

EL VERMICOMPOST COMO SUSTRATO SUSTITUTO EN LA GERMINACIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

VERMICOMPOST AS A SUBSTITUTE SUBSTRATE IN TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) GERMINATION

Eusebio Nava-Pérez, Wenceslao Valenzuela-Quiónéz, Gerardo Rodríguez-Quiroz*

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR, Unidad Sinaloa. Bulevard Juan de Dios Bátiz Paredes 250, Colonia San Joachin. 81101. Guasave, Sinaloa. (grquiroz@ipn.mx).

RESUMEN

El interés por el uso de la lombriz *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) para transformar los recursos orgánicos en descomposición a vermicompost, ha permitido opciones de uso de este recurso y beneficios en la actividad agrícola, como en la producción de planta de tomate para trasplantar. El vermicompost usado fue de estiércol bovino y desechos vegetales, lo cual se mezcló con sustrato comercial (Peat Moss LM2) en proporciones de: 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 y 0%, para germinar semillas de tomate. Las plantas se regaron con agua pura o enriquecida con N o P. El efecto inicial con el vermicompost fue en la velocidad de germinación, con las dosis entre 40 y 70%, las cuales también aceleraron el crecimiento y producción de planta para trasplantar, con tallo más grueso, más hojas verdaderas y volumen mayor de raíz. Las plantas regadas con el agua enriquecida incrementaron su contenido de nitrógeno en las hojas verdaderas. El vermicompost mejora la calidad de planta para trasplante y reduce el tiempo para su producción, lo cual disminuye los costos de producción de planta de tomate.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, vermicomposta, *Eisenia foetida*, balance nutrimental, volumen de raíces, contenido de nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

La lombriz *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) se usa para transformar los recursos orgánicos en sustratos para cultivo y en general aumenta el contenido nutrimental y la calidad de los suelos (Atiyeh *et al.*, 2000). El vermicompost producido por la lombriz promueve el desarrollo adecuado de

ABSTRACT

Interest in using the earthworm *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) to transform decomposing organic resources into vermicompost has led to options for use of this resource and to benefits for agriculture, as in the production of tomato seedlings for transplanting. The vermicompost used for germinating tomato seeds was made with cattle manure and plant residues. The vermicompost was then mixed with a commercial substrate (Peat Moss LM2) in proportions of 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 and 0%. Plants were irrigated with water enriched with N or P. The initial effect of vermicompost was noticed on germination rate with doses between 40 and 70%; these doses also accelerated growth and production of plants for transplanting with thicker stems, more true leaves and larger root volume. The plants irrigated with enriched water increased nitrogen content in the true leaves. Vermicompost improves plant quality for transplant and reduces production time, thus decreasing tomato plant production costs.

Key words: *Solanum lycopersicum*, vermicompost, *Eisenia foetida*, nutrient balance, root volume, N content.

INTRODUCTION

The earthworm *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) is used to transform organic resources into substrates for cultivation and in general to increase soil nutritive content and quality (Atiyeh *et al.*, 2000). Vermicompost produced by earthworms promotes adequate plant development because it favors aeration, drainage and water retention capacity of the treated substrate (Begum, 2011; Doan *et al.*, 2013). In vermicompost a mineral mix is formed with low quantities of salts with ion exchange capacity (Fornes *et al.*, 2012; Padhiyar *et al.*, 2017) and plant growth regulating substances (Tomati *et al.*, 1990),

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2018. Aprobado: octubre, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 869-880. 2019.

la planta, porque favorece la aireación, el drenaje y la capacidad de retención de agua del sustrato tratado (Begum, 2011; Doan *et al.*, 2013). En el vermicompost se forma una mezcla de minerales, con cantidades bajas de sales, con capacidad de intercambio iónico (Fornes *et al.*, 2012; Padhiyar *et al.*, 2017), y sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (Tomati *et al.*, 1990), como N, P, K, Ca y Mg asimilables por las plantas (Orozco *et al.*, 1996; Arancon *et al.*, 2012). Los desechos orgánicos tratados con la lombriz *Eisenia foetida* tienen efectos benéficos en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Subler *et al.*, 1998; Atiyeh *et al.*, 2000; Atiyeh *et al.*, 2001; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017), como precocidad en la germinación y el desarrollo, y una producción mayor (Prasanna-Kumar y Raheman, 2010; 2012).

Un objetivo de la producción de plántula en viveros es fortalecer la morfología de las plántulas para lograr una adaptación postrasplante exitosa, tolerancia a los cambios de temperatura, diferencias en la cantidad de riego y manejo de la plántula (Chinsamy-Manoj *et al.*, 2014). Aunque los sustratos comerciales, como *peat moss*, se utilizan en viveros, estos son recursos no renovables y los ecosistemas donde se extrae se degradan; por esto es necesario hallar sustratos para reemplazar parcial o totalmente los no renovables (Lazcano *et al.*, 2009).

El vermicompost se ha evaluado en la germinación de semillas de leguminosas y hortalizas (Begum, 2011; Chanda *et al.*, 2011; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012; Lopes-Olivares *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017) y de plantas de ornato (Atiyeh *et al.*, 2000). El vermicompost utilizado en tomate tuvo los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta durante todo el periodo de crecimiento (Carvalho *et al.*, 2001; Lazcano *et al.*, 2009; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017); además, es un sustrato que los productores de hortalizas usan para reducir costos de producción (Prasanna-Kumar y Raheman, 2012), funciona como un complemento nutricional, ya que en el sustrato comercial importado desde Estados Unidos y Canadá presenta concentraciones bajas de P y K (Arthur *et al.*, 2012). El objetivo de este estudio fue usar vermicompost como sustituto de sustrato comercial en la germinación de la semilla, el crecimiento y la calidad nutricional de la planta de tomate híbrido 'Arcturus', para trasplantar.

such as N, P, K, Ca and Mg that are plant assimilable (Orozco *et al.*, 1996; Arancon *et al.*, 2012). Organic waste treated with the earthworm *Eisenia foetida* has beneficial effects on plant growth and development (Subler *et al.*, 1998; Atiyeh *et al.*, 2000; Atiyeh *et al.*, 2001; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017), such as early germination and development and greater production (Prasanna-Kumar and Raheman, 2010; 2012).

One of the objectives of plant production in nurseries is to strengthen seedling morphology for successful post-transplant adaptation, tolerance to changes in temperature, differences in the amount of irrigation and plant management (Chinsamy-Manoj *et al.*, 2014). Although commercial substrates, such as peat moss, are used in nurseries, they are unrenovable resources, and their extraction degrades the ecosystems from which they are extracted. Therefore, it is necessary to find substrates to partially or totally replacing the unrenovable substrates (Lazcano *et al.*, 2009).

Vermicompost has been evaluated in germination of legume and vegetable seeds (Begum, 2011; Chanda *et al.*, 2011; Aguilar-Benítez *et al.*, 2012; Lopes-Olivares *et al.*, 2015; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017) and of ornamental seeds (Atiyeh *et al.*, 2000). Vermicompost used in tomato has the necessary nutrients for plant development during the entire growth period (Carvalho *et al.*, 2001; Lazcano *et al.*, 2009; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017). Also, it is a substrate that vegetable producers use to reduce production costs (Prasanna-Kumar and Raheman, 2012). It functions as a nutrient complement since the commercial substrate imported from the United States and Canada have low concentrations of P and K (Arthur *et al.*, 2012). The objective of this study was to use vermicompost as a substitute of commercial substrate in seed germination, plant growth and nutritional quality of tomato hybrid 'Arcturus' plants for transplant.

MATERIALS AND METHODS

In this study, temperature and humidity were not controlled. Vermicompost was obtained with cattle manure and plant organic waste (3:2 v/v dry weight) composted for 90 d with the earthworm *Eisenia foetida* (Table 1). Seeds were germinated in

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio la temperatura y humedad no se controlaron. El vermicompost se obtuvo de estiércol bovino y desechos orgánicos vegetales (3:2 v/v en peso seco) en compostaje por 90 d, con la lombriz *Eisenia foetida* (Cuadro 1). Las semillas se germinaron en charolas de propileno de 200 cavidades. Para la germinación se substituyó el sustrato comercial (Peat Moss LM2) por vermicompost en proporciones: 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 y 0% (Atiyeh *et al.* 2001; Zaller, 2007; Yang *et al.*, 2015). Las réplicas por tratamiento fueron tres.

Las semillas de tomate híbrido 'Arcturus' se colocaron en un cuarto poco iluminado hasta que germinaron. El desarrollo de la plántula hasta las primeras hojas verdaderas se hizo en charolas y riego con agua, se mantuvieron en un vivero, con techo con malla para sombrear 80%; y luego se continuó el riego con agua, o se aplicó un riego con concentrados líquidos con P (0.30 g L⁻¹) o N (0.168 g L⁻¹).

Las evaluaciones incluyeron N, pH, materia orgánica y conductividad eléctrica (Carvalho *et al.*, 2001) de cada mezcla utilizada. Las variables evaluadas en las plantas fueron: longitud del tallo (LT), longitud de la hoja (LH), longitud de la raíz (LR), grosor del tallo (GT), número de hojas (NM) y ganancia foliar de N. El diseño experimental fue completamente al azar, los datos se analizaron con ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se usó el programa SAS para Windows versión 10.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los sustratos

La concentración de N total disponible en el vermicompost fue el doble respecto al sustrato comercial (Cuadro 1). El pH del vermicompost fue cercano a neutro y el del sustrato comercial fue ácido. La materia orgánica en el vermicompost fue 10 veces mayor que en el sustrato comercial debido a su origen diferente. La conductividad eléctrica del vermicompost fue cuatro veces mayor que la del sustrato comercial.

200-cavity propylene trays. For germination the commercial substrate (Peat Moss LM2) was substituted by 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 and 0% vermicompost (Atiyeh *et al.* 2001; Zaller, 2007; Yang *et al.*, 2015). Treatments were replicated three times.

Seeds of the tomato hybrid 'Arcturus' were placed in a room with little light until they germinated. Seedlings up to appearance of the first true leaves developed in the trays and were irrigated with water. Trays were kept in a nursery with net roofing that provided 80% shade and later irrigation with water continued, or irrigation with liquid concentrates with P (0.30 g L⁻¹) of N (0.168 g L⁻¹) was applied.

N, pH, organic matter and electric conductivity (Carvalho *et al.*, 2001) of each mixture used were evaluated. The evaluated variables in plants were stem length (LT), leaf length (LH), root length (RL), stem thickness (ST), number of leaves (NL) and leaf N gain. The experimental design was completely randomized, data were analyzed with ANOVA and means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) using SAS for Windows version 10.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of substrates

The concentration of total available N in the vermicompost was twice that of the commercial substrate (Table 1). pH of the vermicompost was nearly neutral, while the commercial substrate was acid. The organic matter in the vermicompost was 10 times that in the commercial substrate because of the different origins. Electric conductivity of the vermicompost was four times that of the commercial substrate. This characteristic can favor germination and shorten plant production time (Chanda *et al.*, 2011; Arancon *et al.*, 2012).

Plant growth before transplant

Plants in the treatments with vermicompost had thick stems, were larger, and had bright color. Their

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos evaluados en la germinación de semillas de tomate.

Figure 1. Physical and chemical properties of the substrates evaluated in tomato seed germination.

Sustrato	N (mg g ⁻¹)	pH	MO (mg g ⁻¹)	CE (mS cm ⁻¹)
Vermicompost	1.7	7.7	1.10	1.90
Sustrato comercial	0.75	5.3	0.12	0.44

Esta característica puede favorecer la germinación y acortar el tiempo de producción de plántulas (Chanda *et al.*, 2011; Arancon *et al.*, 2012).

Crecimiento de la planta antes del trasplante

Las plantas de los tratamientos con vermicompost presentaron tallo grueso, tamaño mayor y color brillante; su vigor durante su extracción de las charolas permitió 95% de las raíces completas y acortó el tiempo para la exposición las hojas verdaderas. El efecto del vermicompost sobre el desarrollo del tallo fue significativo ($p \leq 0.05$) respecto al sustrato comercial. Las plantas en las mezclas con 10 y 30% de vermicompost mostraron tallo 20 mm más largo que las plantas sin vermicompost (Cuadro 2). El mayor efecto se observó entre las plantas obtenidas con la germinación en las mezclas con 40 y 70% de vermicompost.

El efecto positivo del vermicompost durante el trasplante se ha documentado (Chakraborty *et al.*, 2008) y contrasta con el efecto de sustratos comerciales, porque aquellas presentaron más biomasa en las raíces e incrementaron el crecimiento y desarrollo de la planta completa (Chakraborty *et al.*, 2008; Maji *et al.*, 2017). Sustratos mezclados con 40 a 70% de vermicompost permiten un desarrollo mayor de la planta, así como mejor resistencia y tolerancia al

vigor during extraction from the trays permitted that 95% of the roots were complete and time of appearance of true leaves was shorter. The effect of the vermicompost on stem development was significant ($p \leq 0.05$) regarding that of commercial substrate. The plants in the mixtures with 10 and 30% vermicompost had stems 20 mm longer than plants without vermicompost (Table 2). The greatest effect was observed between the plants obtained by germination in the mixtures with 40 and 70% vermicompost.

The positive effect of vermicompost during transplant has been documented (Chakraborty *et al.*, 2008) and contrasts with the effect of commercial substrates. Plants grown in vermicompost had greater root biomass and growth and development of the entire plant increased (Chakraborty *et al.*, 2008; Maji *et al.*, 2017). Substrates mixed with 40 to 70% vermicompost promoted better plant development as well as better resistance and tolerance to stress caused by transplanting (Arancon *et al.*, 2012; Prasanna-Kumar y Raheman, 2010 y 2012; Chinsamy-Manoj *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2015). Our study demonstrates that vermicompost favored tomato plant development before transplant, but the organic substrate must have certain characteristics to assure correct plant development of each tomato variety (Olaria *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Variables del crecimiento de plántulas de tomate en vermicompost.

Table 2. Tomato seedling growth variables in vermicompost.

Tratamiento (% vermicompost)	LH (mm)	LR (mm)	LT (mm)	GT (mm)	NH
0C	72.00d	71.30a	68.89d	2.69d	4.01ab
10C	83.16abc	70.04b	91.41a	2.70d	3.84b
20C	84.81a	70.23b	85.87ab	2.63d	3.92b
30C	85.41a	69.19bc	90.84ab	2.84c	4.19a
40C	80.23bc	68.84bc	85.24b	2.92ab	4.04ab
50C	82.48abc	69.93b	87.44ab	2.98ab	3.88b
60C	84.27ab	64.64cd	85.81ab	2.88bc	3.87b
70C	83.31ab	68.76bc	89.88ab	2.89bc	3.93b
80C	78.90c	62.87d	80.33c	2.65d	3.83b
90C	83.07abc	63.34d	89.22ab	2.85c	3.84b
100C	86.38a	84.94b	87.13ab	3.06a	3.51c

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). LT: longitud de tallo, LH: longitud hoja, LR: longitud de raíz, GT: grosor de tallo y NH: número de hojas ♦ Means with different letters are statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). LT: stem length, LH: leaf length, LR: root length, GT: stem thickness and NH: number of leaves.

estrés por trasplante (Arancon *et al.*, 2012; Prasanna-Kumar y Raheman, 2010 y 2012; Chinsamy-Manoj *et al.*, 2014; Yang *et al.*, 2015). En nuestro estudio se demostró que el vermicompost favoreció el desarrollo de la planta de tomate antes del trasplante; pero el sustrato orgánico debe tener ciertas características para asegurar el desarrollo correcto de la planta de cada variedad de tomate (Olaría *et al.*, 2016).

Efecto de la aplicación de solución de nitrógeno y fósforo como suplemento en el crecimiento de la plántula de tomate

Longitud de tallo

Las soluciones líquidas con los agregados químicos incrementaron el crecimiento en las plantas, en una proporción mayor en las que se aplicó la solución con P. La longitud mayor (104 mm) se obtuvo con la mezcla de 70% de vermicompost y solución con P. Las plántulas con menos longitud (59.63 mm) fueron las desarrolladas sin vermicompost y sin fertilizante químico (Cuadro 3).

Effect of application of nitrogen and phosphorus solution as a supplement on tomato seedling growth

Stem length

The liquid solutions with the added chemicals increased plant growth in a greater proportion than those to which the solution with P was applied. Greater length (104 mm) was obtained with the mixture of 70% vermicompost and the solution with P. Shorter seedlings (59.63 mm) developed without vermicompost and without chemical fertilizer (Table 3).

Root length

The effect of vermicompost on root development of the tomato plant was opposite that of the stem and leaves. The differences in seedling root length were significant due to vermicompost doses. Smaller growth was observed when the proportion of vermicompost was lower. In the other treatments, growth was not larger than 70 mm (Table 4). Root

Cuadro 3. Longitud del tallo de plántulas de tomate en sustrato con vermicompost y riego con soluciones con N o P.

Table 3. Tomato seedling stem length in substrate with vermicompost and solutions with N or P.

Vermicompost + solución química con N o P	Longitud (mm)	Vermicompost + solución química	Longitud (mm)
100N	87.53 bcdefg	50SF	76.90 efgh
100P	92.63 abcde	40N	83.17 cdefgh
100SF	81.23 defgh	40P	100.47 ab
90N	86.33 bcdefg	40SF	72.10 ghi
90P	90.07 abcdef	30N	97.57 abc
90SF	91.27 abcde	30P	92.60 abcde
80N	74.17 fghi	30SF	82.37 cdefgh
80P	87.13 bcdefg	20N	98.40 abc
80SF	79.70 defgh	20P	80.80 defgh
70N	82.33 cdefgh	20SF	78.43 defgh
70P	104.60 a	10N	92.70 abcde
70SF	82.70 cdefgh	10P	90.40 abcde
60N	89.67 abcdef	10SF	91.13 abcde
60P	84.20 cdefgh	0N	68.30 hi
60SF	83.57 cdefgh	0P	78.73 defgh
50N	91.27 abcde	0SF	59.63 i
50P	94.17 abcd		

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrógeno, P: fósforo, SF: sin fertilizante ♦ Means with different letters are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrogen, P: phosphorus, SF: without fertilizer.

Longitud de la raíz

El efecto del vermicompost en el desarrollo de la raíz de la planta de tomate fue opuesto al del tallo y las hojas. La diferencia entre la longitud de la raíz de las plántulas fue significativa debido a las dosis de vermicompost; el crecimiento menor se observó cuando hubo proporción menor de vermicompost. En los demás tratamientos el crecimiento no fue mayor de 70 mm (Cuadro 4). El crecimiento de la raíz fue mayor con el riego que incluyó P y también (>90 mm) en ausencia de vermicompost. Las raíces con menor tamaño se presentaron en los tratamientos regados con la solución con N.

Longitud de la hoja

La diferencia en crecimiento de las plántulas fue alrededor de 15 mm entre la dosis 0 y 100% vermicompost. Las plantas con crecimiento menor en las hojas fueron las que permanecieron en las combinaciones sin y con 80% de vermicompost; las de los otros tratamientos mostraron más de 80 mm. El riego que incluyó N incrementó el crecimiento de

growth was greater when the irrigation solution included P and also (> 90 mm) in the absence of vermicompost. The smallest roots were found in the treatments irrigated with the solution with N.

Leaf length

There was approximately 15 mm difference in seedling growth between the doses of 0 and 100% vermicompost. The plants with the lowest leaf growth were those that developed in the combinations without and with 80% vermicompost. Leaves in the other treatments were larger than 80 mm. Irrigation that included N increased leaf growth in the treatments (substrates) with less than 50% vermicompost (length > 90 mm). Seedlings in the mixture with 30% vermicompost surpassed 96 mm. In contrast, seedlings irrigated without chemical fertilizer had lower growth, except for those in the substrate with 90% vermicompost, which grew more than 80 mm. Lower growth was observed in the plants in the treatment without vermicompost and without fertilizer (Table 5).

Cuadro 4. Longitud de raíz de plántulas de tomate en vermicompost y riego con soluciones con N o P.

Table 4. Tomato plantlet root length in vermicompost and irrigation with solutions with N or P.

Vermicompost + riego incluyendo N o P	Longitud de raíz (mm)	Vermicompost + riego incluyendo N o P	Longitud de raíz (mm)
100SF	66.40 cdefgh	50N	64.47 cdefgh
100P	74.97 bcdef	40SF	73.73 bcdefg
100N	72.53 bcdefg	40P	71.27 bcdefgh
90SF	59.83 gh	40N	61.53 efg
90P	68.17 cdefgh	30SF	67.83 cdefgh
90N	62.03 defgh	30P	78.43 abc
80SF	57.13 h	30N	61.30 efg
80P	61.47 efg	20SF	74.63 bcdef
80N	70.00 cdefgh	20P	71.10 cdefgh
70SF	64.43 cdefgh	20N	64.97 cdefgh
70P	76.53 bcd	10SF	65.73 cdefgh
70N	65.30 cdefgh	10P	70.50 cdefgh
60SF	65.73 cdefgh	10N	73.97 bcdefg
60P	67.53 cdefgh	0SF	85.73 ab
60N	60.67 fgh	0P	92.60 a
50SF	75.63 bcde	0N	76.50 bcd
50P	69.70 cdefgh		

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrógeno, P: fósforo y SF: sin fertilizante ♦ Means with different letters are significantly different (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrogen, P: phosphorus and SF: without fertilizer.

la hoja en los tratamientos (sustratos) con menos de 50% de vermicompost (longitud > 90 mm). Las plántulas en la mezcla con 30% de vermicompost rebasaron los 96 mm. En contraste, las plántulas regadas sin fertilizante químico tuvieron el crecimiento menor, excepto aquellas en el sustrato con 90% de vermicompost, con más de 80 mm. El crecimiento menor se observó en las plantas del tratamiento sin vermicompost y sin fertilizante (Cuadro 5).

Grosor del tallo

El grosor del tallo mostró diferencias, en promedio 1 mm, entre los tratamientos con 100% y sin vermicompost. Con los contenidos mayores de vermicompost el tallo presentó grosor mayor, excepto la dosis de 80% (Cuadro 6). El grosor mayor de las plantas se obtuvo con P en el riego y las dosis de 40 a 90% de vermicompost. El riego con N y vermicompost no modificó el diámetro de tallo (<3 mm) con ninguna dosis. Las plántulas en sustratos con los

Stem thickness

Stem thickness was 1 mm different on average between the treatment with 100% and the treatment without vermicompost. With the highest vermicompost contents, except for the 80% dose, stems were thicker (Table 6). The thickest stems in plants were obtained with P in the irrigation water and the doses of 40 to 90% vermicompost. Irrigation with N and vermicompost did not modify stem diameter (<3 mm) at any dose. The seedlings grown in substrate with lower contents of vermicompost (<40%) had slightly smaller diameters than those in substrate with higher contents. The seedlings irrigated without fertilizer in the intermediate doses, as well as those with 100%, of vermicompost had thicker stems. The smaller stems (grown in 0 to 30% vermicompost) reached <2.6 mm and the larger stems (grown in 80 and 90% vermicompost) were smaller than the average of stems grown in 40 to 70% vermicompost.

Cuadro 5. Longitud de la hoja de plantas de tomate, antes del trasplante, en vermicompost y nutrientes en el riego.

Table 5. Leaf length of tomato plants before transplant in vermicompost and nutrients in irrigation water.

Vermicompost + riego con solución con N o P	Longitud (mm)	Vermicompost + riego con solución con N o P	Longitud (mm)
100N	93.53 ab	50SF	74.20 hij
100P	87.47 abcdef	40N	79.77 cdefghi
100SF	78.13 cdefghi	40P	87.13 abcdefg
90N	78.13 cdefghi	40SF	73.80 ij
90P	88.57 abcdef	30N	96.37 a
90SF	82.50 bcdefghi	30P	83.70 abcdefghi
80N	84.50 abcdefghi	30SF	76.17 efghij
80P	72.40 ij	20N	94.50 ab
80SF	79.80 cdefghi	20P	83.97 abcdefghi
70N	82.83 bcdefghi	20SF	75.97 efghij
70P	89.63 abcd	10N	90.57 abc
70SF	77.47 defghi	10P	83.13 bcdefghi
60N	87.97 abcdef	10SF	75.77 fghij
60P	86.97 abcdefgh	0N	74.60 ghij
60SF	77.87 cdefghi	0P	77.90 cdefghi
50N	88.70 abcde	0SF	63.50 j
50P	84.53 abcdefghi		

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrógeno, P: fósforo y SF: sin fertilizante ♦ Means with different letters are statistically different (Tukey; $p \leq 0.05$). N: nitrogen, P: phosphorus and SF: without fertilizer.

Cuadro 6. Desarrollo final del tallo de plantas de jitomate antes del trasplante, con y sin vermicompost y nutrimentos en el riego.

Table 6. Final stem development of tomato plants before transplant with and without vermicompost and nutrients in the irrigation water.

Vermicompost + solución química	Grosor del tallo (mm)	Vermicompost + solución química	Grosor del tallo (mm)
100N	2.83 bcdef	50SF	2.98 bc
100P	3.42 a	40N	2.77 bcdef
100SF	2.93 bcde	40P	3.03 abc
90N	2.81 bcdef	40SF	2.97 bcd
90P	3.00 bc	30N	3.03 abc
90SF	2.75 bcdefg	30P	2.87 bcdef
80N	2.46 fg	30SF	2.64 cdefg
80P	2.91 bcde	20N	2.78 bcdef
80SF	2.57 defg	20P	2.76 bcdefg
70N	2.86 bcdef	20SF	2.36 g
70P	2.98 bc	10N	2.82 bcdef
70SF	2.85 bcdef	10P	2.75 bcdefg
60N	2.92 bcde	10SF	2.54 efg
60P	2.93 bcde	0N	2.75 bcdefg
60SF	2.78 bcdef	0P	2.85 bcdef
50N	2.90 bcde	0SF	2.47 fg
50P	3.08 ab		

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). N, nitrógeno; P, fósforo; SF, sin fertilizante ♦ Means with different letters and statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). N, nitrogen; P, phosphorus; SF, without fertilizer.

contenidos menores de vermicompost (<40%) mostraron diámetros ligeramente menores que aquéllas en sustratos con contenidos mayores. Las plántulas regadas sin fertilizante tuvieron el tallo con mayor grosor en las dosis intermedias de vermicompost y también en la dosis al 100%. Los diámetros de tallo inferiores (en plantas cultivadas en sustratos con vermicompost 0 a 30%) alcanzaron < 2.6 mm, y los mayores (en sustratos con 80 y 90% de vermicompost) fueron menores al promedio de las cultivadas en 40 y 70% de vermicompost.

Número de hojas

La diferencia en el número de hojas de las plantas originadas de semillas germinadas en sustratos con contenido mayor de vermicompost fue una hoja, o dos en algunos casos y este resultado también se observó con el riego con N adicional. Las plantas en el tratamiento sin vermicompost tuvieron menos hojas respecto a las de otros tratamientos. El riego con soluciones comerciales de N y P promovió el desarrollo de cuatro hojas por planta, en tanto que las plantas

Number of leaves

The difference in number of leaves of the plants originated from seeds germinated in substrates with higher contents of vermicompost was one leaf, or two in some cases; this result was also observed in plants that received irrigation with additional N. Plants in the treatment without vermicompost had fewer leaves than those in the other treatments. Irrigation with commercial N and P solutions promoted development of four leaves per plant, while plants without fertilizer had on average 3.5 leaves per plant (Table 7).

The number of leaves depended on the content of vermicompost and the applied chemical solution. Plants in the lower doses of vermicompost and irrigation containing N had a larger number of leaves than those that received irrigation with P; the higher doses of vermicompost also promoted more leaves. These results confirm that the plants assimilate nutrients in vermicompost from hydration to transplant (Yang *et al.*, 2015). Vermicompost is a complement to P application to tomato plants

sin fertilizante presentaron en promedio 3.5 hojas (Cuadro 7).

El número de hojas dependió del contenido de vermicompost y de la solución química aplicada. En las dosis menores de vermicompost y riego que contenía N las plantas mostraron un número mayor de hojas que aquéllas con el que contenía P y las dosis mayores de vermicompost presentaron más hojas también. Los resultados permiten confirmar que las plantas asimilan los nutrimentos en el vermicompost desde la hidratación hasta el trasplante (Yang *et al.*, 2015). El vermicompost es un complemento a la aplicación de P a las plantas de tomate antes del trasplante (Chakraborty *et al.*, 2008; Fornes *et al.*, 2012; Doan *et al.*, 2013). Así, los nutrimentos químicos combinados con el vermicompost promueven el crecimiento de las plantas de tomate antes del trasplante (Arthur *et al.*, 2012). Estos resultados son opuestos a los de Aremu *et al.* (2012), de que las plantas mejor desarrolladas se obtuvieron con una concentración baja de P.

Suthar (2010), Ievinsh (2011) y Rady (2012) documentaron que el vermicompost afecta el

before transplant (Chakraborty *et al.*, 2008; Fornes *et al.*, 2012; Doan *et al.*, 2013). In this way, chemical nutrients combined with the vermicompost promote tomato plant growth before transplant (Arthur *et al.*, 2012). These results are contrary to those of Aremu *et al.* (2012), who reported that the best developed plants were obtained with a low P concentration.

Suthar (2010), Ievinsh (2011) and Rady (2012) documented that vermicompost affects plant growth because it increases the presence of anions and cations, which accelerate protein synthesis and production of nitrifying enzymes. These nutrients in the vermicompost are absorbed during tomato seed germination and complement P and K during growth (Arthur *et al.*, 2012).

N content in the tomato plant

The plants irrigated with P had better development and were not equaled by those irrigated with N. The highest N content was found in the treatment with 60% vermicompost irrigated with the solution based on N, while the lowest content was found in the

Cuadro 7. Número de hojas en la plantas de jitomate, antes del trasplante, con y sin vermicompost y nutrimentos en el riego.

Table 7. Number of leaves on tomato plants before transplant, with and without vermicompost and nutrients in the irrigation water.

Vermicompost + solución química	Hojas	Vermicompost + solución química	Hojas
100N	4.60 a	50SF	3.70 defg
100P	3.87 bcdefg	40N	4.17 abcde
100SF	3.57 efg	40P	4.07 abcdef
90N	3.97 abcdefg	40SF	3.37 fg
90P	3.93 abcdefg	30N	4.27 abcde
90SF	3.63 defg	30P	3.83 bcdefg
80N	3.87 bcdefg	30SF	3.70 defg
80P	4.13 abcde	20N	4.50 ab
80SF	3.77 cdefg	20P	3.33 g
70N	4.07 abcdef	20SF	3.67 defg
70P	4.43 abc	10N	3.90 abcdefg
70SF	4.07 abcdef	10P	3.67 defg
60N	4.43 abcd	10SF	3.97 abcdefg
60P	4.07 abcdef	0N	3.57 efg
60SF	3.73 cdefg	0P	3.60 efg
50N	4.20 abcde	0SF	3.37 fg
50P	3.73 cdefg		

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). N, nitrógeno; P, fósforo; SF, sin fertilizante ♦ Means with different letters and statistically different (Tukey, $p \leq 0.05$). N, nitrogen; P, phosphorus; SF, without fertilizer.

crecimiento de las plantas porque aumenta la presencia de aniones y cationes, los cuales aceleran la síntesis de proteínas y la producción de enzimas nitrificantes. Estos nutrientes en el vermicompost se absorben durante la germinación de la semilla de tomate y son complemento de P y K en el período de crecimiento (Arthur *et al.*, 2012).

Contenido de N en la planta de tomate

Las plantas regadas con P presentaron el desarrollo mayor y aquellas regadas con N no las igualaron. El contenido mayor de N se encontró en el tratamiento en 60% de vermicompost regado con la solución base de N y el contenido menor fue con la misma solución en concentración de 1.56 mL L⁻¹ y 50% de vermicompost (Figura 1).

Los tratamientos regados solo con agua igualaron a los regados con la solución de N. Las plantas que crecieron sin vermicompost presentaron un contenido mayor de N que aquellas con 40, 50 y 70% de vermicompost. Las plantas regadas con solución enriquecida con P tuvieron contenidos de N en un intervalo de 1.86 a 5.40%. Con 40 y 50% de vermicompost, las plantas mostraron menos N con todas las soluciones, y el contenido de P también fue bajo. En los tratamientos regados con agua la asimilación de N fue mayor; y entre las dosis de vermicompost el contenido de N fue superior a 4.0%. En contraste, en los tratamientos regados con las soluciones nutritivas, los contenidos mayores de N se obtuvieron con

treatment with the same solution at a concentration of 1.56 mL L⁻¹ and 50% vermicompost (Figure 1).

The treatments irrigated with only water equaled those irrigated with the N solution. The plants grown without vermicompost had a higher content of N than those with 40, 50 and 70% vermicompost. Plants irrigated with solution enriched with P had N contents in an interval of 1.86 to 5.40%. With 40 and 50% vermicompost, the plants showed less N with all solutions, and the P content was also low. In the treatments irrigated with water, N assimilation was greater, and among the doses of vermicompost, N content was above 4.0%. In contrast, in the treatments irrigated with nutrient solutions, the highest contents of N were obtained with the doses of vermicompost above 50%, combined with the N solution.

N is essential for the tomato plant (Ding *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2005), and its deficiency diminishes biomass production, number of leaves and plant growth (Arthur *et al.* 2012). This effect was observed in the treatments irrigated with water and with the substrates without or with less vermicompost (0 to 30%). The nutrients in the substrates with between 40 and 70% vermicompost promoted plant development. This result is in opposition to that reported by Nelson *et al.* (2012), who observed low contents of N and P and low growth in plants grown in treatments with vermicompost. In our study, the tomato plants irrigated with solutions with N and P developed better than those irrigated with water, and

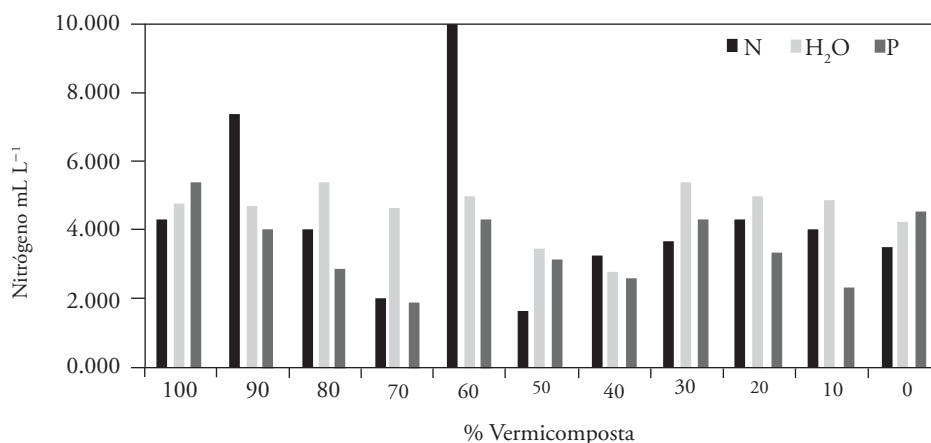


Figura 1. Cantidad de nitrógeno (N) en plantas de tomate. H₂O, agua y P, fósforo.
Figure 1. Nitrogen (N) content in tomato plants. H₂O, water and P, phosphorus.

las dosis de vermicompost superiores a 50%, combinadas con la solución de N.

El N es esencial para la planta de tomate (Ding *et al.*, 2005; Zhao *et al.*, 2005) y su deficiencia disminuye la producción de biomasa, el número de hojas y el crecimiento de la planta (Arthur *et al.* 2012). Este efecto se observó en los tratamientos regados con agua, y con los sustratos sin y con vermicompost en dosis menores (0 a 30%). Los nutrientes en los sustratos con vermicompost entre 40 y 70% promovieron el desarrollo de la planta; este resultado es opuesto a lo encontrado por Nelson *et al.* (2012) quienes observaron contenidos bajos de N y P, y crecimiento bajo en plantas cultivadas en tratamientos con vermicompost. En este estudio, las plantas de tomate regadas con soluciones con N y P mostraron mayor desarrollo que las regadas con agua, y las plantas de los tratamientos con contenidos mayores de vermicompost también se desarrollaron mejor.

CONCLUSIONES

El vermicompost como sustrato promueve el crecimiento de la planta antes del trasplante y con 40-70% de vermicompost las plantas son vigorosas y con un volumen mayor de raíces. El complemento de P y N en el agua de riego aumenta el crecimiento de las plantas respecto a las regadas solo con agua.

El uso de vermicompost, como enriquecedor del sustrato comercial para germinar semillas de tomate permitiría reducir costos de producción y disminuir el uso de agroquímicos. La combinación del vermicompost con riego enriquecido en P y N redujo el tiempo de producción de las plantas para el trasplante, al permitir plantas más vigorosas y resistentes al estrés en el trasplante al campo de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Investigación y Posgrado su apoyo económico para desarrollar este proyecto.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Benítez, G., C. B. Peña-Valdivia, J. R. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. G. Benedicto-Valdés, y J. D. Molina-Galán. 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.

the plants of the treatments with higher contents of vermicompost also developed better.

CONCLUSIONS

Vermicompost used as substrate promotes plant growth before transplant. With 40 and 70% vermicompost, the plants are vigorous with a larger root volume. The complement with P and N in the irrigation water increased plant growth, relative to those irrigated with water only.

The use of vermicompost to enrich commercial substrate for tomato seed germination would allow to reduce production costs and agrochemicals supplements. The combination of vermicompost with irrigation enriched with P and N reduced plant production time up to transplant by promoting more vigorous plants, which are more resistant to stress during transplant to the field.

—End of the English version—



- Arancon, N. Q., A. Pant, T. Radovich, N. V. Hue, J.K. Potter, and C.E. Converse. 2012. Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (Teas). *HortScience* 47: 1722-1728.
- Aremu, A. O., M. G. Kulkarni, M. W. Bairu, J. F. Finnie, and J. Van Staden. 2012. Growth stimulation effects of smoke-water and vermicompost leachate on greenhouse grown-tissue cultured 'Williams' bananas. *Plant Growth Regul.* 66: 111-118.
- Arthur, G. D., A. O. Aremu, M. G. Kulkarni, and J. Van Staden. 2012. Vermicompost leachate alleviates deficiency of phosphorus and potassium in tomato seedlings. *HortScience* 47: 1304-1307.
- Atiyeh, R. M., N. Arancon, C. A. Edwards, and J. D. Metzger. 2000. Influence of earthworms-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technol.* 75: 175-180.
- Atiyeh, R. M., C. A. Edwards, S. Subler, and J. D. Metzger. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technol.* 78: 11-20.
- Begum, A. 2011. Evaluation of municipal sewage sludge vermicompost on two cultivars of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. *Int. J. Chemtech Res.* 3: 1184-1188.
- Carvalho B. F., R. Morsyleide, D. Correia, F. B. Silva de Araujo, y E. R. Vasconcelos. 2001. Utilización del polvo de la cáscara de coco verde como sustrato para crecimiento de plantas de lechuga. Reunión Interamericana de Ciencias Hortícolas. *Hort. Mex.* 8: 62.

- Chakraborty, B., A. K. Chandra, and S. K. Chakraborty. 2008. Effect of integrated nutrient supply and growth, leaf yield and field performance of mulberry (*Morus alba*) under semi irrigated lateritic soil condition of west midnapore district. West Bengal J. Environ. Soc. 5: 221-226.
- Chanda, G. K., G. Bhunia, and S. K. Chakraborty. 2011. The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. J. Hortic. For. 3: 42-45.
- Chinsamy-Manoj, M., G. Kulkarni, and J. Van Staden. 2014. Vermicompost leachate reduces temperature and water stress effects in tomato seedlings. HortScience 49: 1183-1187.
- Doan, T. T., P. T. Ngo, C. Rumpel, B. V. Nguyen, and P. Jouquet. 2013. Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: a 1-year greenhouse experiment. Sci. Hortic. 160: 148-154.
- Ding, L., K. J. Wang, G. M. Jiang, D. K. Biswas, H. Xu, L. F. Li, and Y. H. Li. 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. Ann. Bot. 96: 925-930.
- Fornes, F., D. Mendoza-Hernández, R. García de la Fuente, M. Abad, and R. M. Belda. 2012. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. Bioreour. Technol. 118: 296-305.
- Hernández-Rodríguez, A., L. Robles-Hernández, D. Ojeda-Barríos, J. Prieto-Luévano, A. C. González-Franco, and V. Guerrero-Prieto. 2017. Vermicompost and vermicompost mixed with peat moss enhance seed germination and development of lettuce and tomato seedlings. Interciencia 42: 774-779.
- Ievins, G. 2011. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species. Plant Growth Regul. 65: 169-181.
- Lazcano, C., J. Arnold, A. Tato, J. G. Zaller, and J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. Span. J. Agric. Res. 7: 944-951.
- Lopes-Olivares, F., N. Oliveira-Aguiar, R. C. Carriello-Rosa, and L. Pasqualoto-Canellas. 2015. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. Sci. Hortic. 183: 100-108.
- Maji, D., P. Misra, S. Singh, and A. Kalra. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. Appl. Soil Ecol. 110: 97-108.
- Nelson, P. V., C. Y. Song, J. Huang, C. E. Niedziela Jr., and W. H. Swallow. 2012. Relative effects of fertilizer nitrogen form and phosphate level on control of bedding plant seedling growth. Hortscience 47: 249-253.
- Olaria, M., J. F. Nebot, H. Molina, P. Troncho, L. Lapeña and E. Llorens. 2016. Effect of different substrates for organic agriculture in seedling development of traditional species of *Solanaceae*. Span. J. Agric. Res. 14: e0801.
- Orozco, F. H., J. Cegarra, L. M. Trujillo, and A. Roig. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using earthworm *Eisenia fetida*: effects on C. and N contents and availability of nutrients. Biol. Fert. Soils 22: 162-166.
- Padhiyar, B. M., D. S. Bhatt, K. D. Desai, V. H. Patel and J. R. Chavda. 2017. Influence of different potting media on growth and flowering of pot chrysanthem var. ajina purple. Int. J. Chem. Stud. 5: 1667-1669.
- Prasanna Kumar, G. V., and H. Raheman. 2010. Volume of vermicompost-based potting mix for vegetable transplants determined using fuzzy biomass growth index. Int. J. Veg. Sci. 16: 335-350.
- Prasanna Kumar, G. V., and H. Raheman. 2012. Identification of optimum combination of proportion of vermicompost in the soil-based potting mix and pot volume for the production of paper pot seedlings of vegetables. J. Plant Nut. 35: 1277-1289.
- Rady, M. M. 2012. A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. S. African J. Bot. 81: 8-14.
- Subler, S., C. A. Edwards, and J. Metzger. 1998. Comparing Vermicompost and compost. Bio Cycle 39: 63-66.
- Suthar, S. 2010. Evidence of plant hormone-like substances in vermiwash: An ecologically safe option of synthetic chemicals for sustainable farming. Ecol. Eng. 36:1089-1092.
- Tomati, U., E. Galli, A. Grappelli, and G. Dihena. 1990. Effect of earthworm cast on protein synthesis in Radish *Raphanus sativum* and lettuce *Lactuca sativa* seedlings. Biol. Fert. Soils 9: 288-289.
- Yang, L., F. Zhao, Q. Chang, T. Li, and F. Li. 2015. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. Agric. Water Manag. 160: 98-105.
- Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Sci. Hort. 112: 191-199.
- Zhao, D., K. R. Reddy, V. G. Kakani, and V. R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. Eur. J. Agron. 22: 391-403.