

# HABILITACIÓN DE UN TEPETATE POR EFECTO DE MEJORADORES BIOLÓGICOS

## TEPETATE HABILITATION BY EFFECT OF BIOLOGICAL IMPROVERS

Aleida García-Cruz<sup>1</sup>, David Flores-Román<sup>2</sup>, Norma E. García-Calderón<sup>3</sup>,  
Ronald Ferrera-Cerrato<sup>4</sup> y Alma S. Velázquez-Rodríguez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas-Instituto de Geología, <sup>2</sup>Instituto de Geología, <sup>3</sup>Facultad de Ciencias. UNAM. 04510. Ciudad Universitaria. Coyoacán, México, D. F. (aleidagarc@yahoo.com.mx) (davidf@servidor.unam.mx) (negc@fciencias.unam.mx). <sup>4</sup>Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México (ronaldfc@colpos.mx). <sup>5</sup>Facultad de Ciencias. UAEM. 50000. Toluca, Estado de México (almaver22@hotmail.com)

### RESUMEN

En México uno de los principales problemas es la degradación del suelo debido al cambio de su uso como tierras de cultivo; este cambio ocasiona un deterioro que puede llegar a la pérdida total y el afloramiento del tepetate. Los tepetates son capas endurecidas de origen volcánico en zonas del Eje Neovolcánico Transmexicano, presentan bajos porcentajes de materia orgánica y nutrimentos, y una estructura masiva, lo que los hace impermeables y limita el crecimiento de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tres enmiendas orgánicas, una especie vegetal (*Ficus carica* L.), micorriza (*Glomus* spp) y tiempo, en las características físicas y químicas de un tepetate fragmentado. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de tratamientos (4×3×2) con los siguientes factores y niveles: 1) la enmienda (sin enmienda, composta, vermicomposta y estiércol); 2) higuera (sin planta, con planta y planta más inóculo); 3) tiempo (6 y 12 meses). La aplicación de materia orgánica, la higuera y la micorriza favorecieron la formación de agregados a partir de tepetate y su estabilidad. El pH, la CIC, el contenido de materia orgánica y los cationes intercambiables del tepetate se modificaron favorablemente y permitieron el desarrollo de la higuera. Los cambios en las características físicas y químicas del tepetate por adición de enmiendas, el tiempo y la higuera favorecen su habilitación e incorporación a la productividad.

**Palabras clave:** *Ficus carica* L., agregación, composta, estabilidad, estiércol, vermicomposta.

### INTRODUCCION

Uno de los principales problemas ambientales de México es la degradación del suelo debido a su cambio de uso, lo que provoca la pérdida de los horizontes superficiales. En algunos lugares lo que aflora es un material duro denominado tepetate, el cual es una capa endurecida formada por procesos

Recibido: Febrero, 2007. Aprobado: Julio, 2007.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 723-731. 2007.

### ABSTRACT

One of the main problems in México is soil degradation due to the change of its use as cropland; this change causes deterioration, which may lead to total loss and outcrop of tepetate. Tepetates are hardened layers of volcanic origin in zones of the Trans-Mexican Volcanic Belt; they present low percentages of organic matter and of nutrients, and a massive structure, which makes them impermeable and limits plant growth. The objective of this study was to evaluate the effect of three organic amendments, one vegetal species (*Ficus carica* L.), mycorrhiza (*Glomus* spp), and time, on the physical and chemical characteristics of a fragmented tepetate. The experimental design was completely randomized with a 4×3×2 factorial arrangement of treatments with the following factors and levels: 1) amendment (without amendment, compost, vermicompost, and manure), 2) fig tree (without plant, with plant, and plant plus inoculum); time (6 and 12 months). Application of organic matter, fig tree, and mycorrhiza favored the formation of aggregates from tepetate and their stability. The pH, CIC, content of organic matter, and exchangeable cations of tepetate were favorably modified and allowed developing of the fig tree. The changes in physical and chemical characteristics of tepetate through addition of amendments, time, and fig tree, favor its habilitation and incorporation to productivity.

**Key words:** *Ficus carica* L., aggregation, compost, stability, manure, vermicompost.

### INTRODUCTION

One of the main environmental problems of México is soil degradation due to the change of its use, which provokes the loss of surface horizons. In some places, a hard material named tepetate crops out, which is a hardened layer formed by geological processes with subsequent influence of edaphogenic processes, whose original deposit involves materials of volcanic origin (Velázquez, 2002<sup>[1]</sup>; Etchevers *et al.*, 2007). Exposed tepetate is a problem

geológicos, con influencia posterior de procesos edafogénicos y cuyo depósito original involucra materiales de origen volcánico (Velázquez, 2002<sup>[1]</sup>; Etchevers *et al.*, 2007). Un tepetate expuesto es un problema para el desarrollo de especies vegetales, porque tiene una estructura masiva, un alto grado de dureza (superior a  $15 \text{ kg cm}^{-2}$ ), porosidad menor a 30%, materia orgánica inferior a 0.5% (Velázquez, 2002<sup>[1]</sup>) y baja concentración de nitrógeno ( $\text{N} < 0.05\%$ ) y de fósforo ( $\text{P Olsen} < 3 \text{ ppm}$ ) (Zebrowski *et al.*, 1997), factores que limitan el desarrollo de las plantas.

Para mejorar la calidad de un tepetate se han implementado diferentes metodologías: roturación, nivelación, construcción de terrazas con borde en las que se planta nopal o maguey, surcos en contorno, rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica y fertilizantes (Flores *et al.*, 2004).

Para iniciar su habilitación se debe fragmentar el tepetate, lo que permite la aireación e incrementa el paso de agua, y adicionar materia orgánica para mejorar sus características y establecer especies vegetales (Werner, 1992; Flores *et al.*, 2004). El aporte de materia orgánica es muy importante, ya que se relaciona con la fertilidad física, química y biológica de los tepetates (Etchevers, 1997). Ésta se puede aplicar en forma de enmiendas orgánicas, las cuales mejoran las características del tepetate.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de tres enmiendas orgánicas, de una especie vegetal y la inoculación con micorrizas, en las características físicas y químicas de un tepetate fragmentado, en particular la formación de agregados y su distribución y estabilidad, como estrategia para mejorar su calidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó con un tepetate tipo duripán recolectado en el municipio de Tetela del Volcán, Estado de Morelos, México ( $18^\circ 57' 48'' \text{ N}$  y  $99^\circ 15' 12'' \text{ O}$ , a 2040 m), en un invernadero (UNAM, Ciudad de México). El material se roturó con martillo y se tamizó para obtener fragmentos. El color del tepetate era amarillo en seco (10YR 7/6) y pardo amarillento en húmedo (10YR 4/4); su textura era franca. La distribución inicial de fragmentos mostró un dominio de la fracción de 5-10 mm de diámetro medio (67%), seguido de la de 2-5 mm (28%); la proporción de las fracciones pequeñas (2-0.25 mm) fue 5%. La estabilidad de los fragmentos fue mayor (61%) en la fracción con diámetro mayor de 5 mm. La reacción del tepetate fracturado fue casi neutra ( $\text{pH} 6.7$ ) y la capacidad de intercambio catiónico media-alta ( $14.9 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ); las bases intercambiables mostraron un dominio de Ca y Mg ( $6.6$  y  $5.0 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ), sobre Na y K ( $0.11$  y  $0.29 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ) y el porcentaje de carbono fue 0.07%.

for the development of vegetal species because it has a mass structure, high degree of hardness (more than  $15 \text{ kg cm}^{-2}$ ), less than 30% porosity, below 0.5% of organic matter (Velázquez, 2002<sup>[1]</sup>), and low concentration of nitrogen ( $\text{N} < 0.05\%$ ) and phosphorus ( $\text{P Olsen} < 3 \text{ ppm}$ ) (Zebrowski *et al.*, 1997), factors limiting the development of plants.

In order to improve the quality of a tepetate different methodologies have been implemented: rototilling, leveling, constructing of terraces with edges where prickly pear or agave are planted, contour furrows, crop rotation, incorporation of organic matter and fertilizers (Flores *et al.*, 2004).

To initiate its habilitation, tepetate must be fragmented, which allows aeration and increase of water flow; organic matter must be added in order to improve its characteristics and establish vegetal species (Werner, 1992; Flores *et al.*, 2004). Contribution of organic matter is very important since it is related to physical, chemical, and biological fertility of tepetates (Etchevers, 1997). It may be applied in form of organic amendments, which improve tepetate characteristics.

The objective of the present study was to evaluate the effect of three organic amendments, one vegetal species, and inoculation with mycorrhizae, on physical and chemical characteristics of a fragmented tepetate, particularly, the formation of aggregates and their distribution and stability as a strategy to improve its quality.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out using a duripán-type tepetate, collected in the municipality of Tetela del Volcán, State of Morelos, México ( $18^\circ 57' 48'' \text{ N}$  and  $99^\circ 15' 12'' \text{ W}$ , at 2040 m altitude), in a greenhouse (UNAM, Mexico City). The material was smashed with a hammer and sifted in order to obtain fragments. The dry tepetate was yellow (10YR 7/6), and humid, it was yellowish gray (10YR 4/4); its texture was loam. The initial distribution of fragments showed dominance of fractions of 5-10 mm mean diameter (67%), followed by those of 2-5 mm (28%); the proportion of small fractions (2-0.25 mm) was 5%. Fragment stability was higher (61%) in the fractions with a diameter greater than 5 mm. The reaction of fractured tepetate was almost neutral ( $\text{pH} 6.7$ ) and cationic exchange capacity medium to high ( $14.9 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ); exchangeable bases presented dominance of Ca and Mg ( $6.6$  and  $5.0 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ) over Na and K ( $0.11$  and  $0.29 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ ), and carbon percentage was 0.07%.

Five kg of fractured material was put in plastic pots without perforations in order to avoid losses. The treatments were: 1) Three amendments: cattle manure (equivalent to  $72 \text{ Mg ha}^{-1}$

<sup>1</sup> Velázquez R., A. S. 2002. Especies vegetales, abono y fertilizante: su influencia en la calidad de un tepetate de Tetela del Volcán, Estado de Morelos. Tesis Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 125 p.

Se colocaron 5 kg del material roturado en macetas de plástico sin perforaciones, para evitar pérdidas. Los tratamientos fueron: 1) tres enmiendas: estiércol bovino (equivalente a 72 Mg ha<sup>-1</sup> estiércol), composta y vermicomposta (40 Mg ha<sup>-1</sup> de cada una); 2) árboles de higuera (2 años edad al trasplante) inoculados con micorrizas (*Glomus* spp) (20 g inóculo por planta) al trasplante. En todos los factores se tuvo un testigo. Todas las macetas con plantas de higuera se regaron dos veces por semana, pero los testigos sólo una vez. La humedad relativa del invernadero fue 60% y la temperatura 18-24 °C.

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo 4×3×2 de los siguientes factores y niveles: enmienda (estiércol, composta, vermicomposta y testigo sin enmienda); planta (higuera sin inóculo de micorriza, higuera con inóculo de micorriza y sin higuera); tiempo de respuesta (6 y 12 meses) (Cuadro 1). Cada tratamiento se repitió cuatro veces (96 unidades experimentales).

Se tomaron muestras del tepetate de cada maceta a los 6 y 12 meses; una parte se secó al aire, se molió y tamizó a 2 mm para su análisis químico en laboratorio. Además, a los 6 y 12 meses se midió altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, biomasa aérea, biomasa subterránea y biomasa total.

Para los análisis físicos se dejó secar el material y los métodos (agregación y estabilidad) fueron los recomendados por Klute (1986). Se usaron los métodos propuestos por Sparks (1996) para los análisis químicos: pH, carbono (Walkley y Black), capacidad de intercambio de cationes (por centrifugación) y bases intercambiables (extracción con acetato de amonio). Se hizo un análisis de varianza con los datos y se usó la prueba de comparación de medias de Tukey (p≤0.05).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Agregación y estabilidad**

Después de 6 y 12 meses se observó en todos los tratamientos presencia de fracciones >10 mm y <0.25 mm, que al inicio del experimento no estaban presentes o cuyos porcentajes eran muy bajos (Cuadro 2). Estas nuevas fracciones resultaron de la disgregación y agregación del tepetate por efecto de los tratamientos. Es probable que la fracción >10 mm sea consecuencia de una recementación del tepetate. Al final del experimento no se hizo separación de agregados y fragmentos, por lo que en este estudio se denominó a ambas fracciones como agregados.

En todos los tratamientos se observó, en ambas etapas, dominio de las fracciones de mayor diámetro (>2 mm), pero la fracción <0.25 mm fue mayor al término del experimento con respecto al porcentaje inicial (Cuadro 2). Ésto coincide con lo reportado por Zebrowski (1992), Álvarez *et al.* (2000) y Flores *et al.* (2004), quienes mencionan que sólo al roturar el tepetate se inicia un proceso de transformación.

manure), compost, and vermicompost (40 Mg ha<sup>-1</sup> of each); 2) fig trees (2 years old at transplanting) inoculated with mycorrhizae (*Glomus* spp) (20 g inoculum per plant) at transplant. In all factors there was a control. Every pot with fig plants was watered twice a week, but the control plants were irrigated only once a week. Relative humidity of the greenhouse was 60% and the temperature 18-24 °C.

The experimental design was completely randomized with a 4×3×2 arrangement of the following factors and levels: amendment (manure, compost, vermicompost, and control without amendment); plant (fig tree without inoculum of mycorrhiza, fig with mycorrhiza inoculum, and without fig plant); time of response (6 to 12 months) (Table 1). Each treatment was repeated four times (96 experimental units).

Tepetate samples were taken of each pot at 6 and 12 months; one part was air-dried, ground and sifted at 2 mm for chemical analysis in laboratory. Furthermore, at 6 and 12 months plant height, stem diameter, number of leaves, foliar area, aerial biomass, subterranean and total biomass were measured.

For physical analyses, the material was dried and the methods (aggregation and stability) were those recommended by Klute (1986). The methods proposed by Sparks (1996) were used for chemical analyses: pH, carbon (Walkley and Black), cation exchange capacity (by centrifuging), and exchangeable bases (extraction with ammonium acetate). Analysis of variance was carried out with the data and treatment means were compared using Turkey test (p≤0.05).

**Cuadro 1. Tratamientos aplicados al tepetate fragmentado. Table 1. Treatments applied to fragmented tepetate.**

Tratamiento <sup>†</sup>	Planta	Enmienda
TAB1	Sin	Sin
TA1	Sin	Estiércol
TC1	Sin	Composta
TV1	Sin	Vermicomposta
P1	Con	Sin
PA1	Con	Estiércol
PC1	Con	Composta
PV1	Con	Vermicomposta
Pi1	Con + inóculo	Sin
PiA1	Con + inóculo	Estiércol
PiC1	Con + inóculo	Composta
PiV1	Con + inóculo	Vermicomposta
TAB2	Sin	Sin
TA2	Sin	Estiércol
TC2	Sin	Composta
TV2	Sin	Vermicomposta
P2	Con	Sin
PA2	Con	Estiércol
PC2	Con	Composta
PV2	Con	Vermicomposta
Pi2	Con + inóculo	Sin
PiA2	Con + inóculo	Estiércol
PiC2	Con + inóculo	Composta
PiV2	Con + inóculo	Vermicomposta

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.

**Cuadro 2. Porcentaje de agregación en el tepetate.**  
**Table 2. Percentage of aggregation in the tepetate.**

Tratamiento <sup>†</sup>	<0.25 mm			5 a 10 mm		
	Inicio	6 meses	12 meses	Inicio	6 meses	12 meses
TAB	0.9 c <sup>‡</sup>	7.1 a	6.4 a	67.0 a	37.0 b	27.5 c
TA	0.9 c	5.4 b	4.5 b	67.0 a	41.8 b	36.1 b
TC	0.9 c	5.7 b	4.8 b	67.0 a	41.7 b	37.5 b
TV	0.9 c	6.2 a	5.8 b	67.0 a	40.3 b	44.4 b
P	0.9 c	7.8 a	5.3 b	67.0 a	27.2 c	29.7 c
PA	0.9 c	6.9 a	4.5 b	67.0 a	33.2 b	32.1 b
PC	0.9 c	6.6 a	4.9 b	67.0 a	28.3 c	37.3 b
PV	0.9 c	7.3 a	4.1 b	67.0 a	25.7 c	36.6 b
Pi	0.9 c	7.3 a	4.0 b	67.0 a	38.3 b	27.7 b
PiA	0.9 c	7.7 a	3.4 b	67.0 a	29.5 c	28.7 b
PiC	0.9 c	9.5 a	4.3 b	67.0 a	30.7 b	31.2 b
PiV	0.9 c	8.7 a	3.3 b	67.0 a	29.6 c	32.9 b

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.

<sup>‡</sup> Medias con diferente letra en la misma hilera o columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

El porcentaje en peso de la fracción <2 mm aumentó con el tiempo; en cambio las fracciones de mayor diámetro inicial se redujeron. Esto refleja la acción de un proceso significativo de disgregación del tepetate, durante el cual las unidades de diámetro mayor a 2 mm se rompieron, dando lugar a una acumulación de agregados en los intervalos de menor tamaño. La disgregación del tepetate se puede explicar en parte como producto de los ciclos de humedecimiento y secado, ya que la humedad promueve la separación de las partículas, provoca rompimiento y debilidad de las uniones entre ellas; a menor humedad, las partículas se unen (Bronick y Lal, 2004).

Lo anterior causó que la fracción <0.25 mm aumentara significativamente durante el experimento y, por el contrario, disminuyera el porcentaje de la fracción 5-10 mm. Sin embargo, hubo diferencia entre las oportunidades de medición (Cuadro 2). Se observó una disminución de la proporción de agregados de la fracción 5-10 mm con respecto a la etapa inicial en los tratamientos con higuera. Esto se atribuyó a que las raíces rompen el material cercano a ellas y ejercen una presión que ayuda a su desintegración. Con el tiempo las raíces tienen mayor crecimiento y, por tanto, mayor superficie de contacto con el sustrato (Bronick y Lal, 2004).

En contraste con los tratamientos testigo sin plantas, la fracción 5-10 mm aumentó en los tratamientos con planta. En éstos las raíces forman asociaciones con micorrizas que ayudan a ampliar el área de contacto con el tepetate, lo que aumenta su efecto en la agregación. Los exudados de raíces y de micorrizas ayudan a unir las partículas para formar agregados (Czarnes *et al.*, 2000).

Después de 12 meses disminuyó la fracción <0.25 mm en los tratamientos con plantas, con respecto a los

## RESULTS AND DISCUSSION

### Aggregation and stability

After 6 and 12 months, in all the treatments fractions >10 mm and <0.25 mm were observed, which had not been present at the beginning of the experiment or whose percentages had been very low (Table 2). These new fractions were the result of disintegration and addition of tepetate by effect of the treatments. It is probable that the fraction larger than 10 mm might be the consequence of tepetate recementation. At the end of the experiment, separation between aggregates and fragments was not made; therefore, in this study, both fractions were called aggregates.

In all the treatments, in both phases, dominance of the fractions with the greatest diameter was observed (>2 mm, but fraction <0.25 mm was higher in percentage at the end of the experiment than at the beginning) (Table 2). This agrees with what was reported by Zebrowski (1992), Álvarez *et al.* (2000), and Flores *et al.* (2004), who mention that only at fracturing tepetate initiates a transformation process.

The percentage in weight of the <2 mm fraction increased by the time; however, the fractions of greater initial diameter were reduced. This reflects the action of a significant disintegration process of tepetate, during which the units of diameter greater than 2 mm were broken, giving rise to an accumulation of aggregates in the intervals of the least size. The disintegration of tepetate may be explained partly as a product of the cycles of moistening and drying, since humidity promotes the separation of particles, provokes breaking up and weakness of the joints between them; at less humidity, the particles join together (Bronick and Lal, 2004)

primeros 6 meses (Cuadro 2). Esto implica que la higuera favoreció la unión de partículas de ese tamaño o menor, por medio de exudados y por el enrollamiento físico de la raíz, aumentando la formación de agregados de mayor tamaño, lo cual es similar a lo reportado por Rilling *et al.* (2002). Acevedo *et al.* (2001) y Velázquez *et al.* (2001) también observaron mayor agregación y disgregación del tepetate por la presencia de plantas debido a su sistema radical

Respecto a la proporción de agregados estables en agua, la fracción >3 mm (Cuadro 3) disminuyó a los 6 y 12 meses. Ésto sugiere que hubo formación de agregados, los cuales son menos estables debido a sus uniones transitorias y temporales, lo que provoca baja estabilidad comparada con los fragmentos cementados y una mayor estabilidad (Flores *et al.*, 1996).

El material se acumuló en las fracciones <3 mm pero principalmente en la fracción <0.25 mm (Figura 1), la cual aumentó con el tiempo. Al compararlo con el porcentaje de agregación en seco aumentó el porcentaje en húmedo en las fracciones <3 mm. Lo anterior se debe a la baja estabilidad de los agregados formados, los cuales se disgregan en agregados de menor tamaño o en pequeños fragmentos del material alterado, que presentan una mayor estabilidad. Los microagregados tienen una mayor estabilidad por sus enlaces más duraderos en tiempo (Six *et al.*, 2004). El aumento de la estabilidad coincide con lo señalado por Acevedo *et al.* (2001), quienes reportaron un aumento en la fracción <3 mm debido a la disgregación de los agregados formados.

Según Tisdall y Oades (1982), las uniones en los microagregados (<0.25 mm) se dan por agentes temporales como las raíces y duran poco (semanas

The aforesaid caused that the fraction <0.25 mm increased significantly during the experiment, and on the contrary, the percentage of the fraction of 5-10 mm diminished. However, there was difference among the opportunities of measurement (Table 2). A diminution of the proportion of fraction 5-10 mm aggregates with respect to the initial phase in the treatments with fig tree was observed. This was attributed to the fact that the roots crack the material close to them and exert pressure that contributes to its disintegration. By the time, the roots grow larger and therefore have larger contact surface with the substratum (Bronick and Lal, 2004).

Contrasting with the control treatment without plants, the 5-10 mm fraction increased in the treatments with plant. In these the roots form associations with mycorrhizae, which help to extend the contact area with tepetate, which intensifies its influence on aggregation. The exudates of roots and mycorrhizae help to join the particles to form aggregates (Czarnes *et al.*, 2000).

After 12 months, the <0.25 mm fraction diminished in the treatments with plants with comparison to the first 6 months (Table 2). This implies that the fig tree favored the joint of particles of this size or smaller through exudates and by physical rolling of the root, increasing the formation of aggregates of greater size, which is similar to what was reported by Rilling *et al.* (2002). Larger aggregation and disintegration of tepetate by presence of plants due to their root system, was also observed by Acevedo *et al.* (2001) and Velázquez *et al.* (2001).

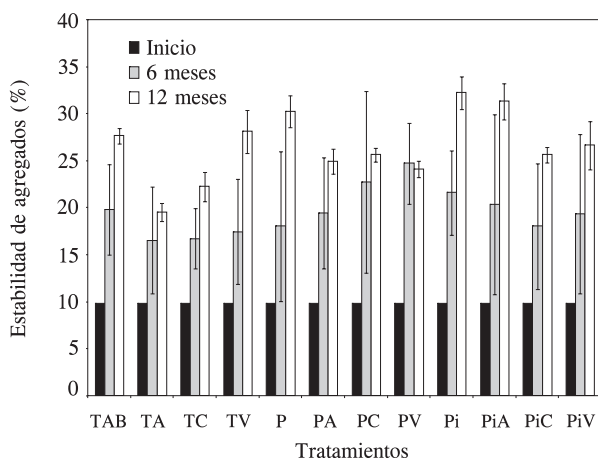
With respect to the proportion of water-stable aggregates, the fraction >3 mm (Table 3) diminished at 6 and 12 months. This suggests that there was

**Cuadro 3. Estabilidad (%) en las fracciones mayores de 3 mm.**  
**Table 3. Stability (%) of fractions larger than 3 mm.**

Tratamiento <sup>†</sup>	3 a 5 mm			>5 mm		
	Inicio	6 meses	12 meses	Inicio	6 meses	12 meses
TAB	6.7 a <sup>‡</sup>	5.7 b	3.9 b	61.5 a	39.3 b	26.5 b
TA	6.7 a	5.5 b	6.1 a	61.5 a	42.4 a	34.9 b
TC	6.7 a	5.0 b	10.7 a	61.5 a	44.8 a	34.5 b
TV	6.7 a	4.7 b	5.8 b	61.5 a	40.6 a	28.2 b
P	6.7 a	4.0 b	3.9 b	61.5 a	44.3 a	26.6 b
PA	6.7 a	4.4 b	4.4 b	61.5 a	43.1 a	29.5 b
PC	6.7 a	3.1 b	5.0 b	61.5 a	43.8 a	30.0 b
PV	6.7 a	3.4 b	4.5 b	61.5 a	33.4 b	32.2 b
Pi	6.7 a	4.5 b	3.2 b	61.5 a	41.9 a	25.7 b
PiA	6.7 a	3.8 b	3.0 b	61.5 a	39.4 a	27.7 b
PiC	6.7 a	5.0 b	4.7 b	61.5 a	45.5 a	25.7 b
PiV	6.7 a	5.0 b	4.5 b	61.5 a	40.6 a	24.8 b

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.

<sup>‡</sup> Medias con diferente letra en la misma hilera o columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 1. Porcentaje de estabilidad en la fracción <math><0.25\text{ mm}</math>. TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.**

**Figure 1. Percentage of stability in the fraction <math><0.25\text{ mm}</math>. TAB = absolute control; T = control; P = plant; Pi = plant with inoculum; A = manure; C = compost; V = vermicompost.**

o meses) por lo que rápidamente el material se disgrega, pero éstas aportan mayor estabilidad que los agentes transitorios (polisacáridos). La disgregación se observa en las fracciones de mayor tamaño (>3 mm), cuya abundancia se redujo. Al iniciar el proceso de formación de agregados, las uniones entre partículas son poco estables porque dominan los agentes de unión transitorios (Howard *et al.*, 1998). Por tanto, los agregados son fácilmente disgregados y el resultado es un aumento en las fracciones de menor diámetro.

Velázquez *et al.* (2001) y Velázquez (2002)<sup>[1]</sup> señalaron que la estabilidad de los agregados, medida en tepetates de la misma zona, tendía a disminuir con el tiempo, lo cual se considera como una indicación de formación de nuevos agregados. La estabilidad de los fragmentos es alta debido a su cementación, mientras que la de los agregados es menor por sus enlaces transitorios y temporales que los hace más susceptibles al humedecimiento y tamizado. Los agregados más estables reportados por estos autores estaban entre los de 2 a 5 mm de diámetro, los cuales se favorecieron por el desarrollo de higueras, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

La distribución de agregados y la estabilidad de la condición inicial del tepetate roturado fueron similares. Al inicio del experimento sólo se tenían fragmentos del tepetate roturado mecánicamente, los cuales se colocaron en las macetas. Dichos fragmentos presentaban una gran estabilidad por la consolidación del material original producto de su cementación. La estabilidad original, al igual que la agregación, se

formación de agregados, which are less stable due to their transitory and temporary junctures, which provokes low stability compared with the cemented fragments and greater stability (Flores *et al.*, 1996).

The material was accumulated in the fractions <math><3\text{ mm}</math>, but mainly in the fraction <math><0.25\text{ mm}</math> (Figure1), that increased with the time. Compared to the percentage of aggregation in dry conditions, the percentage in humid conditions increased in the <math><3\text{ mm}</math> fractions. The aforesaid is due to low stability of the formed aggregates, which disintegrate in aggregates of smaller size or in little fragments of the altered material, presenting greater stability. The micro-aggregates have greater stability because of their bonds, lasting longer in time (Six *et al.*, 2004). The increase of stability agrees with what has been indicated by Acevedo *et al.* (2001), who reported an increase in the fraction <math><3\text{ mm}</math> due to the disintegration of the aggregates formed.

According to Tisdall and Oades (1982), the joints in the micro-aggregates (>2.5 mm) arise through temporary agents, such as roots, and last little (weeks or months); therefore, the material disintegrates quickly but they contribute greater stability than the transitory agents (polysaccharides). Disintegration is observed in the fractions of larger size (>3 mm), whose abundance was reduced. At the beginning of the aggregate formation process, the joints among particles are not very stable because the agents of transitory joints are dominant (Howard *et al.*, 1998). Therefore, the aggregates are easily disintegrated and the result is an increase in the fractions of lesser diameter.

Velázquez *et al.* (2001) and Velázquez (2002)<sup>[1]</sup> pointed out that the stability of the aggregates measured in tepetates of the same zone tended to diminish with the time, which is considered as an indication of new aggregate formation. Stability of fragments is high due to their concentration, whereas that of the aggregates is lower because of their transitory and temporary bonds, which makes them more susceptible to moistening and sifting. The steadiest aggregates reported by these authors are among those of 2 to 5 mm diameter, which were favored by the development of fig trees, which coincides with the results obtained in the present study.

The distribution of aggregates and the stability of initial condition of the fragmented tepetate were similar. At the beginning of the experiment there were only fragments of mechanically crashed tepetate, which were placed in the pots. Such fragments presented great stability by consolidation of the original material, product of its cementation. The original stability,

modificó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a la etapa inicial, después de 6 y 12 meses, en todos los tratamientos.

### Características químicas

A los 6 meses las enmiendas aplicadas aumentaron significativamente el pH (de 6.8 a 7.4), con respecto a los valores iniciales (Cuadro 4). López *et al.* (2001) atribuyeron estos cambios a la liberación de bases al medio. A ello habría que agregar el incremento de raíces y las condiciones de confinamiento, que limitan la lixiviación y favorecen la acumulación de cationes. Estos valores coinciden con lo reportado por Etchevers (1997) para los tepetates de los Estados de Tlaxcala y México, y por Velázquez *et al.* (2001) para otros de la misma zona (pH 6.5 a 7.1).

El porcentaje de carbono del tepetate aumentó a los 6 y 12 meses, con respecto al inicial (Cuadro 4). Báez *et al.* (2002) reportaron que la adición de enmiendas contribuía al incremento del carbono. La presencia de la planta también aumentó el carbono con respecto al testigo. Pinton *et al.* (2001) atribuyen tal incremento a los exudados y descomposición de raíces.

La aplicación de enmiendas y el tiempo tuvo un efecto significativo en la CIC, característica cuyo valor aumentó con respecto a la condición inicial (Cuadro 4). El tiempo favorece la alteración del tepetate, lo que libera una alta cantidad de amorfos de sílice que aumentan la CIC (Acevedo *et al.*, 2003). La CIC fue mayor ( $p \leq 0.05$ ) en los tratamientos con enmienda, ya que la materia orgánica aumenta esta variable debido al gran número de sitios activos. Esto relaciona el porcentaje de carbono con la CIC.

the same as aggregation, was significantly modified ( $p \leq 0.05$ ) with respect to the initial phase after 6 and 12 months in all the treatments.

### Chemical characteristics

At 6 months, the applied amendments significantly increased pH (from 6.8 to 7.4) with respect to the initial values (Table 4). López *et al.* (2001) attributed these changes to the release of bases to the environment. To this, increase of roots and the conditions of confinement, limiting lixiviation and favoring cation accumulation, would have to be added. These values agree with those reported by Etchevers (1997) for the tepetates of the States of Tlaxcala and México, and by Velázquez *et al.* (2001) for others of the same zone (pH 6.5 to 7.1).

The carbon percentage of the tepetate increased at 6 and 12 months with respect to the initial one (Table 4). Báez *et al.* (2002) reported that the addition of amendments contributed to the increase of carbon. The presence of the plant also increased carbon compared to the control. Pinton *et al.* (2001) attribute such increment to the exudates and the decomposition of roots.

Application of amendments and the time had a significant effect on CIC, characteristic whose value increased with regard to the initial condition (Table 4). Time favors the transformation of tepetate, which releases a large amount of amorphous forms of silica increasing CIC (Acevedo *et al.*, 2003). CIC was larger ( $p \leq 0.05$ ) in the treatments with amendment since organic matter increases this variable due to the large number of active sites. This relates carbon percentage to CIC.

**Cuadro 4. Características químicas del tepetate.**  
**Table 4. Chemical characteristics of the tepetate.**

Tratamiento <sup>†</sup>	C (%)			CIC (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )		
	Inicio	6 meses	12 meses	inicio	6 meses	12 meses
TAB	0.07 b‡	0.12 b	0.06	14.88 b	20.00 a	16.75 b
TA	0.07 b	0.38 a	0.28	14.88 b	20.25 a	19.00 a
TC	0.07 b	0.17 b	0.33	14.88 b	18.75 a	19.63 a
TV	0.07 b	0.33 a	0.13 b	14.88 b	21.75 a	17.00 a
P	0.07 b	0.17 b	0.08 b	14.88 b	14.75 b	14.63 b
PA	0.07 b	0.39 a	0.26 a	14.88 b	17.63 a	18.38 a
PC	0.07 b	0.41 a	0.28 a	14.88 b	16.88 b	19.50 a
PV	0.07 b	0.28 a	0.15 b	14.88 b	15.50 b	19.50 a
Pi	0.07 b	0.11 b	0.19 a	14.88 b	14.88 b	16.25 b
PiA	0.07 b	0.17 b	0.29 a	14.88 b	17.00 a	17.13 a
PiC	0.07 b	0.38 a	0.29 a	14.88 b	15.25 b	19.75 a
PiV	0.07 b	0.33 a	0.20 a	14.88 b	18.50 a	20.00 a

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.

<sup>‡</sup> Medias con diferente letra en la misma hilera o columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

El tiempo causó un incremento significativo respecto al valor inicial en las bases intercambiables. El calcio fue mayor a los 6 meses (10.04-18.29  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ) que a los 12 meses (10.93-13.90  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ). Respecto al sodio y al potasio las concentraciones fueron similares en ambas etapas (0.93  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$  -2.61 y 1.33-2.99  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ). Lo anterior se debió a la liberación de bases durante la descomposición de las enmiendas las cuales tuvieron un mayor aumento, ya que el estiércol, composta y vermicomposta tienen bases que se liberan lentamente. Además puede haber un efecto por el intemperismo del mismo tepetate, el cual es rico en feldspatos que contienen dichas bases (Hidalgo *et al.*, 1999).

### Desarrollo de la higuera

En ambas etapas hubo un mayor peso de la parte subterránea en comparación con la parte aérea. Una mayor cantidad de raíces ayuda a la disgregación y agregación del tepetate, lo que favorece la formación de agregados así como su estabilidad debido a un efecto físico y por sus exudados liberados al medio (Brimecombe *et al.*, 2001). Sólo en la biomasa hubo diferencia significativa por el tiempo en todos los tratamientos (Cuadro 5), lo cual se debe al crecimiento natural de la higuera.

La inoculación con micorrizas produjo un aumento en la biomasa aérea y subterránea de la higuera a los 6 meses, pero no a los 12 meses. Esto puede explicarse porque según Johansson *et al.* (2004), los hongos micorrízicos facilitan la toma de nutrientes por las plantas, particularmente en suelos de baja fertilidad. Además hay un efecto benéfico del mejoramiento de la estructura del tepetate y del incremento en materia orgánica para frutales (Alarcón y Ferrera, 1999).

### CONCLUSIONES

El tiempo (6 y 12 meses) y las enmiendas utilizadas (estiércol, composta y vermicomposta) favorecen la agregación estable en el tepetate. Los agregados más estables en húmedo son los de 2 a 3 mm, lo que permite un mejor desarrollo de la higuera. El establecimiento de higuera en tepetate, así como la aplicación de enmiendas, incrementan el contenido de carbono y la capacidad de intercambio catiónico del tepetate. Las bases intercambiables aumentaron debido a la alteración del tepetate.

### AGRADECIMIENTOS

A la DGAPA (Papiit) UNAM por el apoyo económico para la realización de este proyecto, código IN204302-2.

Time produced a significant increment with respect to the initial value in the exchangeable bases. Calcium was higher at 6 months (10.04-18.29  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ) than at 12 months (10.93-13.90  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ). As for sodium and potassium, the concentrations were similar in both phases (0.93  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$  -2.61 and 1.33-2.99  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ). The aforementioned was due to release of bases during the degradation of the amendments which had higher increase, since manure, compost, and vermicompost have bases that are released slowly. Furthermore, there may be an effect by weathering of tepetate itself, which is rich in feldspar containing such bases (Hidalgo *et al.*, 1999).

### Development of the fig tree

In both phases, weight of the subterranean plant part was higher than that of the aerial part. A larger quantity of roots promotes disintegration and aggregation of tepetate, which favors aggregate formation as well as their stability, due to a physical effect and to their exudates released to the environment (Brimecombe *et al.*, 2001). Only in biomass there was significant difference because of the time in all treatments (Table 5), which is due to the natural growth of the fig tree.

Inoculation with mycorrhizae produced an increment in aerial and subterranean biomass of the fig tree at 6 months, but not at 12 months. This can be explained according to Johansson *et al.* (2004) by mycorrhizal fungi facilitating the uptake of nutrients through the plants, particularly in soils of low fertility. Besides, there is a beneficial effect of improvement of tepetate structure and increment in organic matter for fruit trees (Alarcón and Ferrera, 1999).

**Cuadro 5. Biomasa de la higuera durante el experimento.**  
**Table 5. Biomass of the fig tree during the experiment.**

Tratamiento <sup>†</sup>	Biomasa aérea (g)		Biomasa subterránea (g)	
	6 meses	12 meses	6 meses	12 meses
P	16.1b	35.2a	38.6b	76.5a
PA	29.6a	38.2a	39.5b	64.2a
PC	13.0b	37.4a	32.2b	82.3a
PV	16.2b	37.7a	36.1b	63.9a
Pi	26.4a	45.3a	35.1b	86.9a
PiA	20.2b	36.3a	30.2b	77.9a
PiC	32.2a	29.8a	43.3a	81.0a
PiV	26.4a	34.7a	42.4a	77.4a

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; A = estiércol; C = composta; V = vermicomposta.

<sup>‡</sup> Medias con diferente letra en la hilera o columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).



## LITERATURA CITADA

- Acevedo S., O. A., A. S. Velázquez R., y D. Flores R. 2001. Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero. *Terra* 19: 363-373.
- Acevedo S., O. A., L. E. Ortiz H., D. Flores R., A. S. Velázquez R., y K. Flores C. 2003. Caracterización física y química de horizontes endurecidos (Tepetates) en suelos de origen volcánico del estado de México. *Agrociencia* 37: 435-449.
- Alarcón, A., y R. Ferrera C. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17(3): 179-191.
- Álvarez S., J. D., R. Ferrera C., y J. D. Etchevers B. 2000. Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34: 523-532.
- Báez P., A., J. D. Etchevers B., C. Hidalgo, C. Prat, V. Ordaz C., y R. Núñez E. 2002. C-orgánico y P-Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36: 643-653.
- Brimecombe, M. J., F. A. De Leij, and J. M. Lynch. 2001. The effect of root exudates on rhizosphere microbial populations. *In: The Rhizospheres. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface.* Pinton, R., Z. Varanini, and P. Nannipieri (eds). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp: 95-140.
- Bronick, C. J., and R. Lal. 2004. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124(1-2): 13-22.
- Czarnes, S., A. R. Dexter, and F. Bartoli. 2000. Wetting and drying cycles in the maize rhizosphere under controlled conditions. *Mechanics of the root-adhering soil.* *Plant and Soil* 221: 253-271.
- Etchevers B., J. D. 1997. Factores físicos, químicos y biológicos que afectan la productividad de los suelos volcánicos endurecidos. *In: III Simposio Intern. Suelos volcánicos endurecidos.* Zebrowski C., P. Quantin, y G. Trujillo (eds). Quito, Ecuador. pp: 178-184.
- Etchevers, J. D., C. Hidalgo, C. Prat, y P. Quantin. 2007. Tepetates of México *In: Encyclopedia of Soil Science.* Lal, R. (ed). Marcel Dekker. New York. On line: [www.dekker.com/servlet/product/DOI/101081EESS120017323](http://www.dekker.com/servlet/product/DOI/101081EESS120017323).
- Flores R., D. J. R. Alcalá M., A. González V., and J. E. Gama C. 1996. Duripans in subtropical and temperate sub humid climate of the trans-Mexican volcanic belt. *Rev. Mex. Ciencias Geol.* 13(2): 228-239.
- Flores S., D., M. A. Pérez O., y H. Navarro G. 2004. Rehabilitación agroecológica de suelos volcánicos endurecidos, experiencias en el Valle de México. *LEISA* 19(4): 1-4.
- Hidalgo, C., J. D. Etchevers B., M. A. Pérez O., Vera A., D. Flores S., y H. Navarro G. 1999. Restauración de suelos volcánicos endurecidos. La experiencia del centro de México: Proyecto tepetates. *In: Conservación y Restauración de Suelos PUMA-UNAM.* Siebe, C, C. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y K. Oleshko (eds). México pp: 452-472.
- Howard, P. J., D. M. Howard, and L. E. Lowe. 1998. Effects of tree species and physico-chemical conditions on the nature of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 30(3): 285-297.

## CONCLUSIONS

The time (6 and 12 months) and the amendments utilized (manure, compost, and vermicompost) favor steady aggregation in tepetate. The stablest aggregates in humid condition are those of 2 and 3 mm, which allow better development of the fig tree. The establishment of fig trees in tepetate, as well as the application of amendments increases carbon content and cationic exchange capacity of tepetate. Exchangeable bases increased due to the alteration of tepetate.

—End of the English version—



- Johansson, J. F., L. E. Paul, and R. D. Finlay. 2004. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiol. Ecol.* 48: 1-13.
- Klute, A. 1986. *Methods of Soil Analysis. Part I-Physical and Mineralogical Methods.* American Society of Agronomy and Soil Science Society of American. Madison, Wis. 1188 p.
- López M., J. D., A. Díaz E., E. Martínez R., y C. Valdez R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299.
- Pinton, R., Z. Varanini, and P. Nannipieri. 2001. *The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-plant Interface.* Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 424 p.
- Rilling, M.C., S. Wright, and V. Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil* 238: 325-333.
- Six J., H. Bossuyt, S. Degryze, and K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Sparks, D. L. 1996. *Methods of Soil Analysis Chemical Methods.* American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison Wis. Num 5 Part 3. 1390 p.
- Tisdall, J. M., and J. M. Oades 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Velázquez R., A. S., D. Flores R., y O. A. Acevedo S. 2001. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales. *Agrociencia* 35: 311-320.
- Werner, G. 1992. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el Estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial): 318-331.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra* 10 (Número especial): 15-23.
- Zebrowski, C, P. Quantin, and G. Trujillo. 1997. Introducción. *In: III Simposio Intern. Suelos volcánicos endurecidos.* Zebrowski C., P. Quantin y G. Trujillo (eds). Quito, Ecuador. pp: 1-9.