

CARACTERIZACION FISICA Y MINERALOGICA DE LOS TEPETATES DE LA VERTIENTE OCCIDENTAL DE LA SIERRA NEVADA

Physical and Mineralogical Characterization of Tepetates of the Western Slope of the Sierra Nevada

David Peña H.¹ y Claude Zebrowski ²

¹ Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. Méx., México.

² ORSTOM D.F., México.

Palabras clave: México, Tepetate, Suelos volcánicos endurecidos, Mineralogía.

Index words: Mexico, Tepetate, Indurated volcanic soils, Mineralogy.

los tepetates de la serie T2. Se concluye que la naturaleza del material original (T3, T2, T1) y el clima han sido los principales responsables de las propiedades físicas y mineralógicas que caracterizan a los tipos de tepetates estudiados.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo exponer algunas de las propiedades físicas y mineralógicas que caracteriza los tepetates. Se seleccionaron trece muestras de tepetates con base en materiales originales y presencia o ausencia de carbonatos de calcio. En el campo se determinaron: color, textura, estructura, consistencia, porosidad y revestimientos. En el laboratorio se midieron: textura, densidad aparente, densidad real, constantes de humedad (pF 2.5 y 4.2), porosidad total, microporosidad, minerales arcillosos, minerales pesados, relación molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y análisis de residuos al ataque triácido. Los resultados muestran que los tepetates de la serie T3 presentan colores más intensos, texturas más arcillosas y microporosidades más elevadas que los de la serie T2. Los minerales arcillosos y los residuos del ataque triácido, sugieren que los tepetates de la serie T3 se intemperizaron en un clima más húmedo que

SUMMARY

The objective of this paper is to describe the physical and mineralogical characteristics of tepetates. Thirteen samples were selected on the basis of original material and the presence or absence of calcium carbonates. Field descriptions involved color, texture, structure, consistency, porosity and presence of coatings. In laboratory we analyzed texture, bulk and real density, moisture content at pF 2.5 and 4.2, specific porosity, micro-porosity, clay minerals, heavy minerals, molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio, and chemical composition of residues of triacid digestion. The results showed that tepetates of the serie T3 have more intense colors, more clayey texture, and higher microporosity than those of the serie T2. Clay minerals and chemical composition of residues of triacid digestion suggest that tepetates of the serie T3 have been weathered in a more humid environment than

those of the serie T2. As conclusion we can emphasize that the nature of the original material (T3, T2, Ti) as well as the climate have been responsible for the physical and mineralogical properties that characterize the types of tepetates.

INTRODUCCION

El estudio de las unidades morfoedafológicas definidas en la vertiente occidental de la Sierra Nevada (Peña y Zebrowski, 1991), muestra que los tepetates se encuentran en las zonas de piedemontes, entre los 2,250 y 2,800 msnm. Estos tepetates se han originado a partir de diferentes materiales originales y se han desarrollado bajo diferentes condiciones climáticas, por lo que presentan diferentes grados de evolución. Peña y Zebrowski (1991) identificaron y clasificaron seis tipos de tepetates a los cuales consideraron como representativos de su área de estudio. Uno de ellos, poco frecuente, se desarrolló a partir de brechas, mientras, que los cinco restantes (más representativos) se originaron a partir de flujos piroclásticos finos. Por lo anterior, se conoce la ubicación y los principales tipos de tepetates, pero existe un gran vacío en lo que se refiere a las propiedades que caracterizan a estos materiales. El presente trabajo tiene por objetivo, exponer algunas propiedades físicas y mineralógicas de los tepetates más representativos, en la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Los materiales consistieron de los tepetates t2, t3 y ti, ubicados en las series T2, T3 y Ti respectivamente, los cuales estaban presentes en la superficie, debido a la remoción de los suelos que los cubrían. Se estudiaron 13 muestras de tepetates agrupadas, con base en los materiales

originales y a la presencia o no de carbonatos de calcio, tal como se muestra en el Cuadro 1. Al respecto, para la separación que considera la presencia o no de carbonatos se tomaron los siguientes criterios de campo.

- Tepetates sin carbonatos: presentan ocasionalmente costras superficiales y algunos filones producidos en el interior de grietas. Frágiles.

- Tepetates con moderadas cantidades de CaCO_3 : presentan micelios, revestimientos, costras superficiales y algunas láminas sub-horizontales. Medianamente duros.

- Tepetates con abundantes CaCO_3 : muestran muchas láminas sub-horizontales de CaCO_3 , costras superficiales y micelios. Muy duros.

Cuadro 1. Grupos de tepetates caracterizados en el área de estudio.

Tepetate	Edad (años)	Presencia de CaCO_3		
		No	Si	
			Moderadamente	Muchos
t2	13,500	P30-5K	-	A13
		P33-5K		
		P35-4K		
t3	>20,000	P13-10K	K12	K7
		P26-10	P28-8K	
		P27-Kb		
		P35-11K		
		P30-11K		
ti		No existe		K15a

Métodos

En el campo se determinaron características como el color (Munsell), la textura (al tacto), la presencia de revestimientos, la estructura, la consistencia, y la porosidad. En el laboratorio se determinaron características como:

- La textura: por el método de Bouyoucos, con hexametáfosfato de sodio (calgón) al 10% y ultrasonido, como dispersantes.

- La densidad aparente: a partir del terrón cubierto con parafina.

- La densidad real: con el método del picnómetro.

- La humedad: se estimaron en la olla y membrana de presión, a los puntos de capacidad de campo (pF 2.5) y punto de marchitez permanente (pF 4.2). Esta propiedad se evaluó sobre muestras tamizadas (t), y sobre bloques cúbicos (b), cuyas dimensiones fueron de 10 x 4 x 2.5 cm de longitud, ancho y espesor, respectivamente.

- La porosidad total: mediante dos métodos:

1) Cálculo a partir de la densidad aparente (Da) y de la densidad real (Dr).

2) Cálculo a partir del contenido de agua de bloques saturados y de las Da.

- La microporosidad: se calculó a partir de la Da y de la capacidad de campo (pF 2.5) de los bloques cúbicos.

- El contenido de CaCO₃: determinado por un método de neutralización con HCl.

- Los tipos de arcillas: se determinaron por difracción de RX, con un difractor Siemens D500 con anticátodo de cobre.

- Los minerales pesados: se estimaron mediante su separación por densidad, en el bromoformo y observación a la lupa binocular. Por medio del análisis triácido se determinaron las relaciones moleculares SiO₂/Al₂O₃ de los productos disueltos y los contenidos de los residuos al ataque.

RESULTADOS Y DISCUSION

Color

Los tepetates de la serie T3 se caracterizaron por presentar colores intensos (Cuadro 2), variando de amarillo a pardo (10YR6/6-7/6, seco a 7.5YR4/6-5/6, húmedo), mientras que los tepetates de la serie T2 fueron de colores claros, dentro del gris claro y blanco (10YR y 2.5Y7/2, 10YR8/1, seco a 10YR4/4-6/4, húmedo). Por último los ti variaron de pardo a amarillento (10YR6/4-7/4, seco a 10YR 4/4, húmedo).

La presencia de carbonatos de calcio no influyó significativamente en la definición del color.

Los revestimientos de arcilla, más abundantes en las muestras de la serie T3, acentuaron el color rojizo de los tepetates y en general no cambiaron de color con la humedad.

Cuadro 2. Colores de los tepetates.

Tepetate	Color	Seco	Húmedo
t2	Matriz	10 YR 7/2	10 YR 4-6/4
	Revestimiento	10 YR 6/6 7.5 YR 4/6	10 YR 6/6 7.5 YR 4/6
t3	Matriz	10 YR 6-7/6	7.5 YR 4-5/6
	Revestimiento	7.5 YR 4-5/4 5 YR 4/4	7.5 YR 4/4 5 YR 4/3
ti	Matriz	10 YR 4-7/4	10 YR 4/4
	Revestimiento	10 YR 6/4	5 YR 4/4

Estructura

Esta propiedad presentó variaciones dependiendo de la condición del tepetate, dentro del perfil (masivo) o aflorando (diferentes sub-estructuras), de las diferentes series (t2: columnas, t3: bloques y prismas) y de la presencia o no de carbonatos (bloques poliédricos y cuadrados cubiertos por láminas sub-horizontales de caliche).

Las estructuras observadas sugieren que los tepetates estudiados, sobre todo los que no contienen carbonatos, consisten de depósitos consolidados y poco alterados (t3>t2) a tal grado que sólo han alcanzado a desarrollar sub-estructuras.

Consistencia

Todos los tepetates se mostraron duros y muy duros al estado seco. Sin embargo, los tepetates sin carbonatos resultaron frágiles, mientras que los que presentaban carbonatos no fueron tanto. En el primer caso los tepetates humedecidos se fragmentaron y/o se transformaron (con las manos) en pastas, mientras que en el segundo caso no fue posible. Desde el punto de vista de clasificación, las pruebas realizadas permitieron considerar a los tepetates de los grupos sin carbonatos, como fragipanes. Pero serán

necesarias otras pruebas complementarias para clasificar a los más resistentes como duripanes.

Revestimientos

En general todos los tepetates aflorantes presentaron revestimientos de arcillas, tanto dentro de los poros como sobre las caras de sus fragmentos. Éstos fueron más abundantes y más evidentes en la serie T3 sin carbonatos.

En los tepetates con carbonatos los revestimientos de arcilla se encontraron asociados y/o mezclados con revestimientos de carbonatos (micelios, redes y/o rellenos) y frecuentemente con pequeñas manchas y concreciones de manganeso.

Textura

En el campo, la textura se determinó con facilidad en los tepetates sin carbonatos (t3 más arcillosos que t2), pero no ocurrió así en los tepetates con carbonatos; la estimación de éstos últimos no fue posible debido a que se disgregaron en gránulos firmes, difíciles de romper.

Los resultados analíticos (Fig.1) confirman que los tepetates de la serie T3 son más arcillosos que aquéllos de la serie T2, lo que indica una alteración más fuerte para los materiales t3 que para los materiales t2.

Para los tepetates de una misma serie (t2 ó t3), con CaCO_3 , muestran texturas más arenosas. Estos resultados pueden explicarse más por una dispersión incompleta, que por variaciones en la naturaleza del material parental o por una alteración más débil debido a un clima más seco.

Contenido de carbonatos de calcio

Los resultados de laboratorio coincidieron parcialmente con las observaciones de campo (Cuadro 3). Al respecto, los resultados coinciden al indicar los valores más bajos (1.4-2.5%) para los tepetates sin CaCO_3 y los más altos (4.6-14.2%) para los tepetates con mucho CaCO_3 , pero no reflejan la diferencia entre los tepetates sin y con moderados CaCO_3 , debido a que los valores de este último (1.9%), quedan incluidos en el grupo de tepetates sin CaCO_3 .

Cuadro 3. Características físicas de los tepetates.

Tepetate	Sitios	CaCO_3 %	Da g/cm^3	Dr	pF 2.5 (t) (b)	pF 4.2 (t) (b)	CC (t)	PMP (b)	Pt %	Pb %	Pm %	Pm/Pb	HBS %		
t3	P30-11K	2.2	1.51	2.97	27.4	26.5	18.1	24.7	9.3	1.8	43	44.5	40.0	0.90	29.5
	P26-10	2.2	1.16	2.34	43.8	46.4	36.8	44.1	10.0	4.3	56	63.8	56.1	0.88	55.0
sin CaCO_3	P27-Kb	2.5	1.36	2.27	38.4	33.9	28.9	32.4	9.5	1.5	49	52.6	46.1	0.87	38.7
	P13-10K	2.5	1.23	2.28	44.6	-	33.3	-	11.3	-	54	-	-	-	-
t3 con CaCO_3	P35-11K	2.1	1.35	2.34	40.1	38.1	28.8	-	11.3	-	49	55.2	51.4	0.93	40.9
	K12	1.9	1.53	2.43	24.0	20.8	13.2	20.6	10.2	6.2	42	36.9	31.8	0.86	24.1
t2	K7	14.2	1.35	2.33	25.8	25.0	20.9	22.3	4.9	2.7	49	42.3	33.8	0.80	31.3
	P28-8K	2.0	1.55	2.28	24.1	21.1	17.4	18.6	6.7	2.5	41	35.0	32.7	0.93	22.6
sin CaCO_3	P30-5K	1.7	1.39	2.39	30.8	30.6	19.3	24.6	11.5	6.0	48	53.1	42.5	0.80	38.2
	P33-5K	1.4	1.47	2.41	31.3	27.6	19.5	25.4	11.8	2.2	45	54.2	40.6	0.75	36.9
t2 con CaCO_3	P35-4K	1.8	1.47	2.36	28.3	24.9	17.9	-	10.4	-	45	44.4	36.6	0.82	30.2
	A13	4.6	1.45	2.27	32.2	-	23.6	20.2	8.6	-	45	32.0	-	-	21.8
ti	K15a	5.6	1.43	2.27	24.7	25.8	18.8	20.4	5.9	5.4	46	38.6	36.9	0.96	27.0

t= Humedad determinada sobre tierra tamizada.

b= Humedad determinada sobre bloques cúbicos de tepetate.

Pt= Porosidad total calculada ($Pt=1-Da/Dr$, $Dr=2.65$), en muestras tamizadas.

Pb= Porosidad total medida a partir de la Da y del contenido de agua en los bloques saturados.

Pm= Microporosidad ($Da \times CC$ de bloques cúbicos).

HBS= Humedad de bloques saturados.

11.51 = 26.5
D2 = 25

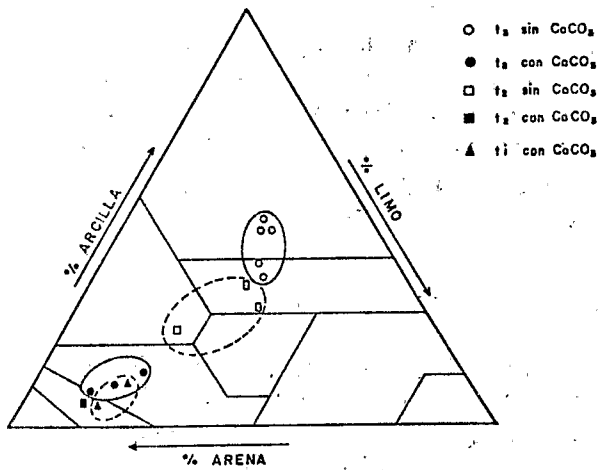


Figura 1. Clases texturales de los tepetates.

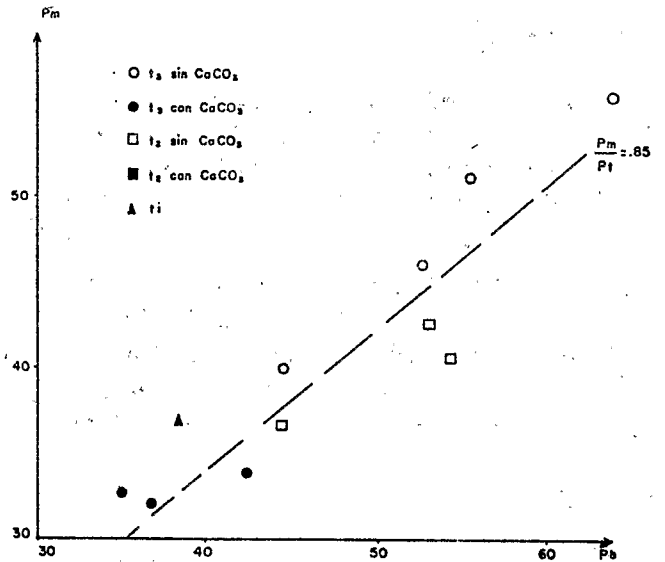


Figura 2. Densidad aparente (Da) y porosidad total (Pt).

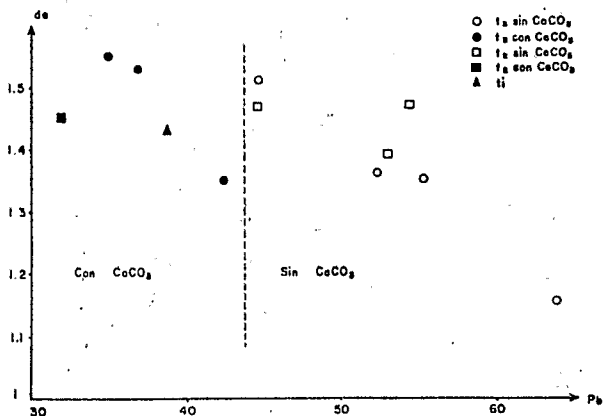


Figura 3. Porosidad total (Pt) y microporosidad (Pm).

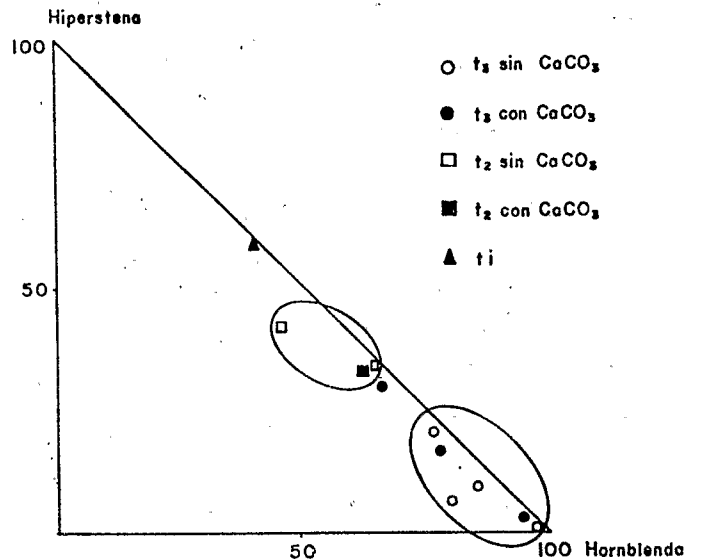


Figura 4. Composición de los minerales pesados.

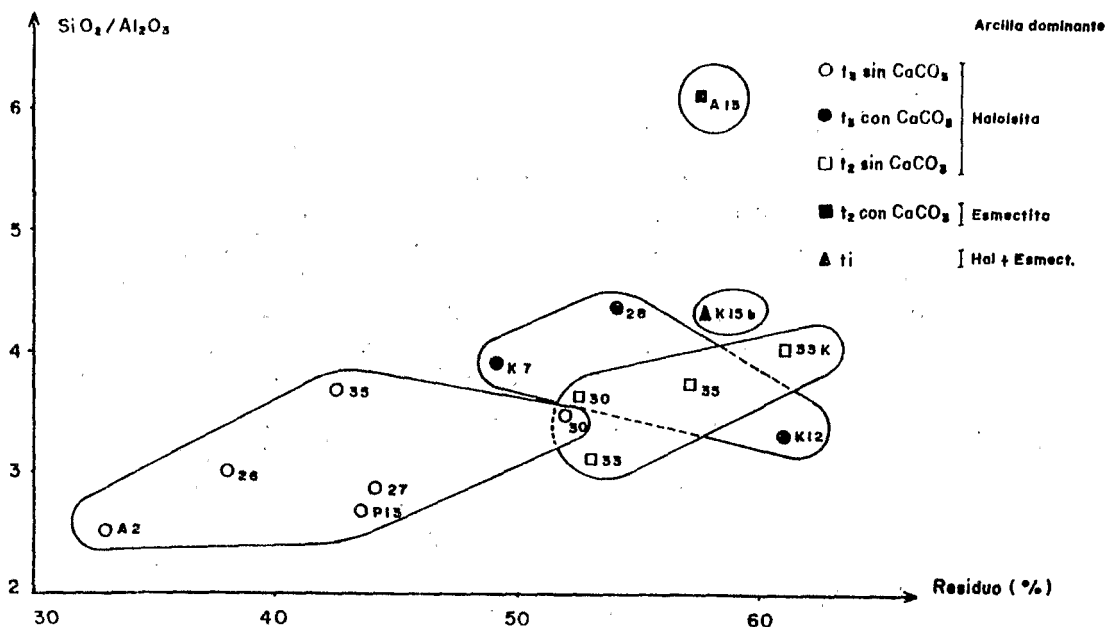


Figura 5. Ataque triácido. Relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y residuos.

Por otra parte, el rango obtenido para los tepetates con mucho carbonato se considera bastante amplio, con respecto a lo que se observó en el campo. Las causas probables de estas variaciones son mencionadas por Etchevers *et al.* (1991).

Densidad y Porosidad

La densidad real (D_r), determinada por el método del picnómetro, muestra valores comprendidos entre 2.27 y 2.47, con un promedio de 2.35. Al respecto, en la literatura se reportan valores que varían de 2.40 a 2.49 ($n=22$), con un promedio de 2.46 g/cm^3 (Avila, 1963; García, 1961; Rey, 1979). Sin embargo, aun cuando ambos conjuntos de valores son similares, se consideraron relativamente bajos. Estimaciones realizadas en otros estudios (en curso), sugieren que las densidades reales de los tepetates se encuentran entre 2.4 y 2.8 g/cm^3 . Por todo lo anterior, para determinar la porosidad total (Cuadro 3), se optó por hacer los cálculos con el valor recomendado de 2.65 g/cm^3 .

En relación con la densidad aparente (D_a) (Cuadro 3 y Fig. 2), los tepetates presentan valores entre 1.23 y 1.55 (con excepción del P26-10 cuya D_a es de 1.16 g/cm^3). A pesar de

que no hay una diferencia significativa entre los grupos, se observa que los tepetates con carbonatos de calcio tienen densidades más altas. Asimismo es posible observar que los tepetates de la serie T2 tienden a presentar densidades más altas que los de la serie T3.

La porosidad total, en tepetates sin CaCO_3 y calculada con $D_r=2.65$ (Pt), es más baja que aquella determinada a partir del contenido de agua del bloque saturado (Pb). Un comportamiento contrario a éste presentan los tepetates con CaCO_3 .

La porosidad total es más elevada en los tepetates sin CaCO_3 que en los tepetates con CaCO_3 (Fig. 2 y Fig. 3). En cada grupo (sin o con CaCO_3) la porosidad total es más elevada en los tepetates de la serie T3 que en los de la serie T2. Estos últimos tepetates, sin CaCO_3 , presentan una macroporosidad (en comparación con la porosidad total) más elevada que aquella de los t3.

Humedad aprovechable

Se determinó por diferencia entre las humedades a pF 2.5 y a pF 4.2 sobre muestras no perturbadas (bloques cúbicos) y sobre muestras molidas y tamizadas a 2 mm. Para cada

tratamiento no hay diferencias significativas (Cuadro 3) entre las muestras de los diversos grupos (t3, t2 y ti, con o sin CaCO₃), pero existe una diferencia apreciable entre las humedades aprovechables de las muestras no perturbadas (prom. = 2.9) y aquéllas de las muestras tamizadas (prom. = 9.3), lo que quiere decir que la molienda del tepetate después del subsoleo, antes de su incorporación a la agricultura, es importante para aumentar la humedad aprovechable de este material.

Minerales pesados

Los tepetates de la serie T3 se caracterizan por una predominancia de hornblenda en los minerales pesados, lo cual permite diferenciarlos con relativa facilidad de los tepetates de la serie T2 que tienen, además de hornblenda, hiperstenas (Fig. 4).

Minerales arcillosos

La presencia de haloisita en los tepetates de la serie T3 (sin y con carbonatos de calcio), sugiere que éstos se intemperizaron en un clima relativamente húmedo.

Asimismo, la esmectita contenida como arcilla dominante en los tepetates de la serie T2 sugieren que los tepetates de esta serie, se intemperizaron en un clima más seco. Los tepetates ti, están constituidos principalmente por haloisita y esmectita (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición mineralógica (resultados sintéticos).

Tepetate	Composición mineralógica			
t2	Esmectita	Haloisita 7Å	Cristobalita	Feldespato
t3		Haloisita 7Å	Cristobalita	Feldespato
		y 10Å		
ti	Esmectita	Haloisita 7Å	Cristobalita	Feldespato
		y 10Å		

Residuo del ataque triácido

Los residuos obtenidos por ataque triácido apoyan lo anterior, dado que los porcentajes de éstos disminuyen al aumentar el grado de alteración y viceversa i.e. Las muestras de T3 presentan menores residuos que las de la serie T2 (es más joven y menos alterada que la T3). Los tepetates con carbonatos, ubicados en clima seco, presentan valores más altos que los sin carbonatos, los cuales por estar ubicados en clima más húmedo, están más alterados que los primeros.

SiO₂/Al₂O₃

Como debía esperarse, esta relación es más alta en los tepetates con esmectita que en los que presentan haloisita. Sin embargo, los resultados más altos que los correspondientes para cada tipo de arcilla, permiten pensar que existe un poco de sílice libre, especialmente en las zonas más secas, en donde se alcanzaron valores de 3.3 a 4.3 en los tepetates con haloisita y de 6.1 para los que contienen esmectita (Fig. 5).

CONCLUSIONES

Las propiedades estudiadas muestran un comportamiento semejante dentro de cada grupo de tepetates, por lo que se concluye que los criterios utilizados (naturaleza de los materiales originales y presencia o no de carbonatos) son adecuados para clasificar los tepetates del área del estudio.

- Los tepetates de la serie T3 presentan colores más intensos y texturas más arcillosas, que los de la serie T2 y que los tepetates ti.

- Las estructuras variaron dependiendo de la condición del tepetate, de las diferentes series y de la presencia o no de carbonatos.

- En lo que se refiere a la clasificación de los tepetates, los del grupo sin carbonatos son fragipanes, pero estudios más concretos acerca de las resistencias y naturaleza de los cementantes, son necesarios para clasificar a los restantes como duripanes.

- La naturaleza del material parental (T3, T2, Ti) y el clima han sido los principales responsables de las propiedades físicas y mineralógicas que caracterizan a los grupos de tepetates estudiados.

LITERATURA CITADA

AVILA H., M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, México, con plantaciones forestales. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

ETCHEVERS B., J. D., C. ZEBROWSKI, R. M. LOPEZ R. y D. PEÑA H. 1991. Caracterización química de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Memoria del 1er Simposio Internacional sobre Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

GARCIA E., A. 1961. Estudio de los suelos tepetatosos y sus posibilidades de recuperación agrícola. Tesis de licenciatura. Depto. Suelos. UACH, Chapingo, México.

PEÑA H., D. y C. ZEBROWSKI. 1991. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Mem. 1er Simp. Int. Suelos Volc. Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

REY C., J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la Cuenca del Río Texcoco en base al factor K. Tesis de Maestría. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.