

# Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production

## Compost de residuos de champiñón como mejorador de suelo y biofertilizante en producción de tomate

Alma Alicia Castelo-Gutiérrez<sup>1</sup>; Helio A. García-Mendivil<sup>1</sup>; Luciano Castro-Espinoza<sup>1</sup>; Fernando Lares-Villa<sup>1</sup>; Maritza Arellano-Gil<sup>1</sup>; Pedro Figueroa-López<sup>2</sup>; Marco Antonio Gutiérrez-Coronado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. 5 de febrero 818 sur, col. centro, Ciudad Obregón, Sonora, C. P. 85000, MÉXICO. marco.gutierrez@itson.edu.mx, (644) 410 90 00 ext. 2120 (\*Corresponding author).

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Experimental Norman E. Borlaug. Norman E. Borlaug km 12, Valle del Yaqui, Ciudad, Obregón, Sonora, C. P. 85000, MÉXICO.

### Abstract

Residual mushroom waste has the potential to be composted. Sustainable agriculture considers compost and vermicompost as alternatives to be incorporated into organic vegetable production. The aim of this study was to determine the effect of compost (T2), vermicompost tea (T3), compost extract (T4), and their combination plus the addition of an inorganic element (urea) (T5), against a conventional control (T1), on soil properties and yield parameters of tomato plants grown under shade house conditions. Organic matter, moisture, pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC), bulk density, leaf nutrient content during flowering (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe and Zn), chlorophyll content (SPAD units), fruit number and weight, and yield were the variables assessed during this research. A completely randomized experimental design was used. The organic applications showed significant increases in soil moisture (25.4 % T3), EC (0.38 dS·m<sup>-1</sup> T5), and CEC (38.6 meq·100 g<sup>-1</sup> T4). Crop nutrient requirements were achieved 102 days after transplanting. The chlorophyll content ranged between 46.9 and 51.4 SPAD units. The cv “Grandella” fruits attained optimal weight (152 to 155 g). The number of fruits and yield did not statistically differ between treatments; therefore, it was concluded that the organic substances by themselves or in combination with inorganic fertilizers were able to produce the same effect on yield, and also improve the physicochemical characteristics of the soil.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, sustainable agriculture, organic matter, *Agaricus bisporus*.

### Resumen

Los residuos del cultivo de champiñón presentan potencial para ser compostados. La agricultura sustentable considera el compost y el vermicompost como una alternativa de uso para la producción orgánica de hortalizas. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del compost (T2), té de vermicompost (T3), extracto de compost (T4) y su combinación más la adición de una fracción inorgánica (urea) (T5), contra un testigo convencional (T1), sobre las propiedades del suelo y parámetros de rendimiento de tomate bajo condiciones de casa sombra. Las variables evaluadas fueron: materia orgánica, humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), densidad aparente, contenido nutricional foliar en la etapa de floración (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn), clorofila (unidades SPAD), número y peso de frutos y rendimiento. Se utilizó un diseño completamente al azar. Las aplicaciones orgánicas presentaron incrementos significativos en la humedad del suelo (25.4 % T3), CE (0.38 dS·m<sup>-1</sup> T5) y CIC (38.6 meq·100 g<sup>-1</sup> T4). Después de 102 días del trasplante, se logró cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo. La clorofila osciló entre 46.9 y 51.4 unidades SPAD. Los frutos alcanzaron el peso óptimo (152 a 155 g) para cv “Grandella”. El número de frutos y el rendimiento no difirieron estadísticamente entre los tratamientos; por lo que se concluyó que los materiales orgánicos solos o en combinación con fertilizantes inorgánicos fueron capaces de producir el mismo efecto en rendimiento, y además mejorar las características físicoquímicas del suelo.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, agricultura sustentable, residuos orgánicos, *Agaricus bisporus*.

Please cite this article as follows (APA 6): Castelo-Gutiérrez, A. A., García-Mendivil, H. A., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., Arellano-Gil, M., Figueroa-López, P., & Gutiérrez-Coronado, M. A. (2016). Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 83-93. doi: 10.5154/r.rchsh.2015.06.012

Received: June 22, 2015/ Accepted: May 26, 2016.



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

www.chapingo.mx/revistas/horticultura

## Introduction

In Mexico, up to 10,000 t of residual mushroom (*A. bisporum*) compost waste are produced annually. Each kilogram of product can generate up to five kilograms of compost, where high nutrient concentrations are conserved (Polat et al., 2009; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2013). This residual compost waste contains biomolecules which are slowly released during the mineralization process of the organic matter, producing adequate levels of nitrates, phosphates, and sulphates in the soil during extended periods (Pardo-Giménez, Cunha-Zied, & Pardo-González, 2010). Under this perspective, the residues can be considered as byproducts ready to be utilized, which can represent a potential source of nutrients available to plants and the soil, when they are recycled during the composing process (Mondini, Dell' Abate, Leita, & Benedetti, 2003).

To produce organic tomatoes under the sustainable agriculture scheme, the use of compost, vermicompost tea and compost extracts has been considered, given the fact that their biological processes transform organic waste from different material sources into a more relatively stable end product. (Claassen & Carey, 2004). The benefits of these products are as follows: they help improve soil characteristics such as fertility, water storage capacity, and mineralization of elements such as nitrogen, phosphorus, and potassium; they assist in maintaining optimum pH values for plant growth and they promote microbial activity (Nieto-Garibay, Murillo-Amador, Troyo-Diéguez, Larrinaga-Mayoral, & García-Hernández, 2002). Vermicompost tea is an aqueous extract of high biological quality obtained from aerobic fermentation (Domínguez, Lazcano, & Gómez-Brandón, 2010); moreover, it contains active substances that act as growth regulators, increase cation exchange capacity, have high levels of humic acids and increase soil moisture retention capacity and porosity, which facilitates proper soil aeration and drainage (Hashemimajd, Kalbasi, Golchin, & Shariatmadari, 2004; Rodríguez-Dimas et al., 2008).

On the other hand, the compost extract is also aqueous but rich in beneficial microorganisms, soluble nutrients and fine particles of organic matter. This extract can be obtained by means of aerobic fermentation (Rodríguez-Torres, Venegas-González, Angoa, & Montañez-Soto, 2010). Its chemical composition, in terms of the nutrients it provides to crops and their effects on the soil, varies according to available raw material, compost age, and moisture management and content (Ferreira-Araújo, Marçal-Silva, Carvalho-Leite, Fernando-de Araújo, & da Silva-Dias, 2013). The advantage of these aqueous extracts is that they can be applied by means of a pressurized irrigation system, so their use can be adapted to greenhouse production practices. The aim of

## Introducción

En México se producen anualmente hasta 10,000 t de residuos del cultivo de champiñones (*A. bisporum*). Cada kilogramo de producto puede generar hasta 5 kilogramos de compost, en el cual permanecen altos niveles de nutrientes (Polat et al., 2009; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2013). Estos residuos poseen biomoléculas que se liberan lentamente durante la mineralización de la materia orgánica, dando lugar a niveles apreciables de nitratos, fosfatos y sulfatos en el suelo durante largos periodos de tiempo (Pardo-Giménez, Cunha-Zied, & Pardo-González, 2010). Bajo esta perspectiva, estos restos pueden ser considerados como subproductos susceptibles de aprovechamiento, los cuales pueden representar una fuente potencial de nutrientes disponibles para las plantas y para el suelo, cuando son reciclados mediante el compostaje (Mondini, Dell' Abate, Leita, & Benedetti, 2003).

En la búsqueda de una agricultura sustentable para la producción orgánica de tomate, se ha considerado el uso de compost, té de vermicompost y extractos de compost, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen & Carey, 2004). Los beneficios de estos productos son evidentes; han contribuido a mejorar las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización de nitrógeno, fósforo y potasio, mantienen valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomentan la actividad microbiana (Nieto-Garibay, Murillo-Amador, Troyo-Diéguez, Larrinaga-Mayoral, & García-Hernández, 2002). El té de vermicompost es un extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica (Domínguez, Lazcano, & Gómez-Brandón, 2010); además, contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico, tienen alto contenido de ácidos húmicos y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad del suelo, lo que facilita la aireación y drenaje del mismo (Hashemimajd, Kalbasi, Golchin, & Shariatmadari, 2004; Rodríguez-Dimas et al., 2008).

Por su parte, el extracto de compost es acuoso y rico en microorganismos benéficos, nutrientes solubles y partículas finas de materia orgánica. Es posible obtenerse por medio de fermentación aerobia (Rodríguez-Torres, Venegas-González, Angoa, & Montañez-Soto, 2010). Su composición química, en cuanto al aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varía según la materia prima, edad del compost, manejo y contenido de humedad (Ferreira-Araújo, Marçal-Silva, Carvalho-Leite, Fernando-de Araújo, & da Silva-Dias, 2013). Estos extractos acuosos tienen la ventaja de que pueden ser aplicados por

this study was to determine whether the compost, the vermicompost tea and the compost extract are capable of improving soil characteristics and maintaining tomato yields.

## Materials and methods

The experiment was conducted under shade house conditions on soil at the Experimental and Technology Transfer Center (ETTC) at the Sonora Institute of Technology, located in Cd. Obregon in Sonora, Mexico, situated at 27° 21' 56.3" NL and 109° 54' 53.4" WL, between August, 2013 and May, 2014. A completely randomized experimental design with five treatments and three replications was used. Each experimental unit consisted of one plant (3.3 plants per square meter). The planting beds were 30 m long and spaced 1.8 m apart, and the plants were conducted to one main stem. An analysis of variance with STAT-GRAPHICS, version 16.1.11 (StatPoint Technologies, 2010) and Tukey's range test ( $P \leq 0.05$ ) were performed.

The compost used was obtained from substrate employed for mushroom production (Table 1) by the company *Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R.L. de C.V.*, located in La Barca, Jalisco. The compost application was carried out during pre-sowing, on the same day as transplanting (September 27, 2013).

The vermicompost tea was made from humus generated by earthworms of the species *Eisina foetida*; their basic

medio de un sistema de riego presurizado, por lo que su uso puede adaptarse a prácticas de producción en invernadero. El objetivo del presente estudio fue determinar si el compost, té de vermicompost y extracto de compost son capaces de mejorar las características del suelo y mantener el rendimiento del tomate.

## Materiales y métodos

El experimento se estableció bajo condiciones de casa sombra sobre suelo, en las instalaciones del Centro de Experimentación y de Transferencia de Tecnología (CETT) del Instituto Tecnológico de Sonora, ubicado en Cd. Obregón, Sonora, México, a 27° 21' 56.3" LN y 109° 54' 53.4" LO, entre agosto de 2013 y mayo de 2014. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental constó de una planta (3.3 plantas por metro cuadrado). Se contó con camas de 30 m de largo con 1.8 m de separación entre ellas, con plantas a un solo tallo. Se realizó un análisis de varianza con STAT-GRAPHICS, ver. 16.1.11 (StatPoint Technologies, 2010) y las medias se compararon con la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El compost utilizado se obtuvo a partir del sustrato empleado para la producción de champiñón (Cuadro 1) de la empresa Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R.L. de C.V. de La Barca, Jalisco. La aplicación fue en la presiembra el mismo día del trasplante (27 de septiembre de 2013).

**Table 1. Physicochemical and nutrimental characteristics of compost, vermicompost tea, and compost extract obtained from residual mushroom waste.**

**Cuadro 1. Características fisicoquímicas y nutrimentales del compost, té de vermicompost y extracto de compost generado a partir de los residuos del cultivo de champiñón.**

	Compost tea/ Compost té	Vermicompost tea/ Té de vermicompost	Compost extract/ Extracto de compost
Organic matter (%) /Materia Orgánica (%)	44.5	3.82	22.85
C/N ratio /Relación C/N	25:1	2:0.006	13:0.1
pH	7.15	7.43	7.48
Electrical conductivity (dS·m <sup>-1</sup> ) / Conductividad eléctrica (dS·m <sup>-1</sup> )	14.4	10.1	9.16
Nitrogen (%) /Nitrógeno (%)	1.5	0.006	0.1
Phosphorus (%) /Fósforo (%)	0.85	0.3	0.42
Potassium (%) /Potasio (%)	1.35	0.1	0.28
Calcium (%) /Calcio (%)	7.5	0.69	0.42
Magnesium (%) /Magnesio (%)	0.7	0.04	0.11
Copper (mg·kg <sup>-1</sup> or L <sup>-1</sup> ) /Cobre (mg·kg <sup>-1</sup> o L <sup>-1</sup> )	280	43.75	260
Iron (mg·kg <sup>-1</sup> or L <sup>-1</sup> ) /Fierro (mg·kg <sup>-1</sup> o L <sup>-1</sup> )	2600	263.75	2390
Manganese (mg·kg <sup>-1</sup> or L <sup>-1</sup> ) / Manganeso (mg·kg <sup>-1</sup> o L <sup>-1</sup> )	3800	12.5	350

diet was exclusively residual mushroom waste. Five kg of humus were taken and placed in a mesh bag, which was then put in a tank with 200 L of lixiviated material and shaken for 24 hours at room temperature.

The compost extract was obtained from the compost/water mixture with a 3:10 ratio, and was subjected to an intermittent shaking process for five days at room temperature. The vermicompost tea and compost extract were applied weekly using a drip irrigation system. The physico-chemical and nutritional characteristics of the compost, vermicompost tea and compost extract are described in Table 1.

The tomato cv “Grandella” was used to evaluate the treatments (Table 2). Sowing took place on August 10, 2013 and subsequently the plants were transplanted in a zig-zag pattern onto soil covered by plastic mulch.

Physicochemical analysis of the soil was carried out according to NOM-021-RECNAT-2000 specifications (Diario Oficial de la Federación, 2002). One week before and after the production cycle, soil samples were collected at a depth of 20 cm. Organic matter, moisture content, pH, electrical conductivity (EC), cation exchange capacity (CEC) and bulk density were the parameters assessed.

For nutrient analysis, the third leaf from the apical bud was taken, obtaining two to three leaves per replicate of each treatment, at 64 days after transplanting (DAT), when the plants had developed 75 % of their floral buds. The wet digestion technique proposed by Alcántar and Sandoval (1999) was used for this analysis, taking 0.25 g of leaf tissue. Each sample was analyzed with a plant tissue analysis kit (DR/2500; Hach company, Loveland, Colorado, USA) on the basis of the manufacturer’s technical specifications (HACH, 2003). The elements determined were nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (Y), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), copper (Cu), and zinc (Zn).

El té de vermicompost se elaboró a partir del humus generado por lombrices de la especie *Eisina foetida*, donde su dieta básica consistió exclusivamente de residuos del cultivo del champiñón. Se tomaron 5 kg de humus, mismos que se colocaron dentro de una bolsa de malla, se introdujeron en un depósito con 200 L de lixiviado y se agitó por 24 horas a temperatura ambiente.

El extracto de compost se obtuvo de la mezcla de compost y agua en relación 3:10, y se sometió a un proceso de agitación intermitente por cinco días a temperatura ambiente. La aplicación del té de vermicompost y del extracto de compost se realizó semanalmente mediante un sistema de riego por goteo. Las características fisicoquímicas y nutrimentales del compost, té de vermicompost y extracto de compost se describen en el Cuadro 1.

Para la evaluación de los tratamientos (Cuadro 2) se utilizó tomate cv “Grandella”, el cual se sembró el 10 de agosto de 2013 y se trasplantó en tresbolillo sobre suelo con acolchado.

Los análisis fisicoquímicos realizados en suelo se apegaron a las especificaciones de la NOM-021-RECNAT-2000 (Diario Oficial de la Federación, 2002). Las muestras de suelo se tomaron a 20 cm de profundidad, una semana antes y una después del ciclo productivo. Los parámetros evaluados fueron: materia orgánica, contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente.

Para el análisis nutrimental se tomó la tercer hoja a partir de la yema apical, obteniendo de dos a tres hojas por replica de cada tratamiento, a los 64 días después del trasplante (ddt), cuando el cultivo presentó 75 % de botones florales. Para dicho análisis se utilizó la técnica de digestión húmeda propuesta por Alcántar y Sandoval (1999), tomando 0.25 g de tejido foliar. Cada muestra se analizó con el kit para análisis de tejido

**Table 2. Organic and conventional treatments of tomato cv. “Grandella”, and weekly application rate via a drip irrigation system.**

**Cuadro 2. Tratamientos orgánico y convencional del tomate cv. “Grandella”, y dosis de aplicación por sistema de goteo con frecuencia semanal.**

Treatment/ Tratamiento	Compost (kg·m <sup>-2</sup> )	Vermicompost tea (L·m <sup>-2</sup> )/ Té de vermicompost (L·m <sup>-2</sup> )	Compost extract (L·m <sup>-2</sup> )/ Extracto de compost (L·m <sup>-2</sup> )	Urea (kg·ha <sup>-1</sup> ·day <sup>-1</sup> )/ Urea (kg·ha <sup>-1</sup> ·día <sup>-1</sup> )
T1	0.00	0.00	0.00	0.58
T2	1.50	0.00	0.00	0.00
T3	0.00	3.39	0.00	0.00
T4	0.00	0.00	0.88	0.00
T5	0.38	0.85	0.22	0.15

T1 = control, T2 = compost, T3 = vermicompost tea, T4 = compost extract and T5 = combination of all the above.

T1 = testigo convencional, T2 = compost, T3 = té de vermicompost, T4 = extracto de compost y T5 = combinación de todos los anteriores.



At 154 DAT, a SPAD 502 Plus® meter (model 2900P, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, Illinois, USA) was used to take chlorophyll readings on the third leaf from the apical bud. The average value of three points on each leaf was taken into account per experimental unit, expressed in SPAD units, taking into consideration the adjustments made by Bruinsma (1963) and Krugh, Bichham, and Miles (1994).

For fruit number and weight, the total number of fruits obtained in 14 cuts were counted and weighed using a Torrey® scale (model L-EQ series, Monterrey, Mexico), whereas the yields were obtained by calculating the total weight (kg) of the fruits harvested from each treatment per square meter.

## Results and discussion

The analysis of variance performed on soil physicochemical parameters showed a significant ( $P \leq 0.05$ ) effect, with the exception of organic matter content and bulk density (Table 3). Soil moisture increased by 9.6 and 8.6 % for T3 and T5, respectively, in relation to the control (T1). Aguilar-Benitez et al. (2012) stated that the use of 3 % vermicompost has an effect on moisture deficit, increasing bean yields by up to 50 %. Furthermore, Gajalakshmi, Ramasamy, and Abbasi (2001) indicated that vermicompost use incorporated into the soil improves its moisture retention capacity. The combination of vermicompost tea, compost and compost extract increased soil organic matter, which in turn contributes to moisture retention due to aggregate formation (Murray-Nunez et al., 2011).

vegetal (DR/2500; Hach company, Loveland, Colorado, USA) bajo las especificaciones del fabricante (HACH, 2003). Los elementos determinados fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn).

Las lecturas de clorofila se realizaron en la tercer hoja a partir de la yema apical a los 154 ddt con el medidor SPAD 502 Plus® (modelo 2900P, Spectrum Technologies Inc., Plainfield, Illinois, USA); para lo cual se tomó en cuenta el valor de la media de tres puntos de la hoja por cada unidad experimental, y se reportaron en unidades SPAD, considerando los ajustes sugeridos por Bruinsma (1963) y Krugh, Bichham, y Miles (1994).

Para el número y peso de frutos se hizo un conteo del total de frutos obtenidos en catorce cortes y se pesaron cada uno en una báscula Torrey® (modelo L-EQ series, Monterrey, México). Mientras que el rendimiento se calculó a partir del peso total (kg) de los frutos cosechados de cada tratamiento por metro cuadrado.

## Resultados y discusión

El análisis de varianza realizado a los parámetros fisicoquímicos del suelo mostró un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ), con excepción del contenido de materia orgánica y densidad aparente (Cuadro 3). La humedad del suelo incrementó 9.6 y 8.6 % en T3 y T5, respectivamente, en relación con el testigo (T1). Aguilar-Benítez et al. (2012) manifestaron que el uso de vermicompost al 3 % tiene efecto sobre el déficit de humedad, logrando aumentar el rendimiento de frijol

**Table 3. Soil physicochemical characteristics before and after compost, vermicompost tea, and compost extract application.**

**Cuadro 3. Características fisicoquímicas del suelo antes y después de la aplicación de los tratamientos a base de compost, té de vermicompost y extracto de compost.**

Treatment / Tratamiento	Organic matter (%) / Materia orgánica (%)	Moisture (%) / Humedad (%)	pH	EC (dS·m <sup>-1</sup> ) / CE (dS·m <sup>-1</sup> )	CEC (meq·100 g <sup>-1</sup> ) / CIC (meq·100 g <sup>-1</sup> )	Bulk density (g·mL <sup>-1</sup> ) / Densidad aparente (g·mL <sup>-1</sup> )
U/T* Soil/Suelo S/T*	0.75 a	23.23 bc	8.06 d	0.21 e	35.45 d	1.14 a
T1	0.75 a	22.29 c	8.15 cd	0.28 c	37.36 b	1.14 a
T2	0.93 a	24.11 ab	8.39 a	0.28 c	36.67 c	1.13 a
T3	0.75 a	25.48 a	8.21 bc	0.36 b	38.30 a	1.11 a
T4	0.84 a	22.95 bc	8.33 ab	0.27 d	38.64 a	1.11 a
T5	0.76 a	25.25 a	8.30 ab	0.38 a	37.19 b	1.09 a

\*U/T = untreated.

T1 = control, T2 = compost, T3 = vermicompost tea, T4 = compost extract and T5 = combination of all the above.

EC = electrical conductivity and CEC = cation exchange capacity.

Means with the same letters in each column do not differ statistically ( $P \leq 0.05$ ).

\*S/T = Sin tratar.

T1 = testigo convencional, T2 = compost, T3 = té de vermicompost, T4 = extracto de compost y T5 = combinación de todos los anteriores.

CE = conductividad eléctrica y CIC = capacidad de intercambio catiónico.

Medias con la letras iguales en cada columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ).

In all cases, the soil presented moderately alkaline pH; however, T2, T4, and T5 were highly significant ( $P \leq 0.001$ ), with increases of up to 4 % with respect to T1. The pH increase observed in the soil after applying organic treatments can be attributed to the basic cation content (Ca, Mg and K) found in the composted materials (Orozco-Rodríguez & Muñoz-Hernández, 2012). Daza (2014) showed that, among other properties, compost application improves soil pH. Durán-Umaña and Henríquez-Henríquez (2010) also reported a similar case.

The soil EC presented significant ( $P \leq 0.05$ ) differences, increasing after treatment application. The compost, vermicompost tea and compost extract all demonstrated high EC (Table 1). Despite this, Hashemimajd, Mohamadi, & Jamaati-e-Somarin (2012) mentioned that the compost EC levels can range between 0.1 and 10 dS·m<sup>-1</sup>. The T5 EC increased 80.9 % and T3 EC rose 71 %, while T1 and T2 EC (33.3 %) did not present significant differences. Finally, T4 EC improved by 28.5 % compared to the control. Despite the EC increments, the soil presented low salinity, according to NOM-021-RECNAT-2000 classification.

The CEC showed statistical differences ( $P \leq 0.05$ ) among treatments, being higher due to organic matter application. The T3 and T4 treatments resulted in an increase of 2.5 and 3.4 % relative to the control (T1), respectively. Arrigo, Jiménez, Palma, Benito, and Tortarolo (2005) also reported similar results after incorporating organic matter into the soil. Félix-Herrán, Sañudo-Torres, Olalde-Portugal, Rojo-Martínez, and Martínez-Ruiz (2008) mentioned that as a result of the mineralization of composted waste being incorporated into the soil, CEC is increased prior to applying the treatments. In this regard, Escudey, Förster, and Galindo (2004) confirm that an increase in soil organic matter is a consequence of increased CEC.

The nutrient content analysis at 102 DAT showed that T2 and T5 increased leaf N content by 5.4 % and 7.0 %, respectively, with respect to T1; however, there were no statistical differences ( $P \leq 0.05$ ). It is important to mention that these values fall within the sufficiency levels (2.5 to 5 %) for tomato production during the flowering stage. Ochoa-Martínez et al. (2009) showed similar leaf N concentration results to those obtained in this study with the use of compost tea. For its part, P had similar values in T1, T2, and T4, being statistically different from T3 and T5, slightly exceeding the recommended limits (0.35 to 0.9 %). Nonetheless, the other treatments presented a sufficient leaf P concentration for the development of principal physiological functions.

Furthermore, the leaf K content varied between 3.43 and 4.91 %, without presenting significant differences

hasta en 50 %. Asimismo, Gajalakshmi, Ramasamy, y Abbasi (2001), señalan que su uso, al incorporarse al suelo, aumenta la capacidad de retención de humedad. La combinación del té de vermicompost, extracto de compost y compost, incrementaron la materia orgánica del suelo, lo que favorece la retención de humedad debido a la formación de agregados (Murray-Núñez et al., 2011).

En todos los casos, el suelo presentó un pH medianamente alcalino; no obstante, T2, T4 y T5 resultaron altamente significativos ( $P \leq 0.001$ ), con aumento de hasta 4 % respecto del T1. El incremento observado del pH en el suelo, tras la aplicación de los tratamientos orgánicos, puede ser atribuido al contenido de cationes básicos (Ca, Mg y K) presentes en los materiales compostados (Orozco-Rodríguez & Muñoz-Hernández, 2012). Daza (2014) demostró que, entre otras propiedades, la aplicación de compost mejora el pH del suelo. Caso similar al reportado por Durán-Umaña y Henríquez-Henríquez (2010).

La CE del suelo presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ), al aumentar tras la aplicación de los tratamientos. El compost, té de vermicompost y extracto de compost presentaron una CE alta (Cuadro 1). A pesar de ello Hashemimajd, Mohamadi, & Jamaati-e-Somarin (2012) mencionan que los niveles de CE de compost puede oscilar entre 0.1 y 10 dS·m<sup>-1</sup>. La CE de T5 aumentó 80.9 %, mientras que T3 incrementó 71 %, y no presentó diferencia significativa entre T1 y T2 (33.3 %). Finalmente, T4 aumentó en 28.5 % su CE respecto del testigo. No obstante a los incrementos de CE, el suelo presentó baja salinidad, de acuerdo con la clasificación de la NOM-021-RECNAT-2000.

La CIC mostró diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, resultando favorecida tras la aplicación de los compuestos orgánicos. Los tratamientos T3 y T4 lograron un aumento de 2.5 y 3.4 % mayor al testigo (T1), respectivamente. Arrigo, Jiménez, Palma, Benito, y Tortarolo (2005) reportaron una respuesta similar al incorporar material orgánico al suelo. Mientras que Félix-Herrán, Sañudo-Torres, Olalde-Portugal, Rojo-Martínez, y Martínez-Ruiz (2008) mencionan que como resultado de la mineralización de los residuos compostados, al ser agregados al suelo, se incrementa la CIC previo a la aplicación de los tratamientos. En este sentido, Escudey, Förster, y Galindo (2004) afirman que al incrementar la materia orgánica del suelo se refleja un aumento en la CIC.

El análisis de contenido nutricional a los 102 ddt, mostró que T2 y T5 aumentaron el contenido de N foliar en 5.4 y 7.0 %, respecto del T1; sin embargo, no fueron diferentes estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ). Cabe mencionar que estos valores caen dentro de los niveles de suficiencia (2.5 a 5 %) para el cultivo de tomate

compared to the control. However, T5 was statistically different from the rest of the treatments, staying within the 2.5 – 5 % tomato sufficiency ranges (Benton, 2012). Likewise, Ca concentrations showed similar behavior and significant ( $P \leq 0.05$ ) differences with T5, slightly exceeding the maximum level of recommended leaf Ca content (1.5 to 3 %). Mg concentration showed significant ( $P \leq 0.05$ ) differences, but all treatments were between the ideal values (0.15 to 1 % Mg), maintaining normal plant development without the presence of physiological disorders.

The microelements (Cu, Fe and Zn) presented significant ( $P \leq 0.05$ ) differences. Leaf Fe and Zn content fluctuated within the established 60 to 300 mg·kg<sup>-1</sup> Fe and 20 to 250 mg·kg<sup>-1</sup> Zn tomato ranges. T2 exceeded by 25 % the maximum Fe concentration value reported by Benton (2012); Zn was 20 % higher than the optimum tomato sufficiency values. For its part, Cu was up to 56 % higher in the other treatments compared to the control (Benton, 2012). Thus, these concentration levels, despite being high, did not display toxicity symptoms or antagonism during the evaluated phenological stage (Table 4).

Incorporating the treatments produced the same effect as that obtained by conventional fertilization. This reaction can be attributed to an increase in soil nutrient availability, after applying compost and vermicompost, due to their effects on pH and soil structure, thus increasing fertility (Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, & Ojeda-Barrios, 2012). Brown and Cotton (2011) found that compost use has a positive effect on soil properties. Sarwar et al. (2008) reported similar values to those obtained in the present study and demonstrated that there were more nutrients available to plants treated with compost.

Similarly, Ahmed and Khan (2013), after applying vermicompost, increased tomato yields, so they suggest

en etapa de floración. Ochoa-Martínez et al. (2009) mostraron resultados similares de la concentración de N foliar a los obtenidos en el presente estudio con el uso de té de compost. Por su parte, el P presentó valores semejantes entre T1, T2 y T4, siendo estadísticamente diferentes de T3 y T5, superando ligeramente los límites recomendados (0.35 a 0.9 %). No obstante, el resto de los tratamientos presentan concentración de P foliar suficiente para el desarrollo de las principales funciones fisiológicas.

Por otro lado, el contenido de K en hojas osciló entre 3.43 y 4.91 %, sin presentar diferencia significativa respecto del testigo. No obstante, T5 fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos, manteniéndose dentro de los rangos de suficiencia para tomate (2.5 - 5 %) (Benton, 2012). Asimismo, las concentraciones de Ca presentaron comportamiento similar encontrándose diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) con T5, superando ligeramente al límite máximo de Ca foliar recomendado (1.5 a 3 %). En la concentración de Mg se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), pero todos los tratamientos se presentaron entre los valores ideales (0.15 a 1 % Mg), manteniendo desarrollo normal de la planta sin presencia de fisiopatías.

Los microelementos (Cu, Fe y Zn) presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). El contenido de Fe y Zn en hoja, estuvieron fluctuando dentro del rango establecido para tomate (60 a 300 mg·kg<sup>-1</sup> Fe y 20 a 250 mg·kg<sup>-1</sup> Zn). En el caso de T2 superó en 25 % la concentración de Fe respecto del valor máximo según Benton (2012); mientras que el Zn fue mayor en 20 % a los valores óptimos de suficiencia para tomate. Por otro lado, el Cu estuvo hasta 56 % por arriba en el resto de los tratamientos en comparación con el testigo (Benton, 2012). Así pues, estos niveles de concentración, a pesar de ser altos, no presentaron síntomas de toxicidad o antagonismo en la etapa fenológica evaluada (Cuadro 4).

**Table 4. Leaf nutrient content in flowering stage of tomato cv. “Grandella” plants treated with compost, vermicompost tea and compost extract.**

**Cuadro 4. Contenido nutricional foliar en etapa de floración de tomate cv. “Grandella” tratados a base de compost, té de vermicompost y extracto de compost.**

Treatment / Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Cu (mg·kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg·kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg·kg <sup>-1</sup> )
T1	4.25 a	1.35 a	4.79 a	2.40 b	0.51 a	86.07 c	242.57 b	311.03 a
T2	4.48 a	1.31 a	4.38 a	2.84 b	0.42 b	135.30 a	405.89 a	286.51 b
T3	3.28 b	0.43 c	4.00 a	2.72 b	0.62 a	124.80 b	280.81 ab	210.61 b
T4	4.13 a	0.92 ab	4.91 a	2.17 b	0.48 ab	133.65 a	330.19 b	294.81 b
T5	4.55 a	0.67 b	3.43 b	3.72 a	0.47 ab	129.26 b	199.76 c	258.52 ab

T1 = control, T2 = compost, T3 = vermicompost tea, T4 = compost extract and T5 = combination of all the above.

Means with the same letters in each column do not differ statistically ( $P \leq 0.05$ ).

T1 = testigo convencional, T2 = compost, T3 = té de vermicompost, T4 = extracto de compost y T5 = combinación de todos los anteriores.

Medias con la letras iguales en cada columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ).

the use of this option as a potential means of sustainable production. Likewise, Tringovska and Dintcheva (2012) have shown the benefits of vermicompost, attributing the plant reaction to a change in soil physical and biological properties (Robledo, Grosso, Zoppolo, Lercari, & Etchebehere, 2010).

Leaf chlorophyll readings after applying the organic treatments (T2, T4 and T5) did not show statistical differences ( $P \leq 0.05$ ) compared to the control (T1, Table 5). Degli-Esposti et al. (2003) noted that readings above 40 SPAD units were directly related to the good nutritional status of the plant. Various studies also indicate that there is a high correlation between extractable leaf N concentration and the chlorophyll units measured with the SPAD meter (Rodríguez-Mendoza, Alcántar-González Aguilar-Santelises, Etchevers-Barra, & Santizo-Rincón, 1998; Rezende-Fontes & de Araujo, 2006). This finding supports the data obtained in the present study, where the higher the leaf N concentration the higher the chlorophyll units. Preciado-Rangel et al. (2011) also obtained very similar results to those of the present study, finding a good response with the organic treatments, thereby representing a viable option as a nutrient source for tomato plants.

In terms of fruit number and yields, no significant ( $P \leq 0.05$ ) differences were found. Fruit weight was statistically different ( $P \leq 0.05$ ) among treatments, with a 10 % difference between T4 and T5. Vega-Ronquillo, Rodríguez-Guzmán, de Cárdenas-López, Almaguer, and Serrano-González (2006) were able to increase cucumber yields after compost and earthworm humus application, and found that fruits of the treated plants increased in weight. Roblero-Ramírez Nava-Pérez Valenzuela-Quinóñez, Camach-Báez, and Rodríguez-Quiroz (2014) demonstrated similar effects in tomato fruits, where vermicompost use had an important influence on fruit number and weight. Tejada, González, Hernández and García (2008) also coincided with the findings of the present study, confirming that

La incorporación de los tratamientos fue capaz de producir el mismo efecto que el equivalente de la fertilización convencional. Esta respuesta puede atribuirse a que el compost, así como el vermicompost, aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, debido a sus efectos sobre el pH y su estructura, volviéndolo más fértil (Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, & Ojeda-Barrios, 2012). Brown y Cotton (2011) comprobaron que el uso de compost tiene un efecto positivo sobre las propiedades del suelo. Sarwar et al. (2008) coinciden con los valores obtenidos en el presente trabajo, mostrando que los nutrientes de la planta se presentaron más disponibles en aquellas plantas tratadas con compost.

De igual manera, Ahmed y Khan (2013), haciendo uso del vermicompost, lograron aumentar el rendimiento en tomate; por lo que sugieren que el uso de estas alternativas es una fuente potencial para la producción sustentable. Asimismo, Tringovska y Dintcheva (2012) han mostrado las bondades del vermicompost, pues atribuyen la respuesta de la planta a un cambio en las propiedades físicas y biológicas del suelo (Robledo, Grosso, Zoppolo, Lercari, & Etchebehere, 2010).

Las lecturas de clorofila de los tratamientos de fuentes orgánicas (T2, T4 y T5) no resultaron diferentes estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) del testigo convencional (T1, Cuadro 5). Degli-Esposti et al. (2003) mencionan que lecturas mayores de 40 unidades SPAD se relacionan directamente con buen estado nutricional de la planta. Diversas investigaciones señalan que hay una alta correlación entre la concentración de N extractable de las hojas con las unidades clorofila medidas con el equipo SPAD (Rodríguez-Mendoza, Alcántar-González, Aguilar-Santelises, Etchevers-Barra, & Santizo-Rincón, 1998; Rezende-Fontes & de Araujo, 2006). Esta contribución da sustento a los datos aquí presentados, donde a mayor concentración de N en las hojas, mayores son las unidades de clorofila. Preciado-Rangel et al. (2011) obtuvieron resultados muy similares

**Table 5. Chlorophyll behavior in plants treated with compost, vermicompost tea and compost extract, and their response in fruit number, weight and yields.**

**Cuadro 5. Comportamiento de la clorofila en plantas tratadas a base de compost, té de vermicompost y extracto de compost, y su respuesta en número y peso de frutos y rendimiento.**

Treatment/ Tratamiento	Chlorophyll (SPAD units)/ Clorofila (Unidades SPAD)	Fruit number/ Número de frutos	Fruit weight (g)/ Peso de frutos (g)	Yields (kg·m <sup>-2</sup> )/ Rendimiento (kg·m <sup>-2</sup> )
T1	51.4 a	38 a	153 ab	13.8 a
T2	49.2 ab	34 a	143 ab	14.5 a
T3	46.9 b	37 a	152 ab	12.9 a
T4	48.3 ab	39 a	141 b	13.5 a
T5	48.9 ab	38 a	155 a	14.3 a

Means with the same letters in each column do not differ statistically ( $P \leq 0.05$ ).

Medias con la letras iguales en cada columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ).



the application of leachates from vermicomposting increases tomato yields.

Yields remained statistically unchanged ( $P \leq 0.05$ ) compared to the control. These results coincide with those of Ortega-Martínez et al. (2010) who maintained tomato production with compost application. This indicates that the use of compost and aqueous extracts has an effect on the physicochemical properties of the soil. These changes in the soil result in reduced nutrient leaching from the soil matrix due to greater water retention and increased CEC (de Grazia, Tittonell, & Chiesa, 2004).

## Conclusions

Residual mushroom waste, in its solid state, as aqueous extract, vermicompost tea, and compost extract, showed potential as a soil conditioner, particularly the compost and compost extract, which directly improved soil physicochemical characteristics such as organic matter, bulk density and CEC. In addition, they satisfied crop macro and micronutrient requirements, and thus maintain yields. Consequently, residual mushroom waste is a viable material source to be composted; therefore, they are an effective alternative for use as a nutrient source and soil conditioner for tomato production. Thus, these alternatives allow reducing agrochemical use as much as possible by making better use of renewable resources.

*End of English version*

## References / Referencias

- Aguilar-Benítez, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Ramírez-Vallejo, P., Benedicto-Valdés, S. G., & Molina-Galán, J. D. (2012). Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia*, 46, 37-50. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2012/ene-feb/art-4.pdf>
- Ahmed, I., & Khan, A. (2013). Effect of vermicompost on growth and productivity of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under field conditions. *Acta Biologica Malaysiana*, 2(1), 12-21. doi: 10.7593/abm/2.1.12
- Alcántar, G., & Sandoval, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal* (pp. 156). Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Arrigo, N., Jiménez, M., Palma, R., Benito, M., & Tortarolo, M. (2005). Residuos de poda compostados y sin compostar: Uso potencial como enmienda orgánica en suelo. *Ciencia del Suelo*, 23(1), 87-92. Retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672005000100010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672005000100010&lng=es&nrm=iso)

al presente estudio, encontrando buena respuesta en los tratamientos orgánicos; por lo que se puede decir que representan una opción viable para ser empleados como fuentes de nutrientes para tomate.

En tanto a número de frutos y rendimiento del cultivo, no se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ). El peso de frutos fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, existiendo 10 % de diferencia entre T4 y T5. Vega-Ronquillo, Rodríguez-Guzmán, de Cárdenas-López, Almaguer, y Serrano-González (2006) lograron incrementar el rendimiento de pepino tras la aplicación de compost y humus de lombriz, y encontraron que los frutos de las plantas tratadas presentaron mayor peso. Por su parte, Roblero-Ramírez, Nava-Pérez, Valenzuela-Quinónez, Camach-Báez, y Rodríguez-Quiroz (2014) mostraron un efecto similar al presente estudio en frutos de tomate, donde el uso de vermicompost influyó de manera importante sobre el número y peso de frutos. Tejada, González, Hernández, y García (2008) coinciden con lo aquí reportado, asegurando que la aplicación de lixiviados procedentes del vermicompostaje incrementa los rendimientos del cultivo de tomate.

El rendimiento se mantuvo sin cambios estadísticos ( $P \leq 0.05$ ) respecto del control. Estos resultados coinciden con Ortega-Martínez et al. (2010) quienes lograron mantener la producción de tomate con la aplicación de compost. Todo lo anterior indica que el uso de compost y extractos acuosos tiene un efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo. Estos cambios en el suelo se traducen en la disminución de lixiviación de nutrientes desde la matriz del suelo debido a la mayor retención hídrica y al aumento de la CIC (de Grazia, Tittonell, & Chiesa, 2004).

## Conclusiones

El compost de residuos de champiñón en su presentación sólida, así como los extractos acuosos, té de vermicompost y extracto de compost, mostraron potencial para servir como mejoradores de suelo; especialmente el compost y extracto de compost, que influyeron directamente para mejorar las características fisicoquímicas del suelo como la materia orgánica, la densidad aparente y la CIC del suelo. Además, lograron satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo en macro y micronutrientes, y por ende mantuvieron los rendimientos. En consecuencia, los residuos del cultivo de champiñón son una opción viable como fuente de materiales a compostar; por lo tanto, son una alternativa eficaz para ser utilizados como fuente de nutrientes para la producción de tomate y como mejorador de suelo. De esta manera, se trata de excluir en lo posible el empleo de agroquímicos haciendo mejor uso de los recursos renovables.

*Fin de la versión en español*

- Benton, J. (2012). *Plant nutrition and soil fertility manual* (pp. 271). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Brown, S., & Cotton, M. (2011). Changes in soil properties and carbon content following compost application: Results of farm sampling. *Compost Science & Utilization*, 19(1), 88-97. Retrieved from <http://www.calrecycle.ca.gov/organics/farming/Documents/Changes.pdf>
- Bruinsma, J. (1963). The quantitative analysis of chlorophyll a and b in plant extracts. *Protochem and Photobiol*, 2(2), 241-249. doi: 10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x1097.1963.tb08220.x
- Claassen, V., & Carey, J. (2004). Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Science & Utilization*, 12(2), 145-152. Retrieved from [http://www.dot.ca.gov/hq/LandArch/ec/references/claassen/Regeneration\\_of\\_N\\_Using\\_Compost.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/LandArch/ec/references/claassen/Regeneration_of_N_Using_Compost.pdf)
- Daza, M. (2014). Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 22-30. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542014000300004&lng=es&nr m=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300004&lng=es&nr m=iso)
- de Grazia, J., Tiftonnell, P., & Chiesa, A. (2004). Growth and quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) transplants as affected by substrate properties and irrigation frequency. *Advances in Horticultural Sciences*, 18(4), 181-187.
- Degli-Esposti, M. D., Lopes-de Siqueira, D., Gomes-Pereira, P. R., Alvarez-Venegas, V. H., Chamhum-Salomão, L. C., & Machado-Filho, J. A. (2003). Assessment of nitrogenized nutrition of citrus rootstocks using chlorophyll concentrations in the leaf. *Journal of Plant Nutrition*, 26(6), 1287-1299. doi: 10.1081/PLN-120020371
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 359-371. Accessed on june-05-2015, [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372010000500027&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500027&lng=es&tlng=es).
- Durán-Umaña, L., & Henríquez-Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), 85-93. Retrieved from [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v21n01\\_085.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v21n01_085.pdf)
- Escudéy, M., Förster, J., & Galindo, G. (2004). Relevance of organic matter in some chemical and physical characteristics of volcanic ash-derived soils. *Communications in Soils Science and Plant Analysis*, 35(5-6), 781-797. doi: 10.1081/CSS-120030358
- Félix-Herrán, J. A., Sañudo-Torres, R. R., Olalde-Portugal, V., Rojo-Martínez, G. E., & Martínez-Ruiz, R. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57-67. Retrieved from <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/6955>
- Ferreira-Araújo, A. S., Marçal-Silva, M. D., Carvalho-Leite, L. F., Fernando-de Araújo, F., & da Silva-Dias, N. (2013). Soil pH, electric conductivity and organic matter after three years of consecutive amendment of composted tannery sludge. *African Journal of Agricultural Research*, 8(14), 1204-1208. doi: 10.5897/AJAR2013.7016
- Gajalakshmi, S., Ramasamy, E., & Abbasi, S. (2001). Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresour Technology*, 76(3), 177-181. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11198167>
- HACH (2003). Manual de análisis de agua (pp. 214). Colorado, EE.UU.: HACH Company.
- Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., & Shariatmadari, H. (2004). Comparison of vermicompost and compost as potting media for growth of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition*, 27(6), 1107-1123. doi: 10.1081/PLN-120037538
- Hashemimajd, K., Mohamadi, T., & Jamaati-e-Somarin, S. (2012). Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. *African Journal of Biotechnology*, 11(6), 1425-1434. Retrieved from <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/100300>
- Krugh, B., Bichham, L., & Miles, D. (1994). The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. *Maize genetics cooperation. News Letter*, 68, 25-27. Retrieved from <http://www.agron.missouri.edu/mnl/68/39krugh.html>
- Mondini, C., Dell' Abate, M., Leita, L., & Benedetti, A. (2003). An integral chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation. *Journal Environmental Quality*, 32(6), 2379-2386. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14674563>
- Murray-Núñez, R. M., Bojórquez-Serrano, J. I., Hernández-Jiménez, A., Orozco-Benítez, M. G., García-Paredes, J. D., Gómez-Aguilar, R., Ontiveros-Guerra, H. M., & Aguirre-Ortega, J. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Revista Bio Ciencias*, 1(3), 27-35. Retrieved from <http://biociencias.uan.edu.mx/publicaciones/02-03/biociencias3-3.pdf>
- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. A., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442002000800006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442002000800006&script=sci_arttext)
- Diario Oficial de la Federación. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. México: Author.
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 15(3), 245-250. doi: 10.5154/rchsh.2009.15.034

- Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 28(1), 27-37. Retrieved from <http://www.universidadyciencia.ujat.mx/sistema/documentos/volumenes/28-1-2012/3--624.pdf>
- Orozco-Rodríguez, R., & Muñoz-Hernández, R. (2012). Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 25(1), 16-31. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835576.pdf>
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., & Manzo-Ramos, F. (2010). Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*, 6(3), 339-346. Retrieved from <http://revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/24588>
- Pardo-Giménez, A., Cunha-Zied, D., & Pardo-González, J. E. (2010). Utilización de compost agotado de champiñón como capa de coberturas en nuevos ciclos de producción. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(10), 1164-1171. doi: 10.1590/S0100-204X2010001000016
- Polat, E., Uzun, H., Topcuoglu, B., Önal, K., Onus, A., & Karaca, M. (2009). Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in greenhouses. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 176-180. Retrieved from <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/viewFile/59758/48038>
- Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., Rueda-Puente, E. O., Esparza-Rivera, J. R., Lara-Herrera, A., Segura-Castruita, M. A., & Orozco-Vidal, J. A. (2011). Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36(9), 689-693. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921204009>
- Rezende-Fontes, P. C., & de Araujo, C. (2006). Use of chlorophyll meter and plant visual aspect for nitrogen management in tomato fertigation. *Journal of Applied Horticulture*, 8(1), 8-11. Retrieved from <http://horticultureworld.net/Use%20of%20a%20chlorophyll%20meter%20and%20plant%20visual%20aspect%20for.pdf>
- Robledo, O., Grosso, E., Zoppolo, R., Lercari, D., & Etchebehere, C. (2010). Producción de tomate y dinámica microbiológica del suelo de invernáculo al aplicar vermicompostas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(1), 35-51. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83716113003>
- Roblero-Ramírez, H. R., Nava-Pérez, E., Valenzuela-Quinónez, W., Camach-Báez, J. R., & Rodríguez-Quiroz, G. (2014). Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1495-1500. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131168015>
- Rodríguez-Dimas, N., Cano-Ríos, P., Figueroa-Viramontes, U., Palomo-Gil, A., Favela-Chávez, E., Álvarez-Reyna, V. P., Márquez-Hernández, C., & Moreno-Reséndez, A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 265-272. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031310>
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Alcántar-González, G., Aguilar-Santelises, A., Etchevers-Barra, J. D., & Santizó-Rincón, J. A. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra*, 16(2), 135-141. Retrieved from <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/16/2/art135-141.pdf>
- Rodríguez-Torres, M. D., Venegas-González, J., Angoa, M. V., & Montañez-Soto, J. L. (2010). Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de ácidos húmicos de diferentes compost y su efecto sobre el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 132-146. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263120587002>
- Sarwar, G., Schmeisky, H., Hussain, N., Muhammad, S., Ibrahim, M., & Safdar, E. (2008). Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice wheat cropping system. *Pakistan Journal of Botany*, 40(1), 275-282. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/265935439\\_Improvement\\_of\\_soil\\_physical\\_and\\_chemical\\_properties\\_with\\_compost\\_application\\_in\\_Rice-wheat\\_cropping\\_system](https://www.researchgate.net/publication/265935439_Improvement_of_soil_physical_and_chemical_properties_with_compost_application_in_Rice-wheat_cropping_system)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2013). *Producción Agrícola*. Cultivo de hongos ciclo 2013. Distrito Federal, México: Author. Retrieved from <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>
- Stat-graphics (2010). Stat Point Technologies, version 16.1.11., Inc. Manual, Manusguistics, Rockville: Author.
- Tejada, M., González, J., Hernández, M., & García, C. (2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource Technology*, 99(14), 6228-6232. doi: 10.1016/j.biortech.2007.12.031
- Tringovska, I., & Dintcheva, T. (2012). Vermicompost as substrate amendment for tomato transplant production. *Sustainable Agriculture Research*, 1(2), 115-122. doi: 10.5539/sar.v1n2p115
- Vega-Ronquillo, E., Rodríguez-Guzmán, R., de Cárdenas-López, M., Almaguer, A., & Serrano-González, N. (2006). Abonos orgánicos procesados como alternativa de sustrato de cultivos organopónicos de invernadero. *Naturaleza y Desarrollo*, 4(1), 24-35. Retrieved from [http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol4num1/abonos\\_organicos.pdf](http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/vol4num1/abonos_organicos.pdf)