

LOS TEPETATES DE LA REGION DE XALAPA, VERACRUZ (MEXICO): UN ENDURECIMIENTO DE ORIGEN PEDOLOGICO

Tepetates of the Region of Xalapa, Veracruz (Mexico): a Pedological Hardening

Didier Dubroeuq

ORSTOM. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz. México.

Palabras clave: México, Suelos volcánicos endurecidos, Haloisita, Tepetate, Duripán, Sílice, Génesis.

Key words: Mexico, Indurated volcanic soils, Halloysite, Tepetate, Duripan, Silica, Genesis.

laminares que son una combinación de ópalo-cristobalita y de haloisita no diferenciables ópticamente.

SUMMARY

RESUMEN

En la región de Xalapa (Ver.), los tepetates se originan en las espesas cubiertas arcillosas provenientes de la alteración ferralítica de mesetas de basaltos andesíticos. Los perfiles presentan dos o tres horizontes prismáticos superpuestos separados por horizontes laminares endurecidos y alcanzan 3 a 4 m de espesor hasta la roca meteorizada. En los horizontes laminares se observan espesos revestimientos con varios grados de endurecimiento. Por su microestructura, difieren de los argilanes y presentan en luz polarizada una red poligonal de bandas plásmicas entrecruzadas. En estos revestimientos, los difractogramas de RX confirman la presencia de haloisita y de cristobalita y los microanálisis indican un contenido mayor en sílice que en el material arcilloso parental. En los horizontes inferiores del suelo aparecen pseudomicelios blancos que son formas incipientes de acumulación de sílice. Asimismo, la movilización de la sílice existe en el suelo, pero se manifiesta de modo estable en los revestimientos

In the region of Xalapa (Ver.), "Tepetates" are developed into thick clayey mantles originated from a ferrallitic alteration of andesite-basalt mesetas. The profiles display two or three superimposed prismatic horizons which are separated by hard laminar horizons. The whole profiles are three to four meters deep and reach the weathered parent rock. In the laminar horizons thick coatings with different grades of hardening are observed. Their microstructure is quite different from argilans: in crossed polarized light a polygonal pattern of cross banded birefringent plasma is observed. XR diffraction diagrams confirm that such coatings are essentially composed of halloysite and cristobalite, and microprobe indicates a higher content of silicon than in the parent clayey material. In the subsoil white pseudomyceliums are clearly visible and show incipient silica deposits. Therefore, silica movability exists in the whole soil but secondary silica remains stable and permanent in the laminar coatings which are composed of silica and halloysite, combined but not optically distinguishable.

INTRODUCCION

En México, las formaciones endurecidas llamadas "tepetates" son tierras estériles y erosionadas que se encuentran en el eje volcánico central, en zonas del altiplano con clima sub-húmedo a sub-árido, siempre con una estación seca bien marcada. Debido a su importante superficie (30,700 km²), estas tierras agrícolas, tradicionalmente descartadas o reservadas al pastoreo extensivo, despiertan ahora un nuevo interés en vista de ser incorporadas al uso agrícola, con la finalidad de aumentar el espacio cultivable y limitar los efectos de la erosión. En ese sentido se hace énfasis en los estudios agronómicos (Ruiz, 1987; Miranda *et al.*, 1989), pero las explicaciones científicas acerca de la formación de los tepetates quedan todavía oscuras, debido al gran número de formas de endurecimiento que aparecen y a la gran variedad de materiales volcánicos que los originan (Dubroeuq *et al.*, 1989).

En la región de Xalapa, los análisis de las aguas internas del suelo confirman que los tepetates se forman en un ambiente geoquímico con exceso de sílice (Campos y Dubroeuq, 1990). Este resultado concuerda con los análisis químicos de suelo realizados en la región de Tlaxcala (Werner, 1986), los cuales indican la presencia de la sílice en los materiales compactados y la probable ligazón de ácido silícico con las arcillas en los cementantes del suelo endurecido.

Sin embargo, al observar los tepetates en la región de Xalapa, son los aspectos morfológicos del suelo que llaman más la atención: aparecen varias capas de estructuras prismáticas gruesas sobrepuestas, separadas por horizontes laminares sub-horizontales endurecidos. En las estructuras prismáticas ocurre un empobrecimiento en arcilla (Campos y Dubroeuq, 1990), dando al material un color más blanco y una textura limosa y arenosa, mientras que en las estructuras laminares se exhiben los rasgos de una acumulación de plasma fino en forma de manchas arcillosas, grises y alargadas horizontalmente, que se endurecen en láminas.

El propósito del presente artículo es precisar en qué forma se deposita la sílice en los tepetates de Xalapa y, en particular, explicar la mineralogía y la constitución de las manchas grises de los horizontes laminares. Asimismo, se definen los caracteres que permiten separar claramente los revestimientos laminares de otros más comunes, ligados a la acumulación de las arcillas en los suelos.

MATERIALES Y METODOS

Los Suelos con Tepetates

Se estudiaron al Sureste de Xalapa, en la zona del ejido del Sumidero, a lo largo de un corte de 100 m de largo y en una secuencia de cinco pozos cavados hasta la roca meteorizada. El suelo alcanza profundidades de 4 m y la roca es una andesita del Pleistoceno inferior de 1.7 M.A. de edad, formando extensas mesetas inclinadas hacia el este y profundamente alteradas (Geissert y Dubroeuq, 1990).

El perfil promedio (Fig. 1) consta de 3 horizontes prismáticos (P) separados por 3 horizontes laminares (L). La capa prismática superior presenta formas redondeadas en columnas (C) con espesos revestimientos limosos en forma de cofia. El horizonte inferior (A) es esencialmente poliédrico, arcilloso y de color pardo. Abajo de 4 m de profundidad aparece gradualmente la andesita meteorizada en esferas.

Mediante secciones finas orientadas, se analizaron las estructuras de los diferentes horizontes por microscopía óptica y se observaron más específicamente los revestimientos por microscopía electrónica de barrido, tanto en los suelos del corte como de los pozos.

Los Análisis Mineralógicos

Se efectuaron los análisis mineralógicos en los laboratorios de ORSTOM en Bondy, Francia, por difracción de RX en muestras de suelo total y

fracción inferior a 2μ con un difractor Siemens D 500 con anticátodo de cobre, y por microanálisis elemental semi-cuantitativo efectuado sobre las secciones finas con microsonda electrónica EDS Link.

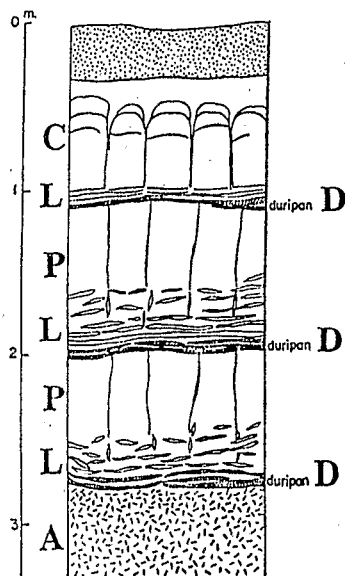


Figura 1. Corte esquematizado del suelo con tepetate. C= horizonte columnar. P= horizonte prismático. L= horizonte laminar con aspecto de plintita. D= duripán. A= horizonte de alteración de la roca andesítica.

RESULTADOS

Aspectos Generales del Suelo

La parte superior del suelo de 1 hasta 1.20 m de profundidad consta de un horizonte superficial orgánico blando y de un horizonte columnar muy compacto (Fig. 1). En ambos se observa un material volcánico reciente, poco meteorizado, con abundantes vidrios en escamas con burbujas (Fig. 2), feldespatos sódicos y potásicos (sanidina) y plagioclasas cálcicas (anortita). Su composición es globalmente riolítica. Se trata de una ceniza con un importante contenido en SiO_2 ($\text{SiO}_2=70.9\%$), probablemente depositada por caída atmosférica.

En los horizontes inferiores a 1.20 m de profundidad, y principalmente en los horizontes prismáticos, se observa un material muy evolucionado y denso con plasma arcilloso de haloisita y abundantes nódulos de óxidos. Las numerosas cavidades cerradas observadas en los prismas evidencian que una intensa pérdida de materia ocurre en estas estructuras y que la iluviación interna del plasma fino se dirige hacia abajo (Fig. 3).

En los horizontes laminares subyacentes a las estructuras prismáticas se observan manchas grises alargadas horizontalmente en el sentido de circulación de las aguas internas del suelo. Estas manchas son espesos revestimientos de plasma fino que hacen patente la acumulación de materia en los horizontes laminares. Los revestimientos se adelgazan y se endurecen hacia la base del horizonte, hasta formar láminas endurecidas en contacto directo con los prismas del nivel inferior (Fig. 1).

Las Acumulaciones de Arcilla y de Sílice

En los horizontes laminares, las manchas grises en microscopía óptica presentan una apariencia general de revestimiento arcilloso. Pero no se observan las orientaciones del plasma en las capas paralelas a los bordes de las cavidades como en los argilanes, sino un material homogéneo entrecruzado por grietas finas (Fig. 4). A una mayor magnificación aparecen en luz polarizada estructuras plásmicas en bandas entrecruzadas formando una malla ortogonal (Fig. 5).

Los diagramas de RX evidencian la presencia de haloisita y de cristobalita con un poco de cuarzo. Los picos de la cristobalita son más intensos y más agudos en los revestimientos endurecidos que en las manchas grises blandas, hasta acercarse a una cristobalita sintética (Fig. 6). Pero en los revestimientos blandos no se detecta la presencia de minerales silicosos poco cristalizados tales como el ópalo-CT y el ópalo-A, probablemente por la presencia de cuarzo que enmascara el pico secundario a 0.429 nm del ópalo-CT (Drees *et al.*, 1989).

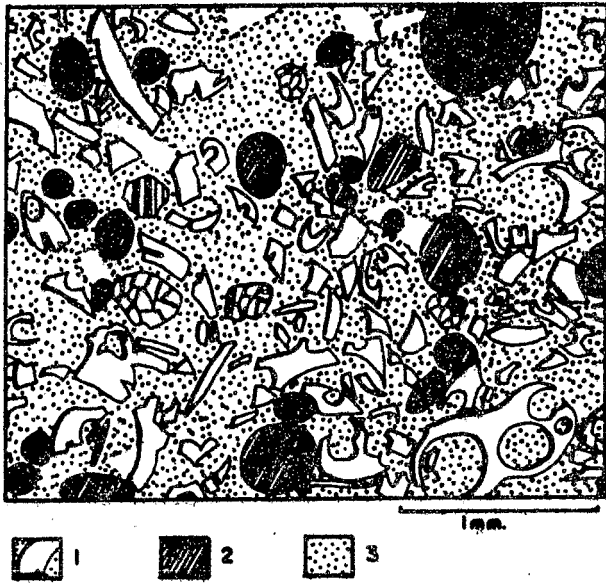


Figura 2. Micro-estructura del material de la parte superior del suelo. 1= vidrios volcánicos. 2= nódulos. 3= plasma limoso.

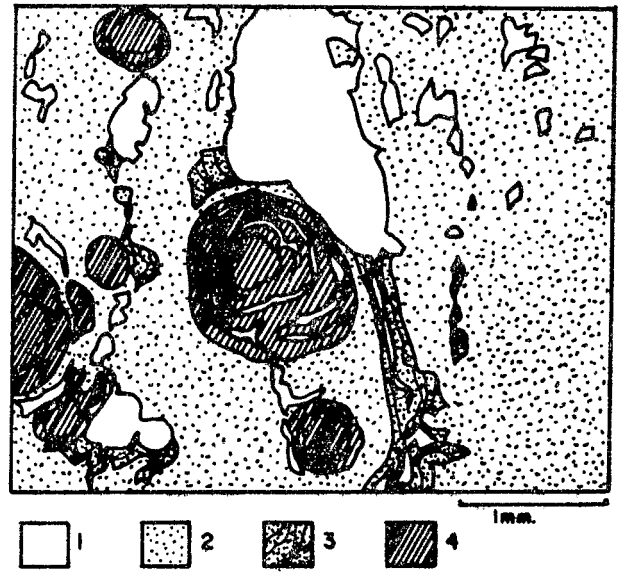


Figura 3. Micro-estructura del material de la parte prismática del suelo. 1= vacíos. 2= plasma arcilloso. 3= argilanes. 4= nódulos.

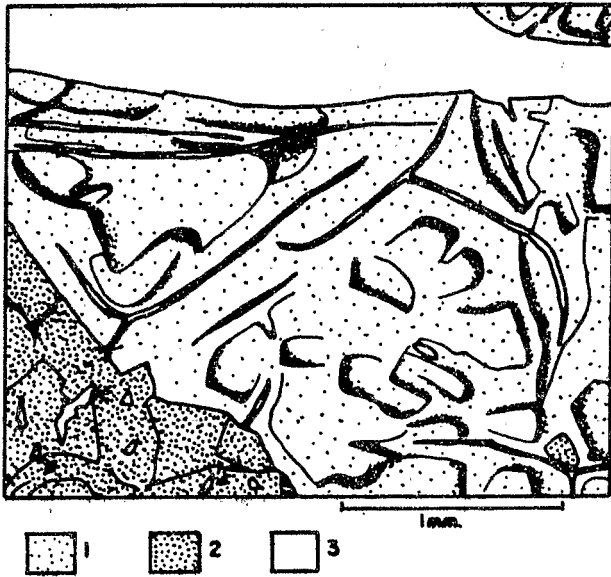


Figura 4. Micro-estructura de los revestimientos laminares. 1= plasma sílico-arcilloso liso. 2= matriz arcillosa. 3= vacíos.

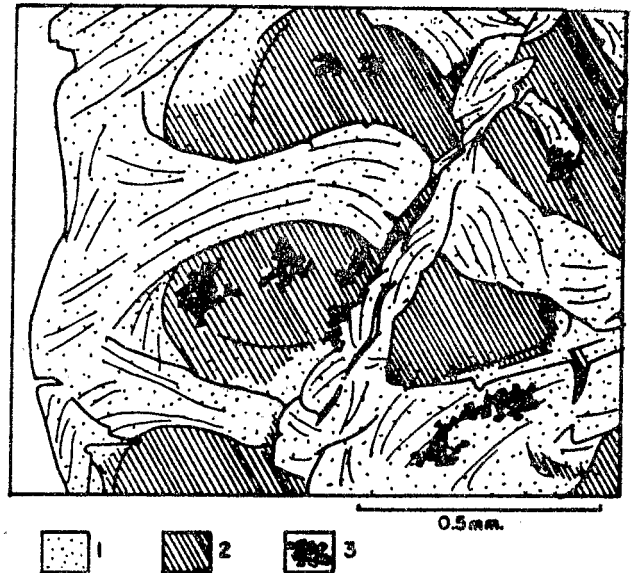


Figura 5. Detalle del revestimiento en luz polarizada. 1= bandas plásmicas birefringentes. 2= zonas oscuras sin birefringencia. 3= micro-cristales secundarios de calcita.

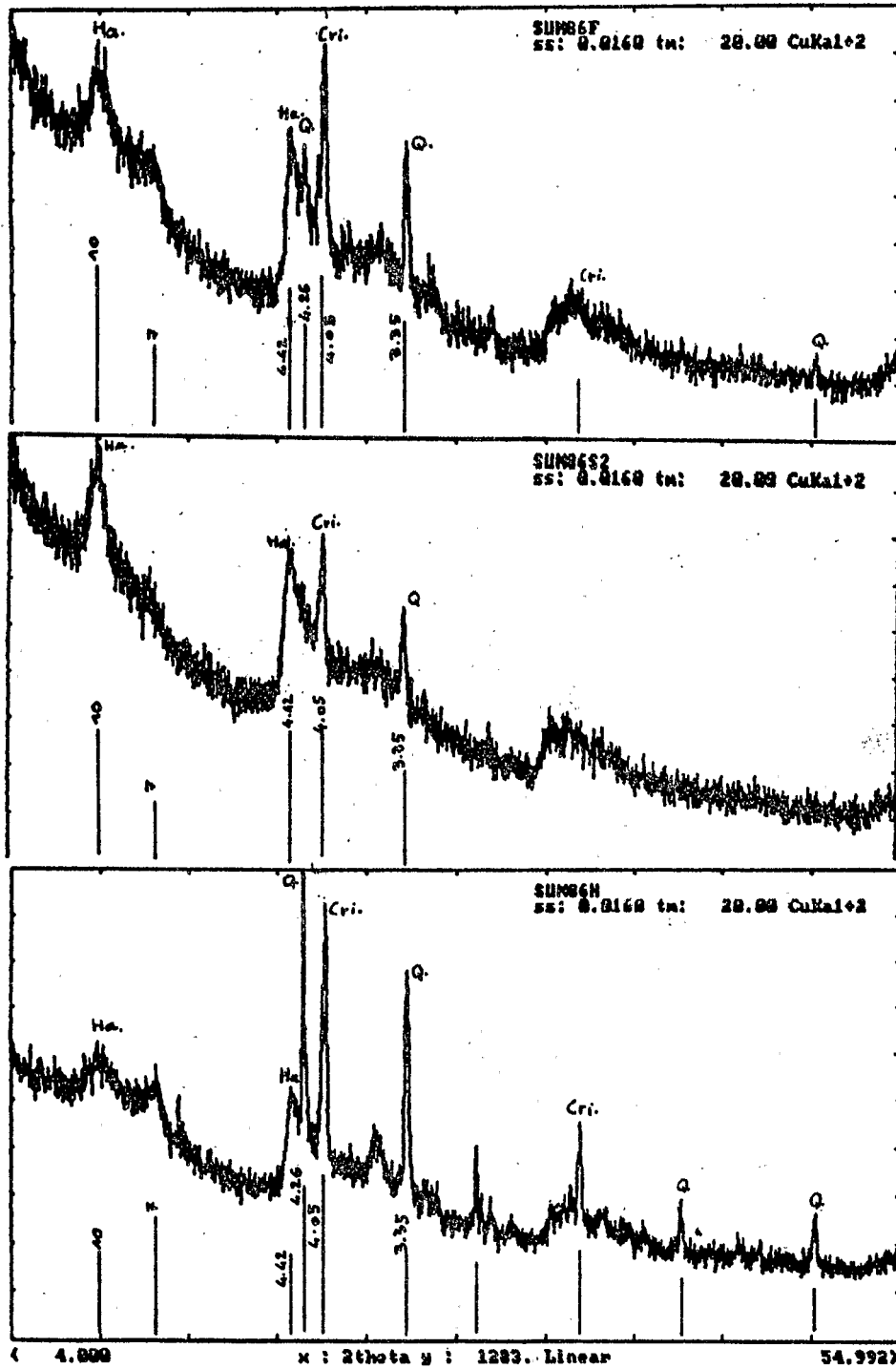


Figura 6. Diagramas de difracción RX de los revestimientos muy blandos (arriba), compactos (centro) a muy duros (abajo). Los picos de la cristobalita y del cuarzo se intensifican hacia abajo.

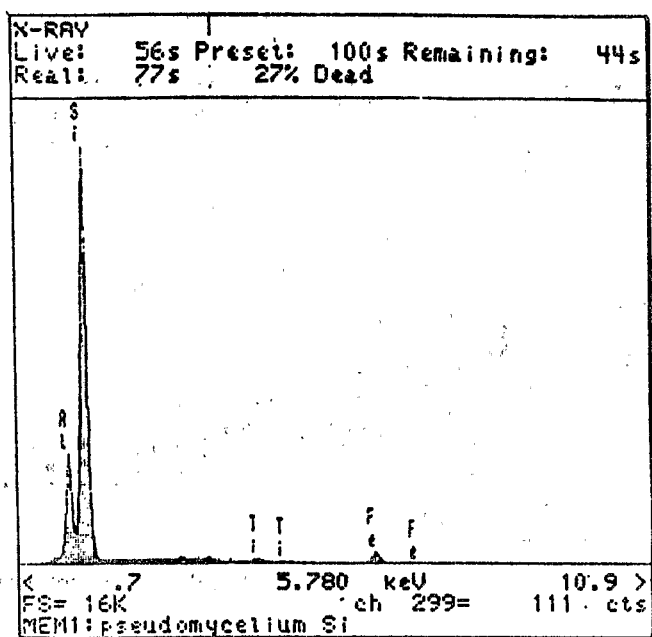


Figura 7. Diagrama de micro-análisis en un pseudomicelio.

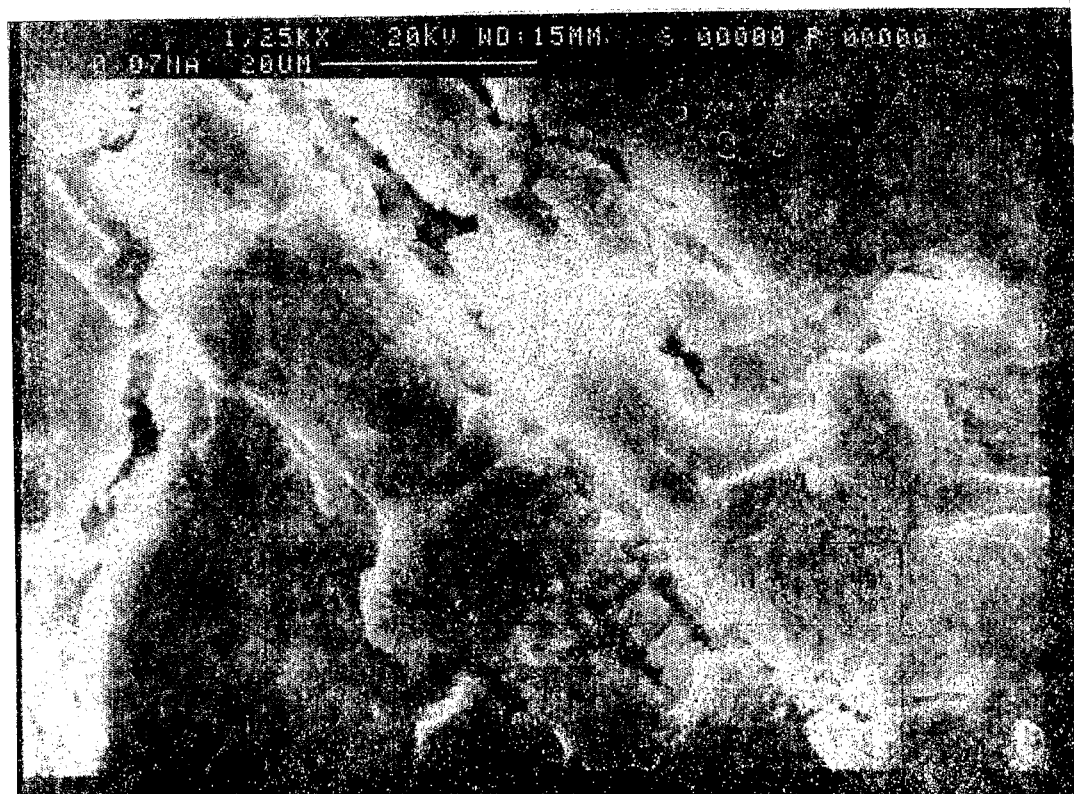


Figura 8. Imagen de un pseudomicelio en microscopía de barrido. Se observan los filamentos silicosos compuestos de esférulas apiladas, envueltas en material amorfo.

Los análisis por microsonda indican que los revestimientos están compuestos esencialmente de silicio, cantidades menores de aluminio y muy poco hierro y titanio. Los coeficientes moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varían entre 2.5 y 3 según el grado de endurecimiento de los revestimientos, mientras que la matriz arcillosa haloisítica externa presenta coeficientes de 2. El microanálisis de un revestimiento sílico-arcilloso en un horizonte laminar a 2.50 m de profundidad dio la composición siguiente $\text{Al}_2\text{O}_3=37.82\%$, $\text{SiO}_2=55.79\%$, $\text{FeO}=3.47\%$, $\text{TiO}_2=1.26\%$, coef. molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2.51$. Los demás elementos presentan valores $< 0.5\%$.

La microscopía de barrido revela que los revestimientos, debido al aspecto particularmente liso y uniforme de la superficie, se parecen más a un depósito amorfo que a un material cristalino. También confirma que las bandas plásmicas se relacionan con una red de micro-canales que entrecruzan los revestimientos.

En el horizonte de alteración se observan pseudomicelios blancos en los poros entre los agregados y a lo largo de los trayectos de raíces finas. Estos pseudomicelios están principalmente compuestos de sílice (Fig. 7). Su estructura evidenciada por microscopía electrónica de barrido, está formada de hilos de varias hebras, cada una compuesta de microdiscos apilados como en una columna de vértebras (Fig. 8).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las observaciones anteriores confirman que se acumulan arcilla y sílice en las estructuras laminares de los tepetates, mientras que las estructuras prismáticas son el sitio de una pérdida de plasma fino y una concentración relativa de material limoso y arenoso. También los pseudomicelios del horizonte de alteración son una forma de acumulación absoluta de la sílice. Estos rasgos pedológicos evidencian la transmigración de la sílice dentro de los tepetates y su depósito en varios niveles del suelo, incluso en los horizontes más profundos.

Pero ópticamente no se puede separar el ópalo de la haloisita. Los dos minerales aparecen ligados y llegan a constituir acumulaciones estables en forma de revestimientos. Por sus características micromorfológicas, se separan claramente de los argilanes. Su distribución en láminas orientadas lateralmente indica que es la circulación de las aguas internas lo que de manera más importante participa en su formación.

Tales aspectos morfológicos presentan una convergencia de facies con las formaciones silicificadas fósiles descritas en otras partes del mundo, en particular en Francia (Thiry *et al.*, 1983; Thiry y Millot, 1987) y en Australia (Milnes *et al.*, 1991; Thiry y Milnes, 1991). Asimismo, los tepetates de la región de Xalapa no se perciben como un fenómeno aislado y específico de una zona, sino más bien como una etapa en la edificación actual de silicificaciones de origen pedológico.

LITERATURA CITADA

CAMPOS, A. y D. DUBROEUQ. 1990. Formación de tepetates en suelos provenientes de las alteraciones de materiales volcánicos. *Terra* 8 (2): 137-147.

DREES, R., L. P. WILDING, N. E. SMECK y A. SENKAYI. 1989. Soil Science Society of America, Book series N°.1: Minerals in Soil Environments. Madison, USA.

DUBROEUQ, D., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7 (1): 1-3.

GEISSERT, D. y D. DUBROEUQ. 1990. Los tepetates del área de Xalapa de Veracruz y su relación con una paleosuperficie. Una perspectiva cronológica. *Terra* 8 (2): 148-155.

MILNES, A.R., M. J. WRIGHT y M. THIRY. 1991. Silica accumulations in saprolites and soils in South Australia. Soil Science Society of America, spec. pub. N° 26: Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum and silica accumulations in soils. Madison, USA.

MIRANDA M., M. E., M. E. DELGADILLO P. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación del tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México, Tesis de Licenciatura, UACH, Méx., México.

RUIZ F, J.F. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Depto. de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Méx., México.

THIRY, M. y G. MILLOT. 1987. Mineralogical forms of silica and their sequence of formation in silcretes. J. of Sedimentary Petrology 57 (2): 343-352.

THIRY, M., J. M. SCHMITT, N. TRAUTH, R. COJEAN y M. TURLAND. 1983. Formations rouges "sidérolithiques" et silicifications sur la bordure nord du Massif Central. Rev. de Géol. Dyn. et de Géogr. Physique 24 (5): 381-395.

THIRY, M. y A. R. MILNES. 1991. Pedogenic and groundwater silcretes at Stuart Creek Opal field, South Australia. Journal of Sedimentary Petrology 61 (1): 111-127.

WERNER, G. 1986. Los suelos en el Estado de Tlaxcala, altiplano central mexicano. Investigaciones relacionadas con su desarrollo, extensión, erosión y su utilización bajo la influencia de actividades agrícolas en 3,000 años. Centro Estud., Univ. Aut. Tlaxcala, Tlax., México. 132 p.