

# PATRONES MICROMORFOLOGICOS DE ORGANIZACION DE ARCILLAS EN TEPETATES (MEXICO)

## Micromorphological Patterns of Clay Assemblages in Tepetates (Mexico)

Klaudia Oleschko <sup>1</sup>, Claude Zebrowski <sup>2</sup>, Paul Quantin <sup>3</sup> y Nicolas Fedoroff <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.*

<sup>2</sup> *ORSTOM, México, México.*

<sup>3</sup> *ORSTOM, Bondy, Francia.*

<sup>4</sup> *INA, Grignon, Francia.*

**Palabras clave:** Tepetate, Agentes cementantes, Rasgos micromorfológicos, Patrones de organización de arcillas.

**Index words:** Tepetate, Cementing agents, Micromorphological features, Patterns of clay assemblages.

### RESUMEN

En la fábrica de los tepetates, los revestimientos y los rellenos arcillosos son comunes. En algunas muestras llegan a ocupar hasta un 20% de la superficie total de la lámina delgada. El papel específico de los revestimientos y de los rellenos de arcillas en la cementación de los tepetates no está demostrado hasta el momento; sin embargo, la haloisita mezclada con sílice está constantemente en la lista de sus principales cementantes. En el presente trabajo se establecieron tres patrones micromorfológicos de arcilla en tepetates del Estado de México, con base en rasgos pedológicos (P1, P2, P3). Se concluyó que las principales diferencias en las características micromorfológicas de los patrones P2 y P3 están relacionadas con un proceso distinto de formación de arcilla, sea de haloisita en clima subhúmedo o de esmectita en clima subárido.

### SUMMARY

Clay coatings and clay infillings are the most common micromorphological features observed in tepetates. These forms may occupy up to 20% of the observed surface of a thin section. The role of clay coatings and clay infillings as cementing agents in the tepetates has not been conclusively demonstrated. However, halloysite mixed with free silica always appears in the list of the most probable cementing agents. Three clay micromorphological patterns were established in tepetate samples of Mexico State from three pedological features (P1, P2, P3). The main difference between the micromorphological characteristics of the P2 and P3 patterns was related to a different process of clay mineral formation, either of halloysite in a subhumid climate or smectite in a subarid climate.

### INTRODUCCION

Los revestimientos arcillosos ocupan generalmente 1-2% del volumen total del suelo, pero su papel en el comportamiento del suelo ha sido reconocido y resaltado por varios investigadores

(Miller *et al.*, 1971). En la fábrica de los tepetates los revestimientos y rellenos arcillosos representan los rasgos pedológicos más comunes (presentándose en un 90% de los casos analizados); en algunas muestras llegan a ocupar hasta un 20% de la superficie total de la lámina delgada. Aunque el papel específico de los revestimientos y rellenos arcillosos en la cementación de los tepetates no está demostrado hasta el momento, la arcilla haloisfítica en una mezcla con sílice está constantemente en la lista de sus principales cementantes (Miehlich, 1991).

En el presente trabajo se describen los tres patrones micromorfológicos más comunes de arcillas que fueron observados en los tepetates, es decir, seudomórfico, de revestimientos y de fábrica vértica.

## MATERIALES Y METODOS

Las muestras estudiadas pertenecen a más de cien horizontes provenientes de suelos y tepetates de la cuenca de México. Entre éstas, 13 han sido estudiadas más detalladamente y pertenecen a tres perfiles de una secuencia descrita y muestreada por G. Werner y C. Zebrowski en Calpulalpan, Tlaxcala (Figura 1). La mayor parte de los suelos de la secuencia mencionada se ha desarrollado a partir de dos depósitos volcánicos (toba o proyecciones) de edad diferente. A partir del depósito más antiguo se han desarrollado los suelos arcillosos masivos, que se observan dentro del transecto de la secuencia. El segundo depósito, más reciente, ha dado origen a suelos que, a su vez, se distribuyen según una secuencia climática. En la parte alta, más húmeda, los suelos son francos, sueltos. En la parte baja, son más arcillosos, más masivos, con acumulaciones de  $\text{CaCO}_3$ . Una capa de arena (proyección volcánica localmente transportada por agua) separa estos dos conjuntos de suelos. Finalmente, en la parte superficial de los perfiles, se observa una capa humífera, suelta (Faeozem), que puede corresponder a un tercer depósito, eólico-coluvial.

Las muestras estudiadas en el presente trabajo pertenecen a tres perfiles localizados en la parte baja de la secuencia, que corresponde a los suelos más masivos. La ubicación de las muestras en relación con los diferentes depósitos está indicada en la Figura 1.

Las muestras inalteradas de los horizontes de los perfiles estudiados fueron obtenidas directamente en el campo sin impregnación previa. En el laboratorio, las muestras se impregnaron en condiciones de vacío con resina epoxy HU-543. Después del endurecimiento las muestras se cortaron en láminas y se pulieron hasta que tuvieron un grosor de 30  $\mu$ .

El tamaño de las láminas delgadas fue de 2 por 4 cm. Se prepararon dos láminas delgadas por muestra. Una de ellas fue sometida al estudio micromorfológico con un microscopio óptico y la otra fue estudiada con un microscopio electrónico de barrido (SEM, mod. Cambridge), equipado con un analizador de rayos X (EDXRA-microsonda).

La descripción de las secciones delgadas se realizó con un aumento de  $\times 80$ , de acuerdo con el Handbook for Soil Thin Section Description (Bullock *et al.*, 1985). El concepto comparativo se aplicó como la base para la interpretación de las descripciones micromorfológicas.

Las láminas delgadas sin cubre objeto, cubiertas con una capa homogénea de carbono en condiciones de vacío, se sometieron a observaciones directas con el microscopio electrónico. Cada punto de observación se escogió previamente con el microscopio óptico y se preparó el mapa del espacio poroso alrededor de cada punto de observación, lo que permitió encontrar más rápido la imagen de interés en el microscopio electrónico. En cada punto observado se realizó un análisis de la composición elemental con la microsonda. Se calculó la relación mol.  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki), que posteriormente se utilizó como indicador de la mineralogía de las arcillas y del grado de acumulación de sílice en ellas. Los análisis de la arcilla de los revestimientos y rellenos y de la matriz se realizaron separadamente.

Para los estudios con microscopio electrónico de transmisión (TEM) se prepararon suspensiones en agua de la arcilla de los revestimientos y de la matriz. Una gota de la suspensión, previamente dispersada con ultrasonido, se depositó sobre las rejillas de cobre, especialmente preparadas para este tipo de análisis. Se esperó 24 horas para lograr un secado adecuado de las muestras, las que posteriormente se sometieron a observaciones conjuntas con TEM y STEM y al análisis cuantitativo de la composición elemental con una microsonda. Una atención especial en este tipo de estudio se consagró a la morfología y a la composición elemental de los fitólitos en los tepetates.

Posteriormente, en la etapa de interpretación de los resultados, se trató de establecer una relación entre los patrones morfológicos de la arcilla en los tepetates, la composición elemental de la arcilla (con especial atención en la relación Ki) y la dureza de las muestras, medida directamente en el campo, en muestras inalteradas.

## RESULTADOS

### Patrón Seudomórfico de Formación de Arcilla *in situ*

El primer patrón micromorfológico de la arcilla (P1) fue denominado patrón seudomórfico. Sus indicadores son: rasgos pedológicos amorfos o criptocristalinos, isotrópicos bajo la luz polarizada, que indican una formación de arcilla *in situ*. Los rasgos señalados son seudomorfosis de fenocristales, con un grado de fuerte a moderado. En el último caso se distinguen claramente los límites del cristal y su forma inicial. Una parte de las partículas se conservó sin alteración, lo que permitió determinar su naturaleza mineralógica, que en su mayoría es de feldespato. Así se asegura su identidad mineralógica anterior (Figura 2).

El P1 no mostró ninguna relación con la morfología del espacio poroso de las capas, los

seudomorfismos pueden ocupar hasta el 15-20% de la superficie total de las muestras. El P1 corresponde a la fábrica textural argílica mátrica de la clasificación de Fedoroff (1990).

El patrón seudomórfico de la arcilla es el menos representativo entre los patrones establecidos, aunque con características específicas y claras. En la toposecuencia en discusión solamente el horizonte 2 del perfil TP3 presentó los rasgos del patrón señalado. En total 14 capas tepetatosas, de más de 100 observadas, tienen P1.

La relación Ki en la arcilla del P1 (dentro de los seudomorfismos, TP3-2) es de 3.5. En la matriz dicha relación sube hasta 4.6.

### Patrón de Revestimientos de Arcilla

El segundo patrón micromorfológico de la arcilla (P2) fue el más común en los tepetates y se presentó tanto solo, como en conjunto con P1 y P3. El P2 es el patrón de los revestimientos y rellenos arcillosos. Sus indicadores independientemente del origen de la capa cementada, son rellenos densos, completos o incompletos, de los macroporos y revestimientos arcillosos laminares típicos, en algunos casos con alternancia de capas de arcilla pura y de limo o de material limo-arcilloso. El grosor de los revestimientos puede llegar a 3.4 mm. La arcilla de los rellenos y revestimientos tiene una orientación de baja a moderada y fuerte.

El P2 tiene una estrecha relación con el tipo y la magnitud del espacio poroso de la capa donde se presenta, desarrollándose mayormente en los macroporos (lo que indica su relación con los flujos preferenciales del agua). Según el color de la arcilla en el P2, que va de amarillo (10 YR 8/6) a amarillo-rojizo (7.5 YR), se puede concluir que tiene un alto contenido de hierro. Según los análisis con microsonda, el porcentaje de óxido de hierro en la arcilla de P2 fluctúa entre 7.2 y 11.5% (Figura 2); no obstante, solamente una parte del hierro proviene de óxidos libres, y la otra pertenece al mineral arcilloso.

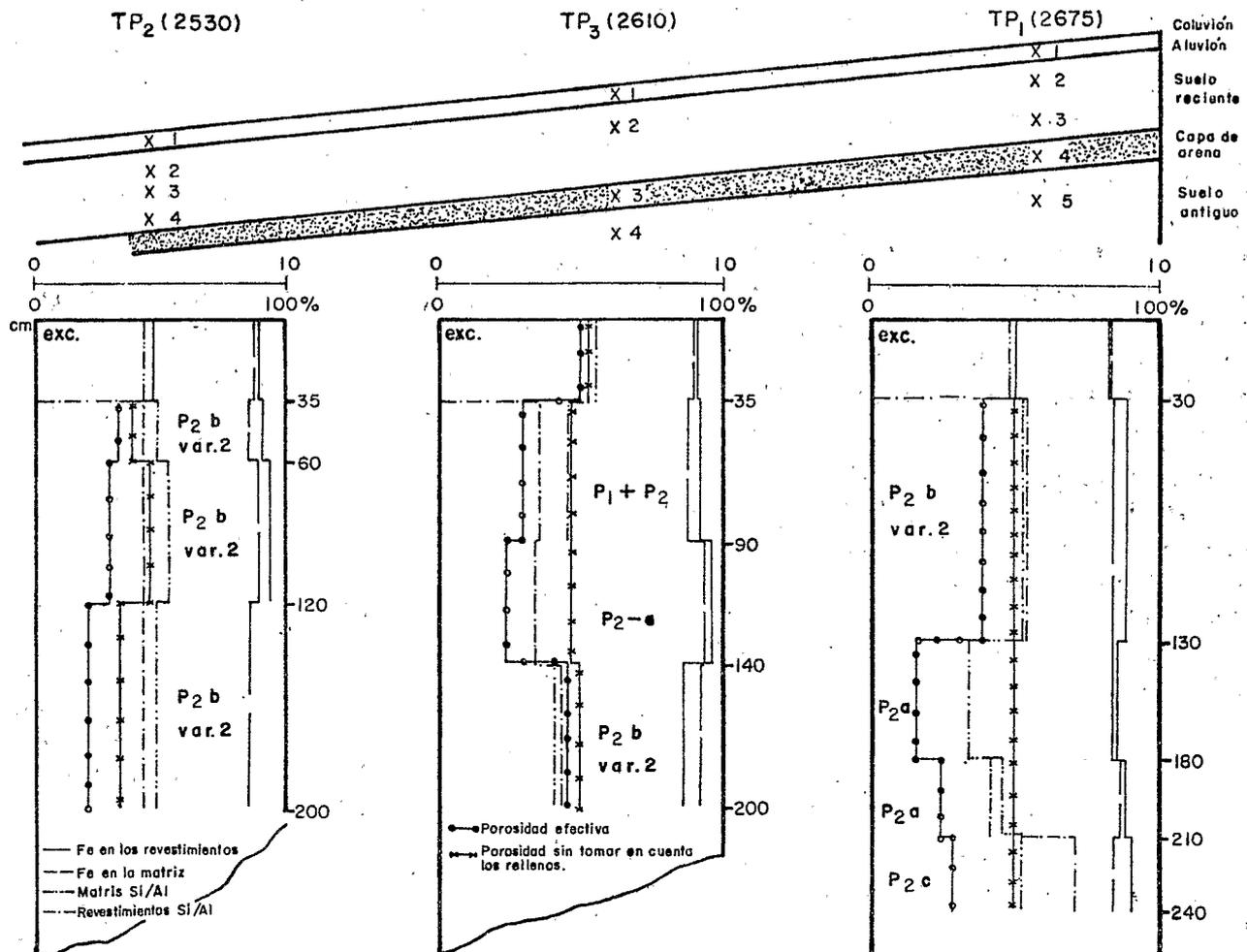


Figura 1. Ubicación de los perfiles estudiados.

El P2 se presentó en horizontes con diferentes texturas, desde migajón-arcillo-arenosa, arcilla-limosa, migajón-arenosa, hasta arena. La micro-fábrica correspondiente al P2 es de porfirica abierta a cerrada, con una porosidad efectiva de 19 a 35%. Según el Origen de los materiales, la textura de las capas con P2, la porosidad total y su relación con la porosidad efectiva y el espacio poroso ocupado por la arcilla de los rellenos y revestimientos, y tomando en cuenta la relación  $K_i$  en la arcilla de los rellenos y revestimientos en comparación con la matriz, se distinguieron tres subpatrones de P2.

### Subpatrón de relleno de arcilla o de "fábrica argílica frágica"

El primer subpatrón (P2-a) se presenta en los materiales piroclásticos, poco intemperizados, arenosos, semejantes por su mineralogía a los materiales parentales de los otros horizontes de los perfiles estudiados: con un predominio de vidrios volcánicos (40%), feldspatos (30%) y piroxenos (Fig. 3). Los rellenos y revestimientos arcillosos en P2-a están formados por poros de empaquetamiento simple y provocan una disminución promedio de la porosidad de las capas de

39 a 19%. El contenido de hierro en la arcilla varía entre 7.5 - 9.8%, lo que determina su color, que va de amarillo a café-amarillo. Como resultado de la formación de una red completa de rellenos y revestimientos, el espacio poroso interconectado es reemplazado por poros aislados, entre los cuales empiezan a predominar los poros cámaras (40%) y las cavidades (vughs-40%). Las fisuras ocupan sólo el 10% del volumen total del espacio vacío, lo que impide la circulación libre de todos los flujos dentro del horizonte. La relación  $K_i$  en la arcilla de los revestimientos de P2-a es mínima en las capas tepetatasas estudiadas y llega sólo a 3.3 (Fig. 5). El P2-a corresponde a una fábrica argílica frágica en la clasificación de las fábricas texturales de Fedoroff (1990).

La formación del subpatrón P2-a se relacionó con la existencia de pantallas texturales dentro de los perfiles estudiados, ya que se presenta en las capas arenosas (TP3-3, TP1-3, TP1-4) limitadas en su parte inferior por horizontes con una textura migajón limoso-arcillosa (TP1-5, TP3-4). Este cambio textural es la razón principal de la disminución de la velocidad de los flujos en la frontera entre las capas y de la acumulación de arcilla; lo que favorece después la adsorción de sílice y de óxidos de hierro sobre la superficie de las arcillas y su endurecimiento irreversible durante el proceso de desecamiento de las capas mencionadas. En total seis capas tepetatasas estudiadas tienen P2-a.

#### **Subpatrón de revestimientos laminares de arcilla**

El segundo subpatrón (P2-b) tiene los mismos indicadores y mismas características micromorfológicas (Fig. 4), pero se desarrolla en los materiales más arcillosos (la textura más común es migajón-arenosa). Además hay una reorganización completa de la masa basal en los bloques sub-angulares de diferente tamaño. Las superficies de los bloques están cubiertas completamente por revestimientos arcillosos microlaminares, que en algunas partes llegan a formar

rellenos densos, completos, en los macroporos. P2-b tiene dos variedades dentro de las capas tepetatasas, que se distinguen según el grado de orientación de la arcilla y el tamaño de los bloques sub-angulares.

\* La primera variedad se caracteriza por una baja orientación de arcilla en los revestimientos. Estos últimos son muy gruesos (hasta 0.5 mm) y dividen la masa basal del suelo en bloques sub-angulares de tamaño macro homogéneo (1.4 - 3.2 mm). Esta primera variedad de P2-b (P2-b var.1) no se presentó en la toposecuencia TP en discusión, pero fue la más representativa en los horizontes tepetatosos del perfil P30 de San Miguel Tlaixpan, que sirve de referencia a los tepetates de las series T2 y T3 (Peña y Zebrowski, 1992).

Treinta y cuatro muestras observadas tienen el P2-b, var.1. Dependiendo del grado de desarrollo del patrón señalado, algunas de ellas se describen como tepetates y otras no son endurecidas. Según la clasificación de Fedoroff (1990) el P2-b, var.1 corresponde a las fábricas texturales argílica frágica o argílica limosa.

\* La segunda variedad de P2-b (P2-b, var 2) se caracteriza por una orientación de la arcilla de moderada a perfecta en los revestimientos. Estos últimos son más finos (hasta 0.025 mm) y separan la masa basal en bloques sub-angulares heterogéneos por su tamaño (desde 0.09 hasta 6.00 mm). En algunas partes de las muestras con esta variedad de P2-b, los pequeños agregados, revestidos por arcilla perfectamente orientada, llegan a formar celdillas o redes de alvéolo, que se distinguen perfectamente bajo la luz polarizada (Figura 5). La arcilla en esta variedad de P2-b tiene relación no sólo con los macroporos, sino también con los microporos y corresponde a la fábrica textural argílica nítica de Fedoroff (1990). Se detectó un cambio importante en el valor de la porosidad efectiva de las capas con P2-b, var.2 sólo en presencia de la arcilla relacionada con las grietas.

La segunda variedad de P2-b fue la más representativa en la toposecuencia en discusión y

se presentó en las capas TP1-2, TP3-4, TP2-2, 3. Este último perfil tuvo P2-b, var.2 en las capas 2 y 3. La relación  $K_i$  en la arcilla de los revestimientos de la segunda variedad de P2-b varió en las capas señaladas entre 4.1 y 5.2. La misma relación en la matriz de las capas tepetatosas fue similar a la de los revestimientos, fluctuando entre 4.7 - 5.3 (Figura 2).

El P2-b, var. 2 se describió en 23 muestras observadas.

### Subpatrón de relleno compacto de arcilla y sílice

El tercer subpatrón (P2-c) se presentó en las capas de las cenizas antiguas y tiene las mismas características micromorfológicas que P2-a, con la única diferencia de que se desarrolla por poros de empaquetamiento complejo. El P2-c se presentó en 17 capas estudiadas, incluyendo la capa TP1-5. El desarrollo de P2-C provoca una disminución considerable del espacio poroso efectivo de la capa: de 44% (antes de la formación de los rellenos) hasta 28%. En la toposecuencia TP, la capa 5 del perfil TP1, con P2-c, tiene una máxima concentración de  $\text{SiO}_2$  en la arcilla de los revestimientos, en la cual la relación  $K_i$  alcanza un valor de 7.5. La misma relación en la matriz es sólo de 5.4%. Las capas con P2-c tienen una cierta concentración de biólitos, entre los que predominan los fitólitos.

### Patrón Vértico de Plasma o "Fábrica Argílica Vértica"

El tercer patrón micromorfológico de la arcilla (P3) se presentó en las capas de ciertos paleosuelos arcillosos, con un predominio de esmectitas dentro de la matriz del suelo (Fig. 4). Los indicadores micromorfológicos de P3 son los rasgos pedológicos relacionados con los procesos alternados de expansión y contracción de arcillas y con el proceso de su iluviación. El P-3 se describió en 12 capas endurecidas (pero no definidas como tepetates en campo).

La fábrica de la masa basal de las muestras con P3 es porfírica abierta y no corresponde a ninguna de las fábricas texturales de la clasificación de Fedoroff (1990). Se propone llamarla fábrica argílica vértica. La fábrica de birefringencia (b-fábrica) es de tres tipos:

- 1) separaciones de plasma relacionadas con las superficies: poroestriada y granoestriada,
- 2) separaciones de plasma no relacionadas con los poros (subcutánicas),
- 3) separaciones de plasma no relacionadas con las superficies, b-fábrica mosaica, reticular, ovoidal, etc.

Los poros predominantes fueron las fisuras (40%), las cámaras (40%) y los canales (20%). Además, se describieron rasgos pedológicos de revestimientos o nódulos de óxidos de hierro y manganeso en cantidad abundante. Existe también pseudomorfismos de alteración de diferentes minerales y microlitos de lavas. Los elementos estructurales predominantes son bloques sub-angulares. El complejo de características descritas es típico para los suelos vérticos, aunque puede presentarse en suelos no vérticos, arcillosos, con características de expansión y contracción alternadas (Blokhuis *et al.*, 1990).

En algunas de las muestras con P3 las grietas están rellenas de revestimientos laminares de arcilla, típicos del P2-b, que se sobrepone sobre el patrón P3. El relleno va acompañado por una disminución del espacio poroso efectivo de 45 a 20-30%. Se puede deducir que la matriz arcillosa estaba estabilizada antes de la formación de la red de revestimientos y rellenos, de depósitos periódicos; por la razón que un proceso vértico periódico debe cortar y destruir estos revestimientos.

La estabilización del sistema de grietas en estos paleosuelos puede explicarse por dos razones:

- 1) el proceso de relleno de las grietas empezó después de un brusco cambio climático (y este cambio tenía que ser de un clima más húmedo a uno más seco), lo que provocó la falta de humedad para la expansión completa del suelo;



Fig. 2. El patrón P1 de la arcilla (muestra K-14b).



Fig. 3. El patrón P2-a de la arcilla (muestra TP1-3).

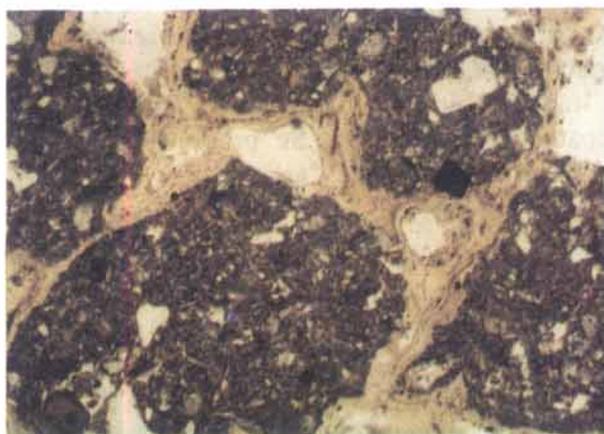


Fig. 4. El patrón P2-b, var. 2 de la arcilla (muestra A-13).



Fig. 5. El patrón P3 de la arcilla (muestra P27-3), con los rellenos arcillosos en los macroporos .

2) la matriz arcillosa del paleosuelo fue cementada antes de empezarse a formar el P2-b sobre el P3.

Esta segunda hipótesis parece más versátil, ya que la orientación perfecta de la arcilla en la matriz de las capas con P3 en relación con su composición de esmectita, hace suponer que el clima correspondiente a su síntesis fue sub-árido. No obstante, el espesor pronunciado de los revestimientos y rellenos demuestra su relación con flujos abundantes y periódicos de suspensiones de arcilla y limo; que podría tener una relación estrecha con el proceso de erosión hídrica (introducido en el área por el hombre).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis de las relaciones mol.  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki) en la arcilla de los revestimientos y de la matriz de las capas tepetatasas de la secuencia estudiada (Fig. 2) demuestra una similitud entre los valores señalados en ambas formaciones. Sin embargo, en la mayoría de los casos se presentó una tendencia hacia mayor concentración de  $\text{SiO}_2$  dentro de la matriz (en un 17% en el caso máximo), con excepción del horizonte 5 de TP1 donde la concentración de  $\text{SiO}_2$  en los revestimientos superó en un 28% la de la matriz. La relación Ki en la capa superficial del Faeozem (0-35 cm), sin evidencia de cementación, y con una fábrica biológica en los tres perfiles en discusión, es de 4.4 a 5.5, es decir, dentro del rango que se observa en las capas tepetatasas. No fue posible asegurarse que la silicificación durante la pedogénesis es el proceso principal de cementación de las capas tepetatasas evaluadas. Pero, en los horizontes con el patrón de arcilla P2, que tienen una predominancia de haloisita en su arcilla, de forma más esferoidal que tubular (en microscopía electrónica), el hecho que la relación Ki es mayor que 2, nos permite concluir que hubo una adsorción de sílice sobre la superficie de los minerales arcillosos. Este proceso se produjo en presencia de soluciones ricas en  $\text{SiO}_2$ , debido a una intemperización

fuerte de piróclastos, durante el depósito o la formación de arcillas. Se observa también una adsorción local de óxidos de hierro.

La arcilla del patrón morfológico P2 en las capas endurecidas de los perfiles de la secuencia (TP1-3, TP3-3, TP2-2, 3, 4, TP1-2), juega un papel reorganizador de la masa basal, presentándose en forma de redes de rellenos y revestimientos, frecuentemente micro-laminares. Este hecho podría haber producido la reorganización física de la masa basal en los bloques sub-angulares con predominio de poros aislados de tipo cámaras y cavidades, los cuales pueden ser considerados como inactivos en los procesos de flujo de agua. La porosidad efectiva de las capas disminuye casi en un 50%. La alta concentración de  $\text{SiO}_2$  en la arcilla puede ser responsable de la estabilidad significativa de los fragmentos mencionados, la que a su vez puede proporcionar una baja erosionabilidad de la capa. Sin embargo, ninguna de las muestras estudiadas presentó revestimientos de  $\text{SiO}_2$  pura, lo que fue revelado por el estudio detallado de la composición elemental de  $\text{SiO}_2$  de microláminas de los rellenos y revestimientos con la microsonda. No obstante, se observaron formas microcristalinas de sílice de tipo ópalo o calcedonia, pero muy escasas. Lo señalado no permite definir las capas mencionadas como duripanes, pero sí demuestra su semejanza con los fragipanes. Además, los estudios físicos demostraron que las capas con este patrón pueden ser recuperadas para el uso agrícola si se obtiene una distribución adecuada de tamaño de los fragmentos durante la preparación del terreno. Se propone llamar a estas formaciones como "argipanes".

El patrón P2 se reconoce como el patrón más común de endurecimiento de las capas con iluviación de arcilla. El desarrollo del P2 en las capas de cenizas antiguas se hace más complejo por la presencia de fitólitos. Estos últimos son lentamente solubles y pueden ser una fuente adicional de  $\text{SiO}_2$ , a aquélla que proviene de la alteración de vidrios y minerales volcánicos. El incremento del contenido de  $\text{SiO}_2$  en el sistema resulta en su adsorción máxima sobre los

revestimientos y rellenos de la capa TP1-5, donde la relación  $K_i$  llega a 7.5 (Figura 2) y donde la cementación podría considerarse como un proceso complejo, que incluye una etapa biogénica de la acumulación de  $\text{SiO}_2$ .

Las diferencias que presentan las principales características micromorfológicas de los patrones P2 y P3 están relacionadas con la distinta naturaleza mineralógica de la arcilla que predomina en cada material. Lo mencionado sirve como indicador de cambios climáticos durante su génesis.

El análisis conjunto de los resultados discutidos permite proponer la siguiente cadena de patrones morfológicos de la arcilla según la edad de su formación en la toposecuencia evaluada:  $P3 > P2 > P1$ , donde el patrón pseudomórfico se considera como el más reciente. Sin embargo, la presencia del P2 sobrepuesto al P1 en algunas de las capas estudiadas hace pensar en un proceso moderno de reorganización de la masa basal de éstas, que podría proporcionar su futuro endurecimiento.

#### LITERATURA CITADA

**BLOKHUIS, W.A., M. J. KOOISTRA y L. P. WILDING.** 1990. Micromorphology of cracking clayed soils (Vertisols), pp. 123-149. In: L.A. Douglas (ed). Elsevier Science Publishers, Soil micromorphology: a basic and applied science.

**BREWER, R.** 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley Sons, New York, USA.

**BULLOCK, P., N. FEDOROFF, A. JONGERIUS, G. STOOPS y T. TURSINA** 1985. Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, England.

**FEDOROFF, N.** 1990. Notas del curso: Génesis de los suelos tropicales y subtropicales (in Ed.), México.

**MIELICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Band 15. Hamburg, Germany.

**MILLER, F. P., N. HOLOWAYCHUK y L. P. WILDING.** 1971. Canfield silt loam, a Fragiudalf: macromorphological, physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35: 319-331.

**PEÑA, D. y C. ZEBROWSKI.** 1992. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. En este volumen.