

# EFECTO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS, HIGUERA Y MICORRIZA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN TEPETATE

Effect of Organic Amendments, Fig Tree and Mycorrhiza on Characteristics of Tepetate

A. García-Cruz<sup>1</sup>, D. Flores-Román<sup>2†</sup>, N. E. García-Calderón<sup>3</sup> y R. Ferrera-Cerrato<sup>4</sup>

## RESUMEN

Los tepetates son capas duras de material de origen volcánico con estructura masiva, porosidad limitada, bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Para mejorar la calidad productiva de estos materiales y contribuir a su habilitación, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de enmiendas orgánicas, higuera (*Ficus carica* L.) y micorriza sobre las características físicas y químicas de un tepetate fragmentado. El experimento se realizó con tepetate de Tetela del Volcán, Morelos, México. El diseño experimental fue bifactorial, con distribución de tratamientos completamente al azar y cuatro repeticiones. Los factores fueron: (1) planta (sin planta, planta y planta + inóculo (*Glomus* spp.) y (2) enmienda (sin enmienda, estiércol, compost y vermicompost), lo que resultó en 12 tratamientos. A los 18 meses se concluyó el experimento y se tomaron muestras del tepetate para realizar los análisis físicos (agregación y estabilidad) y químicos (pH, C, capacidad de intercambio catiónico, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>). La agregación y la estabilidad se favorecieron por las enmiendas y la planta, con dominio de las fracciones > 5 mm en la agregación en seco y en húmedo los > 5 mm y < 0.25 mm. El diámetro medio ponderado (DMP) fue entre 2.75 y 3.78 mm. El pH fue ligeramente alcalino. El valor de carbono aumentó en todos los tratamientos con relación al testigo absoluto. Se presentó un incremento en las bases intercambiables. La capacidad de intercambio catiónico tuvo valores altos. La aplicación de estiércol, compost, vermicompost y micorriza favoreció las características físicas y químicas del tepetate, lo que permitió el desarrollo de la higuera y mejoró la calidad productiva del tepetate.

<sup>1</sup> Ciencias Biológicas, <sup>2</sup> Departamento de Edafología, Instituto de Geología, <sup>3</sup> Facultad de Ciencias, UNAM. Cd. Universitaria, 04510 México, D. F.

<sup>†</sup> Autor responsable (davidf@servidor.unam.mx)

<sup>4</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

Recibido: agosto de 2007. Aceptado: junio de 2008.  
Publicado en Terra Latinoamericana 26: 309-315.

**Palabras clave:** capas duras, agregación, estabilidad, habilitación.

## SUMMARY

Tepetate is an indurated layer of material of volcanic origin, with massive structure, limited porosity, low organic matter, nitrogen, and phosphorous content. To improve the productive quality of these materials and to contribute to its habilitation, the objective of this study was to evaluate the effect of organic amendments, fig tree (*Ficus carica* L.), and mycorrhiza on physical and chemical characteristics of a fragmented tepetate. The experiment was conducted using tepetate from Tetela del Volcán, Morelos, Mexico. A bifactorial experimental design was used with a completely random treatment distribution and four replications. The factors were: (1) plant (without plant, plant, and plant + inoculum (*Glomus* spp.) and (2) amendment (without amendment, bovine manure, compost, and vermicompost), resulting in 12 treatments. At the end of the 18-month experiment, the tepetate material was sampled to perform physical (aggregation and stability) and chemical (pH, C, cation exchange capacity (CEC), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>) analyses. Aggregation and stability were enhanced by the amendments and the plant, showing a dominance of fractions > 5 mm in dry aggregation, and > 5 mm and > 0.25 mm in moist aggregation. The mean weight diameter (MWD) varied from 2.75 to 3.78 mm. pH was slightly alkaline. The value of organic carbon increased in all treatments relative to the control. Exchangeable bases increased. CEC had high values. The addition of manure, compost, vermicompost, and mycorrhiza favored physical and chemical characteristics of tepetate, allowing the fig tree to develop and to improve the tepetate productive quality.

**Index words:** indurated layers, aggregation, stability, habilitation.

## INTRODUCCIÓN

Los tepetates son capas duras de origen volcánico que afloran debido a la pérdida del suelo. Presentan bajo contenido de materia orgánica (MO) y nutrimentos, una gran dureza y son impermeables (Flores *et al.*, 2004). Estas características no permiten el crecimiento de especies vegetales por lo que no son sitios productivos. En México, estos materiales se presentan en suelos de origen volcánico, cubren 30 700 km<sup>2</sup>, que equivalen a un 30% de la superficie total del Eje Neovolcánico (Zebrowski, 1992). Constituyen un grave problema de degradación, debido a que se localizan en zonas con gran presión demográfica. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tres enmiendas orgánicas, una especie vegetal y una micorriza, sobre las características físicas y químicas de un tepetate fragmentado, durante un periodo de 18 meses y en condiciones de invernadero. El aporte de este trabajo representa una alternativa para mejorar la calidad productiva de los tepetates y contribuir a su habilitación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en invernadero con un tepetate del municipio de Tetela del Volcán, estado de Morelos, México. El sitio se localiza al noreste del estado en las estribaciones del volcán Popocatepetl, en los 18° 57' 48" N y 99° 15' 12" O, a una altitud de 2040 m.

El tepetate que se trabajó fue del tipo duripán, presenta un color amarillo en seco (10YR 7/6) y pardo amarillento en húmedo (10YR 4/4) y su clasificación textural fue franca. El pH fue cercano a la neutralidad (6.7). Presentó una capacidad de intercambio catiónico (CIC) media-alta (14.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). La concentración de bases intercambiables es la siguiente: Ca<sup>2+</sup>, 6.6; Mg<sup>2+</sup>, 5.0; Na<sup>+</sup>, 0.11; y K<sup>+</sup>, 0.29 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (Vázquez-Alarcón, 1997). La saturación de bases resultó alta (81%). El contenido de carbono fue muy bajo (0.07%).

El tepetate se roturó de forma manual (martillo de metal) y se tamizó para separar fragmentos entre 2 y 10 mm. Se utilizaron macetas de plástico sin perforaciones para evitar pérdida del material y se colocaron 5 kg de tepetate fragmentado en cada una. Las enmiendas en seco se mezclaron con el tepetate, se adicionaron 180 g de estiércol bovino (N, 0.94%; C, 7.25%; K, 11.13 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) por maceta, el equivalente a 72 Mg ha<sup>-1</sup>; 100 g de compost (N, 1.79%; C, 18.11%;

K, 20.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) por maceta (40 Mg ha<sup>-1</sup>) y 100 g de vermicompost (N, 1.76%; C, 18.20%; K, 17.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) por maceta (40 Mg ha<sup>-1</sup>) según el tratamiento una semana antes del trasplante y no se consideró tiempo para su degradación. Las dosis se seleccionaron con base en estudios previos (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2001; Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2001) y tomando en cuenta el bajo contenido de MO que presenta el tepetate natural.

La planta utilizada fue higuera (*Ficus carica* L.) de dos años de edad. El trasplante se realizó lavando completamente las raíces y adicionando 20 g de inóculo (*Glomus* spp.) en los tratamientos correspondientes. El inóculo fue proporcionado por el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados. En todos los casos se llevaron controles sin el respectivo tratamiento.

El diseño experimental fue un bifactorial (3 × 4). Los factores fueron: (1) la planta (higuera sin inóculo de micorriza, higuera con inóculo de micorriza y sin planta de higuera) y (2) la enmienda (estiércol, compost, vermicompost y testigo sin enmienda) dando un total de 12 tratamientos (Cuadro 1), con distribución completamente al azar en invernadero. Cada tratamiento se estableció con cuatro repeticiones, lo que hizo un total de 48 unidades experimentales.

En el invernadero la temperatura osciló entre 18 y 24 °C, la humedad relativa fue de 60% y una luminosidad de 11 h en invierno y 13 h en verano. Todas las macetas con higuera se regaron dos veces por semana con 400 mL de agua, en tanto que los tratamientos testigo se regaron una vez por semana con la misma cantidad, debido a que la pérdida de agua es menor al no tener planta.

El experimento duró 18 meses y la planta se cosechó al terminar este período. Se dejó secar el tepetate por dos semanas para tener una humedad menor de 60%, para poder sacar el material. Se tomaron muestras de tepetate, las cuales se secaron al aire para su posterior análisis. Los análisis físicos (agregación y estabilidad) y el cálculo del diámetro medio ponderado (DMP) se basaron en Kemper y Rosenau (1986). Los análisis químicos realizados fueron: pH, se determinó en H<sub>2</sub>O, relación 1:2.5 y un potenciómetro Orión modelo 920A; carbono, por el método de oxidación vía húmeda con K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en medio ácido (Nelson y Sommers, 1996); CIC con base en Jackson (1970), empleando CaCl<sub>2</sub> 1N pH 7 para saturar la muestra, después lavado con alcohol etílico y saturación de nuevo con NaCl 1N pH 7; las bases intercambiables se extrajeron por el método

**Cuadro 1. Tratamientos establecidos en el experimento.**

Tratamiento	Planta	Enmienda	Clave <sup>†</sup>
Testigo absoluto	Sin	Sin	TAB
Testigo con estiércol	Sin	Estiércol	TE
Testigo con compost	Sin	Compost	TC
Testigo con vermicompost	Sin	Vermicompost	TV
Planta	Con	Sin	P
Planta con estiércol	Con	Estiércol	PE
Planta con compost	Con	Compost	PC
Planta con vermicompost	Con	Vermicompost	PV
Planta inóculo	Con + inóculo	Sin	Pi
Planta inóculo estiércol	Con + inóculo	Estiércol	PiE
Planta inóculo compost	Con + inóculo	Compost	PiC
Planta inóculo vermicompost	Con + inóculo	Vermicompost	PiV

<sup>†</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; E = estiércol; C = compost; V = vermicompost.

del acetato de amonio 1N pH 7; el Ca y el Mg se titularon por medio del versenato; el K y Na intercambiables se determinaron en un flamómetro Corning 400.

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ), utilizando el programa estadístico JMP Versión 5 (SAS Institute, 2002).

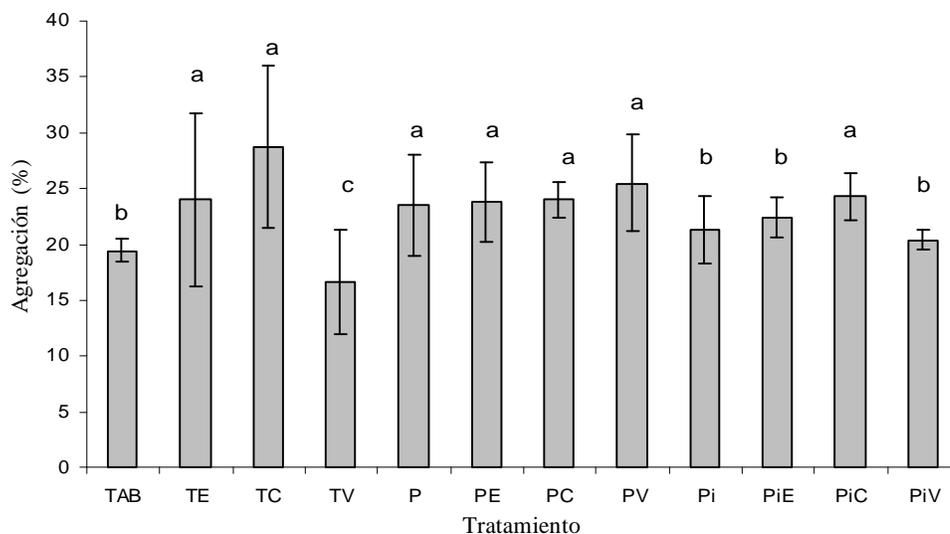
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución de los Agregados en Seco

Al tamizar en seco se presentó un dominio de la fracción de 5-10 mm en todos los tratamientos, con variación de 37.6 a 48.6%, así como presencia de las fracciones > 10 mm de 2.9 a 5.2% y < 0.25 mm de 1.4 a 3.3%. Cabe señalar que no se hizo una separación de agregados reales y de fragmentos que permanecen a lo largo del tiempo, sino que se llamó agregados a ambas fracciones. La presencia de las fracciones mayores de 10 mm y menores de 2 mm indica que se presentó agregación y disgregación del material, ya que estas fracciones no se encontraban al inicio del experimento; esto concuerda con trabajos anteriores (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2001; Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2001). La agregación se favoreció de la presencia de las diferentes enmiendas utilizadas y de la planta, y la disgregación del efecto de los ciclos de humedecimiento y secado ocasionados al regar las plantas (Bronick y Lal, 2005). La fracción que presentó diferencias significativas entre tratamientos fue la de 2-5 mm. Los tratamientos con planta presentaron valores equivalentes

estadísticamente, mientras que en los tratamientos testigo el porcentaje más alto fue el de compost y el más bajo el de vermicompost (Figura 1).

Los tratamientos con higuera presentan porcentajes muy similares. En los tratamientos testigo se presentó mayor cantidad de fragmentos que agregados. En los tratamientos con higuera se favoreció la disgregación y agregación del tepetate por las raíces de la higuera, ya que al crecer ayudan a la alteración del material de manera física; asimismo, por medio de sus exudados, unen las partículas, empaquetan y separan (Rilling *et al.*, 2002). Además, liberan exudados que aumentan la actividad microbológica, lo cual provoca alteración física, química y biológica del suelo que influye en la agregación (Bronick y Lal, 2005). Esto propicia que se presenten agregados en mayor cantidad, los cuales son menos estables que los fragmentos y son fácilmente disgregados en el momento de pasarlos por tamices. En los tratamientos con inóculo se presentó efecto tanto de raíces como de micorrizas, ya que las micorrizas arbusculares a través de su micelio crean una estructura que entrelaza las partículas primarias del suelo. Las raíces y las hifas crean condiciones que permiten la formación de microagregados, así también unen microagregados y pequeños macroagregados, en agregados más grandes (Neergaard y Leif, 2000). En todos los tratamientos se presentó colonización de la micorriza. Los tratamientos con estiércol presentaron el porcentaje más bajo (33.5%) seguido de los tratamientos con compost (49%) y vermicompost (55%). El porcentaje mayor lo presentaron los tratamientos sin enmienda (74.5%).



**Figura 1. Porcentaje de los agregados en seco de 2-5 mm 18 meses después del inicio de los tratamientos.** TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; E = estiércol; C = compost; V = vermicompost.

### Distribución de los Agregados en Húmedo

En todos los tratamientos el tamizado en húmedo mostró un dominio de la fracción  $> 5$  mm (29.5-38.1%), esto debido a que pudo presentarse recementación del tepetate, pero también el incremento en la fracción  $< 0.25$  mm (14.1-22.9%) puede deberse a la disgregación y agregación del material.

La más alta proporción en la fracción de mayor tamaño señala que dominan los fragmentos de tepetate, los cuales manifiestan una gran estabilidad debido a que son difíciles de disgregar por estar cementados. Las fracciones intermedias, ya sean uniones de agregados o fragmentos de menor tamaño, son las que se pueden disgregar más fácilmente con agua. El material que se disgrega en las diferentes fracciones se acumula en la de diámetro menor de 0.25 mm, ya que son fragmentos de menor tamaño o microagregados que son más estables que los de tamaño mayor.

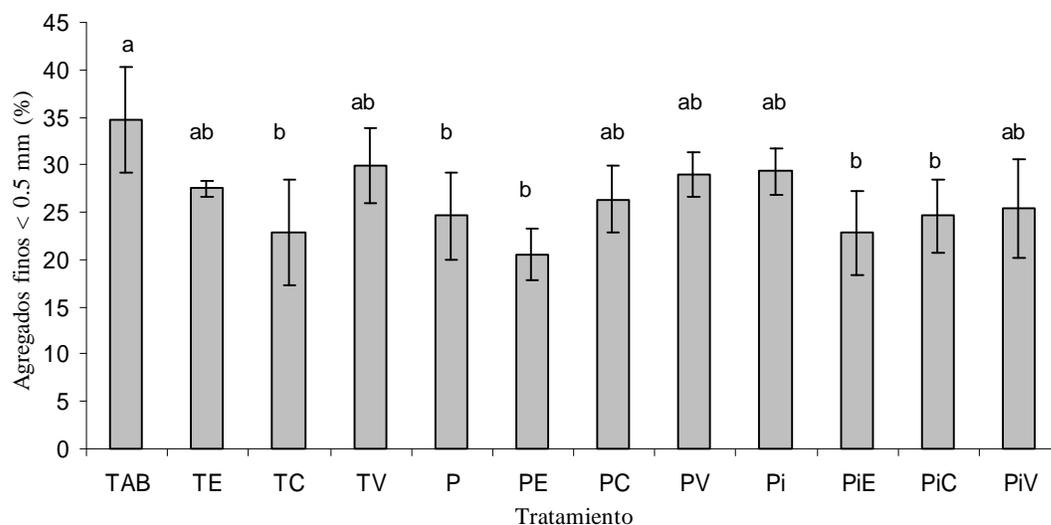
El porcentaje de agregados finos ( $< 0.5$  mm) fue mayor en el tratamiento testigo, lo cual puede ser debido a la disgregación del material producto de los ciclos de humedecimiento y secado. Czarnes *et al.* (2000) mencionaron que los ciclos de humedecimiento y secado presentan efecto sobre el porcentaje de agregados, ya que aquéllos de mayor tamaño disminuyen y los de menor medida se incrementan, pero los de intervalos intermedios varían dependiendo de los tratamientos. Esto sugiere que los agregados de mayor tamaño se fracturan en unidades

de menor dimensión, incrementando de esta manera el material fino (23-35%) (Figura 2). Six *et al.* (2004) mencionan que los microagregados presentan mayor estabilidad que los macroagregados, debido a que sus enlaces son más resistentes. En los tratamientos con planta las raíces y las enmiendas pueden estar ayudando a unir las partículas disminuyendo de esta forma el porcentaje de agregados finos, y esto les proporciona mayor estabilidad.

En general, la disminución de las fracciones intermedias y el incremento de las de menor tamaño respecto al tamizado en seco indican una menor estabilidad. Esto puede señalar, de manera indirecta, la presencia de agregados, ya que un agregado es menos estable que un fragmento, si la fracción sólo tuviera fragmentos, el porcentaje de estabilidad sería igual o muy cercano al porcentaje de agregación.

### Diámetro Medio Ponderado

El diámetro medio ponderado (DMP) fue mayor en todos los tratamientos (2.97-3.77 mm) respecto del testigo absoluto (2.73 mm), siendo diferentes estadísticamente sólo los tratamientos TC, P, PE, PV, PiE y PiC (Figura 3). El diámetro medio obtenido ayuda a una buena aireación en el tepetate y un buen desarrollo de las raíces (Zebrowski, 1992). El incremento en el diámetro indica que las enmiendas utilizadas y las raíces de las plantas ayudan a alterar el tepetate.

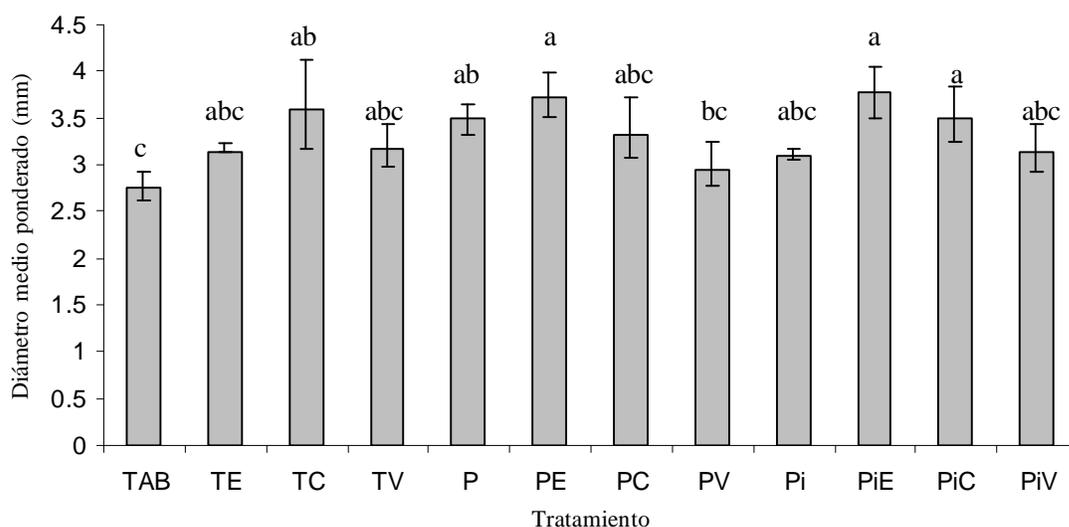


**Figura 2. Agregados finos (< 0.5 mm) en húmedo después de 18 meses.** TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; E = estiércol; C = compost; V = vermicompost.

En los tratamientos con higuera se presentaron agentes de unión temporales, ya que sus raíces ayudan a unir los agregados y éstos presentan un mayor tiempo de existencia. La MO favorece el crecimiento de microorganismos, los cuales ayudan a la unión de partículas de manera temporal, pero también mitiga el efecto de los ciclos de humedecimiento-secado (Tisdall y Oades, 1982; Abiven *et al.*, 2007).

En los tratamientos con inóculo, los agentes de unión son las raíces, los microorganismos y sus exudados, que se considera participan como agentes de unión transitorios y, por lo tanto, se encuentran presentes en

tiempos cortos. En estos tratamientos hay una combinación de agentes de unión entre las raíces y las micorrizas que se encuentran asociadas. La raíz actúa como un agente de unión temporal debido a fenómenos de empaquetamiento, pero los exudados son enlaces transitorios. Asimismo, la asociación con la micorriza favorece la estabilidad por efecto de las sustancias que exuda el micelio y ayuda a unir las partículas de manera temporal, y se pueden conceptuar como un saco pegajoso que enreda a los agregados (Jastrow y Miller, 1998). Como se mencionó anteriormente, se presentó una colonización de las raíces por las micorrizas después de 18 meses en todos los tratamientos inoculados.



**Figura 3. Diámetro medio ponderado después de 18 meses.** TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; E = estiércol; C = compost; V = vermicompost.

Los resultados concuerdan con lo reportado por Acevedo-Sandoval *et al.*, (2001) y Velázquez-Rodríguez *et al.* (2001), en cuanto a que las enmiendas presentan un efecto en las fracciones intermedias, y favorecen el desarrollo de la planta y la mayor agregación en los tratamientos con planta, debido al efecto que tienen las raíces sobre el tepetate.

### Características Químicas

Al término de los 18 meses el pH del tepetate fue ligeramente alcalino en todos los tratamientos (Cuadro 2), a excepción del testigo absoluto, ligeramente ácido (6.9), debido al incremento en el contenido de bases, en la mayoría de los tratamientos, y al efecto amortiguador que presenta la MO (Bulluck *et al.*, 2002). Las bases no se perdieron por lixiviación, debido a que la maceta carecía de orificios, por lo que no hubo pérdida. El tepetate de manera natural presenta un pH cercano a 7.0, por lo que esta variable se mantuvo constante hasta el final.

Se presentó un incremento en el porcentaje de carbono orgánico (Cuadro 2), en todos los tratamientos respecto al testigo absoluto, siendo estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) sólo en los tratamientos PE, PC y PiC. El incremento fue mayor en presencia de enmienda, debido a que son materiales orgánicos que tienen un aporte directo al tepetate, además de que ayudan a incrementar la población microbiana que encuentra condiciones adecuadas para su desarrollo al roturar el tepetate (Álvarez-Solís *et al.*, 2000). Se observa en

el Cuadro 2 que la presencia de planta incrementó el contenido de carbono orgánico en mayor proporción que cuando sólo está la enmienda, ya que las raíces de la planta al morir y degradarse son incorporadas al tepetate y también liberan compuestos orgánicos (exudados) al material, lo que repercute en que este incremento sea mayor (Pinton *et al.*, 2001; Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2008).

La CIC se considera alta (Vázquez-Alarcón, 1997), aunque respecto al testigo absoluto hubo un decremento en los tratamientos TE, P, PV y PiC (Cuadro 2). El contenido de bases es medio, de mayor a menor cantidad: Ca, Mg, K y Na (Cuadro 2). Las bases se incrementaron por la alteración del tepetate, principalmente por minerales ricos en Ca, Mg, Na y K (Hidalgo *et al.*, 1999). Estas bases se liberaron al intemperizarse el tepetate y no se pierden, debido a que las macetas no presentaban orificios. Este contenido se incrementó por el efecto de las higueras y el aporte de las enmiendas utilizadas, las cuales también contienen estos cationes (Ca, 17.6-56.1  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ; Mg, 6.9-50.2  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ; Na, 11.19-34.34  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ; K, 11.85-20  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ). Dicho incremento sólo fue significativo en el caso del Ca.

### CONCLUSIONES

- La presencia de higuera por medio de sus raíces y el inóculo favorecieron la disgregación y agregación del tepetate, fase incipiente de la estructuración del mismo.
- La aplicación de materia orgánica, la presencia de la higuera y micorriza incrementaron, de manera

**Cuadro 2. Características químicas del tepetate en los tratamientos al término del estudio.**

Tratamiento <sup>†</sup>	pH	Carbono %	CIC <sup>§</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
				----- $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ -----			
TAB	6.9 b <sup>‡</sup>	0.07 d	25.44 a	9.90 b	6.68 a	1.82 a	2.13 a
TE	7.3 ab	0.22 cd	23.36 a	10.08 b	7.21 a	1.89 a	2.47 a
TC	7.4 ab	0.28 bcd	29.88 a	14.85 ab	6.99 a	1.96 a	2.63 a
TV	7.3 ab	0.22 cd	25.20 a	15.80 a	6.28 a	1.82 a	2.63 a
P	7.3 ab	0.16 cd	24.00 a	11.88 ab	7.10 a	2.16 a	2.28 a
PE	7.4 ab	0.54 ab	30.23 a	12.01 ab	6.20 a	2.43 a	2.36 a
PC	7.4 ab	0.40 bc	27.48 a	11.74 ab	6.85 a	2.17 a	2.45 a
PV	7.5 a	0.30 bcd	24.72 a	13.09 ab	7.06 a	2.52 a	2.25 a
Pi	7.3 ab	0.10 cd	26.16 a	9.58 b	6.13 a	2.11 a	1.73 a
PiE	7.6 a	0.28 bcd	25.92 a	13.63 ab	5.68 a	2.41 a	1.77 a
PiC	7.3 ab	0.71 a	23.52 a	12.96 ab	6.74 a	2.19 a	1.95 a
PiV	7.7 a	0.30 bcd	25.44 a	13.36 ab	5.27 a	2.01 a	1.76 a

<sup>†</sup> Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey,  $< 0.05$ ). <sup>‡</sup> TAB = testigo absoluto; T = testigo; P = planta; Pi = planta con inóculo; E = estiércol; C = compost; V = vermicompost. <sup>§</sup> CIC = capacidad de intercambio de cationes.

significativa, la formación de agregados y su estabilidad, obteniendo un diámetro medio ponderado favorable (2.97-3.77 mm) para el desarrollo de la higuera.

- La aplicación de las enmiendas y la planta presentó valores de pH, capacidad de intercambio catiónico, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> apropiados para el desarrollo de plantas, y incrementó el porcentaje de carbono en el tepetate, mejorando su calidad .

### AGRADECIMIENTOS

A la DGAPA, UNAM por el apoyo económico. Proyecto PAPIIT código: IN204302-2.

### LITERATURA CITADA

- Abiven, S., S. Menasseri, D. A. Angers, and P. Leterme. 2007. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. *Eur. J. Soil Sci.* 58: 239-247.
- Acevedo-Sandoval, O. A. and D. Flores-Román. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 17: 152-162.
- Acevedo-Sandoval, O., A. Velázquez-Rodríguez y D. Flores-Román. 2001. Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero. *Terra* 19: 363-373.
- Acevedo-Sandoval, O. A., L. E. Ortiz H., D. Flores R., A. S. Velásquez 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.
- Álvarez Solís, J. D., R. Ferrera-Cerrato y J. D. Etchevers Barra. 2000. Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34: 523-532.
- Bronick, C. J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 13-22.
- Bulluck, L. R., M. Brosius, G. K. Evanylo, and J. B. Ristaino. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Appl. Soil Ecol.* 19: 147-160.
- 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 Soil* 221: 253-271.
- 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 Revista de Agroecología* 19: 1-4.
- Hidalgo, C., J. Etchevers, M. A. Pérez, A. Vera, D. Flores y H. Navarro G. 1999. Restauración de suelos volcánicos endurecidos. La experiencia del centro de México: proyecto tepetates. pp. 452-472. *In: C. Siebe, H. C. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y C. Oleschko (eds.). Conservación y restauración de suelos PUMA-UNAM.* México, D. F.
- Jackson, M. L. 1970. *Análisis químico de suelos.* Omega. Barcelona, España.
- Jastrow, J. D. and R. M. Miller. 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral association. pp. 207-223. *In: R. Lal, J. M. Kimble, R. R. Follet, and B. A. Stewart (eds.). Soil processes and the carbon cycle.* CRC Press. New York, NY, USA.
- Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. *In: A. Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Neergaard, B. B. and P. Leif. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a Vertisol. *Plant Soil* 218: 173-183.
- Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. *In: D. L. Sparks (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Pinton, R., Z. Varanini, and P. Nannipieri. 2001. The rhizosphere. Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- 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 Soil* 238: 325-333.
- SAS Institute. 2002. *JMP® Statistics and Graphics Guide.* pp. 315-334. Version 5. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- 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.
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Vázquez-Alarcón, A. 1997. *Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo.* Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Velázquez-Rodríguez, A. S., D. Flores-Román y O. A. Acevedo-Sandoval. 2001. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales. *Agrociencia* 35: 311-320.
- Velázquez-Rodríguez, A. S., D. Flores-Román, J. Etchevers- Barra y N. García-Calderón. 2008. Materia orgánica en tepetate bajo cultivo de higuera y pasto, acondicionado con estiércol y fertilizante. *Agrociencia* 42: 11-19.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra* 10 (Número especial): 15-23.