

# CARACTERISTICAS QUIMICAS DE TEPETATES DE REFERENCIA DE LOS ESTADOS DE MEXICO Y TLAXCALA, MEXICO

## Chemical Characteristics of Reference Tepetates from Mexico and Tlaxcala

Jorge D. Etchevers B.<sup>1</sup>, Rosa M. López R.<sup>1</sup>, Claude Zebrowski <sup>2</sup> y David Peña H.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ORSTOM, Méx., México.

**Palabras clave:** Horizontes endurecidos, Sierra Nevada, México, Tlaxcala, Tepetate, Caracterización química.

**Index words:** Indurated soil horizons, Sierra Nevada, Mexico, Tlaxcala, Tepetate, Chemical characterization.

### RESUMEN

El conocimiento de las características químicas de los suelos es fundamental para el entendimiento de su génesis y el diseño de prácticas de manejo adecuadas. La información actual sobre este aspecto en el caso de los tepetates es limitada. El objetivo de este trabajo es estudiar las características químicas de una serie de tepetates considerados como de referencia en el marco del proyecto Incorporación de los Tepetates a la Producción en México. Se analizaron químicamente, por métodos convencionales, 15 muestras provenientes tanto de horizontes endurecidos ubicados dentro de un perfil (P) descrito en el proyecto, como de capas de tepetate expuestas (K), que no pudieron ser relacionados con un perfil determinado por haberse perdido los horizontes sobreyacente. Las muestras se asociaron a las series estratigráficas 2T y 3T descritas en la Sierra Nevada de México,

por lo que se denominaron T2 y T3. Algunos tepetates no pudieron ser relacionados con estas series y se les denominó ti, por indefinidos. Todos los tepetates, independientemente de su clasificación, presentaron  $\text{CaCO}_3$ , ya sea uniformemente distribuido en la masa o en forma laminar, que varió de 1.4 a 14.2%, lo cual se atribuye a la naturaleza del material parental y a las condiciones de clima en que se desarrollaron. Estas diferencias explican parcialmente la dureza de estos materiales y las deficiencias micro-nutrimientales reportadas. El pH de los tepetates fue alcalino al medirse en agua y neutro en KCl 1N. Los porcentajes de C y N de las muestras fueron extremadamente bajos, indicando que en el pasado estos materiales no fueron colonizados por vegetales. Algo similar ocurrió con la cantidad de P disponible para las plantas, que se encontró sólo en trazas. Tanto la situación del N como la de la materia orgánica y del P constituyen serias restricciones para el crecimiento de las plantas y deben mejorarse antes de intentar introducir los tepetates al cultivo. La capacidad de intercambio de cationes (CIC) de los tepetates t3 con poco carbonato en campo fue mayor que la de los t2 de igual condición (32.0 vs 19.6 meq/100 g). Estos valores no concuerdan con la abundancia relativa de esmectita y haloisita reportada en la literatura para los tepetates t2 y t3. El porcentaje de

saturación con bases es elevado. La concentración de Ca extraíble en acetato de amonio es mayor que la de Mg y es más elevada en los t3 que en los t2 con poco carbonato de calcio. Las concentraciones de K intercambiable son altas (0.6 a 3.4 meq/100 g) y aseguran el abastecimiento de este elemento para el crecimiento de las plantas.

### SUMMARY

The knowledge of chemical characteristics is important to understand the soil genesis and to design appropriate management practices. Limited data is available on this topic for tepetates i.e. indurated soils horizons derived from volcanic materials. The objective of the present work was to determine the chemical characteristics of tepetates used as reference in the Project Incorporation of Tepetates to Agriculture Production in Mexico. Fifteen tepetate samples from indurated horizons within soil profiles (P) described as tepetates and from exposed indurated layers (K) of profiles that had lost the overlaying horizons were obtained. In the latter case it was not possible to relate the indurated layer to a particular tepetates profile. Tepetate samples were named either as T2 or T3 according to its relation to the stratigraphic series 2T and 3T described for the Sierra Nevada. Some tepetates could not be related to these series and were named ti. All tepetate samples presented some degree of CaCO<sub>3</sub> accumulation either as thin layers or mixed in the matrix. CaCO<sub>3</sub> percentages ranged from 1.4 to 14.2%. Differences were attributed to climate conditions prevalent during formation and to the nature of the parent material. The presence of CaCO<sub>3</sub> contributes to explain the induration of tepetates as well as some reports on micronutrient deficiencies. The pH of the tepetates was alkaline and neutral when measured in water and KCl 1N, respectively. Carbon and nitrogen percentages were extremely low due to poor colonization by plants and microorganisms in the past. Low avail-

able P levels were also observed. Nitrogen, organic matter and P concentrations should be sharply increased in the tepetates before attempting plant cultivation; present conditions are severely restrictive for plant growth. Cation exchange capacity (CEC) of t3 tepetates which had little CaCO<sub>3</sub> content under field conditions was higher than t2 CEC (32.0 vs 19.6 meq/100 g). These values disagree with those reported for the relative abundance of smectite and halloysite in t2 and t3 tepetates. The proportion of the CEC saturated to bases was in general high, and higher in those with abundance of CaCO<sub>3</sub>. Concentration of ammonium acetate-exchangeable Ca was higher than exchangeable Mg. Exchangeable K levels were high in most tepetates ranging from 0.6 to 3.4 meq/100g. These concentrations ensure enough K for plant growth for the time being.

### INTRODUCCION

Los tepetates son suelos que tienen horizontes endurecidos, generalmente el superficial, pero que han sido utilizados en producción agrícola desde hace siglos, después de su rehabilitación con tecnologías locales (Hernández, 1987). Debido a sus particularidades han despertado el interés de los científicos, quienes han estudiado algunas de sus características (Miehlich, 1984 y 1991; Ruiz, 1987), sin embargo, su origen así como sus principales propiedades químicas y físicas son aún poco conocidas.

Las investigaciones conducidas por el grupo de trabajo conformado por personal científico de ORSTOM (Francia) y el Colegio de Postgraduados (México), han establecido que los materiales que dan origen a los tepetates del tipo t2 y t3 (Zebrowski *et al.*, 1989) son depósitos de cenizas volcánicas finas (cineritas riolíticas), parcialmente alteradas a arcillas y limo muy fino, producto de erupciones volcánicas violentas (Quantin *et al.*, 1991) y no depósitos de loess como lo reportaron originalmente Heine y Schönhals (1973) y Miehlich (1984). La

denominación T2 y T3 se ha dado en concordancia con dos series estratigráficas (T2 y T3) descritas por Heine (1978). El esqueleto del material está formado por clastos angulosos de vidrios y minerales sin signos de haber sido arrastrados por viento o agua y la matriz densa y débilmente fisurada (Quantin *et al.*, 1991).

Los principales minerales primarios observados en láminas delgadas de tepetates son: vidrios riolíticos, plagioclasas, horblenda y magnetita, además de un poco de hipersteno y augita y pequeñas cantidades (trazas) de cuarzo y cristobalita, los cuales presentan diversos grados de alteración (Hidalgo *et al.*, 1991). Previamente, Valdez (1970) había descrito la presencia de limonita y hematita, en tanto que Pacheco (1979) y Rey (1979) indicaron haber detectado albita, andesina (una plagioclasa sódica) y ortoclasa.

En la fracción fina, Hidalgo *et al.* (1991) observaron la presencia de haloisita y esmectita con diversos grados de cristalización y en diversas proporciones. Estos autores señalan que, en general, la esmectita es más abundante en el tepetate t2 y la haloisita en el t3. Por su parte, Rey (1979) al examinar la fracción arcillosa de los tepetates observó la presencia de illita y montmorillonita interestratificadas, así como de material amorfo. Cajuste y Cruz (1987a) señalaron que estos materiales amorfos son principalmente geles de sílice.

Según Hidalgo *et al.* (1991), la presencia de sílice libre es evidente en el plasma matricial de los tepetates, así como en la fracción arcillosa y la atribuyeron a una alteración primaria de los vidrios volcánicos. Estos autores también observaron una silicificación secundaria de los argilanes, la cual se debería a un proceso pedológico, pero que no explica totalmente la cementación de los tepetates. Esta silicificación incipiente de las cineritas alteradas hace pensar que la mayoría de los tepetates de la zona de interés de este estudio puede considerarse como

fragipán. En contraste con este proceso de endurecimiento se tiene que otros tepetates, particularmente los ubicados en las partes más bajas de las topoclímosecuencias (clima subárido), presentan carbonatación. Esta carbonatación puede estar uniformemente distribuida en el material o puede formar láminas que penetran las fisuras y los tubos biológicos (Quantin, 1991).

Ciertas propiedades químicas de los tepetates han sido motivo de estudio por varios autores (Avila, 1963; Cajuste y Cruz, 1987a; Etchevers *et al.*, 1991; Delgadillo *et al.*, 1989; Rey, 1979; Sánchez, 1981; Valdez, 1970), quienes las determinaron con el propósito de apoyar algunas de sus hipótesis. Sin embargo, los autores del presente estudio no tienen conocimiento de un trabajo realizado *ex profeso* para caracterizar químicamente los diversos tipos de tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, con excepción del de Cajuste y Cruz (1987a), en el cual no se intentó ligar estas características con la génesis o el tipo de material. Las principales conclusiones de los reportes anteriores son: que los tepetates presentan reacción de neutra a alcalina, poseen bajos niveles de materia orgánica y nitrógeno, cantidades medias a altas de potasio, contenidos bajos de fósforo que aumentan en función de la cantidad de fertilizante fosfatado aplicado (años de cultivo) y, en general, niveles altos de calcio y magnesio. Sólo un estudio (Cajuste y Cruz, 1987b) hace referencia a los bajos niveles de micronutrientes, particularmente de manganeso y zinc, observados en un tepetate. Etchevers *et al.* (1991) reportaron la existencia de una deficiencia de hierro en plantas cultivadas en un tepetate calcáreo sometido a una extracción acelerada de nutrimentos.

El objetivo de este trabajo es presentar las características químicas de una serie de tepetates considerados como referencias en el marco del proyecto Incorporación de Tepetates a la Producción en México, que se realiza con el apoyo de la CEE.

## MATERIALES Y METODOS

Se colectaron 15 capas de materiales considerados como tepetates representativos de todas las condiciones observadas en la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Las capas fueron identificadas con las letras P y K (seguidas de un número y/o letras), según proviniesen de un horizonte dentro de un perfil o de una capa aflorada debido a la erosión de los horizontes sobreyacentes (Cuadro 1). Estos números se refieren a tepetates de referencia descritos en el proyecto Incorporación de los Tepetates a la Producción en México. En la mayoría de los casos estas capas se asociaron a un horizonte específico dentro de un perfil (P); sin embargo, hubo circunstancias en que esto no fue posible debido a la desaparición de las capas sobreyacentes. El perfil de referencia se identifica por el número que sigue a la letra P y la capa por el número que sigue a la letra K. El espesor de las capas de tepetates fue diferente en cada caso.

Las muestras fueron secadas al aire, luego molidas y tamizadas a 1 mm antes de someterlas a análisis químico. El pH se midió en agua y en KCl 1N, empleando una relación tepetate-líquido de 1:2. El carbono orgánico se determinó por el procedimiento de Walkley y Black, consistente en una digestión con dicromato de potasio en un medio de ácido sulfúrico. El nitrógeno total se evaluó por el método de Kjeldahl. La estimación del fósforo disponible se hizo con el procedimiento de Olsen ( $\text{NaHCO}_3$  0.5M pH 8.5). Se determinó las bases intercambiables por lixiviación del tepetate con acetato de amonio 1N pH 7 y la capacidad de intercambio de cationes por remoción y posterior evaluación del amonio retenido por este material durante la lixiviación anterior. Con estos resultados se calculó el porcentaje de saturación de bases. El porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  se calculó mediante un método de neutralización de HCl de concentración exactamente conocida y la posterior titulación del ácido excedente con NaOH valorizado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados en los tepetates de referencia de la vertiente occidental de la Sierra Nevada.

Las características químicas de los tepetates de referencia t2, t3 y ti (tepetates indefinidos) muestran algunas diferencias. En general, los valores promedio de pH en agua fueron menores en los tepetates con bajo contenido de carbonato (7.8 y 7.5) que los respectivos pH en los tepetates con carbonatos (8.2, 8.3 y 8.8), siendo el de los t3 mayor (8.1) que el de los t2 (7.9), pero menores que el de los ti (8.8). El pH en KCl fue sustancialmente menor que el pH en agua (entre 0.8 y 1.8 unidades); en los tepetates con alto contenido de carbonato este pH fue generalmente superior a 7.0. El amplio intervalo de diferencias de pH puede deberse a las cantidades de sales solubles que contienen las muestras y que se disuelven al adicionar agua destilada, lo cual tiende a elevar los valores de pH. En contraste con la lectura de pH en agua, la medición en KCl se hace en un medio con una elevada fuerza iónica, lo que impide que el efecto de las sales nativas se manifieste con intensidad. El efecto de las sales nativas sobre el potencial de unión es un hecho documentado en la literatura (Hesse, 1971).

Las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  determinadas en el laboratorio coinciden con las observaciones hechas en el terreno. Los tepetates t3 (del 1 al 5) fueron considerados con bajo contenido  $\text{CaCO}_3$ , ya que presentaron, en promedio, 2.4% de esta sal. El estudio morfológico de los tepetates t3 (6, 7 y 8) señala que éstos poseen una proporción mayor de  $\text{CaCO}_3$  que los anteriores, pero el análisis del primero y del último sólo arrojó un contenido de 1.9 y 2.1%, respectivamente. Esto se debe a que éstos contienen  $\text{CaCO}_3$  en forma laminar y probablemente las muestras analizadas no fueron representativas de la situación general observada en el campo, o alternativamente, a que el  $\text{CaCO}_3$  se segregó durante la molienda por

tener una dureza diferente al resto del material. En contraste, el tepetate 7 tiene el CaCO<sub>3</sub> mezclado con la matriz del suelo. Las diferencias en porcentaje de CaCO<sub>3</sub> entre los tepetates t2 (9 a 12), que morfológicamente presentan bajos y altos niveles de esta sustancia, también se manifiestan en los resultados de laboratorio. Las medias de ambos tipos fueron 1.6 y 4.6%, respectivamente. El porcentaje de CaCO<sub>3</sub> en los tepetates clasificados como indefinidos (ti), es decir, en aquéllos en que no existe seguridad de que pertenezcan al tipo t2 ó t3, varió de 2.4 a 5.5%. Las altas concentraciones de CaCO<sub>3</sub> contribuyen a explicar las características de dureza que exhiben estos materiales, así como las deficiencias de micronutrientes observados por Cajuste y Cruz (1987a) y Etchevers et al. (1991) en los tepetates cultivados. La dureza de los tepetates con bajo contenido de CaCO<sub>3</sub> estaría

mejor explicada por un proceso de silicificación (Hidalgo et al., 1991).

Los porcentajes de N total en los tepetates son extraordinariamente bajos y se deben a la ausencia casi absoluta de residuos orgánicos. Tal situación es una de las principales limitantes para el establecimiento de plantas superiores en estos materiales. La habilitación de los tepetates para el establecimiento de cultivos agrícolas debe considerar, en forma especial, el incremento de la materia orgánica y el nitrógeno, mediante adiciones de estiércoles, abonos verdes y fertilizantes nitrogenados. La respuesta a estas prácticas ha sido documentada en numerosos trabajos (Ruiz, 1987). El P extractible (Olsen) es prácticamente inexistente en todos los tipos de tepetate de referencia. Esta situación ha sido atribuida por Etchevers et al. (1991) a los bajos

Cuadro 1. Algunas características químicas de los tepetates de referencia.

No.	Tepetate	Toba	CaCO <sub>3</sub> campo	CaCO <sub>3</sub> %	pH agua	pH KClIN	C %	N %	P Olsen ppm	Ca interc.	Mg interc.	K interc.	Na interc.	CIC	PSB %
1	P30-11K	t3	SC <sup>1</sup>	2.2	8.1	6.7	0.24	0.07	T	6.7	6.4	1.7	0.9	17.5	85
2	P26-10	t3	SC	2.5	7.6	6.3	0.16	0.02	T	12.1	7.9	2.6	0.4	39.9	58
3	P27-Kb	t3	SC	2.5	7.6	6.6	0.12	0.02	T	12.1	9.9	1.9	0.7	22.5	100
4	P13-10K	t3	SC	2.5	7.9	6.8	0.08	0.02	T	15.7	10.0	2.4	2.7	39.4	78
5	P35-11K	t3	SC	2.1	7.6	6.8	0.08	0.02	T	14.6	9.5	3.4	3.9	40.6	77
Media				2.4	7.8	6.6	0.1	0.03		12.2	8.7	2.4	1.7	32.0	80
6	K-12	t3	CC	1.9	8.1	7.2	0.15	0.02	T	11.4	8.2	1.5	1.8	25.0	100
7	K-7	t3	CC	14.2	8.8	7.4	0.16	0.02	T	45.3	11.9	1.2	1.3	27.6	100
8	P28-8K	t3	CC	2.0	8.2	6.8	0.12	0.01	T	13.6	6.7	1.5	0.9	25.1	90
Media				6.0	8.4	7.1	0.1	0.02		23.4	8.9	1.4	1.3	25.9	97
9	P30-5K	t2	SC	1.7	7.3	6.4	0.15	0.05		8.7	6.3	1.3	1.2	21.3	82
10	P33-5K	t2	SC	1.4	7.8	6.4	0.20	0.05	T	7.3	6.1	1.0	0.9	17.6	81
11	P35-4K	t2	SC	1.8	7.4	6.1	0.12	0.03	T	7.2	6.1	1.2	0.6	20.0	75
Media				1.6	7.5	6.3	0.2	0.04		7.7	6.2	1.2	0.9	19.6	79
12	A-13	t2	CC	4.6	8.3	7.1	0.15	0.03	T	44.5	8.5	2.3	1.3	33.6	100
13	K-15a	ti	CC	5.5	8.9	7.1	0.36	0.07	T	41.4	10.5	2.6	1.0	26.6	100
14	K-21	ti		2.5	8.9	7.1	0.08	0.03	T	18.8	5.4	0.6	1.0	24.4	100
15	K-22	ti		2.4	8.6	7.2	0.20	0.02	T	18.8	4.5	1.0	0.6	17.8	100
Media				3.5	8.8	7.1	0.2	0.04		26.3	6.8	1.4	0.9	22.9	100

<sup>1</sup> SC=tepetates con bajo contenido de CaCO<sub>3</sub> determinado morfológicamente; CC= tepetates con alto contenido de carbonatos medido en igual forma.

niveles de P total en el material parental y no a reacciones de adsorción rápidas o lentas. Al igual que el N, el P debe ser adicionado al suelo, hasta alcanzar niveles compatibles con los requerimientos de los cultivos. Debido a las características de adsorción de estos tepetates, es posible alcanzar dichos niveles en el corto plazo y con adición de cantidades moderadas de fertilizantes fosfatados de alta solubilidad (Etchevers *et al.*, 1991).

En general, la capacidad de intercambio de cationes (CIC) de los tepetates t3 con bajo y elevado porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  (32.0 y 25.9 meq/100 g de suelo), es mayor que la de los t2 con escaso  $\text{CaCO}_3$  (19.6 meq/100 g) pero inferior a la de t2 con  $\text{CaCO}_3$ . En este aspecto los t1 se semejan más a los t2 que a los t3 (media 22.9 meq/100 g). Hidalgo *et al.* (1991) indican que la haloisita es la arcilla dominante en la fracción fina de los t3, mientras que en los t2 es la esmectita. Esto indicaría que la explicación de los mayores valores de CIC hay que buscarla en la presencia de materiales amorfos. La formación de estos minerales secundarios está sin duda asociada con los regímenes hídricos de los sitios en los que se desarrollan los tepetates. Las concentraciones de Ca, Mg, K y Na extraíbles en acetato de amonio 1N pH 7 son, en general, superiores en los t3 con bajo o alto porcentaje de  $\text{CaCO}_3$ , que en los t2 con bajo nivel de esta sal.

Es obvio que los niveles de este Ca estén estrechamente asociados con los porcentajes de  $\text{CaCO}_3$  presente en los tepetates.

La concentración de Ca extraíble en los t3 varía de 6.7 a 45.3 meq/100 g, con una media de 20.0 meq/100 g, en tanto que en los t2 con bajo nivel de carbonato, el rango es de 7.2 a 8.7 meq/100 g, con una media de 7.7 meq/100 g. La de los t1 se sitúa entre 18.8 y 41.4 meq/100 g dependiendo de la abundancia relativa de  $\text{CaCO}_3$ . El Mg extraíble, al igual que el Ca, es más elevado en los t3 (6.4 a 11.9 meq/100 g) que en los t2 (6.2 a 8.5 meq/100 g). Los t1 tienen en promedio menos Mg que los t3 (6.8 meq/100 g) pero una mayor variabilidad (4.5 a 10.5 meq/100 g). Llama poderosamente la atención los elevados porcentajes de K intercambiable que presentan los tepetates. Estos varían entre 0.6 y 3.4 meq/100 g, siendo mayores en los t3 que en los t2. Dichas cantidades superiores a los requerimientos de los cultivos. La fuente de este K no es clara, ya que la mayoría de los minerales de la fracción gruesa descritos en estudios previos no contiene este elemento (Hidalgo *et al.*, 1991; Pacheco, 1979; Rey, 1979; Valdez, 1970). Los niveles de Na intercambiable también son altos (0.4 a 3.9 meq/100 g) y probablemente se derivan de minerales, como la andesina, descritos por Pacheco (1979) y Rey (1979).

#### LITERATURA CITADA

AVILA H., M. 1963. Recuperación de suelos erosionados de Chapingo, Méx., con plantaciones forestales. Tesis M.C. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

CAJUSTE, L. J. y J. CRUZ D. 1987a. Evaluación de micronutrientes en maíz criollo (*Zea mays*) en suelo con referencia de un tepetate calcáreo, p. 95-104. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.

CAJUSTE, L. J. y J. CRUZ D. 1987b. Presencia de materiales amorfos en algunos tepetates de la zona de influencia de Chapingo, pp. 69-77. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, México.

DELGADILLO P., M. E. MIRANDA M. y B. R. RUIZ H. 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la Cuenca de México. Tesis de Lic. Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, México.

- ETCHEVERS B., J. D., L. CRUZ H., J. MARES A. y C. ZEBROWSKI.** 1991. Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. (En este volumen).
- HEINE, K.** 1978. Neue Beobachtungen zur Chronostratigraphie der mittelwisconsinzeitlichen Vergletscherung und Böden mexikanischer Vulkane. Eiszeitalter und Gegenwart. 23-24: 201-205.
- HEINE, K. y E. SCHÖNHALS.** 1973. Entstehung und Alter der "toba" Sedimente in Mexiko. Eizalter und Gegenwart. 23-24: 201-205.
- HERNANDEZ X., E.** 1987. Etnobotánica de Tlaxcala, pp. 1-9. In: J. F. Ruiz F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Univ. Aut. Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.
- HESSE, P. R.** 1971. A textbook of soil chemical analysis. Chemical Publishing Co., New York, USA
- HIDALGO, C., P. QUANTIN y C. ZEBROWSKI.** 1991. La cementación de los tepetates: estudio de la silicificación. (En este volumen).
- MIEHLICH, G.** 1984. Chronosequenzen und anthropogene Veränderungen andesitischer Vulkanischböden in drei Klimastufen eines randtropischen Gebirges (Sierra Nevada de México); im Fachbereich, (Tesis Doctoral, Univ. de Hamburgo, Alemania). Geowissenschaften der Universität Hamburg, Germany. 402 p.
- MIEHLICH, G.** 1991. Chronosequences of volcanic ash soils. Verein zur Förderung der Bodenkunde in Hamburg, Hamburg, FRG.
- PACHECO L., M. C.** 1979. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriental del Valle de México. Tesis de Lic. Univ. Aut. Chapingo, México.
- QUANTIN, P.** 1991. L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques; processus géologiques et pédologiques. (En este volumen).
- QUANTIN, P., C. ZEBROWSKI, M. DELAUNE y C. HIDALGO.** 1991. El material original de los tepetates t2 y t3 de la región de Texcoco (México): ¿loess o cineritas? (En este volumen).
- 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. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- RUIZ F., J. F.** 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Depto. de Suelos, Chapingo, México.
- SANCHEZ J., M.** 1981. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y verdes en invernadero. Tesis de Licenciatura. Univ. Aut. Chapingo, México
- VALDEZ M., L. A.** 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la Cuenca de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.