

Uso de compostas para mejorar la fertilidad de un suelo Luvisol de ladera*

Composts use to improve fertility of a slope Luvisol soil

Oswaldo Baldemar Hernández de la Cruz¹, Rufo Sánchez Hernández^{1§}, Víctor Manuel Ordaz Chaparro², Ulises López Noverola¹, Maximiano Antonio Estrada Botello¹ y Miguel Ángel Pérez Méndez³

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias-UJAT. Carretera Villahermosa-Teapa km 25. Ranchería La huasteca, Centro, Tabasco, México. CP. 86280. Tel. 52 (993) 3581585. (baldemar94@hotmail.com; ulono@hotmail.com; eabmax@hotmail.com). ²Programa de Edafología-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco. km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 52 (595) 9520200, ext. 1209. (ordaz@colpos.mx). ³División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol). UJAT. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, S/N. Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México. CP. 86150. Tel: 52 (993) 3544308. (perezmm57@hotmail.com). §Autor para correspondencia: rusaher@hotmail.com.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar los cambios en las propiedades físicas y químicas debido al aporte de 0, 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹ de composta en un Luvisol crómico de ladera, en condiciones de trópico húmedo. Se estableció un experimento en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los resultados indican que las dosis mayores a 40 Mg ha⁻¹ de composta incrementan la porosidad y la conductividad hidráulica, reducen la densidad aparente y la resistencia a la penetración en la capa superficial (-10 cm). El tamaño y estabilidad de agregados se reducen conforme al incremento en la dosis de composta, que se interpreta como una etapa intermedia, de rápido proceso de agregación-desagregación-agregación. El aporte más de 40 Mg ha⁻¹ de la enmienda orgánica modificaron los niveles de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases, solamente se registraron ligeros incrementos en K, Ca, Mg, Fe y Zn, y no se observaron cambios en el pH.

Palabras clave: composta, fertilidad edáfica, propiedades físicas, propiedades químicas del suelo, Luvisoles crómicos.

Abstract

The aim of this research was to determine the changes in the physical and chemical properties due to the use of 0, 20, 40 and 60 Mg ha⁻¹ compost in a chromic slope Luvisol in humid tropical conditions. A completely randomized block experiment with four replicates was established. The results indicate that doses higher than 40 Mg ha⁻¹ of compost increase the porosity and hydraulic conductivity, reduce the bulk density and penetration resistance in the surface layer (-10 cm). The size and stability of the aggregates are reduced according to the increase in the compost dose, which is interpreted as an intermediate stage, of a rapid aggregation-disaggregation-aggregation process. The contribution over 40 Mg ha⁻¹ of the organic amendment modified levels of organic matter, cation exchange capacity and percent base saturation, only slight increases were observed in K, Ca, Mg, Fe and Zn, and no changes were observed in pH.

Keywords: compost, soil fertility, soil physical properties, soil chemical properties, chromic Luvisols.

* Recibido: abril de 2017
Aceptado: junio de 2017

Introducción

La calidad del suelo se define como la capacidad que tiene este recurso para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, mantener la productividad de las plantas y los animales, conservar o incrementar la calidad del agua y del aire, así como promover la salud vegetal y animal. Dicha calidad se percibe a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas en un ambiente determinado por el clima y los demás componentes del ecosistema (Doran, 2002). Más recientemente se han acuñado nuevas definiciones que integran además de las propiedades del suelo, la capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la contaminación ambiental (Benintende *et al.*, 2012). Según Hengl *et al.* (2017) el desconocimiento sobre el manejo del suelo conduce a prácticas inadecuadas que derivan en la pérdida de propiedades físicas, nutrientes, y en general de la fertilidad edáfica.

Particularmente, la agricultura de ladera requiere atención, sobre todo debido a que el manejo inadecuado acelera la degradación por erosión hídrica (Camas *et al.*, 2012). El ambiente tropical se suma como otro factor a considerar en el manejo del suelo, ya que bajo dicha condición, la fertilidad edáfica se reduce en el corto plazo, ya que los almacenes de materia orgánica (MO) son pequeños y se reciclan rápidamente (Yoneyama *et al.*, 2015). Por lo tanto, la combinación de este ambiente y el relieve de ladera en la agricultura, requieren de buenas prácticas de conservación. Una de ellas es el aporte de residuos orgánicos, ya que esta práctica de conservación permite la restitución de la MO que se pierde por la erosión, además de que se mejora la estructura y el drenaje interno del suelo (Six *et al.*, 2004).

El incremento de la materia orgánica del suelo (MOS) también reduce el escurrimiento superficial y mejora la infiltración, condición que se ve reflejada en una disminución de la densidad aparente (ρ_b), así como incrementos de la porosidad total (PT) y estabilidad de los agregados del suelo (EAS) (Jordan *et al.*, 2010). El mejoramiento de las propiedades físicas antes mencionadas es importante, ya que son una entidad funcional de la estructura del suelo que permite entre otros beneficios, la emergencia de las plantas, así como el incremento del rendimiento de cultivo (Josa *et al.*, 2010).

Introduction

Soil quality is defined as the ability of this resource to function within the limits of a natural or managed ecosystem, to maintain the productivity of plants and animals, to conserve or increase water and air quality, and to promote plant and animal health. Such quality is perceived through physical, chemical and biological properties in an environment determined by the climate and other components of the ecosystem (Doran, 2002). New definitions have emerged more recently that also comprise soil properties, the ability to be sustainable, produce healthy food and mitigate environmental pollution (Benintende *et al.*, 2012). According to Hengl *et al.* (2017) ignorance about soil management leads to inadequate practices that result in the loss of physical properties, nutrients, and in general of soil fertility.

In particular, hillside farming requires attention, especially because improper handling accelerates degradation by water erosion (Camas *et al.*, 2012). The tropical environment is added as another factor to consider in soil management, since under this condition, soil fertility is reduced in the short term, because the organic matter stores (MO) are small and are recycled quickly (Yoneyama *et al.*, 2015). Therefore, the combination of this environment and hillside relief in agriculture, require good conservation practices. One of these is the contribution of organic waste, as this conservation practice allows the return of MO that is lost by erosion, as well as the improvement of structure and internal soil drainage (Six *et al.*, 2004).

Increased soil organic matter (MOS) also reduces runoff and improves infiltration, which is a condition reflected in a decrease of bulk density (ρ_b), it also increments the total porosity (PT) and stability of soil aggregates (EAS) (Jordan *et al.*, 2010). Improving the physical properties mentioned above is important, because they are a functional entity of the soil structure which allows among other benefits, the emergence of plants and the increase of crop yield (Josa *et al.*, 2010).

The use of organic amendments to the soil would affect the activity of soil microorganisms, which are responsible of important processes such as mineralization and microbial immobilization, through which N, P and other nutrients are released (Orozco *et al.*, 2016). According to Bourg and

El uso de enmiendas orgánicas en el suelo repercuten en la actividad de los microorganismos del suelo, los cuales son responsables de procesos importantes como la mineralización e inmovilización microbiana, a través de los cuales se libera N, P y otras formas de nutrientes (Orozco *et al.*, 2016). De acuerdo con Bourg y Sposito (2011), la fuente de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es la MOS y las arcillas, por lo tanto su conservación o incremento a través de aportes de enmiendas orgánicas, puede afectar positivamente esta propiedad fisicoquímica. El pH es otra propiedad que se ve modificada por los aportes de MO, debido a que la descomposición de dichas enmiendas producen ácidos orgánicos e inorgánicos que afectan dicha propiedad química (Pérez-Esteban, 2014).

A pesar de que los efectos benéficos del uso de enmiendas orgánicas se han documentado ampliamente, el efecto del abonamiento orgánico no se puede generalizar, ya que la respuesta y durabilidad de los cambios que ocurren dependen de las características edáficas (Yanardag *et al.*, 2017), sobre todo en el ambiente tropical, donde la diversidad de suelos es muy vasta y los procesos edáficos son muy variables. Por tal motivo, el objetivo de la investigación fue evaluar el impacto del abonamiento orgánico sobre el mejoramiento de la fertilidad química y física en un suelo Luvisol de ladera de uso agrícola, en la zona serrana del municipio de Macuspana, Tabasco.

Materiales y métodos

Caracterización del sitio experimental. El experimento se estableció en el ejido Melchor Ocampo segunda sección del municipio de Macuspana, Tabasco, localizado en las coordenadas 17°34'41.372" latitud norte; 92°27'16.553" longitud oeste (Figura 1).

El predio experimental se ubica en un terreno de ladera cuya pendiente es de 5-10%, a una altitud registrada de 280 m. El clima predominante corresponde a un Am (f) w, definido como tropical cálido húmedo, con lluvia abundantes en verano y con una estación seca y corta en primavera y verano (García, 1973). La precipitación y la temperatura media anual es de 3 186 mm y 23.6 °C respectivamente. La vegetación en el sitio son pastizales nativos (*Cynodon plectostachyus*, *Paspalum virgatum*), maíz (*Zea mays*) y algunas plantas de árboles y arbustos propios de acahuales bajos.

Sposito (2011), the source of the cation exchange capacity (CIC) of the soil is the MOS and the clays, so its conservation or increase through contributions of organic amendments, can positively affect this property physicochemical property. The pH is another property that is modified by the contributions of MO, because the decomposition of these amendments produce organic and inorganic acids that would affect that chemical property (Pérez-Esteban, 2014).

Although the beneficial effects of organic amendments use have been extensively documented, the effect of organic composting can not be generalized, since the response and durability of changes that occur depend on soil characteristics (Yanardag *et al.*, 2017), especially in the tropical environment, where the soil diversity is very wide and the soil processes are very variable. For this reason, the objective of the research was to evaluate the impact of organic fertilization on the improvement of chemical and physical fertility in a Luvisol slope soil for agricultural use in the mountainous area of the municipality of Macuspana, Tabasco.

Materials and methods

Characterization of the experimental site. The experiment was established in the ejido Melchor Ocampo second section of the municipality of Macuspana, Tabasco, located at the coordinates 17° 34' 41.372" north latitude; 92° 27' 16.553" west longitude (Figure 1).

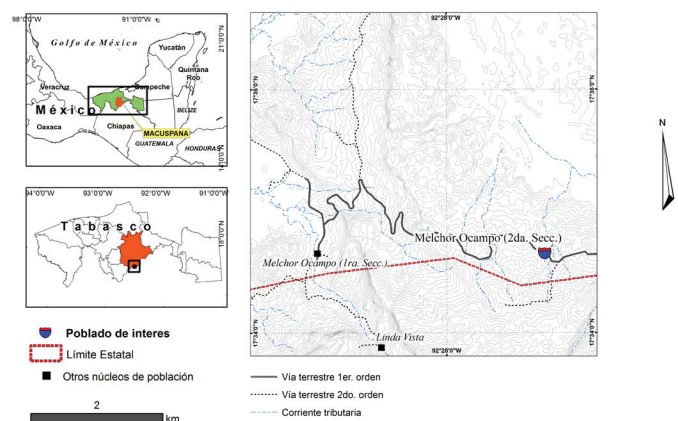


Figura 1. Localización del área de estudio en la comunidad de Melchor Ocampo segunda sección del municipio de Macuspana Tabasco, México.

Figure 1. Location of the research area in the community of Melchor Ocampo, second section of the municipality of Macuspana Tabasco, Mexico.

Con base en los criterios de la WRB versión 2014 (WRB, 2015) el suelo se clasificó como Chromic Luvisols (cr LV) o Luvisol crómico debido a la presencia de un horizonte diagnóstico árgico a una profundidad de -100 cm. El primer horizonte tuvo una profundidad de 22 cm, el cual registró una CIC de $39.79 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ considerada como un nivel alto. Los niveles de P y K de 5.57 mg kg^{-1} y de $0.38 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ se ubican en un nivel bajo. El Ca y Mg fueron cationes que se encontraron en concentraciones altas, con valores de 10.3 y $10.5 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ respectivamente.

Tratamientos. Como fuente de MO se aplicó una composta, la cual registró un pH de 6.82, CE de 3.9 dS m^{-1} , 41.5% de MO que equivale a un contenido de carbono orgánico (CO) de 24.1%, contenidos nutrimentales de 0.73, 0.09, 0.64% de N, P y K respectivamente, así como 2.14, 2.57, $1.07 \text{ Cmol}^{+} \text{ kg}^{-1}$, de Ca Mg y Na respectivamente, la relación C/N fue de 33. Dicha composta se elaboró a partir de recortes de jardinería, los cuales fueron sometidos a un proceso de compostaje en pilas de 113 días, tiempo en el cual el material alcanzó una temperatura estable entre $25\text{-}45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (entre temperatura ambiente y rango termofílico).

El suministro de humedad y los volteos aeróbicos se realizaron conforme se requirieron en el proceso, para mantener la humedad a 60% y $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. De acuerdo con Gallardo (2016) una composta que proviene de este tipo de materiales, presentan contenidos bajos de N, por tener mayor riqueza de compuestos lignocelulósicos, situación favorable ya que permite mantener una relación C/N por arriba de 16, lo que contribuye a su mejor conservación en el suelo, al reducirse los niveles de mineralización rápida. La composta se incorporó a través de una labranza manual realizada con pala y azadón a 30 cm de profundidad, cuidando que el suelo quedara mullido para facilitar la incorporación y mezcla del suelo con el material orgánico.

Se evaluaron cuatro dosis de composta (0, 20, 40, 60 Mg ha^{-1}) a través de un experimento diseñado en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, donde cada unidad experimental consistió en una parcela de $5 \times 5 \text{ m}$. Después de un periodo de 11 meses después del aporte de la composta, se colectaron muestras compuestas (a partir de 10 submuestras) a una profundidad de 0-30 cm.

Indicadores de fertilidad/métodos analíticos. Se determinaron los contenidos de MO por oxidación húmeda (Walkley y Black, 1932), pH por el método del potenciómetro (Jackson,

The experimental plot is located on a hillside whose slope is 5-10%, at an altitude of 280 m. The predominant climate corresponds to an Am (f) w, defined as warm humid tropical, with abundant rainfall in summer and with a dry and short season in spring and summer (García, 1973). Precipitation and annual average temperature is 3 186 mm and $23.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively. The vegetation on the site are native grasslands (*Cynodon plectostachyus*, *Paspalum virgatum*) maize (*Zea mays*) and some trees and shrubs from short acahuales.

Based on the criteria of the WRB version 2014 (WRB, 2015) the soil was classified as Chromic Luvisols (cr LV) due to the presence of an argic diagnostic horizon at a depth of -100 cm. The first horizon was at a depth of 22 cm, which recorded a CIC of $39.79 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ considered as a high level. P and K levels of 5.57 mg kg^{-1} and $0.38 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ are located at a low level. Ca and Mg cations were found in high concentrations, with values of 10.3 and $10.5 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ respectively.

Treatments. As a MO source a compost was applied, which showed a pH of 6.82, CE of 3.9 dS m^{-1} , 41.5% of MO equivalent to organic carbon content (CO) of 24.1%, nutritional contents of 0.73, 0.09, 0.64% of N, P and K respectively, and 2.14, 2.57, $1.07 \text{ Cmol}^{+} \text{ kg}^{-1}$, of Ca Mg and Na respectively, the C/N ratio was 33. This compost was produced from gardening waste, which were subjected to a composting process in cells of 113 days, at which time the material reached a stable temperature of $25\text{-}45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (between ambient temperature and thermophilic range).

The moisture supply and aerobic turns were performed as required in the process to maintain humidity at 60% and $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively. According to Gallardo (2016) a compost that comes from this type of materials, show low N contents, because it has a higher richness of lignocellulosic compounds, which is a favorable situation since it allows to maintain a C/N ratio above 16, which contributes to the better conservation of the soil, when reducing levels of fast mineralization. Compost was incorporated through a hand tillage made with a hoe and a shovel at 30 cm deep, taking care that the soil is softened to facilitate the incorporation and mixing of the soil with the organic material.

Four doses of compost (0, 20, 40, 60 Mg ha^{-1}) were evaluated through an experiment designed in a randomized complete block with four replications, where each experimental unit consisted of a plot of $5 \times 5 \text{ m}$. 11 months after the addition of the compost, composite samples (from 10 subsamples) were collected at a depth of 0-30 cm.

1964), CE por conductimetría (Rhoades, 1993), CIC y PSB por extracción en acetato de amonio (Reeve y Sumner, 1971), N-total por el método de Kjeldahl (Bremmer, 1965), fósforo (P) por el método de Olsen (Olsen y Sommers, 1982), micronutrientes (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}) por espectrofotometría de absorción atómica (Baker y Shur, 1982). Asimismo se determinaron propiedades físicas como la ρ_b por el método del doble cilindro (Blake y Hartage, 1986), la ρ_r por el método del Pícnometro (Kunze y Dixon, 1986), la textura por el hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962), la conductividad hidráulica (Ks) por el permeámetro de carga constante (Loveday, 1974), la resistencia mecánica a la penetración (RMP) mediante penetrometría de punta cónica (Dexter *et al.*, 2007), y distribución de tamaños de agregados (DTA) por el método de tamizado en seco (Chepil, 1953). La porosidad total, se calculó mediante la ecuación 1 propuesta por Skopp (2000).

$$PT = \left[1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_r} \right) \right] * 100 \quad 1)$$

Donde: ρ_b = densidad aparente; ρ_r = densidad real.

La distribución de tamaño de agregados se determinó por el método de tamizado en seco (Chepil, 1953), a partir de esta se calculó el diámetro medio ponderado (DMP), mediante la ecuación 2 según Eynard *et al.* (2004).

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{STW} \quad 2)$$

Donde: DMP = diámetro medio ponderado de los agregados tamizados en seco (mm); X_i = diámetro medio de la fracción de cada tamiz (mm); W_i = peso total de la muestra correspondiente a cada tamaño fracción; STW = peso total de la muestra.

La estabilidad de agregados se obtuvo mediante el método de Yoder, modificado por Kemper y Rosenau (1986); a través de la ecuación 3.

$$EAH = \left[\frac{M_{a+s} - M_s}{M_t - M_s} \right] * 100 \quad 3)$$

Donde: EAH = agregados estables en agua; M_{a+s} = masa de agregados resistentes en agua más la arena (g); M_s = masa de la fracción de arena sola (g); M_t = masa total del suelo tamizado (g).

Fertility indicators/analytical methods. The contents of MO were determined by wet oxidation (Walkley and Black, 1932), pH by potentiometer method (Jackson, 1964), CE by conductmetry (Rhoades, 1993), CIC and PSB by ammonium acetate extraction (Reeve y Sumner, 1971), N-total by the Kjeldahl method (Bremmer, 1965), phosphorus (P) by the Olsen method (Olsen and Sommers, 1982), micronutrients (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}) by atomic absorption spectrophotometry (Baker and Shur, 1982). Also, physical properties such as ρ_b were determined by the double cylinder method (Blake and Hartage, 1986), the ρ_r by the pycnometer method (Kunze and Dixon, 1986) texture by Bouyoucos hydrometer (Bouyoucos, 1962), the hydraulic conductivity (Ks) by the constant head permeameter (Loveday, 1974), mechanical resistance penetration (RMP) by cone penetrometer test (Dexter *et al.*, 2007), and size distribution of aggregates (DTA) by the dry sieving method (Chepil, 1953). The total porosity was calculated by equation 1 proposed by Skopp (2000).

$$PT = \left[1 - \left(\frac{\rho_b}{\rho_r} \right) \right] * 100 \quad 1)$$

Where: ρ_b = bulk density; ρ_r = actual density.

The size distribution of aggregates was determined by dry sieving method (Chepil, 1953), from this the mean weight diameter (DMP) was calculated using equation 2 as Eynard *et al.* (2004).

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{STW} \quad 2)$$

Where: DMP = weighted average diameter of dry sieved aggregates (mm); X_i = mean diameter of the fraction of each sieve (mm); W_i = total weight of the sample corresponding to each fraction size; STW = total weight of the sample.

The stability of aggregates was obtained by the Yoder method, modified by Kemper and Rosenau (1986); through equation 3.

$$EAH = \left[\frac{M_{a+s} - M_s}{M_t - M_s} \right] * 100 \quad 3)$$

Where: EAH = water stable aggregates; M_{a+s} = mass of resistant aggregates in water plus sand (g); M_s = mass of the single sand fraction (g); m_t = total mass of sieved soil (g).

Procesamiento estadístico. La información obtenida fue procesada a través de análisis de varianza (Andeva), análisis de correlación, y pruebas de comparación de medias de Tukey, mediante el paquete estadístico SAS para Windows versión 6.12

Statistical processing. The information obtained was processed through analysis of variance (Andeva), correlation analysis, and Tukey's mean comparison tests, using the statistical package SAS for Windows version 6.12

Resultados y discusión

Cambios en la fertilidad física. Los resultados indican que el aporte de composta al suelo, en dosis mayores a 40 Mg ha⁻¹, provocó cambios en todas las propiedades físicas evaluadas (Cuadro 1).

Results and discussion

Changes in physical fertility. The results indicate that the addition of the compost soil, in doses greater than 40 Mg ha⁻¹, caused changes in all physical properties evaluated (Table 1).

Cuadro 1. Cambios en las propiedades físicas del suelo debido al aporte de composta.
Table 1. Changes in the soil physical properties due to the addition of compost.

Tratamiento (Mg ha ⁻¹)	ρ_b (Mg m ⁻³)	ρ_r (Mg m ⁻³)	Porosidad total (%)	DMP (mm)	K _s (cm h ⁻¹)	EAH (%)
0	1 ± 0.2 a	2.6 ± 0.15 a	61.1 ± 8 b	7 ± 0.7 a	3.5 ± 0.1 d	95.7 ± 2.3 a
20	0.9 ± 0.1 ab	2.5 ± 0.21 a	63.9 ± 6 ab	6.5 ± 0.6 ab	5 ± 0.1 c	87.9 ± 1.7 ab
40	1 ± 0.2 ab	2.4 ± 0.01 a	60.7 ± 8 b	6.2 ± 1.2 ab	8 ± 0.3 a	87.5 ± 2.1 ab
60	0.9 ± 0.1 b	2.6 ± 0.14 a	67.1 ± 5 a	5.8 ± 0.5 b	7.5 ± 0.1 b	79.8 ± 13.5 b
Media	0.9 ± 0.15	2.53 ± 0.13	62.8 ± 7	6.4 ± 0.7	3 ± 0.1	87.7 ± 4.9
CV (%)	10.29	6.08	7.4	10.83	0.05	7.7

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con un valor de probabilidad ≤ 0.05 determinado por pruebas de comparación de medias de Tukey.

Se observa que la ρ_b disminuyó al incrementar la dosis de composta; sin embargo solo la dosis de 60 Mg ha⁻¹ registró diferencias estadísticas significativas. La ρ_b pasó de 1 Mg m⁻³ en el tratamiento control, a 0.9 Mg m⁻³ al aportar 60 Mg ha⁻¹ de composta. De acuerdo con Paredes *et al.* (2010), la ρ_b es una propiedad física que requiere un abonamiento mayor a 40 Mg ha⁻¹ de composta para poder ser modificada. Sin embargo esta disminución trae consigo otros beneficios como la reducción de la compactación, así como incrementos de la macroporosidad, tamaño de los agregados, PT, la K_s así como la permeabilidad de aire. Verhulst *et al.* (2010) indican que el abonamiento orgánico al suelo, incrementa el tamaño de los agregados, aunque el tamaño y estabilidad de los agregados depende de la cantidad y estabilidad de las fuentes orgánicas que se utilicen.

Así por ejemplo, mientras mayor sea el contenido de carbono orgánico soluble (COS) lábil, el tamaño de los agregados es mayor (Lutzow *et al.*, 2007), mientras que los agregados más pequeños podrían estar asociados a la

It is observed that ρ_b decreased when increasing the dose of compost, however, only the dose of 60 Mg ha⁻¹ showed statistically significant differences. The ρ_b went from 1 Mg m⁻³ in the control treatment, to 0.9 Mg m⁻³ when adding 60 Mg ha⁻¹ compost. According to Paredes *et al.* (2010), the ρ_b is a physical property that requires adding more than 40 Mg ha⁻¹ compost in order to be able to be modified. However this decrease brings other benefits such as reduced compaction and increases the macroporosity, the aggregate size, PT, K_s and air permeability. Verhulst *et al.* (2010) indicate that organic fertilization to the soil increases the size of the aggregates, although the size and stability of the aggregates depends on the amount and stability of the organic sources used.

For example, the higher the content of labile soluble organic carbon (SOC), the aggregate's size is greater (Lutzow *et al.*, 2007), while smaller aggregates may be associated with the most humified fraction with periods of residence in the soil greater than seven years. Therefore microaggregates are considered as carbon storages (C) more stable on the soil (Six

fracción más humificada con períodos de residencia en el suelo mayor a siete años. por esta razón los microagregados son considerados como los almacenes de carbono (C) más estables en el suelo (Six *et al.*, 2004). Los resultados de esta investigación (Cuadro 5), indican que los incrementos de la dosis de composta produjeron agregados más pequeños y menos estables. El análisis de la distribución de tamaños de agregados indica que el diámetro de los agregados en el tratamiento de 60 Mg ha⁻¹ fue de 5.76 mm, tamaño menor a los registrados en el suelo control (0 Mg ha⁻¹) que fue 6.97 mm.

Este comportamiento en el tamaño de los agregados puede ser un reflejo de que la composta es una fuente de MO más lábil, con respecto a la MO más estable que se encuentra de manera natural en el suelo control tal a como lo refiere Gallardo (2016). El modelo conceptual propuesto por Six *et al.* (2004), señala que la MO fresca que se suministra al suelo a través de una enmienda orgánica, se incorpora a los macroagregados y constituye la materia orgánica particulada intra-agregados (MOP_i) gruesa, la cual al degradarse se fragmenta en MOP_i fina dentro de los agregados, esta MOP_i constituye los núcleos de nuevos microagregados que son protegidos físicamente de la descomposición, por lo que el contenido de C y la actividad microbiana se reducen y la producción de los agentes enlazantes disminuye (Six *et al.*, 2004).

La reducción en la actividad microbiana provoca la desestabilización y desagregación potencial de los macroagregados; tras la desagregación, los microagregados, la fracción mineral y la MOP son liberados. Posteriormente esas fracciones pueden ser reincorporadas dentro de nuevos macroagregados cuando se añaden residuos orgánicos frescos. Algunos macroagregados pueden seguir la misma secuencia bajo condiciones de labranza convencional, sin embargo la mayoría de ellos son perturbados y su ciclo de duración se acorta por un ciclaje de MO más rápido, lo que provoca una menor proporción de macroagregados enriquecidos con MOP_i en comparación con los que se pueden formar bajo labranza de conservación (Six *et al.*, 2004).

Se pudo observar que la modificación en el grado de estabilidad y tamaño de los agregados, tuvo efecto sobre la conductividad hidráulica (K_s). Como se puede observar en el Cuadro 1, al reducirse el DMP de los agregados la K_s aumenta, lo que queda de manifiesto con el nivel de correlación registrada entre ambas variables (R=-0.58; p≤ 0.02). De acuerdo con Ben-Hur *et al.* (2009), el incremento

et al., 2004). The results of this research (Table 5) indicate that compound dose increases produced smaller and less stable aggregates. The analysis of aggregate size distribution indicates that the diameter of the aggregates in the treatment of 60 Mg ha⁻¹ was 5.76 mm, being smaller than those recorded in the control soil (0 Mg ha⁻¹) which was 6.97 mm.

This behavior in the aggregate size may be a reflection of the fact that the compost is a more labile source of MO, with respect to the more stable MO that is found naturally in the control soil as described by Gallardo (2016). The conceptual model proposed by Six *et al.* (2004) indicates that the fresh MO supplied to the soil through an organic amendment, joins the macroaggregates and constitutes the thick intra-aggregate particulate organic matter (MOP_i) which degrades into thin MOP_i fragments within the aggregates, this MOP_i is the nuclei of new microaggregates physically protected from decomposition, so that the C content and microbial activity is reduced and the production of the binding agents decreases (Six *et al.*, 2004).

The reduction in microbial activity leads to destabilization and potential disaggregation of macroaggregates; after disaggregation, microaggregates, mineral fraction and MOP are released. Subsequently, these fractions can be reincorporated into new macroaggregates when fresh organic wastes are added. Some macroaggregates may follow the same sequence under conventional tillage, however most of them are disturbed and its life cycle is shortened by a faster MO cycling, causing a smaller proportion of macroaggregates enriched with MOP_i, compared to those that can be formed under conservation tillage (Six *et al.*, 2004).

It was observed that the change in the stability degree and aggregate size, had no effect on the hydraulic conductivity (K_s). As shown in Table 1, by reducing the DMP of the aggregates the K_s increases, which is demonstrated by the correlation level recorded between the two variables (R=-0.58; p≤ 0.02). According to Ben-Hur *et al.* (2009), the increase in the number and size of soil aggregates influences the water flows within the profile, since if the number of smaller aggregates (<1 mm) increases, K_s is considerably reduced. The results shown in Table 1 reinforce the above, since higher K_s were observed in treatments with higher doses of compost, where the aggregates were smaller. Similar to the results of this research were reported by Slawinski *et al.* (2011), who indicated that the K_s was greater in soils where <0.25 mm aggregates dominated, compared to soils with larger aggregates because the aggregates

en el número y tamaño de los agregados del suelo tiene influencia en los flujos hídricos dentro del perfil, ya que si se incrementa el número de agregados más pequeños (<1 mm), la K_s se reduce considerablemente. Los resultados que se presentan en el Cuadro 1 refuerzan lo señalado anteriormente, ya que las mayores K_s se observaron en los tratamientos con mayores dosis de composta, donde los agregados fueron más pequeños. Resultados similares a los de esta investigación fueron reportados por Slawinski *et al.* (2011), quienes indicaron que la K_s fue mayor en suelos donde dominaron los agregados <0.25 mm, con respecto a suelos con fracciones de tamaños de agregados más grandes, debido a que la fracción de agregados <0.25 mm y 0.25-0.5 mm permiten que el flujo de transporte de agua ocurra entre los agregados, mientras que en fracciones mayores a esos tamaños, el transporte se lleva a cabo dentro de los agregados.

La porosidad total (PT) fue otra variable física que fue modificada debido al aumento en la dosis de composta, aunque solo en el tratamiento de 60 Mg ha⁻¹ se registró diferencia estadística (Cuadro 1). Según Curaqueo *et al.* (2010), la estructura del suelo involucra la forma, grado y tamaño de los agregados, en consecuencia esta propiedad regula la porosidad, y por lo tanto, la retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire, así como el crecimiento de las raíces de los cultivos. La capacidad de retención de agua en el suelo depende del número de poros, de la distribución de tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (Malamoud *et al.*, 2009). Por lo tanto, la MOS generalmente tiene un efecto positivo sobre la capacidad de retención de agua (Thierfelder y Wall, 2009), aunque el efecto sinérgico de la MOS sobre ésta y otras propiedades no es totalmente claro (Malamoud *et al.*, 2009).

Se observó que la dosis de 60 Mg ha⁻¹ de composta redujo significativamente la resistencia a la penetración (RP), particularmente más observable en la profundidad de -10 cm, mientras que en la profundidad de 20-30 cm, solo con la dosis de 40 Mg ha⁻¹ de composta se observó una reducción de la compactación (Figura 2). Este efecto podría explicarse ya que la MOS aumenta la macroporosidad interagregados y en consecuencia permite el reacomodo de los agregados al momento de que el suelo es penetrado por el instrumento de medición.

La compactación del suelo ocurre debido a una reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo, esta condición afecta a propiedades del suelo que

fraction <0.25 mm and 0.25-0.5 mm allow the transport of water to occur among aggregates, whereas in fractions greater than those sizes, transport is carried out within the aggregates.

The total porosity (PT) was another physical variable that changed due to the increase in the dose of compost, but only in the treatment of 60 Mg ha⁻¹ statistical difference was found (Table 1). According to Curaqueo *et al.* (2010), the soil structure involves the shape, degree and size of the aggregates, consequently this property regulates the porosity, and therefore, the retention and availability of water, in addition to its capacity to contain air, as well as the growth of crop roots. The water retention capacity in the soil depends on the number of pores, the pore size distribution and specific surface area of each floor (Malamoud *et al.*, 2009). Therefore, the MOS generally has a positive effect on the ability to retain water (Thierfelder and Wall, 2009), although the synergistic effect of MOS on these and other properties is not entirely clear (Malamoud *et al.*, 2009).

It was observed that the dose of 60 Mg ha⁻¹ of compost significantly reduced penetration resistance (RP), it was particularly more observable at -10 cm depth, while the depth of 20-30 cm, only with the dose of 40 Mg ha⁻¹ of compost a compaction reduction was observed (Figure 2) was observed. This effect could be explained since the MOS increases the interaggregated macroporosity and consequently allows the rearrangement of the aggregates when the soil is penetrated by the measuring instrument.

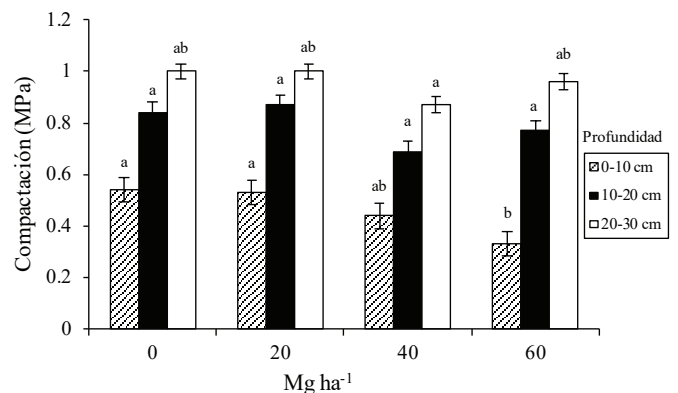


Figura 2. Niveles de resistencia mecánica a la penetración a tres profundidades en un Luvisol crómico tratado con diferentes dosis de composta.

Figure 2. Levels of mechanical resistance to penetration at three depths in a chromic Luvisol treated with different doses of compost.

se asocian directamente con el desarrollo de las plantas y las labores agrícolas, particularmente la ρ_b (Dexter *et al.*, 2007). La RP depende de la resistencia a la deformación del suelo, compresibilidad y fricción suelo-metal, relación C/N, grupo de suelo, así como de las condiciones ambientales de humedad y temperatura, y se puede inferir de manera indirecta a través propiedades fáciles de medir como la ρ_b , contenido de agua, MOS y cantidad de agentes cementantes (Dexter *et al.*, 2007). Según Chen *et al.* (2012) la resistencia a la penetración aumenta con la disminución de agua en el suelo, y disminuye con un incremento en la ρ_b . Algunas prácticas que pueden reducir la RP es la labranza en profundidad, así como la incorporación de MO. Por lo tanto el aporte de abonos orgánicos tiene efectos favorables sobre esta propiedad (Reichert *et al.*, 2009).

Cambios en la fertilidad química

La MO aumentó al incrementar los niveles de composta; sin embargo, sólo con dosis mayores de 40 Mg ha⁻¹ se detectaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cambios en las propiedades químicas del suelo debido al aporte de composta.
Table 2. Changes in the chemical properties of the soil due to the addition of compost.

Tratamiento (Mg ha ⁻¹)	MO (%)	pH 1:2 (suelo:agua)	CE (dS m ⁻¹)	CIC (cmol ⁺ kg ⁻¹)	PSB (%)
0	6.92 ± 3.1 b	5.57 ± 0.3 a	1.01 ± 0.26 b	40.8 ± 3.4 ab	55 ± 7.2 b
20	8.15 ± 2.5 b	5.54 ± 0.2 a	1.26 ± 0.28 ab	39.6 ± 2.3 b	54.8 ± 2.1 b
40	10.52 ± 3.6 a	5.84 ± 0.2 a	1.43 ± 0.28 a	38.2 ± 2.9 b	74.3 ± 8.4 a
60	11.42 ± 3.7 a	5.86 ± 0.1 a	1.24 ± 0.26 ab	44.8 ± 2.1 a	72.5 ± 4.8 a
Media	9.3 ± 3.2	5.7 ± 0.2	1.2 ± 0.27	40.9 ± 2.7	64.1 ± 5.6
CV (%)	9.84	3.33	18.78	7.5	4.95

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con un valor de probabilidad ≤ 0.05 determinado por pruebas de comparación de media de Tukey.

La MO en el tratamiento control es de 6.92% considerado alto. A partir de ese nivel, todos los tratamientos que recibieron las enmiendas orgánicas, incrementaron sus contenidos de MO. Un cálculo basado en la ρ_b y el contenido de MO de cada tratamiento a una profundidad de 30 cm, da como resultado una cantidad de 206, 225, 303 y 295 Mg de MO ha⁻¹ para los aportes de 0, 20, 40 y 60 Mg ha⁻¹ de composta respectivamente. Es decir, que para el caso del tratamiento de 20 Mg ha⁻¹ de composta, la ganancia de MO en el suelo fue de 19 Mg de MO ha⁻¹ con respecto al contenido inicial, dicho contenido de MO es casi igual a la cantidad aportada, por lo que esta dosis se puede considerar como de mantenimiento para recuperar los contenidos que se transfieren dentro del ciclo de la MO.

Soil compaction occurs due to a reduction of pore space caused by a load applied to the soil surface, this condition affects soil properties that are directly associated with the development of plants and agricultural work, particularly the ρ_b (Dexter *et al.*, 2007). The RP depends on the resistance to soil deformation, compressibility and soil-metal friction, C/N ratio, soil group, as well as environmental conditions of humidity and temperature, and can be inferred indirectly through easy to measure properties as ρ_b , water content, MOS and quantity of cementitious agents (Dexter *et al.*, 2007). According to Chen *et al.* (2012) the penetration resistance increases with decreasing soil water, and decreases with an increase in ρ_b . Some practices that may reduce RP are depth tillage as well as incorporation of MO. Therefore the contribution of organic fertilizers has favorable effects on this property (Reichert *et al.*, 2009).

Changes in chemical fertility

MO increased when levels of compost increased, however, only with doses higher than 40 Mg ha⁻¹ statistically significant differences (Table 2) were observed.

The MO in the control treatment is 6.92% of MO considered as high. From that level, all the treatments that received the organic amendments, increased their MO contents. A calculation based on the ρ_b and MO content of each treatment at a depth of 30 cm, resulted in an amount of 206, 225, 303 and 295 Mg of MO ha⁻¹ for inputs of 0, 20, 40 and 60 Mg ha⁻¹ of compost respectively. That is, for the case of treatment of 20 Mg ha⁻¹ of compost, MO gain in the soil was 19 Mg of MO ha⁻¹ compared to the initial content, the content of MO is almost equal to the amount provided, so that this dose can be considered as maintenance to recover the contents that are transferred within the MO cycle.

Sin embargo, los aportes de 40 y 60 Mg ha⁻¹ de composta registraron ganancias de 97 y 89 Mg de MO ha⁻¹ que equivalen a 47 y 43% con respecto al contenido de MO inicial. De acuerdo con Liu *et al.* (2010), el incremento de MO en suelos enmendados con abonos orgánicos, obedece a un aumento en la biomasa microbiana, además hay un aumento en la productividad de biomasa y por lo tanto hay mayor cantidad de residuos particularmente de raíces que son reingresados al suelo, así como exudados que se suman a las reservas de MO edáfica, sin dejar de considerar que una fracción de la MO proveniente de abonos orgánicos suministrados no se mineralizan y por lo tanto se acumula en el suelo.

Se observó una correlación estrecha entre la MO con las propiedades físicas, así como con contenidos de nutrientes, la CIC y el pH. Respecto a esta última, Pérez-Esteban *et al.* (2014), señalaron que la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, durante el proceso de humificación de la MO, provocan un descenso del pH; sin embargo, si durante el proceso de humificación existe abundancia de grupos funcionales OH⁻ fenólicos y OH⁻ alcohólicos que son fuente de sitios cargados negativamente a pH > 7, el pH del suelo tiende a mantenerse o a incrementarse después del aporte de un abono orgánico (Pérez-Esteban *et al.*, 2014). En el presente estudio, el aporte de la composta no tuvo efectos sobre la variable pH. Es probable que esta falta de cambio, haya obedecido al efecto tampón que ejerce la MO sobre cambios drásticos en el suelo.

Weaver *et al.* (2004) estimaron el grado tampón de un suelo frente a cambios de pH, se determinó que en suelos con bajo nivel de CO, las variaciones de CO generan grandes cambios en la capacidad tampón. Sin embargo, en suelos con alto contenido de CO, las variaciones de este sólo genera cambios marginales de la capacidad tampón. Lo que confirma que debido a la riqueza de la MO que el suelo ya presentaba, un aumento debido al aporte de la composta, sólo pudo provocar un cambio rápido y temporal sobre la variable pH. Como se observa, el aporte de la composta incrementó la CE en rangos de 1.24-1.43 dS m⁻¹. Este se debe a que durante la mineralización de la MO se producen grupos activos que pueden modificar el medio.

El nivel de CE de 3.9 dS m⁻¹ que presentó la composta representa la principal fuente de salinidad, ya que este nivel corresponde al límite máximo permisible en un abono orgánico. Por lo anterior, con ese nivel de CE es importante vigilar el efecto de la composta sobre el suelo. La CIC es una variable sensible a los aportes de MO debido a que la principal fuente de esta propiedad es la superficie específica de la MOS y de las arcillas. Sin embargo, en esta investigación

However, the additions of 40 and 60 Mg ha⁻¹ of compost recorded gains of 97 and 89 Mg of MO ha⁻¹ equivalent to 47 and 43% compared to the initial content of MO. According to Liu *et al.* (2010), the increase of MO in soils amended with organic fertilizers, is due to an increase in the microbial biomass, in addition to an increase in the biomass productivity and therefore there is a greater amount of residues particularly of roots that are reused in the soil, as well as exudates that add to the reserves of edaphic MO, while considering that a fraction of the MO from the organic fertilizer supplied does not mineralize and therefore it gets accumulated in the soil.

A close correlation was observed between MO with physical properties, as well as with nutrient contents, CIC and pH. Regarding to the latter, Pérez-Esteban *et al.* (2014), indicated that the formation of low molecular weight organic acids, during the humification process of MO, causes a decrease in pH; however, if during humification there is an abundance of functional groups OH⁻ phenolics and OH⁻ alcoholics which are a source of negatively charged sites at pH > 7, the pH of the soil tends to remain or increase after the addition of an organic fertilizer (Pérez-Esteban *et al.*, 2014). In this research, the addition of the compost had no effect on the pH variable. It is probable that this lack of change has been due to the buffer effect of MO on drastic soil changes.

Weaver *et al.* (2004) estimated the buffer grade of a soil against pH changes, it was determined that in soils with low CO level, the variations of this CO would generate large changes in buffer capacity. However, in soils with a high content of CO, its variations only generates marginal changes of the buffer capacity. This confirms that due to the richness of MO that the soil already had, an increase due to the contribution of the compost, could only cause a rapid and temporary change over the pH variable. As can be seen, the contribution of the compost increased CE in ranges between 1.24-1.43 dS m⁻¹. This effect is due to the fact that during the mineralization of the MO there are active groups that can modify the medium.

CE level of 3.9 dS m⁻¹ found in the compost represents the main source of salinity, as this level corresponds to the maximum permissible limit in an organic fertilizer. Therefore, with this level of CE, it is important to monitor the effect of the compost on the soil. The CIC is a variable that is sensitive to the contributions of MO because the main source of this property is the specific surface of the

sólo la dosis de 60 Mg ha⁻¹ registró diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2). Esto sugiere que en suelos con altos contenidos de MO y arcillas como el involucrado en este estudio, los cambios en la CIC provocados por el aporte de composta no se expresan de manera drástica ni prolongada.

Se pudo observar que con altas dosis de composta, es posible mejorar el PSB del suelo, llevándolo de un nivel de ~55% de las dosis bajas (0, 20 Mg ha⁻¹), hasta ~73% de las dosis altas (40, 60 Mg ha⁻¹), lo que se puede considerar como beneficioso, ya que el porcentaje de saturación de bases (PSB) proporciona información útil de la acidez, la disponibilidad de nutrientes y de la fertilidad del suelo en general, además de que permite determinar la capacidad del suelo para actuar como amortiguador frente a la acumulación de ácido y el potencial de lixiviación de minerales. El PSB representa el porcentaje de los sitios de intercambio en el suelo, que están ocupados por los iones básicos Ca, Mg, Na y K.

La diferencia entre ese número y 100 es el porcentaje de los sitios de intercambio ocupados por los cationes ácidos H y Al. En la mayoría de las situaciones, una saturación con bases relativamente alta (>60%) es deseable. En cuanto al contenido nutrimental del suelo después del abonamiento orgánico, no se observaron diferencias estadísticas en el caso del P, aunque se observó una tendencia a incrementarse conforme se aumentó la dosis de la composta, particularmente a partir de la dosis de 40 Mg ha⁻¹. Se pudo precisar que los aportes de la composta generan una tendencia a mejorar los contenidos de K; permitiendo llevar un contenido bajo de 0.38 Cmol⁺ kg⁻¹, hasta 0.41 Cmol⁺ kg⁻¹ hacia el final del experimento. Una situación similar se observó en el caso del Ca y el Mg (Cuadro 3).

MOS and the clays. However, in this research only the dose of 60 Mg ha⁻¹ showed statistically significant differences (Table 2). This suggests that in soils with high MO and clay contents as the one involved in this study, changes in CIC caused by composting are not expressed drastically or prolonged.

It was observed that with high doses of compost is possible to improve the soil's PSB, bringing it from a ~55% level of low doses (0, 20 Mg ha⁻¹), to ~73% of the high dose (40 60 Mg ha⁻¹), which can be considered as beneficial, since the percentage of base saturation (PSB) provides useful information about acidity, nutrient availability and soil fertility in general, plus it allows to determine the capacity of the soil to act as a buffer against acid accumulation and mineral leaching potential. The PSB represents the percentage of the exchange sites in the soil, which are occupied by the basic ions Ca, Mg, Na and K.

The difference between that number and 100 is the percentage of exchange sites occupied by H and Al acid cations. In most situations, relatively high base saturation (> 60%) is desirable. As the nutrient content of the soil after the organic fertilizing, no statistical differences in the case of P were observed, although a tendency to increase as the dose of compost was increased was observed, particularly from 40mg ha⁻¹. It was possible to indicate that the contributions of the compost generate a tendency to improve the contents of K; allowing carry a low content of 0.38 kg Cmol⁺ kg⁻¹ up to 0.41 kg Cmol⁺ kg⁻¹ at the end of the experiment. A similar situation was observed in the case of Ca and Mg (Table 3).

Cuadro 3. Cambios en los contenidos nutrimentales del suelo debido al aporte de composta.

Table 3. Changes in nutrient contents of the soil due to the addition of compost.

Tratamiento (Mg ha ⁻¹)	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Mn	Zn
	(cmol ⁺ kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)		
0	0.3 ± 0.15 b	16.1 ± 3.1 c	5 ± 0.2 b	5.6 ± 0.8 a	59.6 ± 10.9 b	2.7 ± 0.6 a	31.6 ± 1.3 a	1.6 ± 0.4 b
20	0.4 ± 0.1 ab	16.3 ± 0.9 c	6.7 ± 0.4 a	5.5 ± 0.5 a	71.7 ± 6 a	3 ± 0.4 a	29.9 ± 0.7 a	2.1 ± 0.6 ab
40	0.6 ± 0.15 a	20.7 ± 3.4 b	7 ± 0.6 a	6.4 ± 1.1 a	70.3 ± 3.9 ab	3 ± 0.6 a	26.1 ± 10.3 a	3 ± 0.9 a
60	0.4 ± 0.01 ab	25 ± 2.7 a	7.1 ± 0.8 a	6.9 ± 1.5 a	73.4 ± 6.1 a	3.3 ± 0.6 a	27.2 ± 4.4 a	2.4 ± 0.7 ab
Media	0.4 ± 0.1	19.5 ± 2.5	6.3 ± 0.5	6.1 ± 1	68.7 ± 6.7	3 ± 0.6	28.7 ± 4.2	2.3 ± 0.7
CV (%)	27.9	9.57	11.92	15.71	10.15	19.2	19.6	27.55

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales con un valor de probabilidad ≤ 0.05 determinado por pruebas de comparación de media de Tukey.

Se observaron niveles más elevados de estos elementos, en las dosis altas (40 y 60 Mg ha⁻¹) con respecto a las dosis bajas (0 y 20 Mg ha⁻¹). El valor más bajo se registro en tratamiento de 20 Mg ha⁻¹. En el caso de los microelementos Fe y Zn, se observó que el incremento en la dosis de composta aumentó la concentración de estos elementos. En tanto que el Cu y Mn, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas.

Conclusiones

Los aportes de más de 40 Mg ha⁻¹ de composta a un suelo Luvisol crómico de ladera provocaron una disminución en el tamaño (DMP) y estabilidad de agregados en húmedo (EAH), que se interpreta como la formación y destrucción de macroagregados que corresponde a la etapa intermedia de un rápido proceso de agregación-desagregación-agregación. Dichos macroagregados tendieron a estabilizarse conforme se agota la MO fresca recién aportada. Las modificaciones en la estructura del suelo provocaron un incremento en la conductividad hidráulica (K_s) y una reducción en la resistencia a la penetración (compactación), particularmente en la capa superficial (-10 cm). Se observaron aumentos de MO, CIC y PSB en suelos tratados con más de 40 Mg ha⁻¹. La CE de 3.9 dS m⁻¹ de la composta ocasionó un ligero incremento en la salinidad del suelo. Se observó que el aporte de composta mejoró los contenidos de K, Ca, Mg, Fe y Zn, mientras que en P, Cu y Mn fueron muy ligeros. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el pH.

Literatura citada

- Baker, D. L. and Shur, N. H. 1982. Atomic absorption and flame emission spectrometry. *In: methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Page, A. L. (Ed.). Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI. 13-27 pp.
- Ben, H. M.; Yolcu, G.; Uysal, H.; Lado, M. and Paz, A. 2009. Soil structure changes: aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline conditions. *Austr. J. Soil Res.* 47:688-696.
- Benintende, S.; Benintende, M.; David, D.; Sterren, M. y Saluzzio, M. 2012. Caracterización de indicadores biológicos y bioquímicos en alfisoles, molisoles y vertisoles de entre ríos. *CI. Suelo.* 30: 23-29.
- Blake, G. R. and Hartage, K. H. 1986. 1986. Bulk density. *In: methods of soil analysis.* Klute, A. (Ed.). Part I. 2nd. Ed. ASA, SSSA. Madison, Wisconsin USA. 363-375 pp.

Higher levels of these elements were observed, at high doses (40 and 60 Mg ha⁻¹) compared to low doses (0 and 20 Mg ha⁻¹). The lowest value was recorded in treatment of 20 Mg ha⁻¹. In the case of Fe and Zn microelements, it was observed that increasing the dose of compost increased the concentration of these elements. As for Cu and Mn, no statistically significant differences were observed.

Conclusions

Contributions over 40 Mg ha⁻¹ of compost to a slope chromic Luvisol soil caused a decrease in the size (DMP) and wet aggregate stability (EAH), which is interpreted as the formation and destruction of macroaggregates corresponding to the intermediate stage of a rapid process of aggregation-disaggregation-aggregation. Those macroaggregates tended to stabilize as the newly introduced fresh MO is depleted. Changes in soil structure caused an increase in hydraulic conductivity (K_s) and a reduction in the penetration resistance (compaction), particularly in the surface layer (-10 cm). MO, CIC and PSB increases were observed in soils treated with more than 40 Mg ha⁻¹. CE of 3.9 dS m⁻¹ of compost caused a slight increase in soil salinity. It was observed that the contribution of compost improved the contents of K, Ca, Mg, Fe and Zn, while in P, Cu and Mn they were very light. No statistically significant differences were observed in pH.

End of the English version



- Bourg, I. C. and Sposito, G. 2011. Molecular dynamics simulations of the electrical double layer on smectite surfaces contacting concentrated mixed electrolyte (NaCl-CaCl₂) solutions. *J. Colloid Interface Sci.* 360(2):701-715.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54(5):464-465.
- Bremmer, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. *In: methods of soil analysis.* Black, C. A. (Ed.). Am. Soc. Agron. Madison, WI USA. 1179-1273 pp.
- Camas, G. R.; Turrent, F. A.; Cortes, F. J. I.; Livera, M. M.; González, E. A.; Villar, S. B.; López, M. J.; Espinoza, P. N. y Cadena, I. P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3:231-243.
- Chen, X. W.; Zhang, X. P.; Liang, A. Z.; Jia, S. X.; Shi, X. H.; Fan, R. Q. and Wei, S. C. 2012. Effects of tillage mode on black soil's penetration resistance and bulk density. *J. Appl. Ecol.* 23:439-444.

- Chepil, W. S. 1953. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: II. Water-stable structure. *Soil Sci.* 76:389-399.
- Curaqueo, G.; Acevedo, E.; Cornejo, P.; Seguel, A.; Rubio, R. and Borie, F. 2010. Tillage effect on soil organic matter, mycorrhizal hyphae and aggregates in a mediterranean agroecosystem. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 10:12-21.
- Dexter, A. R.; Czyz, E. A. and Gate, O. P. 2007. A method for prediction of soil penetration. *Soil Tillage.* 93:412-419.
- Doran, J. W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosys. Environ.* 88(2):119-127.
- Eynard, A.; Schumacher, T. E.; Lindstrom, M. J. and Maio, D. D. 2004. Porosity and pore-size distribution in cultivated ustolls and usterts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1927-1934.
- Gallardo, L. J. F. 2016. Materia orgánica del suelo. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. Sociedad Iberoamericana de física y química ambiental. Salamanca, España. 387 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köeppen para adaptarlas a la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 71 p.
- Hengl, T.; Heuvelink, G. B. M.; Kempen, B.; Leenaars, J. G. B.; Walsh, M. G.; Shepherd, K. D.; Sila, A.; MacMillan, R. A.; Mendes de Jesus, J.; Tamene, L. and Tondoh, J. E. 2017. mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: random forests significantly improve current predictions. *PLoS ONE.* 10(6): e0125814. doi:10.1371/journal.pone.0125814.
- Jackson, M. L. 1958. Soil chemical analysis: prentice-hall, englewood cliffs. New Jersey USA. 907 p.
- Jordan, A.; Zavala, L. M. and Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena.* 81(1):77-85.
- Josa, R.; Ginovart, M. and Sole, A. 2010. Effect of two tillage techniques on soil macroporosity in sub-humid environment. *Inter. Agrophysics.* 24:139-148.
- Kemper, W. and Rosenau, C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In: methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Klute A. (Ed.). Agronomy 9. 2nd (Ed.). American Society of Agronomy. Madison Wisconsin, USA. 425-442 pp.
- Kunze, G. W. and Dixon, J. 1986. Physical and mineralogical methods. *In: method of soil analysis. Part I. A. Klute (Ed.). 2nd Ed.* American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. USA. 33- 460 pp.
- Liu, E.; Yan, C.; Mei, X.; He, W.; Bing, S. H.; Ding, L.; Liu, Q.; Liu, S. and Fan, T. 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma.* 158(3):173-180.
- Loveday, J. 1974. Methods for analysis of irrigated soils. Technical Communication, Commonwealth Bureau of Soils. UK. 208 p.
- Lutzow, M. V.; Kogel, K. I.; Ekschmitt, K.; Flessa, H.; Guggenberger, G.; Matzner, E. and Marschner, B. 2007. Review: SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biol. Bio.* 39: 2183-2207.
- Malamoud, K.; McBratney, A. B.; Minasny, B. and Field, D. J. 2009. Modelling how carbon affects soil structure. *Geoderma.* 149:19-26
- Olsen, S. R. and Sommers, L. E. 1982. *In: methods of soil analysis. Part 2 chemical and microbiological properties.* Page, A. L; Miller, R. H; Keeney, D. R. (Eds.) 2nd (Ed.). American Society of Agronomy, Inc. SSSA, USA. 416-418 pp.
- Orozco, C. A. L.; Valverde, F. M. I.; Martínez, T. R.; Chávez, B. C. y Benavides, H. R. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con manzano biofertilizado. *Terra Latinoam.* 34:441-456.
- Paredes, V. H.; Gómez, C. A.; Galvis, Q. J. H. y León, S. L. A. 2010. Cambios en las propiedades físicas de un Inceptisol por la adición de substrato degradado con el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Acta Agron.* 59:73-79.
- Pérez, E. J.; Escolástico, C.; Masaguer, A.; Vargas, C. and Moliner, A. 2014. Soluble organic carbon and pH of organic amendments affect metal mobility and chemical speciation in mine soils. *Chemosphere.* 103:164-171.
- Reeve, N. G. and Sumner, M. E. 1971. Cation exchange capacity and exchangeable aluminum in Natal Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35(1):38-42.
- Reichert, J. M.; Sanches, S. L. E. A.; Reinert, D. J.; Horn, R. and Hakansson, I. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Res.* 102:242-254.
- Rhoades, J. D. 1993. Electrical conductivity methods for measuring technique for reconnaissance surveys of soil salinity hazards. Aust. and mapping soil salinity. *Adv. Agron.* 49:201-251.
- Six, J.; Bossuyt, H.; Degryze, S. and Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, Review. *Soil Tillage Res.* 79:7-31.
- Skopp, J. M. 2000. Physical properties of primary particles. *In: handbook of soil science.* Sumner, M. E. (Ed). CRC Press, Boca Raton, FL. A1-A17 pp.
- Slawinski, C.; Witkowska, W. B.; Lipiec, J. and Nosalewicz, A. 2011. Effect of aggregate size on water movement in soils. *Int. Agrophys.* 25:53-58
- Thierfelder, C. and Wall, P. C. 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil Tillage Res.* 105:217-227.
- Verhulst, N.; Govaerts, B.; Verachtert, E.; Castellanos, N. A.; Mezzalama, M.; Wall, P.; Deckers, J. and Sayre, K. D. 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? *In: advances in soil science: food security and soil quality.* Lal, R. and Stewart, B. A. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 137-208 pp.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1932. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *J. Amer. Soc. Agron.* 24:256-275.
- Weaver, A. R.; Kissel, D. E.; Chen, F.; West, L. T.; Adkins, W.; Rickman, D. and Luvall, J. C. 2004. Mapping soil pH buffering capacity of selected fields in the coastal plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68(2):662-668.
- WRB. 2015. IUSS Working group. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. FAO, Roma. 106 p.
- Yanardağ, I. H.; Zornoza, R.; Bastida, F.; Büyükkılıç, Y. A.; García, C.; Faz, A. and Mermut, A. R. 2017. Native soil organic matter conditions the response of microbial communities to organic inputs with different stability. *Geoderma.* 295:1-9.
- Yoneyama, T.; Ohkura, T. and Matsumoto, N. 2015. Ecosystem fertility: a new paradigm for nutrient availability to plants in the humid tropics. *Soil Science and Plant Nutrition.* 61(4):698-703.