

Compost made with green waste as an urban soil improver

Composta elaborada con residuos verdes como mejorador de un suelo urbano

Anabel Cantero-Flores¹; Rogelio Bailón-Morales²; Ramón Villanueva-Arce¹; Ma. del Carmen Calixto-Mosqueda¹; Fabián Robles-Martínez^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Departamento de Bioprocesos. Av. Acueducto s/n, Col. Laguna Ticomán, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C. P. 07340, MÉXICO. froblesm@ipn.mx (*Corresponding author)

²Instituto Politécnico Nacional, Planta de composta. Col. La Escalera, Delegación Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C. P. 07320, MÉXICO.

Abstract

Compost application is a common practice in agricultural soils, usually with manure or excreta. Its use provides organic matter and nutrients, and improves the aeration, moisture retention and physicochemical composition of the soil. The aim of this study was to evaluate in a non-natural soil the effect of adding compost, produced with green waste, in terms of its organic matter content and water holding capacity. The compost used was made at the National Polytechnic Institute (IPN) Compost Plant. The soil, obtained from green areas at IPN's Professional Interdisciplinary Biotechnology Unit, is mainly composed of natural soil, gravel and sand. Six treatments were used: three with soil mixed with compost, one with soil with chemical fertilizer and two controls (negative: 100 % soil; positive: 100 % compost). The parameters analyzed in the soil were: organic matter content (OM), moisture content (M), field capacity (FC), pore space (PS %), water holding capacity (WHC) and permanent wilting point (PWP) in corn and bean plants. In all treatments with compost, a significant increase in OM, PS %, M %, FC, PWP and WHC was observed, with the treatment with 20 % compost being the one that presented the best results. It was concluded that adding compost produced with green waste increased OM content and helped to improve some soil characteristics.

Keywords:

green areas, composting, field capacity, *Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L.

Resumen

La aplicación de composta es una práctica habitual en suelos agrícolas, destacando el uso de estiércol o excretas. Su empleo aporta materia orgánica, nutrientes y mejora la aireación, la retención de humedad y la composición fisicoquímica del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar en un suelo no natural el efecto de la adición de composta, producida con residuos verdes, en cuanto a su contenido de materia orgánica y su capacidad de retención de agua. La composta utilizada se elaboró en la Planta de Composta del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El suelo empleado se obtuvo de las áreas verdes de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del IPN, el cual está compuesto principalmente por suelo natural, cascajo y arena. Se emplearon seis tratamientos: tres de suelo mezclado con composta, uno de suelo con fertilizante químico y dos testigos (negativo: 100 % suelo, positivo: 100 % composta). Los parámetros analizados en el suelo fueron: contenido de materia orgánica (MO), contenido de humedad (H), capacidad de campo (CC), espacio poroso (% EP), capacidad de retención de agua (CRA) y punto de marchitez permanente (PMP) en plantas de maíz y frijol. En todos los tratamientos con composta, se observó incremento importante de MO, % EP, % H, CC, PMP y CRA, siendo el tratamiento con 20 % de composta el que presentó mejores resultados. Se pudo concluir que la adición de composta producida con residuos verdes incrementó el contenido de MO y ayudó a mejorar algunas características del suelo.

Palabras clave:

áreas verdes, compostaje, capacidad de campo, *Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L.



Introduction

Composting is the natural process of aerobic decomposition of fermentable organic matter by the action of microorganisms that carry out reactions of mineralization and partial humification of organic substances (Trejo-Vázquez, 1994). In Mexico City (CDMX), where 20.4 % of the urban soil is covered by green areas (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2003), green waste (solid organic waste from tree pruning and lawn mowing) is commonly used in compost production for its high production and easy handling and collection (INE, 2007a).

Applying compost as a soil improver is a common practice in the agricultural and livestock sectors (Bernal, Albuquerque, & Moral, 2009; Larney & Hao, 2007), where its large-scale production is based on composting farm animal manure or excreta. It is widely held that the main contributions of compost to the soil are organic matter and nutrients. Moreover, it improves soil aeration, moisture retention, structure (prevents erosion), and physicochemical composition, as well as the development of beneficial microorganisms, and absorption of solar rays; it can also increase the soil temperature in the cold season and reduce or eliminate the need for chemical fertilizers (Bernal et al., 2009; Larney & Hao, 2007).

There are multiple studies on the effect of using improvers and compost on agricultural soils. Evanylo et al. (2008) applied poultry waste directly to farmland and observed improvements in bulk density and porosity of soils, as well as a decrease in N and P losses due to leaching during runoff. Chang, Chung, and Tsai (2007) used compost for three years on 24 crops, under greenhouse conditions and under subtropical conditions, and showed that its use provided the soil with a greater amount of total nitrogen (TN) and organic matter (OM) than fertilizers. On the other hand, Widman-Aguayo, Herrera-Rodríguez, and Cabañas-Vargas (2005) noted that urban solid waste (USW) compost can be used to improve the characteristics of poor agricultural soils. It has been observed that composted garden waste eliminates some diseases caused by *Rhizoctonia* (Kuter, Hoitink, & Chen, 1988).

Environmental standard NADF-006-RNAT-2012 (Gobierno del Distrito Federal, 2013) defines Mexico City's green areas as "any surface covered with vegetation, natural or induced ..." It also states that these areas contribute in a fundamental way to improve the quality of life of the inhabitants and are indispensable for reducing heat islands, capturing pollutants and suspended particles, producing oxygen, stopping soil erosion, increasing humidity, decreasing noise levels and capturing rainwater, as well as being places of refuge and food for various forms of life.

Introducción

El compostaje es el proceso natural de descomposición aerobia de materia orgánica fermentable mediante la acción de microorganismos que llevan a cabo reacciones de mineralización y humificación parcial de sustancias orgánicas (Trejo-Vázquez, 1994). En la Ciudad de México (CDMX), donde 20.4 % del suelo urbano está cubierto por áreas verdes (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2003), los residuos verdes (desechos sólidos orgánicos provenientes de la poda de árboles y corte de césped) comúnmente se utilizan en la producción de composta por su elevada producción y fácil manejo y recolección (INE, 2007a).

La aplicación de composta como mejorador de suelo es una práctica común en los sectores agrícola y ganadero (Bernal, Albuquerque, & Moral, 2009; Larney & Hao, 2007), donde su producción a gran escala se basa en el composteo de estiércol o excretas de animales de granja. Se considera que los principales aportes de la composta al suelo son materia orgánica y nutrientes; además, mejora la aireación, retención de humedad, estructura (previene la erosión), composición fisicoquímica del suelo, desarrollo de microorganismos benéficos, absorción de rayos solares, aumento de la temperatura del suelo en temporada de frío y puede reducir o eliminar la necesidad de fertilizantes químicos (Bernal et al., 2009; Larney & Hao, 2007).

Existen múltiples trabajos sobre el efecto del uso de mejoradores y de composta en suelos agrícolas. Evanylo et al. (2008) aplicaron gallinaza directamente a tierras de cultivo y observaron mejoras en la densidad aparente y en la porosidad de los suelos, además de una disminución en la pérdida de N y P por lixiviación durante la escorrentía. Chang, Chung, y Tsai (2007) emplearon composta durante tres años en 24 cultivos, en invernadero y bajo condiciones subtropicales, y demostraron que su uso proporcionó al suelo una cantidad mayor de nitrógeno total (NT) y materia orgánica (MO) en comparación con fertilizantes. Por su parte, Widman-Aguayo, Herrera-Rodríguez, y Cabañas-Vargas (2005) señalaron que la composta de residuos sólidos urbanos (RSU) puede emplearse como mejorador de las características de suelos agrícolas pobres. Se ha observado que la composta de residuos de jardinería elimina algunas enfermedades provocadas por *Rhizoctonia* (Kuter, Hoitink, & Chen, 1988).

La norma ambiental NADF-006-RNAT-2012 (Gobierno del Distrito Federal, 2013) define las áreas verdes de la CDMX como "Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida que se localice en la Ciudad de México"; asimismo, señala que dichas áreas contribuyen de manera fundamental a mejorar la calidad de vida de los habitantes y son indispensables para disminuir las islas de calor, capturar contaminantes

Green areas are also related to public health and recreation, they enhance the urban image and they generate positive effects on mental health, so it is of great interest for the city government to protect and promote them.

In spite of the above, some green areas of Mexico City have been established in land with soil altered with construction or other residues. Although there is an inventory of these areas in Mexico City, it only indicates the area that they cover and their quality or conditions are unknown.

Soils must be able to absorb, retain and supply water to the plants they sustain. Today, much of the soil in Mexico City's urban area is unable to fully carry out these functions, due to the variety of materials that are used to fill planters, parks and other green areas. On the other hand, changing plants based on the season (every three to four months) is an increasingly recurrent practice in the city. All of the above actions can cause nutrient deficiency and reduced water holding capacity (WHC, due to the content of sands and coarse materials), among other effects.

The work undertaken by the Mexico City government to mitigate the problems mentioned consists of applying compost made mainly with green waste. Environmental standard NADF-020-AMBT-2011 (Gobierno del Distrito Federal, 2012) establishes three types of compost based on the quality and uses that can be ascribed to it. Type A is used as a substrate in nurseries and as a soil substitute for pots, B is used in organic farming and reforestation and C is applied in landscape, urban green areas and reforestation.

The aim of this study was to evaluate the effect of adding compost, produced with green waste, to a non-natural soil, in terms of its organic matter content and water holding capacity. This was done in order to demonstrate that this type of compost can be an effective alternative to improve the quality of altered soils. To evaluate its effect, beans and maize were used as representative plants of two fast-growing plant species. Thus, indirectly, the results of this study can indicate whether the application of compost to filled and altered soils can improve soil conditions to favor the growth of ornamental plants, used in urban areas for revitalization purposes.

Materials and methods

Compost production

The compost used was made at the National Polytechnic Institute (IPN) Compost Plant from green waste. The raw materials used were: 6,000 kg of grass, 1,133 kg

y partículas suspendidas, producir oxígeno, frenar la erosión del suelo, incrementar la humedad, disminuir los niveles de ruido, captar agua pluvial y constituyen sitios de refugio y alimentación para diversas formas de vida. Las áreas verdes se relacionan con la salud pública, la recreación, el realce de la imagen urbana y generan efectos positivos en la salud mental, por lo que es de gran interés para el gobierno de la ciudad su protección y promoción.

Pese a lo anterior, algunas áreas verdes de la CDMX se han establecido en terrenos con suelo alterado con residuos de construcción o de otro tipo. Aunque existe un inventario de estas áreas en la CDMX, éste solo indica la superficie que abarcan y se desconoce su calidad o condiciones en las que se encuentran.

Los suelos deben ser capaces de absorber, retener y suministrar agua a las plantas que sustentan. En la actualidad, gran parte del suelo de la zona urbana de la CDMX presenta problemas para llevar a cabo estas funciones, debido a la variedad de materiales que se emplean para rellenar jardineras, parques y otras áreas verdes. Por otro lado, cambiar las plantas según la temporada (cada tres a cuatro meses) es una práctica cada vez más recurrente en la CDMX. Todas las acciones anteriores pueden provocar déficit de nutrientes, disminución de la capacidad de retención de agua (CRA, debido al contenido de arenas y materiales gruesos), entre otros.

Las labores que el gobierno de la CDMX ha llevado a cabo para atenuar los problemas antes mencionados es la aplicación de composta elaborada principalmente con residuos verdes. La norma ambiental NADF-020-AMBT-2011 (Gobierno del Distrito Federal, 2012) establece tres tipos de composta en función de la calidad y usos que se le pueden dar. El tipo A se usa como sustrato en viveros y sustituto de tierra para macetas, el B se emplea en agricultura ecológica y reforestación y el C se aplica en paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar en un suelo no natural el efecto de la adición de composta, producida con residuos verdes, en cuanto a su contenido de materia orgánica y su capacidad de retención de agua. Lo anterior con la finalidad de demostrar que la composta puede ser una alternativa efectiva para mejorar la calidad de los suelos alterados. Para evaluar su efecto se empleó frijol y maíz como plantas representantes de dos especies vegetales de crecimiento rápido. Así, de forma indirecta, los resultados del presente estudio nos pueden indicar si la aplicación de composta a suelos de relleno y alterados pueden mejorar las condiciones del suelo para favorecer el crecimiento de plantas de ornato, empleadas en las áreas urbanas con fines de revitalización.

of leaf, 1,866 kg of mulch and 3,200 kg of mature compost (inoculum). Two intercalated layers of each material were placed to form the pile of material to be composted. The approximate initial volume of the compost was 35 m³ (11 x 1.6 x 2 m). The pile was manually turned over for three months (13 turns); later, the maturation period was two months, giving a total of five months. During the process the temperature (T), pH and moisture (M) were monitored.

Table 1 shows the values of the physicochemical parameters, both of the compost and soil used. To determine the quality of the compost, some of its values were compared with those indicated in specialized bibliography and in current regulations (NADF-020-AMBT-2011 [Gobierno del Distrito Federal, 2012] and NTEA-006-SMA-RS-2006 [Gobierno del Estado de México, 2006]).

Characteristics of the compost used

According to NADF-020-AMBT-2011 (Gobierno del Distrito Federal, 2012), IPN compost can be considered as type B and C for pH (8.076 ± 0.1), type C for the OM percentage (25.117 ± 0.42) and type A in relation to C/N (15.42 ± 0.21) and T ($\leq 10^\circ \text{C}$), while for NTEA-006-SMA-RS-2006 (Gobierno del Estado de México, 2006), the values are within the established limits, with the exception of the C/N ratio that presents high values, giving a moderately alkaline end product. Navarro (2002) recommends a C/N ratio lower than 12. Bernal et al. (2009) mention that, like manure, grass residues have a high N concentration, giving a very low C/N ratio and, in some cases, great alkalinity.

Materiales y métodos

Producción de composta

La composta utilizada se elaboró en la Planta de Composta del Instituto Politécnico Nacional (IPN) a partir de residuos verdes. Las materias primas utilizadas fueron: 6,000 kg de pasto, 1,133 kg de hoja, 1,866 kg de madera triturada (mulch) y 3,200 kg de composta madura (inóculo). Se colocaron dos capas intercaladas de cada material para formar la pila del material a compostear. El volumen inicial aproximado de la composta fue de 35 m³ (11 x 1.6 x 2 m). Dicha pila se volteó manualmente durante tres meses (13 volteos); posteriormente, el periodo de maduración fue de dos meses, dando un total de cinco meses. Durante el proceso se monitoreó la temperatura (T), el pH y la humedad (H).

En el Cuadro 1 se presentan los valores de los parámetros fisicoquímicos, tanto de la composta como del suelo empleado. Para determinar la calidad de la composta se compararon algunos de los valores de ésta con los indicados en bibliografía especializada y en la normatividad vigente (NADF-020-AMBT-2011 [Gobierno del Distrito Federal, 2012] y NTEA-006-SMA-RS-2006 [Gobierno del Estado de México, 2006]).

Características de la composta utilizada

De acuerdo con lo indicado por la NADF-020-AMBT-2011 (Gobierno del Distrito Federal, 2012), la composta del IPN puede considerarse del tipo B y C para pH (8.076 ± 0.1), tipo C en cuanto al porcentaje de MO (25.117 ± 0.42) y tipo A en relación C/N (15.42 ± 0.21) y T

Table 1. Physico-chemical parameter values of compost and soil.

Cuadro 1. Valores de parámetros físico-químicos de composta y suelo.

Parameter / Parámetro	Compost / Composta	Soil / Suelo
pH	8.076 ± 0.1	8.035 ± 0.075
OM* (%) / MO* (%)	25.117 ± 0.42	0.135 ± 0.001
TN / NT	0.95 ± 0.006	0.088 ± 0.005
Organic carbon (%) / C orgánico (%)	14.57 ± 0.016	0.078 ± 0.001
C/N Ratio / Relación C/N	15.42 ± 0.21	-
T (°C final)	≤ 10	-
Bd (g·cm ⁻³) / Da (g·cm ⁻³)	0.46 ± 0.02	1.31 ± 0.005
Pd (g·cm ⁻³) / Dp (g·cm ⁻³)	0.91	2.00
PS (%) / EP (%)	50.7 ± 0.075	34.4 ± 0.26
M (%) / H (%)	5.06 ± 0.102	2.51 ± 0.14
FC (%) / CC (%)	-	31.3 ± 0.13
PWP (%) / PMP (%)	-	2.18 ± 0.24

*OM = organic matter, TN = total nitrogen, C = carbon, C/N = carbon/nitrogen ratio, T = temperature, Bd = bulk density, Pd = particle density, PS = porous space, M = moisture, FC = field capacity and PWP = permanent wilting point.

*MO = materia orgánica, NT = nitrógeno total, C = carbono, C/N = relación carbono/nitrógeno, T = temperatura, Da = densidad aparente, Dp = densidad de partícula, EP = espacio poroso, H = humedad, CC = capacidad de campo y PMP = punto de marchitez permanente.

Obtaining of the soil used

The soil used was obtained from the green areas at IPN's Professional Interdisciplinary Biotechnology Unit ((UPIBI-IPN), and is mainly composed of the natural soil of the area, gravel and sand. The soil of this land was chosen because it presents conditions similar to those of many green areas in Mexico City. To prepare the treatments, the soil was conditioned by removing large-sized stones and material, and it was aerated and exposed to the sun in order to eliminate larvae and insects.

Characteristics of the soil used

Based on NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), the soil used is classified as moderately alkaline, non-volcanic, with very low OM content and low TN content, clayey loam texture (predominantly clay) and bulk density (Bd) of $1.312 \pm 0.005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. The M % presented by the soil was 2.51 ± 0.14 , a value related to its low OM content, which indicates that it requires the addition of more water, to the level that it can withstand, to meet the requirements of the plants.

Experimental design

Six treatments were used: three of them were mixtures of soil and compost in different proportions (w/w: 10, 20 and 30 % for T1, T2 and T3 respectively); soil with chemical fertilizer added (T4); 18-46-00 Triple; a negative control with 100 % soil (T0) and a positive control with 100 % compost (T5). The proportions (soil-compost) used are common for greenhouse planting and the fertilizer rate was as indicated on the safety sheets of the product used. Subsequently, maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) were sown in each treatment. For each treatment and species, seven replicates were prepared. The plants were left to develop until reaching permanent wilting. Additionally, in the same period of time, samples of the different treatments were taken for analysis.

Sampling

Compost samples were obtained by taking subsamples from the pile, at equidistant points, horizontally and vertically, taking care that all heights and depths had the same distance. The subsamples were homogenized and the final sample (approximately 1 kg) was obtained with the quartering technique. For taking samples from the soil, soil-compost mixtures and the soil-fertilizer combination, the quartering technique was followed. Samples of the mixtures were obtained prior to sowing and after permanent wilting of the plants.

($\leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$); mientras que para la NTEA-006-SMA-RS-2006 (Gobierno del Estado de México, 2006), los valores están dentro de los límites establecidos, a excepción de la relación C/N que presenta valores elevados, dando un producto final medianamente alcalino. Navarro (2002) recomienda una relación C/N menor a 12. Bernal et al., (2009) mencionan, que al igual que el estiércol, los residuos de pasto poseen concentración alta de N, dando un relación C/N muy baja y, en algunos casos, de gran alcalinidad.

Obtención del suelo utilizado

El suelo empleado se obtuvo de las áreas verdes de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del IPN (UPIBI-IPN), el cual está compuesto, principalmente, por suelo natural de la zona, cascajo y arena. Se eligió el suelo de este terreno por presentar condiciones similares a las de muchas áreas verdes de la CDMX. Para la preparación de los tratamientos, el suelo se acondicionó eliminando piedras y material de gran tamaño, se aireó y se expuso al sol con el fin de eliminar larvas e insectos.

Características del suelo utilizado

Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2002), el suelo utilizado es clasificado como medianamente alcalino, no volcánico, con contenido muy bajo de MO y contenido bajo de NT, textura franco-arcillosa (predominantemente arcillosa) y densidad aparente (Da) de $1.312 \pm 0.005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. El % H presentado por el suelo fue de 2.51 ± 0.14 , valor relacionado con su contenido bajo de MO; lo cual indica que requiere la adición de más agua para satisfacer los requerimientos de las plantas que pueda soportar.

Diseño experimental

Se emplearon seis tratamientos: tres de ellos fueron mezclas de suelo y composta en diferentes proporciones (p/p: 10, 20 y 30 %, para T1, T2 y T3, respectivamente), suelo adicionado con fertilizante químico (T4): 18-46-00 Triple, un testigo negativo con 100 % suelo (T0) y un testigo positivo con 100 % composta (T5). Las proporciones (suelo-composta) usadas son las comunes para siembra en invernadero y la dosis de fertilizantes fue la señalada en las hojas de seguridad del producto empleado. Posteriormente, en cada tratamiento se sembró maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Por cada tratamiento y especie se prepararon siete repeticiones. Las plantas se dejaron desarrollar hasta su marchitez permanente. Adicionalmente, en el mismo periodo de tiempo, se tomaron muestras de los diferentes tratamientos para su análisis.

Laboratory analysis

The parameters pH, TN, OM (%), M (%) and Bd ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) were evaluated using the AS-02, AS-25, AS-07, AS-05 and AS-03 methods, respectively (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). The C/N ratio (obtained from the relationship between OM and TN contents) was determined using the method of Jackson (1970), field capacity (FC, %) and permanent wilting point (PWP, %) were obtained with the method recommended by Rodríguez-Fuentes and Rodríguez-Absi (2002) and particle density (Pd, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) was obtained with the procedure suggested by Rodríguez-Fuentes and Rodríguez-Absi (2002). Pore space (PS, %), which represents the portion of the soil occupied by air and water, was determined from the Bd and Pd data obtained (Equation 1).

$$\% PS = 100 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right) 100 \quad (1)$$

Determination of WHC

Soil water properties are an important component of soil characteristics. The capacity of a soil to supply water can be visually measured by the existence and productivity of the plant species it supports. Theoretically, the determination of WHC or useable water is the result of the difference between FC and temporary or permanent wilting point; obtaining it requires the application of models with physical bases that estimate the amount of water contained in a soil at its FC under natural conditions (Domingo-Santos, Fernández, Corral-Pazos, & Rapp-Arrarás, 2006). The calculation of field WHC uses FC, PWP and Bd data, and considers the percentage of rock fragments. This paper uses Equation 2, which represents the calculation method of the National Soil Survey Handbook (NSSH) and considers the percentage of rock fragments $(1-F) = 1$ (United States Department of Agriculture [USDA], 2010).

$$WHC = \left[\frac{W_{1/3} - W_{15}}{100} \right] 100ef \quad (2)$$

Where WHC is expressed in mm of water, $W_{1/3}$ is the weight percentage of water retained at 1/3-bar tension ($\text{g water}\cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil} < 2 \text{ mm}$), W_{15} is the weight percentage of water retained at 15-bar tension ($\text{g water}\cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ soil} < 2 \text{ mm}$), e is the thickness (cm), f is the rock fragment conversion factor derived from: volume moist $< 2 \text{ mm}$ fabric (cm^3) by volume moist whole soil (cm^3), a factor that applies to field measurements, if there were no coarse fragments: $(1-f) = 1 \text{ cm}$.

Results and discussion

Soil-compost and soil-fertilizer treatments

The physicochemical analyses show that before sowing the most alkaline pH corresponded to T4, while T1,

Muestreo

La obtención de muestras de composta se llevó a cabo tomando submuestras de la pila, en puntos equidistantes, horizontal y verticalmente, cuidando que todas las alturas y profundidades tuviesen la misma distancia. Las submuestras se homogenizaron y con la técnica de cuarteo se obtuvo la muestra final (aproximadamente 1 kg). Para la toma de muestras de suelo, de las mezclas suelo-composta y suelo-fertilizante, se llevó a cabo siguiendo la técnica del cuarteo. Las muestras de las mezclas se obtuvieron antes de la siembra y después de la marchitez permanente de las plantas.

Análisis de laboratorio

Los parámetros pH, NT, MO (%), H (%) y Da ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) se evaluaron con el método AS-02, AS-25, AS-07, AS-05 y AS-03, respectivamente (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). La relación C/N (obtenida a partir de la relación entre el contenido de MO y de NT) se determinó con el método de Jackson (1970), la capacidad de campo (CC, %) y el punto de marchitamiento permanente (PMP, %) con el método recomendado por Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2002) y la densidad de partícula (D_p , $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) se obtuvo con el procedimiento sugerido por Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2002). El espacio poroso (EP, %), que representa la porción del suelo ocupada por el aire y el agua, se determinó a partir de los datos obtenidos de la Da y D_p (Ecuación 1).

$$\% EP = 100 - \left(\frac{Da}{Dp} \right) 100 \quad (1)$$

Determinación de la CRA

Las propiedades hídricas del suelo son un componente importante de sus características edafológicas. La capacidad de un suelo para suministrar agua puede medirse, visualmente, por la existencia y productividad de especies vegetales que sustenta. Teóricamente, la determinación de la CRA o agua aprovechable es la resultante de la diferencia entre CC y punto de marchitez temporal o permanente, su obtención requiere de la aplicación de modelos con bases físicas que estimen la cantidad de agua contenida en un suelo a su CC bajo condiciones naturales (Domingo-Santos, Fernández, Corral-Pazos, & Rapp-Arrarás, 2006). El cálculo de la CRA en campo emplea datos de CC, PMP y Da, y considera el porcentaje de fragmentos rocosos. En este trabajo se utilizó la Ecuación 2, que representa la expresión de la *National Soil Survey Handbook* (NSSH) y considera el porcentaje de fragmentos rocosos $(1-F) = 1$ (United States Department of Agriculture [USDA], 2010).

$$CRA = \left[\frac{W_{1/3} - W_{15}}{100} \right] 100ef \quad (2)$$

T2 and T3 presented no effect with respect to T0. This contrasts with the findings reported by Casado-Vela et al. (2006), who obtained a decrease in pH as the composted sewage sludge dose increased. For their part, Chang et al. (2007) reported a decrease in pH when using compost compared to fertilizers. Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, and Ojeda-Barrios (2012) observed no differences in pH due to the addition of compost, vermicompost and fertilizers. Table 2 presents the data obtained for pH, OM, TN, C and C/N ratio, as well as their respective standard errors.

Generally, soil pH ranges from 4.5 to 9.0. Soils with pH > 7.5 may present phosphorus availability problems. However, a pH of 8.5 is used as the limit, since higher values could restrict some soil functions. It is known that OM can help buffer against pH changes (Chang et al., 2007), which could be observed in T1, T2 and T3 (Table 2). Fertilizers, mainly nitrogenous (like those used in this work) and ammoniacal ones, usually acidify the soil, which is beneficial in the preparation of the medium for the development of new seedlings (Seoáñez-Calvo, Bellas-Velasco, Ladreda-Sureda, & Seoáñez-Oliet, 2000), since at neutral pH most of

Donde la CRA se expresa en mm de agua, $W_{1/3}$ es el porcentaje en peso de agua retenida en 1/3 bares de tensión (g agua·100 g⁻¹ suelo < 2 mm), W_{15} es el porcentaje de peso de agua retenida a 15 bares de tensión (g agua·100 g⁻¹ suelo < 2mm), e es el espesor (cm), f es el factor de conversión fragmento de roca deriva de: volumen húmedo <2 mm de tejido (cm³) entre volumen húmedo de todo el suelo (cm³), factor que aplica a mediciones en campo, si no hubiera fragmentos gruesos: $(1-f) = 1$ cm.

Resultados y discusión

Tratamientos suelo-composta y suelo-fertilizantes

Los análisis fisicoquímicos muestran que antes de la siembra el pH más alcalino correspondió al T4; mientras que T1, T2 y T3 no presentaron efecto con respecto al T0. Lo anterior contrasta con lo reportado por Casado-Vela et al. (2006), quienes obtuvieron disminución del pH conforme aumentaba la dosis de composta (elaborada con lodos residuales). Por su parte, Chang et al. (2007) reportaron decremento del pH al utilizar composta en comparación con fertilizantes. Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez,

Table 2. Chemical parameter values of all treatments tested.

Cuadro 2. Valores de los parámetros químicos de todos los tratamientos ensayados.

Treatment/ Tratamiento		pH	OM* (%)/MO* (%)	TN/NT	C	C/N
T0	A	8.035 ± 0.075	1.97 ± 0.019	0.088 ± 0.006	1.14 ± 0.011	12.97 ± 0.802
	B	7.975 ± 0.495	3.85 ± 0.212	0.171 ± 0.006	2.23 ± 0.123	13.03 ± 0.969
	C	8.45 ± 0.2	4.74 ± 0.194	0.41 ± 0.079	2.75 ± 0.112	6.78 ± 1.776
T1	A	8 ± 0.05	5.42 ± 0.096	0.086 ± 0.003	3.14 ± 0.056	36.55 ± 1.634
	B	7.88 ± 0.3	6.75 ± 0.206	0.48 ± 0.093	3.91 ± 0.120	8.16 ± 1.345
	C	8.2 ± 0.07	8.08 ± 0.060	0.29 ± 0.002	4.69 ± 0.035	16.28 ± 0.225
T2	A	8.03 ± 0.04	5.54 ± 0.355	0.266 ± 0.002	3.21 ± 0.206	12.10 ± 0.699
	B	8.09 ± 0.09	8.23 ± 0.270	0.555 ± 0.101	4.77 ± 0.157	8.59 ± 1.704
	C	8.1 ± 0.1	10.20 ± 0.389	0.497 ± 0.000	5.91 ± 0.226	11.89 ± 0.453
T3	A	8.03 ± 0.04	5.57 ± 0.092	0.244 ± 0.005	3.23 ± 0.053	13.21 ± 0.149
	B	7.96 ± 0.02	9.45 ± 0.096	0.455 ± 0.100	5.48 ± 0.056	12.03 ± 3.476
	C	8	9.31 ± 0.391	0.489 ± 0.004	5.40 ± 0.227	11.06 ± 0.513
T4	A	7.51 ± 0.02	1.99 ± 0.004	0.304 ± 0.070	1.15 ± 0.002	3.80 ± 0.787
	B	8.08 ± 0.24	5.61 ± 0.326	0.295 ± 0.051	3.25 ± 0.189	11.02 ± 1.189
	C	8.25 ± 0.09	4.41 ± 0.303	0.396 ± 0.001	2.56 ± 0.176	6.47 ± 0.425
T5	A	8.1 ± 0.1	25.12 ± 0.420	0.945 ± 0.006	14.57 ± 0.244	15.42 ± 0.209
	B	7.55 ± 0.05	7.89 ± 0.846	0.753 ± 0.002	4.57 ± 0.491	6.07 ± 0.669
	C	7.97 ± 0.02	8.74 ± 0.098	0.845 ± 0.12	5.070 ± 0.057	6.00 ± 1.009

*OM = organic matter, TN = total nitrogen, C = carbon, C/N = carbon/nitrogen ratio, T0 = negative control (100 % soil), T1 = soil plus 10 % compost, T2 = soil plus 20 % compost, T3 = soil plus 30 % compost, T4 = soil with chemical fertilizer, T5 = positive control (100 % compost), A = analysis before sowing, B = analysis after sowing and C = analysis after sowing beans.

*MO = materia orgánica, NT = nitrógeno total, C = carbono, C/N = relación carbono/nitrógeno, T0 = testigo negativo (100 % suelo), T1 = suelo más 10 % de composta, T2 = suelo más 20 % de composta, T3 = suelo más 30 % composta, T4 = suelo con fertilizante químico, T5 = testigo positivo (100 % composta), A = análisis antes de la siembra, B = análisis después de la siembra de maíz y C = análisis después de la siembra de frijol.

the nutrients are available. After sowing, the most representative difference in pH values can be observed in T4 (B and C), followed by T0 (B); T2 and T3 fall within the established range and represent treatments with the lowest variation in pH (Table 2).

The compost OM percentage was 25.12 ± 0.42 (Table 1), which significantly improved soil OM content (T1, T2 and T3, Table 2). However, the increase in this parameter in T1, T2 and T3 is not proportional to the percentage increase in the compost-soil mixture; in fact, no significant difference between them is observed. This contrasts with the findings reported by Olivares-Campos et al. (2012), who obtained a significant average increase in compost trials.

The results obtained in this study could be related to optimum soil fertility, indicating that a 20 % proportion (w/w soil-compost) could be the most suitable to cover the requirements; a higher compost content could, in a given case, saturate it. In this case, Chang et al. (2007) demonstrated that applying compost to the soil over long periods can help to improve its OM content even after several plantings, and that some of the harvest benefits can be observed after the first planting. These authors conclude that an excess of OM can saturate the soil or substrate, thereby reducing its productivity. This agrees with what was observed in this work, since after the wilting of the maize and bean plants an increase in this parameter could be observed in the treatments with compost, especially in the case of T2 and T3.

TN content is usually used as an organic reserve index reference, both in the stratification of productive systems and in the balances of this element in soils (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). Thus, the higher the TN content, the higher the OM reserve; however, as with other nutrients, a high content often causes fertility problems. Table 2 presents the results obtained for TN content. With respect to T0, before sowing, T1 had no difference in TN content, as opposed to T2 and T3, which showed an increase in comparison with T0, but no difference between them (Table 2).

The most significant increase in TN was presented by T4. T2, T3 and T4 improved their TN content, moving from a low to a high content level (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). Casado-Vela et al. (2006) reported similar results, observing increased TN with increasing composted sewage sludge content. Compost treatments do not present homogeneous values, as mentioned previously. This behavior could be related to optimum soil fertility, indicating that a 20-30 % proportion (w/w soil-compost) could be the most suitable to cover plant requirements, while a higher value does not result in soil improvements.

Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, y Ojeda-Barrios (2012) no observaron diferencias en pH por la adición de composta, lombricomposta y fertilizantes. El Cuadro 2 presenta los datos obtenidos de pH, MO, NT, C y relación C/N, así como sus respectivos errores estándar.

Por lo general, el pH en los suelos oscila entre 4.5 y 9.0. Suelos con $\text{pH} > 7.5$ pueden presentar problemas de disponibilidad de fósforo. Sin embargo, se maneja como límite un pH de 8.5, pues valores mayores podrían restringir algunas funciones del suelo. Se sabe que la MO puede ayudar a amortiguar cambios de pH (Chang et al., 2007); lo cual pudo observarse en el T1, T2 y T3 (Cuadro 2). Los fertilizantes, principalmente nitrogenados (como los manejados en este trabajo) y amoniacales, suelen acidificar el suelo, lo que resulta benéfico en la preparación del medio para el desarrollo de las nuevas plántulas (Seoáñez-Calvo, Bellas-Velasco, Ladreda-Sureda, & Seoáñez-Oliet, 2000), ya que a pH neutro se encuentran disponibles la mayoría de los nutrientes. Después de la siembra, la diferencia más representativa de valores de pH puede observarse en el T4 (B y C), seguido del T0 (B), los T2 y T3 se encuentran dentro del rango establecido y representan los tratamientos con la menor variación de pH (Cuadro 2).

El porcentaje de MO de la composta fue de 25.12 ± 0.42 (Cuadro 1), el cual mejoró de forma considerable el contenido de MO del suelo (T1, T2 y T3, Cuadro 2). No obstante, el incremento de este parámetro en el T1, T2 y T3 no es proporcional al porcentaje de aumento en la mezcla composta-suelo, de hecho no se observa diferencia importante entre ellos. Esto contrasta con lo reportado por Olivares-Campos et al. (2012), quienes obtuvieron un incremento promedio importante en ensayos con composta.

Los resultados de este trabajo podrían estar relacionados con la fertilidad óptima del suelo, indicando que una proporción de 20 % (p/p suelo-composta) podría ser la más adecuada para cubrir los requerimientos; un contenido más alto de composta podría, en dado caso, saturarlo. En este caso, Chang et al. (2007) demostraron que la aplicación de composta al suelo, durante largos periodos, puede ayudar a mejorar su contenido de MO aún después de varias siembras, y que algunos de los beneficios en las cosechas pueden observarse después de la primera siembra. Estos autores concluyen que un exceso de MO puede saturar el suelo o sustrato, provocando deficiencia en su productividad. Lo anterior concuerda con lo observado en este trabajo, ya que después del marchitamiento de las plantas de maíz y frijol pudo apreciarse incremento de este parámetro en los tratamientos con composta, destacando el T2 y T3.

El contenido de NT suele ser utilizado como referencia del índice de reservas orgánicas, tanto en

Table 3 presents the Bd, Pd, PS, M, FC and PWP values. It should be mentioned that these parameters did not show significant variation before and after sowing. Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2002) indicate that soil physical properties are difficult to modify in short periods. The main factors that affect these parameters are constant soil amendment use, tillage and natural or induced erosion.

Bd and Pd are important parameters, as they affect soil percolation, infiltration and aeration, and therefore root growth. Differences in these parameters and PS % were largely insignificant before and after planting for all treatments. As the compost content increased, the Bd and Pd decreased, obtaining an increase in PS %, with T2 having the highest PS % increase. Casado-Vela et al. (2006) reported different data since they obtained an increase in Pd and a decrease in Bd as the compost proportion increased. As a reference they indicated that the addition of 2 and 4 kg·m⁻² of compost did not cause changes in these parameters. On the other hand, Olivares-Campos et al. (2012) observed that treatments with different proportions of compost and fertilizers did not present differences in Bd values.

As was observed, the treatments with compost showed a significant increase in OM content and a decrease in Bd with respect to the T0 control and T4 (Table 2). These results are in agreement with those reported by Rodríguez-Fuentes and Rodríguez-Absi (2002), who indicate that OM has an average Bd of 0.3 g·cm⁻³, so that as the amount of OM in the soil increases Bd usually decreases. Castellanos, Uvalle-Bueno, and Aguilar-Santelises (2000), Castillo, Quarín, and Iglesias (2002), Olivares-Campos et al. (2012), Pérez (2004) and Porta, López-Acevedo, and Roquero (1999) indicate that compost use directly impacts OM content, manifesting itself in a lower Bd, resulting in better soil fertility and porosity.

la estratificación de sistemas productivos como en los balances de este elemento en los suelos (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). Así, a mayor contenido de NT mayor reserva de MO; sin embargo, al igual que ocurre con otros nutrientes, un contenido alto suele provocar problemas de fertilidad. El Cuadro 2 presenta los resultados obtenidos del contenido de NT. Con respecto al T0, antes de la siembra, el T1 no presentó diferencia en el contenido de NT; a diferencia del T2 y T3 que mostraron incremento en comparación con T0, pero no entre ellos (Cuadro 2).

El incremento más importante de NT lo presentó el T4. El T2, T3 y T4 mejoraron su contenido de NT, pasando de un contenido bajo a uno alto (NOM-021-SEMARNAT-2000 [SEMARNAT, 2002]). Casado-Vela et al. (2006) reportaron resultados similares, al observar incremento del NT con el aumento del contenido de composta (a partir de lodos residuales). Los tratamientos con composta no presentan valores homogéneos, como se mencionó anteriormente. Comportamiento que podría estar relacionado con la fertilidad óptima del suelo, indicando que una proporción de 20 a 30 % (p/p suelo-composta) podría ser la más adecuada para cubrir los requerimientos de las plantas, mientras que un valor más alto no presenta mejoras en el suelo.

El Cuadro 3 presenta los valores de Da, Dp, EP, H, CC y PMP. Cabe mencionar que estos parámetros no presentaron una variación importante antes y después de la siembra. Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2002) señalan que las propiedades físicas de los suelos son difícilmente modificables en periodos cortos. Los principales factores que afectan dichos parámetros son las enmiendas constantes de abonos, laboreo y erosión natural o inducida.

La Da y la Dp son parámetros importantes, ya que afectan la percolación, la infiltración y la aireación

Table 3. Physical parameter values of the treatments tested.

Cuadro 3. Valores de los parámetros físicos de los tratamientos ensayados.

Treatment / Tratamiento	Bd* (g·cm ⁻³) / Da* (g·cm ⁻³)	Pd (g·cm ⁻³) / Dp (g·cm ⁻³)	PS (%) / EP (%)	M (%) / H (%)	FC (mL·100 g ⁻¹) / CC (mL·100 g ⁻¹)	PWP (%) / PMP (%)
T0	1.19 ± 0.173	2.00	34.12 ± 0.004	3.09 ± 0.005	4.50 ± 0.50	2.18 ± 0.243
T1	1.05 ± 0.114	1.80 ± 0.015	35.16 ± 3.290	2.83 ± 0.047	5.00 ± 1.00	7.82 ± 1
T2	0.91 ± 0.044	1.67 ± 0.004	47.80 ± 0.154	2.56 ± 0.068	6.00 ± 0.00	11.49 ± 3.853
T3	0.82 ± 0.030	1.43 ± 0.001	41.05 ± 0.588	3.40 ± 0.076	6.00 ± 0.00	20.56 ± 3.85
T4	1.28 ± 0.190	2.14 ± 0.022	34.29 ± 0.074	1.84 ± 0.094	5.00 ± 0.0002	2.43 ± 0.002
T5	0.46 ± 0.021	0.91	50.73 ± 0.075	5.06 ± 0.102	33.50 ± 3.50	54.85 ± 28.18

*Bd = bulk density, Pd = particle density, M = moisture, FC = field capacity, PWP = permanent wilting point, T0 = negative control (100 % soil), T1 = soil plus 10 % compost, T2 = soil plus 20 % compost, T3 = soil plus 30 % compost, T4 = soil with chemical fertilizer and T5 = positive control (100 % compost).

*Da = densidad aparente, Dp = densidad de partícula, H = humedad, CC = capacidad de campo, PMP = punto de marchitez permanente, T0 = testigo negativo (100 % suelo), T1 = suelo más 10 % de composta, T2 = suelo más 20 % de composta, T3 = suelo más 30 % composta, T4 = suelo con fertilizante químico y T5 = testigo positivo (100 % composta).

Considering the texture and clay content of the soil used in this work, it can be inferred that the soil has the following characteristics: regular to deficient infiltration capacity, medium to high FC and PWP, regular aeration, and a maximum PS % of 45 (Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi, 2002). In terms of useable water content, sandy and silty soils are the best, because the PWP and FC values are more distant from each other. However, high sand content can cause water losses, while very clayey soils tend to become saturated, causing the water to seek a way out, forming cracks and compacting the soil, thus preventing water from reaching the roots of plants.

The soil used has a low OM content and low M % (hygroscopic moisture, 2.51 ± 0.14). The results show that the treatments with compost had an increase in moisture content, with T3 being the one with the highest value (Table 3). In general, sandy soils have a FC of 5 to 16 %, clayey loam soils from 25 to 35 % and clayey ones from 30 to 70 % depending on the content and type of clay. The analyzed soil presented clayey loam texture, predominantly clayey with a Bd of $1,312 \pm 0.005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and a FC of 31.3 ± 0.13 . Table 3 shows an increase in FC as the proportion of compost increases.

FC showed no significant differences between T1, T2 and T3, while PWP did show a significant increase, and T3 exhibited a difference compared to T1. The WHC of a soil varies according to the type of clay, OM content and structure (Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi, 2002). Generally, WHC values range from 1 to 2 mm in soils with very coarse sand, reaching up to 4 to 6.2 mm in soils with high clay content. T2 and T3 showed increased WHC compared to T0, T1 and T4; however, there was no significant difference between them (Figure 1).

del suelo, y por ende el crecimiento radicular. Las diferencias de estos parámetros y del % EP fueron poco importantes antes y después de la siembra para todos los tratamientos. Al aumentar el contenido de composta, la Da y Dp descendieron, obteniendo un aumento en el % EP; siendo el T2 el que presentó el mayor incremento del % EP. Casado-Vela et al. (2006) reportaron datos diferentes al obtener incremento de la Dp y disminución de la Da al aumentar la proporción de composta. Como referencia indicaron que la adición de 2 y 4 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de composta no provocó cambios en dichos parámetros. Por otro lado, Olivares-Campos et al. (2012) observaron que tratamientos con diferentes proporciones de composta y fertilizantes no presentaron diferencias en los valores de Da.

Como se observó, los tratamientos con composta presentaron incremento importante en el contenido de MO y decremento de la Da con respecto al control T0 y al comparativo T4 (Cuadro 2). Dichos resultados concuerdan con lo señalado por Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2002), quienes indican que la MO tiene una Da promedio de $0.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, de manera que a medida que aumenta la cantidad de MO en el suelo la Da suele disminuir. Castellanos, Uvalle-Bueno, y Aguilar-Santelises (2000), Castillo, Quarín, e Iglesias (2002), Olivares-Campos et al. (2012), Pérez (2004) y Porta, López-Acevedo, y Roquero (1999) señalan que el uso de composta impacta directamente en el contenido de MO, manifestándose en una menor Da, lo que resulta en mejor fertilidad y porosidad del suelo.

Considerando la textura y el contenido de arcilla del suelo utilizado en este trabajo, puede inferirse que el suelo posee las siguientes características: capacidad de infiltración regular a deficiente, CC y PMP mediana a

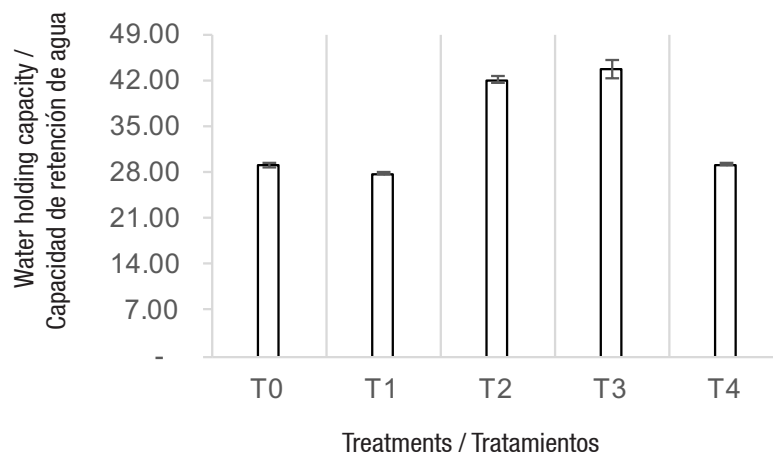


Figure 1. Water holding capacity values of the treatments tested. The error includes values obtained before and after planting.

Figura 1. Valores de la capacidad de retención de agua de los tratamientos ensayados. El error contempla los valores obtenidos antes y después de la siembra.

Conclusions

Based on the analyzed parameters, the compost used, as established by the applicable legislation, can be used as a soil improver in urban green and reforested areas. The proportions of 10, 20 and 30 % of green waste compost did not modify soil pH, as compared to the fertilizer treatment that showed a significant decrease. The 20 and 30 % compost content levels acted as a cushion against pH changes after bean and maize sowing. The OM content presented an increase before and after maize and bean sowing, in all treatments with compost.

The fertilizer treatment showed the most significant difference in TN content; In turn, the treatments with compost did not present an increase. Compost application improved Pd and Bd by increasing the soil PS %, with T2 showing the largest increase. Adding compost helped to increase OM content, improving the water retention conditions and increasing the M % with 30 % compost (T3) and the FC and PWP as the compost dose increased, making the WHC increase with the addition of 20 and 30 %. Considering the formation characteristics of the analyzed soil, Bd, PS % and WHC are the most changeable soil properties over time. However, in this work it was verified that the addition of compost produced with green waste, even to a soil whose properties are not favorable for the development of plants, increased the soil OM content and helped to improve some of its characteristics.

End of English version

References / Referencias

- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453. doi: 10.1016/j.biortech.2008.11.027
- Casado-Vela, J., Sellés, S., Navarro, J., Bustamante, M. A., Mataix, J., Guerrero, C., & Gómez, I. (2006). Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. *Waste Management*, 26(9), 946-952. doi: 10.1016/j.wasman.2005.07.016
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos aguas agrícolas, plantas y ECP*. Guanajuato, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Castillo, A. E., Quarín, S. H., & Iglesias, M. C. (2002). Caracterización química y física de composta de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica*, 60(1), 74-79. doi: 10.4067/S0365-28072000000100008

alta, aireación regular y % EP máximo de 45 (Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi, 2002). En términos de contenido de agua aprovechable, los suelos arenosos y limosos son los mejores, debido a que los valores de PMP y CC se encuentran más distantes entre sí. Sin embargo, un contenido elevado de arena puede provocar pérdidas de agua; mientras que suelos muy arcillosos suelen saturarse ocasionando que el agua busque salida, formando grietas y compactando el suelo, evitando así que el agua llegue a las raíces de las plantas.

El suelo empleado posee contenido bajo de MO y % H bajo (humedad higroscópica, 2.51 ± 0.14). Los resultados demuestran que los tratamientos con composta presentaron aumento en el contenido de humedad, siendo el T3 el que presentó el valor mayor (Cuadro 3). Por lo general, los suelos arenosos presentan una CC de 5 a 16 %, los migajo-arcillosos de 25 a 35 % y los arcillosos de 30 a 70 %, dependiendo del contenido y tipo de arcilla. El suelo analizado presentó textura franco-arcillosa, predominantemente arcillosa con una Da de $1.312 \pm 0.005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y una CC de 31.3 ± 0.13 . En el Cuadro 3 se puede apreciar incremento de la CC conforme aumenta la proporción de composta.

La CC no mostró diferencias considerables entre el T1, T2 y T3. Mientras que el PMP sí presentó un incremento importante, el T3 exhibió diferencia en comparación con el T1. La CRA de un suelo varía en función del tipo de arcilla, contenido de MO y estructura (Rodríguez-Fuentes & Rodríguez-Absi, 2002). Por lo general, los valores de la CRA oscilan entre 1 y 2 mm en suelos con arena muy gruesa hasta valores de entre 4 y 6.2 mm en suelos con contenido alto de arcilla. El T2 y T3 presentaron incremento de la CRA en comparación con el T0, T1 y T4; sin embargo, no se aprecia una diferencia importante entre ellos (Figura 1).

Conclusiones

Con base en los parámetros analizados, la composta utilizada, según lo establecido por la legislación aplicable, puede ser utilizada como mejorador de suelo en áreas verdes urbanas y reforestadas. Las proporciones de 10, 20 y 30 % de composta de residuos verdes no modificaron el pH del suelo; en comparación con el tratamiento con fertilizante que presentó un decremento importante. Los contenidos de 20 y 30 % de composta amortiguaron los cambios de pH después de la siembra de frijol y maíz. El contenido de MO presentó un incremento antes y después de la siembra de maíz y frijol, en todos los tratamientos con composta.

El tratamiento con fertilizante presentó la diferencia más importante del contenido de NT; a su vez, los tratamientos con composta no presentaron un incremento entre ellos. La aplicación de composta

- Chang, E., Chung, R., & Tsai, Y. (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132-140. doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00122.x
- Domingo-Santos, J. M., Fernández, R., Corral-Pazos, E., & Rapp-Arrarás, Í. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 15(1), 14-23. Retrieved from http://www.inia.es/gcontrec/pub/DOMINGO-FERNANDEZ-CORRAL..._1144396344750.pdf
- Evanylo, G., Sheryon, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M., & Haering, K. (2008). Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(1-2), 50-58 pp. doi: 10.1016/j.agee.2008.02.014
- Gobierno del Distrito Federal. (2013). *Norma ambiental NADF-006-RNAT-2012 que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes en el Distrito Federal*. Ciudad de México, México: Author. Retrieved from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatad/Distrito%20Federal/wo85640.pdf>
- Gobierno del Distrito Federal. (2012). *Norma ambiental NADF-020-AMBT-2011 que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal*. Ciudad de México, México: Author. Retrieved from http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/577/290/22c/57729022c_db18069720357.pdf
- Gobierno del Estado de México. (2006). *Norma técnica NTEA-006-SMA-RS-2006 que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos*. Toluca, México. Author. Retrieved from http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_ntea_006_sma_rs_2006.pdf
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2003). *Inventario de áreas verdes en el Distrito Federal*. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2007a). *Experiencias de la producción de composta en México*. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Jackson, M. L. (1970). *Análisis químico de suelos*. Barcelona: Ediciones Omega, S. A.
- Kuter, G. A., Hoitink, H. A. J., & Chen, W. (1988). Effects of municipal sludge compost curing time on suppression of *Pythium* and *Rhizoctonia* diseases of ornamental plants. *Plant Disease*, 72, 751-756.
- mejoró la Dp y Da incrementando el % EP de suelo, siendo el T2 el que mostró el mayor incremento. La adición de composta ayudó a incrementar el contenido de MO de éste mejorando las condiciones de retención de agua e incrementando el % H con 30 % de composta (T3) y la CC y el PMP conforme la dosis de composta aumentaba, logrando que la CRA aumentara de con la adición de 20 y 30 %. Considerando las características de formación del suelo analizado, la Da, el % EP y la CRA son las propiedades edafológicas más cambiantes con el tiempo. Sin embargo, en este trabajo se comprobó que la adición de composta producida con residuos verdes, aún a un suelo cuyas propiedades no son favorables para el desarrollo de plantas, incrementó el contenido de MO y ayudó a mejorar algunas de sus características.

Fin de la versión en español

- Larney, F. J., & Hao, X. (2007). A review of composting as a management alternative for beefcattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresource Technology*, 98(17), 3221-3227. doi: 10.1016/j.biortech.2006.07.005
- Navarro, R. A. (2002). *Manual para hacer composta Aeróbica*. El Salvador: CESTA Amigos de la Tierra. Retrieved from <http://beta.tierrandalucia.org/wp-content/uploads/2014/11/Manual-compostaje-aer%C3%B3bico.pdf>
- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Worm compost and dairy cattle manure compost as fertilisers and in soil improvement. *Universidad y Ciencia*, 28(1), 27-37. Retrieved from <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/28-1-2012/3--624.pdf>
- Pérez, J. (2004). *Manejo sostenible de suelos*. Cuba: Universidad de Ciego de Ávila.
- Porta, C. J., López-Acevedo, R. M., & Roquero, L. C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (pp. 183-184, 778-787). México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Rodríguez-Fuentes, H., & Rodríguez-Absi, J. (2002). *Métodos de análisis de suelos y plantas, criterios de interpretación* (pp. 58). México, Trillas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis*. México: Author. Retrieved from <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Seoáñez-Calvo, M., Bellas-Velasco, E., Ladreda-Sureda, P., & Seoáñez-Oliet, P. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de sus residuos*. México: Ediciones Mundi-prensa.

- Trejo-Vázquez, R. (1994). *Procesamiento de la basura urbana*. México: Trillas.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2010). Natural Resources Conservation Service. United States of America: Author. Retrieved from http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054240#617
- Widman-Aguayo, F., Herrera-Rodríguez, F., & Cabañas-Vargas, D. D. (2005). El uso de la composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. *Ingeniería*, 9(3), 31-38. Retrieved from <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen9/eluso.pdf>