IV		
65-70	no polen	Zona IV		
70-75	no polen	Zona IV		
75-80	vegetación acuática y subacuática	Zona V	Biozona III	Facie 1
80-85	no polen	Zona V	Interfase	Facie 2
85-90	vegetación acuática y subacuática, pastizal	Zona V	Biozona III	Facie 3
90-95	bosque de Quercus sp.	Zona V	Biozona III	Facie 3
95-100	bosque de Pinus sp.	Zona V	Biozona III	Facie 3
100-105	no polen	Zona VI		
105-110	no polen	Zona VI		
110-115	no polen	Zona VI		
115-120	no polen	Zona VI		

Prof (cm)

Análisis palinológico e interpretación paleoambiental de El Tiradero.

En lo que se refiere a la variación del entorno, ésta se enmascara por la presencia de los manantiales, por lo que no es posible detectar cambios climáticos sustanciales. Sin embargo, después de la tripartita, aparece un bosque, el cual se altera por la siguiente emisión volcánica (¿Tres Cruces?) y, con posterioridad a este evento, volvió a implantarse el bosque.

Bibliografía

Bloomfield, K.

- 1973 "The age and significance of the Tenango basalt, central Mexico", *Bulletin Volcanologique*, 37 (4): 586-595.
- 1975 "A late-Quaternary monogenetic volcano field in central Mexico" *Geologische Rundschau*: 64:476-497.

Bloomfield, K., et al.

- 1977 "Plinian eruptions of Nevado de Toluca volcano, Mexico, *Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau Band*, 66: 119-145, Stuttgart.

Bloomfield, K. y Valastro, S. Jr.

- 1974 "Late Pleistocene eruptive history of Nevado de Toluca volcano, central Mexico, *Geological Society of American Bulletin*, 85: 901-906.

Bourrelly, P.

- 1968 *Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique. Les algues jeunes et brunes. t. II*, N. Boubée et Cie, París.

Clavijero, F.J.

- 1964 *Historia antigua de México*, Porrúa, México.

Departamento del Distrito Federal

- 1966 *Estimación preliminar de los recursos de aguas subterráneas en la cuenca alta del río Lerma hasta el estrechamiento de Atlacomulco*, DDF, Servicios Geológicos, S.A., México.

Flores Díaz, A.

- 1986 "Fluctuaciones del lago de Chalco desde hace 35000 años al presente, *Tapacoya: 35000 años de historia del lago de Chalco*: 109-156, INAH, México.

Fries, C.

- 1960 "Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central de México, *Boletín* 60, Instituto de Geología, UNAM, México.

Gobierno del Estado de México

- 1993 *Atlas ecológico*, t.1, Comisión Coordinadora para la Recuperación Ecológica de la Cuenca del Río Lerma, México.

Jackson, M. L.

- 1982 *Análisis químico de suelos*, Ed. Omega, Barcelona.

Lowe, R. L.

- 1974 *Environmental requirements and pollution tolerance of freshwater diatoms*, National Environmental Research Center Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

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*, DDF, México.

Romero Quiroz, J.

- 1978 *Santiago Tianguistenco*, Gobierno del Estado de México, México.

Sahagún, Fray B. de

- 1956 *Historia general de las cosas de la Nueva España*, México, Porrúa.

Sánchez Rubio, G.

- 1978 "Notas sobre la volcanología cenozoica de la región entre Temascaltepec y la Marquesa, Estado de México, *Libro-guía de la excursion geológica a Tierra Caliente, estados de Guerrero y México*, Sociedad Geológica Mexicana, México.

Werner, D.

- 1977 *The biology of diatoms*, Blackwell Scientific Publ., Londres, Botanical Monographs, vol. 13: 284-332.