

# MATERIA ORGÁNICA EN TEPETATE BAJO CULTIVO DE HIGUERA Y PASTO, ACONDICIONADO CON ESTIÉRCOL Y FERTILIZANTE

## ORGANIC MATTER IN TEPETATE CULTIVATED WITH FIG TREE AND GRASS, AMENDMENTED WITH MANURE AND FERTILIZER

Alma S. Velázquez-Rodríguez<sup>1</sup>, David Flores-Román<sup>2</sup>, Jorge D. Etchevers-Barra<sup>3</sup> y Norma E. García-Calderón<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario 100. Colonia Centro. 50 000. Toluca, Estado de México. México. (almaver22@hotmail.com). <sup>2</sup>Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 04510. Coyoacán, México, D.F. (davidf@servidor.unam.mx). <sup>3</sup>Edafología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (jetchev@colpos.mx). <sup>4</sup>Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. 04510. Coyoacán, México, D.F. (necg@hp.ciencias.unam.mx)

### RESUMEN

Las plantas y enmiendas aumentan la calidad de los tepetates una vez que se han roturado estas capas duras, abundantes en el Eje Neovolcánico Mexicano. En el tepetate, que posee estructura masiva y carece de reservas orgánicas, la adición de materia orgánica (MO) ha mostrado un efecto significativo en la fertilidad al aportar N y P, esenciales para el desarrollo de biota, al tiempo que favorece una estructuración estable. Aunque se sabe que la calidad del suelo se relaciona con la naturaleza de los compuestos orgánicos, son escasos los estudios acerca de los componentes básicos de la MO, una vez que se ha incorporado a capas duras como el tepetate. El objetivo del presente estudio fue cuantificar el carbono orgánico total, polisacáridos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, aportados al tepetate por cultivo de higuera (*Ficus carica* L.) y pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth), con adición de estiércol bovino y fertilizante, por dos años. El experimento se realizó en invernadero, con tepetate tipo duripán. Se aplicó el equivalente a 72 Mg ha<sup>-1</sup> de bovino por unidad experimental y dosis de fertilización de 80-80-20 para higuera y 250-200-00 para pasto. El estiércol duplicó el contenido de carbono orgánico del tepetate desde los primeros meses de aplicación. El fertilizante influyó en la producción de polisacáridos. Las plantas, con y sin enmiendas, propiciaron un aumento de hasta 100% de carbono orgánico y polisacáridos. Los ácidos húmicos y fúlvicos no se modificaron por los tratamientos. El mayor contenido de carbono y polisacáridos fue a los 12 meses.

**Palabras clave:** Carbono orgánico, humus, polisacáridos, tepetates

### INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico es indispensable para el crecimiento de plantas y el establecimiento de biota, ya que interviene en todos los procesos estructurales y metabólicos de los seres vivos (McCarthy *et*

### ABSTRACT

Plants and amendments increase quality of the tepetates once these hard layers, abundant in the Mexican Volcanic Belt, have been rototilled. In tepetate, which has a mass structure and lacks organic reserves, the addition of organic matter (OM) has proven to have a significant effect on fertility by supplying N and P, essential for the development of biota, and which promotes a stable structurization. Although it is known that soil quality is related to the nature of the organic compounds, there are few studies referring to the basic compounds of OM, once it has been incorporated into hard layers such as tepetate. The objective of the present study was to quantify the total organic carbon, polysaccharides, humic acids and fulvic acids, supplied to the tepetate by cultivation of fig (*Ficus carica* L.) and Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth), with the addition of bovine manure and fertilizer, for two years. The experiment was conducted in the greenhouse with duripán tepetate. The equivalent of 72 Mg ha<sup>-1</sup> of manure was applied per experimental unit and fertilization dose of 80-80-20 for fig and 250-200-00 for grass. The manure doubled the organic carbon content of the tepetate from the first months of application. The fertilizer influenced the production of polysaccharides. The plants, with and without amendments, provided an increase of as much as 100% of organic carbon and polysaccharides. The humic and fulvic acids were not modified by the treatments. The highest content of carbon and polysaccharides was at 12 months.

**Key words:** Organic carbon, humus, polysaccharides, tepetates

### INTRODUCTION

Organic carbon is indispensable for plant growth and the establishment of biota, because it intervenes in all of the structural and metabolic processes of living things (McCarthy *et al.*, 1997). The polysaccharides increase fertility, as they are compounds that are easily assimilated by plants and

Recibido: Octubre, 2006. Aprobado: Noviembre, 2007.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 11-19, 2008.

*al.*, 1997). Los polisacáridos aumentan la fertilidad por ser compuestos fácilmente asimilables por las plantas y la biota; además, participan activamente en la agregación al formar enlaces transitorios con la fracción mineral (Guggenberger y Zech, 1994; Brimecombe *et al.*, 2001). La fracción húmica es un importante reservorio de nutrientes dado que consiste de coloides con carga superficial y establece enlaces permanentes con las partículas minerales, formando agregados altamente estables (Crowley, 2001; Varanini y Pinton, 2001).

Los tepetates, capas duras de origen piroclástico que ocupan 30 700 km<sup>2</sup> en el Eje Neovolcánico Mexicano, presentan baja porosidad efectiva (menor al 40%) por su estructura masiva y bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Lo anterior se debe a que son horizontes subsuperficiales que quedan expuestos al perderse la capa fértil que los cubre (Quantin *et al.*, 1992; Zebrowski, 1992; Etchevers *et al.*, 2004).

Como resultado de la casi nula reserva de compuestos orgánicos del tepetate, la actividad biológica, el establecimiento de especies vegetales, el crecimiento radical y la dinámica de los ciclos biogeoquímicos es limitada. La roturación y la compensación de las carencias nutrimentales del tepetate permiten establecer plantas de importancia económica o ecológica en estas capas y, a mediano plazo, propicia la formación de suelo.

La roturación aumenta la macro porosidad (Prat *et al.*, 1997), lo que favorece la infiltración, el intercambio gaseoso y el desarrollo de raíces. Los fertilizantes suplen la deficiencia de P y N y se usan para complementar la aplicación de abonos orgánicos (Etchevers *et al.*, 1992; Pérez *et al.*, 2000), pero se lixivian rápidamente y pueden afectar negativamente las propiedades químicas del tepetate. Al respecto, Acevedo *et al.* (2001) y Velázquez *et al.* (2001) observaron una ligera acidificación del tepetate, como resultado del uso de fertilizantes. En contraste, los estiércoles y abonos verdes, liberan suficientes nutrimentos para mantener un cultivo, favorecen la estructuración, la estabilidad de los agregados y la dinámica de la biota (Pérez *et al.*, 2000; Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004).

Además las plantas tienen una influencia significativa sobre las características del tepetate: disgregan y agregan el material, y aportan compuestos orgánicos al sustrato susceptibles de ser usados por la biota o en procesos de estructuración (Velázquez *et al.*, 2001). Sin embargo, hay pocos estudios sobre los componentes básicos de la materia orgánica, una vez que se ha incorporado al tepetate. Su conocimiento permitiría anticipar su efecto en las características físicas, químicas y biológicas de estas capas y mejorar las técnicas de manejo.

biota; furthermore, they actively participate in aggregation by forming transitory bonds with the mineral fraction (Guggenberger and Zech, 1994; Brimecombe *et al.*, 2001). The humic fraction is an important reservoir of nutrients, given that it consists of colloids with ionic superficial charge and establishes permanent bonds with the mineral particles, thus forming highly stable aggregates (Crowley, 2001; Varanini and Pinton, 2001).

The tepetates, hard layers of pyroclastic origin that occupy 30 700 km<sup>2</sup> in the Mexican Volcanic Belt, present low effective porosity (less than 40%) due to their mass structure and low content of organic matter, nitrogen and phosphorus. The above is due to the fact that they are sub-superficial horizons that remain exposed when the fertile layer that covers them is lost (Quantin *et al.*, 1992; Zebrowski, 1992; Etchevers *et al.*, 2004).

As a result of the almost null reserve of organic compounds of the tepetate, biological activity, the establishment of plant species, root growth and the dynamic of the biogeochemical cycles is limited. Rototilling and compensation of the nutrimental deficiencies of tepetate make it possible to establish plants of economic or ecological importance in these layers, and at medium term, propitiate soil formation.

Rototilling increases macro porosity (Prat *et al.*, 1997), which favors infiltration, gas exchange and root development. Fertilizers supplement the deficiency of P and N and are used to complement the application of organic manures (Etchevers *et al.*, 1992; Pérez *et al.*, 2000), but lixivate rapidly and can have a negative effect on the chemical properties of the tepetate. To this respect, Acevedo *et al.* (2001) and Velázquez *et al.* (2001) observed a slight acidification of the tepetate, as a result of the use of fertilizers. In contrast, the manures and green manures release sufficient nutrients to maintain a crop, favor structurization, the stability of the aggregates and the dynamic of the biota (Pérez *et al.*, 2000; Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004).

In addition, plants have a significant influence on the characteristics of the tepetate; they disintegrate and aggregate the material, and supply organic compounds to the substrate that are susceptible to being used by the biota or in structurization processes (Velázquez *et al.*, 2001). However, there are few studies of the basic components of the organic matter, after it has been incorporated into the tepetate. Its knowledge would make it possible to anticipate its effect on the physical, chemical and biological characteristics of these layers and to improve management techniques.

The objective of the present study was to evaluate the amount of carbon, polysaccharides, humic acids and fulvic acids supplied to the tepetate by the cultivation

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la cantidad de carbono, polisacáridos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, aportados al tepetate por el cultivo de higuera (*Ficus carica* L.) y pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunt), con adición de estiércol bovino y fertilizante inorgánico, durante dos años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el invernadero del Instituto de Geología de la UNAM, con tepetate tipo duripán, recolectado en Tetela del Volcán, Estado de Morelos, México (18°51' 34.3" N y 98° 44' 16.6" O), a una altitud de 2127 m. En esta zona existen amplias superficies donde afloran tepetates tipo duripán cuya habitación sería de gran beneficio para los productores agrícolas.

El tepetate se caracterizó como un duripán color pardo amarillento en seco (10YR6/4) y pardo amarillento oscuro en húmedo (10YR4/4), densidad real 2.3 Mg m<sup>-3</sup>, densidad aparente 1.7 Mg m<sup>-3</sup>, dureza 24 kg cm<sup>-2</sup> y clase textural franca (50, 27 y 23% de arena, limo y arcilla). El pH fue 7.1, la materia orgánica 0.3%, la capacidad de intercambio catiónico 22.7 cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup>, las bases intercambiables para Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> fueron 11.5, 7.2, 1.3 y 1.0 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup> y la saturación de bases 92.5%. El contenido de carbono, ácidos húmicos y fúlvicos fue 1.9, 0.55 y 1.0 g kg<sup>-1</sup> de suelo y el de polisacáridos 0.45% de glucosa.

El tepetate se roturó y tamizó, seleccionándose la fracción de 2 a 20 mm de diámetro que son un tamaño adecuado para el manejo del tepetate (Velázquez *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2004); los fragmentos se colocaron en macetas de plástico sin perforaciones (5 kg por maceta). Las plantas usadas fueron higuera (*Ficus carica* L.), que es un frutal de interés en la zona de estudio, y pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunt) por el efecto de las gramíneas en la recuperación y habitación de capas duras (Márquez *et al.*, 1992; Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004). Las plantas de higuera (1 año edad) fueron proporcionadas por el Vivero Nezahualcoyotl, de la Ciudad de México. Para el pasto, se establecieron almácigos en el invernadero.

Se seleccionó estiércol bovino como enmienda orgánica debido a su fácil obtención y bajo costo en la zona de estudio. Se aplicó en una dosis equivalente a 72 Mg ha<sup>-1</sup>, tomando como base la dosis (40 Mg ha<sup>-1</sup>) usada en tepetates tipo fragipán cuyo contenido de MO es casi el doble del de el duripán del presente estudio (Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004). Como enmienda inorgánica se usó sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y cloruro de potasio, en cantidades equivalentes a 80-80-20 para higuera y 250-200-00 para pasto, de acuerdo con las dosis usadas para higuera en la zona de estudio y considerando las recomendadas para pastos (Bogdan, 1977).

El trasplante de las especies vegetales a las macetas con tepetate acondicionado con las enmiendas, se hizo a raíz desnuda. La unidad experimental para higuera fue una planta por maceta, y, para pasto, tres macollos. Se colocó una serie de unidades experimentales para el estudio a 12 meses y otra para el estudio a 24 meses. Al término de cada periodo de observación se cortó la parte aérea de la planta desde la base y se sacó el tepetate de la maceta; cuidadosamente se

de fig (*Ficus carica* L.) and Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunt), with the addition of bovine manure and inorganic fertilizer, during two years.

## MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in the greenhouse of the Geology Institute of the UNAM, with duripán type tepetate, collected in Tetela del Volcán, State of Morelos, México (18° 51' 34.3" N and 98° 44' 16.6" W), at an altitude of 2127 m. In this zone there are broad surfaces with outcroppings of duripán type tepetates, whose habilitation would be of great benefit to farmers.

The tepetate was characterized as a yellowish brown duripán when dry (10YR6/4) and dark yellowish brown when wet (10YR4/4), real density 2.3 Mg m<sup>-3</sup>, apparent density 1.7 Mg m<sup>-3</sup>, hardness 24 kg cm<sup>-2</sup> and loam texture (50, 27 and 23% sand, loam and clay). The pH was 7.1, organic matter 0.3%, cationic exchange capacity 22.7 cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup>, the exchangeable bases for Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> were 11.5, 7.2, 1.3 and 1.0 cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup> and the saturation of bases 92.5%. The content of carbon, humic and fulvic acids was 1.9, 0.55 and 1.0 g kg<sup>-1</sup> of soil and that of polysaccharides was 0.45% of glucose.

The tepetate was fragmented and sieved, selecting the fraction of 2 to 20 mm diameter, which are an adequate size for the management of tepetate (Velázquez *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2004); the fragments were placed in plastic pots without perforations (5 kg per pot). The plants used were fig (*Ficus carica* L.), which is a fruit tree of interest in the zone of study, and Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunt) because of the effect of the grasses in the recovery and habilitation of hard layers (Márquez *et al.*, 1992; Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004). The fig plants (1 year of age) were provided by the Vivero Nezahualcoyotl, of México City. For the grass, seed beds were established in the greenhouse.

Bovine manure was selected as organic amendment due to its availability and low cost in the zone of study. A dose equivalent to 72 Mg ha<sup>-1</sup> was applied, taking as base the dose (40 Mg ha<sup>-1</sup>) used in fragipán type tepetates, whose OM content is nearly double that of the duripán of the present study (Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004). The inorganic amendment consisted of ammonium sulfate, simple calcium superphosphate and potassium chloride, in amounts equivalent to 80-80-20 for fig and 250-200-00 for grass, according to the doses used for fig in the zone of study and considering the doses recommended for grasses (Bogdan, 1977).

The transplanting of the plant species to the pots with tepetate conditioned with the amendments was made with bare roots. The experimental unit for fig was one plant per pot, and for grass, three seedlings. A series of experimental units was placed for the study at 12 months and another for the study at 24 months. At the end of each observation period, the aboveground part of the plant was cut at the base and the tepetate was removed from the pot; the roots were carefully removed and the substrate was air dried. For the analysis, a representative sample was taken from each pot, then was ground and sifted to 100 mesh.

retiraron las raíces y el sustrato se secó al aire. Para los análisis se tomó una muestra representativa de cada maceta, molida y tamizada a malla 100.

El carbono orgánico se midió por el método de oxidación con dicromato de potasio (Nelson y Sommers, 1996); los polisacáridos totales por la técnica del ácido-fenol-sulfúrico (Ivarson y Sowden, 1962; Whistler y Wolfrom, 1962). La fracción húmica total se extrajo con una solución de NaOH y  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  1M (Kononova, 1982); los ácidos húmicos se separaron de los fúlvicos por precipitación con ácido sulfúrico 1:1 hasta pH 1.5. Las dos fracciones se evaluaron mediante espectroscopía visible-UV.

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una planta de higuera por maceta y tres de pasto. El experimento duró dos años divididos en etapas de 12 meses (E2, E3), más una etapa representativa del tiempo cero (E1). Se establecieron 12 tratamientos y un testigo, constituido sólo por fragmentos de tepetate (Cuadro 1). Se hicieron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el paquete JMP.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las plantas tuvieron una influencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de carbono orgánico (CO) del tepetate y su interacción con las enmiendas modificó el de ácidos fúlvicos. Los demás factores y sus interacciones tuvieron un efecto altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en las diferentes fracciones orgánicas.

El CO del tepetate aumentó en una unidad ( $p \leq 0.01$ ) por la simple aplicación de estiércol (E2 y E3) y estiércol con fertilizante (E3). Para los tratamientos con planta, el aporte de CO fue significativamente mayor en ambas especies cuando el sustrato se acondicionó con estiércol, manteniéndose constante el incremento hasta E3 (Figura 1). El fertilizante en combinación con el estiércol, provocó un incipiente aumento de carbono en E2, pero una disminución en E3.

The organic carbon was measured using the method of oxidation with potassium dichromate (Nelson and Sommers, 1996); the total polysaccharides with the sulfuric-phenol-acid (Ivarson and Sowden, 1962; Whistler and Wolfrom, 1962). The total humic fraction was extracted with a solution of NaOH and  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  1M (Kononova, 1982); the humic acids were separated from the fulvic acids by precipitation with sulfuric acid 1:1 to pH 1.5. The two fractions were evaluated through UV-visible spectroscopy.

The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement of treatments and four replicates. The experimental unit was one fig plant per pot and three of grass. The experiment lasted two years, divided into stages of 12 months (E2, E3), plus a representative time stage zero (E1). Twelve treatments were established along with one control, comprised only of tepetate fragments (Table 1). Analyses of variance were made as well as Tukey tests of comparisons of means ( $p \leq 0.05$ ) with the JMP package.

## RESULTS AND DISCUSSION

The plants had a significant influence ( $p \leq 0.05$ ) on the content of organic carbon (OC) of the tepetate and its interaction with the amendments modified that of fulvic acids. The other factors and their interactions had a highly significant effect ( $p \leq 0.01$ ) on the different organic fractions.

The OC of the tepetate increased in a unit ( $p \leq 0.01$ ) by the simple application of manure (E2 and E3) and manure with fertilizer (E3). For the treatments with plants, the contribution of OC was significantly higher in both species when the substrate was conditioned with manure, the increase was constant until E3 (Figure 1). The fertilizer in combination with the manure caused an incipient increase of carbon in E2, but caused a decrease in E3.

The content of polysaccharides increased in three units when the tepetate was conditioned with the two amendments. With the plants, the percentage of

**Cuadro 1. Tratamientos aplicados al tepetate roturado.**  
**Table 1. Treatments applied to the rototilled tepetate.**

	Tratamientos	Planta	Estiércol (Mg ha <sup>-1</sup> )	Fertilizante (kg ha <sup>-1</sup> )	Clave
1	Testigo absoluto	No	0	0	TAB
2	Tepetate con estiércol	No	72	0	TE
3	Tepetate con fertilizante	No	0	80-80-20	TF
4	Tepetate, estiércol y fertilizante	No	72	80-80-20	TEF
5	Higuera	Higuera	0	0	H
6	Higuera con estiércol	Higuera	72	0	HE
7	Higuera con fertilizante	Higuera	0	80-80-20	HF
8	Higuera, estiércol y fertilizante	Higuera	72	80-80-20	HEF
9	Pasto	Pasto	0	0	P
10	Pasto con estiércol	Pasto	72	0	PE
11	Pasto con fertilizante	Pasto	0	250-200-00	PF
12	Pasto, estiércol y fertilizante	Pasto	72	250-200-00	PEF

El contenido de polisacáridos aumentó en tres unidades cuando se acondicionó el tepetate con las dos enmiendas. Con las plantas se triplicó el porcentaje de polisacáridos en los tratamientos con estiércol y estiércol con fertilizante. Dicho incremento se presentó de E1 a E2 y de E2 a E3 con HEF y PEF, pero hubo una disminución de E2 a E3 en HE y PE (Figura 2).

Los ácidos húmicos y fúlvicos disminuyeron durante los dos periodos y con los distintos tratamientos ( $p \leq 0.01$ ), excepto aquellos con estiércol y estiércol con fertilizante donde el contenido no fue estadísticamente diferente al inicial. El fertilizante y las plantas no influyeron en esta fracción (Figuras 3 y 4).

De acuerdo con los resultados, las enmiendas y plantas provocaron un aumento de carbono orgánico y polisacáridos en el tepetate, sin afectar la fracción húmica. En el presente estudio aumentó el CO en 150% en dos años, debido a la adición de estiércol. El porcentaje de CO fue mayor al reportado por Pérez *et al.* (2000) y Báez *et al.* (2002), para tepetates tipo fragipán acondicionados con estiércol en invernadero o con labranza cero y diferentes cultivos. De acuerdo con esos autores, condiciones controladas de humedad y temperatura, así como el poco movimiento del sustrato, favorecen la acumulación de CO, lo que explica su acumulación en el tepetate.

Sin embargo, es importante considerar que el tepetate usado en el presente estudio fue tipo duripán, por lo que su dureza es mayor y menor la porosidad efectiva, lo que debió limitar considerablemente la alteración del estiércol. La acumulación de CO superior a la esperada sugiere que no hubo interrupción en los procesos de transformación, lo que presumiblemente se debió al tamaño de los fragmentos. De acuerdo con

polysaccharides was tripled in the treatments with manure and manure with fertilizer. This increase occurred from E1 to E2 and from E2 to E3 with HEF and PEF, but there was a decrease from E2 to E3 in HE and PE (Figure 2).

The humic and fulvic acids decreased during the two periods and with the different treatments ( $p \leq 0.01$ ), except those with manure and manure with fertilizer where the content was not statistically different from the initial content. The fertilizer and the plants did not influence this fraction (Figure 3 and 4).

According to the results, the amendments and plants caused an increase of organic carbon and polysaccharides in the tepetate, without affecting the humic fraction. In the present study the OC increased by 150% in two years, due to the addition of manure. The percentage of OC was higher than that reported by Pérez *et al.* (2000) and Báez *et al.* (2002), for fragipan type tepetates conditioned with manure in the greenhouse or with zero cultivation and different crops. According to these authors, controlled conditions of moisture and temperature, as well as little movement of the substrate, favor the accumulation of OC, which explains its accumulation in the tepetate.

However, it is important to consider that the tepetate used in the present study was the duripán type, thus it has greater hardness and less effective porosity, which must have considerably limited the alteration of the manure. The higher than expected accumulation of OC suggests that there was no interruption in the transformation processes, which was presumably due to the size of the fragments. According to Acevedo *et al.* (2001), Velázquez *et al.* (2001) and Flores *et al.*

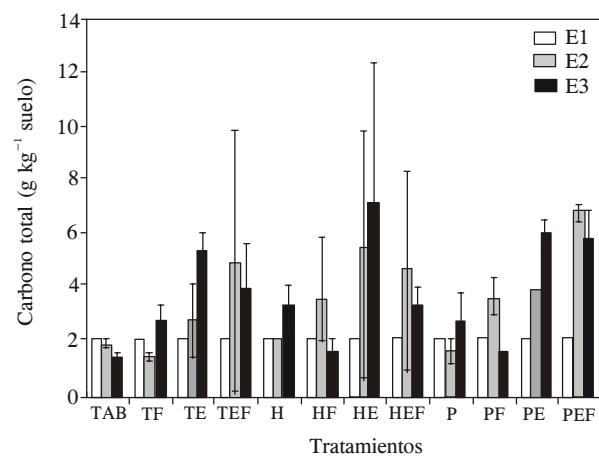


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de carbono del tepetate, en las tres etapas del experimento.

Figure 1. Effect of the treatments on the carbon content of the tepetate, in the three stages of the experiment.

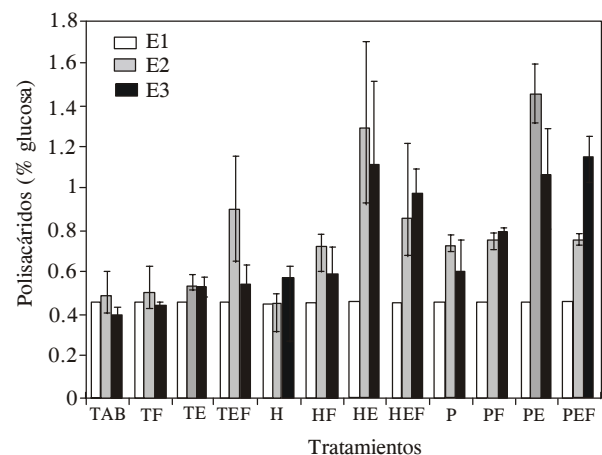


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de polisacáridos del tepetate, en las tres etapas del experimento.

Figure 2. Effect of the treatments on the content of polysaccharides of the tepetate, in the three stages of the experiment.

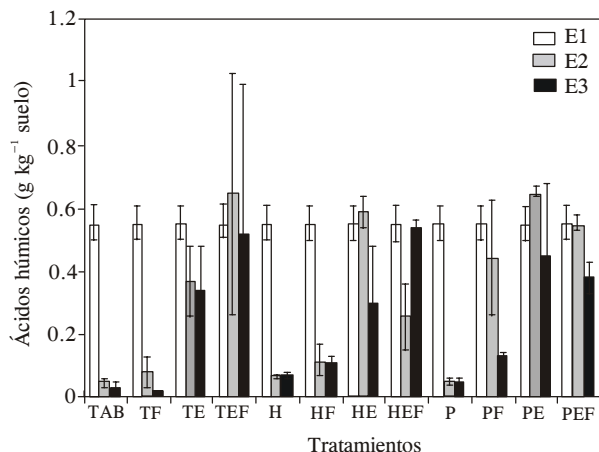


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de ácidos húmicos del tepetate, en las tres etapas del experimento.  
Figure 3. Effect of the treatments on the content of humic acids of the tepetate, in the three stages of the experiment.

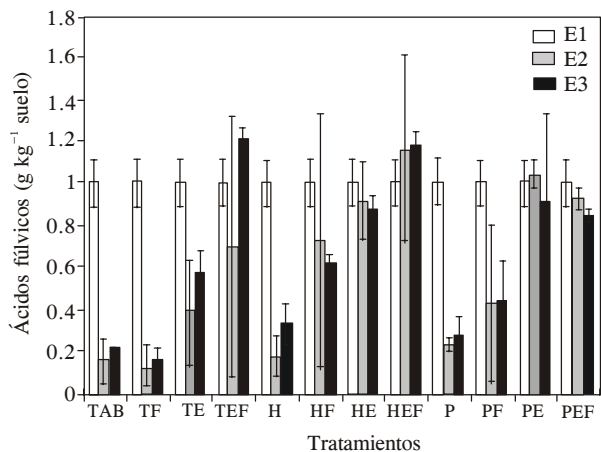


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de ácidos fúlvicos del tepetate, en las tres etapas del experimento.  
Figure 4. Effect of the treatments on the content of fulvic acids of the tepetate, in the three stages of the experiment.

Acevedo *et al.* (2001), Velázquez *et al.* (2001) y Flores *et al.* (2004), los fragmentos de 2 a 5 mm, que predominaban en las macetas, favorecen la existencia de espacios de tamaño óptimo para el movimiento de agua y el aire, así como para el establecimiento de biota, factores esenciales en la transformación de la materia orgánica.

Respecto a los polisacáridos el estiércol sólo modificó su contenido en TEF, lo cual pudo deberse a que menos del 25% de los productos de su descomposición, corresponde a azúcares simples y hemicelulosa (Guggenberger y Zech 1994). El cambio significativo se presentó con el estiércol, pero en asociación con las especies vegetales.

Las plantas, sin enmiendas, aumentaron el CO (50%) y los polisacáridos (75%); con adición de estiércol y estiércol con fertilizante, el incremento fue superior al 100% en ambos casos. Cuando el tepetate se acondicionó, una parte del CO y de los polisacáridos presumiblemente se originaron de la descomposición del estiércol, como ya se explicó. Sin embargo, el incremento en los tratamientos sin enmiendas apunta a que las plantas, por sí mismas, aportaron compuestos orgánicos al sustrato. En la interfase suelo-planta, la fuente principal de polisacáridos al suelo son los compuestos de rizo deposición de las plantas, que son azúcares y gomas poliurónicas de bajo peso molecular (Varanini y Pinton, 2001).

Tanto el CO como los polisacáridos aumentaron con el tiempo en HEF y PEF, pero disminuyeron en HE y PE durante el segundo año. Esto se explica porque durante la etapa de crecimiento activo el metabolismo vegetal es máximo, así como la rizo deposición (Brimecombe *et al.*, 2001). En el segundo año ocurrió la floración y fructificación de las plantas, procesos

(2004), the fragments of 2 to 5 mm, which predominated in the pots, favor the existence of spaces that are the optimum size for the movement of water and air, as well as for the establishment of biota, essential factors in the transformation of organic matter.

With respect to the polysaccharides, the manure only modified its content in TEF, which could be due to the fact that less than 25% of the products of their decomposition correspond to simple sugars and hemicellulose (Guggenberger and Zech, 1994). The significant change occurred with manure, but in association with the vegetable species.

The plants, without amendments, increased the OC (50%) and the polysaccharides (75%); with the addition of manure and manure with fertilizer, the increase was over 100% in both cases. When the tepetate was conditioned, part of the OC and of the polysaccharides presumably came from the decomposition of the manure, as was previously explained. However, the increase in the treatments without amendments indicates that the plants, by themselves, supply organic compounds to the substrate. In the soil-plant interface, the main source of polysaccharides to the soil are the compounds from rhizo decomposition of the plants, which are sugars and polyuronic gums of low molecular weight (Varanini and Pinton, 2001).

Both the OC and the polysaccharides increased with time in HEF and PEF, but decreased in HE and PE during the second year. This is explained because during the active growth stage the vegetable metabolism is maximum, as well as rhizo decomposition (Brimecombe *et al.*, 2001). In the second year, flowering and fructification of the plants occurred, processes that require more energy, thus the release of radical compounds presumably decreased. Furthermore, the

que requieren mayor energía, por lo que la liberación de compuestos radicales presumiblemente disminuyó. Además, el aporte nutrimental de los residuos orgánicos a los tepetates es insuficiente para cubrir la demanda nutrimental de los cultivos (Pérez *et al.*, 2000). Por tanto, si no hay un aporte constante de materia orgánica, la acumulación disminuye significativamente.

Contrario a lo esperado, no hubo diferencias entre plantas. En otros estudios en suelo y algunos en tepetate (Neumann y Römheld, 2001; Báez *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2004) se observó que la tasa de rizo deposición depende de la morfología de la raíz. Sin embargo, los resultados del presente estudio sugieren que más que la morfología radical, la acumulación de CO y polisacáridos estuvo determinada por la permanencia de la materia orgánica en el sustrato, ya que, no obstante la baja durabilidad de los polisacáridos en el suelo (Guggenberger y Zech 1994), su acumulación en el tepetate fue significativa.

La permanencia de los polisacáridos probablemente fue favorecida por la arcilla (23%) y amorfos de sílice (4.5% SiO<sub>2</sub> como óxidos libres) del tepetate que, como se ha observado en algunos suelos (Guggenberger y Zech, 1994), pueden tener un efecto protector. Aunque es sólo un supuesto es interesante considerarlo, porque los amorfos son componentes que pueden influir en las características del tepetate si cambios de pH, temperatura, humedad o la alteración biológica, favorecen su disolución.

El contenido de ácidos húmicos y fúlvicos del tepetate no aumentó por efecto de los tratamientos debido probablemente a su baja tasa de síntesis, ya que sólo 5 a 10% del CO de un suelo llega a formar parte del humus (Stevenson, 1982; Labrador, 1998). Además, la formación de ácidos húmicos y fúlvicos es un proceso lento porque ocurre a partir de la fracción más recalcitrante de la materia orgánica (Brimecombe *et al.*, 2001; Neumann y Römheld, 2001). La disminución observada de E1 a E2 puede atribuirse a que la roturación deja expuesto el humus asociado a la fracción mineral, poniéndolo a disposición de la biota (Ferrera *et al.*, 1997). Estos resultados coinciden con lo observado en otros tepetates (Báez *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2000). Sin embargo, difieren de éstos porque en el presente estudio el contenido inicial se mantuvo constante en HE, HEF, PE y PEF, lo que sugiere que el tepetate tipo duripán, tendría características que favorecen la acumulación de materia orgánica.

El fertilizante no influyó en la fracción orgánica del tepetate. Sin embargo, al aplicarse junto con el estiércol, propició un aumento de CO y polisacáridos. Lo anterior puede explicarse si se considera que el fertilizante es una fuente directa de nutrimentos que

nutrimental contribution of the organic residues to the tepetates is insufficient to cover the nutrimental demand of the crops (Pérez *et al.*, 2000). Therefore, if there is not a constant contribution of organic matter, the accumulation decreases significantly.

Contrary to what was expected, there were no differences among plants. In other studies in soil and some in tepetate (Neumann and Römheld, 2001; Báez *et al.*, 2002; Flores *et al.*, 2004), it was observed that the rate of rhizo decomposition depends on the morphology of the root. However, the results of the present study suggest that more than radical morphology, the accumulation of OC and polysaccharides was determined by the permanence of organic matter in the substrate, because, despite the short durability of the polysaccharides in the soil (Guggenberger and Zech, 1994), their accumulation in the tepetate was significant.

The permanence of the polysaccharides was probably favored by the clay (23%) and silica amorphs (4.5% SiO<sub>2</sub> as free oxides) of the tepetate, which as has been observed in some soils (Guggenberger and Zech, 1994), can have a protective effect. Although merely an assumption, it is interesting to consider, because the amorphs are components that can influence the characteristics of the tepetate if changes of pH, temperature, moisture or biological alteration, favor their dissolution.

The content of humic and fulvic acids of the tepetate did not increase from the effect of the treatments, probably because of their low synthesis rate, given that only 5 to 10% of the OC of a soil becomes part of the humus (Stevenson, 1982; Labrador, 1998). Furthermore, the formation of humic and fulvic acids is a slow process because it occurs from the most recalcitrant fraction of the organic matter (Brimecombe *et al.*, 2001; Neumann and Römheld, 2001). The decrease observed from E1 to E2 can be attributed to the fact that the rototilling exposed the humus associated with the mineral fraction, making it available to the biota (Ferrera *et al.*, 2000). These results coincide with what was observed in other tepetates (Báez *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2000). However, they differ from them because in the present study the initial content was maintained constant in HE, HEF, PE and PEF, which suggests that the duripán type tepetate has characteristics that favor the accumulation of organic matter.

The fertilizer did not influence the organic fraction of the tepetate. However, when it was applied together with the manure, it propitiated an increase of OC and polysaccharides. The above can be explained if it is considered that the fertilizer is a direct source of nutriments that satisfies the requirements of plants and biota, preventing the immediate consumption of the

satisface los requerimientos de plantas y biota, evitando el consumo inmediato de la fracción orgánica, con lo que se favorece su permanencia en el sustrato.

### CONCLUSIONES

El cultivo de higuera y pasto Rhodes, así como la adición de estiércol bovino, favorecieron un incremento de 150% en el contenido de carbono orgánico del tepetate y de 100% en el de polisacáridos. El contenido de ácidos húmicos y fúlvicos no fue diferente al inicial cuando se adicionaron estiércol y fertilizante; sin embargo, disminuyó en más de 80% cuando se mantuvo sin enmiendas. El fertilizante favoreció la acumulación de CO al satisfacer las necesidades nutrimentales de plantas y biota, retrasando el consumo de los compuestos orgánicos y permitiendo su acumulación en el tepetate.

### AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, por el apoyo económico brindado, a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), para la realización de la investigación.

### 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 bajo condiciones de invernadero. *TERRA Latinoamericana* 19(4):363-373.

Báez, P. A., J. D. Etchevers B., C. Hidalgo M., C. Prat, V. Ordaz Ch., y E. Núñez R. 2002. C Orgánico y P Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36(6):643-653.

Bogdan, A. V. 1977. *Tropical Pasture and Fodder Plants (Grasses and Legumes)*. Longman. London, U. K. 475 p.

Brimecombe, M. J., F. A. De Leij, and J. M. Lynch. 2001. The effect of root exudates on rhizosphere microbial populations. *In: Pinton R., Z. Varanini, and P. Nannipieri (eds). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. Marcel Dekker Inc. New York, USA. pp: 95-140.

Crowley, D. 2001. Function of siderophores in the plant rhizosphere. *In: Pinton R., Z. Varanini, and P. Nannipieri (eds). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. Marcel Dekker Inc. New York, USA. pp: 223-261.

Etchevers, J., C. Zebrowski, C. Hidalgo, y P. Quantin. 1992. Fertilidad de los tepetates: II. Situación del fósforo y el potasio en tepetates de México y Tlaxcala. *TERRA Latinoamericana* 10:386-391.

Etchevers, J., C. Hidalgo, C. Prat, y P. Quantin. 2004. *Enciclopedia of Soil Science*. DOI: 10 1081/E-ESS-120017323. Marcel Dekker Inc. N.Y., New York. pp: 1745-1749.

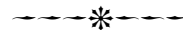
Ferrera, C. R., A. Ortiz, J. Delgadillo, y S. Santamaria. 1997. Uso de la materia orgánica en la recuperación de tepetates y su influencia en los microorganismos. *In: Suelos Volcánicos Endurecidos*. Zebrowski C., P. Quantin y G. Trujillo (eds.). Quito, Ecuador. pp: 225-227.

organic fraction, thus its permanence in the substrate is favored.

### CONCLUSIONS

The cultivation of fig tree and Rhodes grass, along with the addition of bovine manure, favored an increase of 150% in the content of organic carbon of the tepetate and of 100% in that of polysaccharides. The content of humic and fulvic acids was not different to the initial content when manure and fertilizer were added; however, it decreased by more than 80% when it was maintained without amendments. The fertilizer favored the accumulation of OC by satisfying the nutrimental needs of plants and biota, delaying the consumption of the organic compounds and allowing its accumulation in the tepetate.

*End of the English version—*



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. Rev. Agroecol.* (19): 24-27.

Guggenberger, G., and W. Zech. 1994. Composition and dynamics of dissolved carbohydrates and lignin-degradation products in two coniferous forests N. E. Bavaria, Germany. *Soil Biol. Biochem.* 26(1):19-27.

Ivarson, K. C., and F. J. Sowden. 1962. Methods for the analysis of carbohydrate material in soil. I. Colorimetric determination of uronic acids, hexoses and pentoses. *Soil Sci.* 94:245-250.

Kononova, M. N. 1982. *Materia Orgánica del Suelo. Su Naturaleza, Propiedades y Métodos de Investigación*. OIKOS-TAU. Barcelona, España. 365 p.

Labrador, M. J. 1998. *La Materia Orgánica en los Agrosistemas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 174 p.

McCarthy, D. A., B. R. Stinner, and P. J. Bohlen. 1997. Organic matter dynamics in maize agroecosystems as affected by earthworm manipulations and fertility source. *Soil Biol. Biochem.* 29(3/4):397-400.

Nelson, D. W., and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: Sparks, D. L. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Book Series: 5. Madison, Wisconsin, USA. 1390 p.

Neumann, G., and V. Römheld. 2001. The release root exudates as affected by the plant's physiological status. *In: Pinton R., Z. Varanini, and P. Nannipieri (eds). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. Marcel Dekker Inc. New York, USA. pp: 41-94.

Pérez, O. M. A., J. D. Etchevers, H. Navarro G., y R. Núñez E. 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* 34:115-125.

Prat, C., A. Báez, y A. Márquez. 1997. Erosión y escurrimiento en parcelas de tepetate  $t_2$  en Texcoco, México. *In: Zebrowski C., P. Quantin, y G. Trujillo (eds). Suelos Volcánicos Endurecidos*. Quito, Ecuador. pp: 371-383.

Quantin, P., C. Zebrowski, y C. Hidalgo. 1992. El material original de los tepetates  $t_2$  y  $t_3$  de la región de Texcoco (México): ¿loess o cineritas? *TERRA Latinoamericana* 10: 178-182.



- Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A. 440 p.
- Varanini, Z., and R. Pinton. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. *In*: Pinton R., Z. Varanini, and P. Nannipieri (eds). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Marcel Dekker Inc. New York, USA. pp: 141-158.
- 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(3):311-320.
- Whistler, R. L., and M. L. Wolfrom. 1962. Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. I. Academic Press. London. 390 p.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *TERRA Latinoamericana* 10: 15-23.