

MICRONUTRIMENTOS EN PETUNIAS CRECIDAS CON DISTINTAS PROPORCIONES DE COMPOSTA EN SUSTRATO*

MICRONUTRIENTS IN PETUNIAS GROWN WITH DIFFERENT COMPOST RATIOS INTO THE SUBSTRATE

Fernando Carlos Gómez-Merino^{1§}, Libia Iris Trejo-Téllez², Víctor Hugo Volke-Haller², J. Cruz García-Albarado¹, María de los Ángeles Velásquez-Hernández² y Alejandrina Ruiz-Bello²

¹Campus Córdoba. Colegio de Postgraduados. Carretera Córdoba-Veracruz, km 348. Congr. Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. México. (jcruez@colpos.mx). ²Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. (wolke@colpos.mx), (tlibia@colpos.mx), (selegna@colpos.mx), (alexr@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: fernandg@colpos.mx.

RESUMEN

Se estudiaron los efectos de relaciones composta/suelo en tres mezclas de sustratos. Las relaciones composta/suelo evaluadas fueron: T1= 0 (100% suelo agrícola salino); T2= 0.43 (70% suelo agrícola salino + 30% (v/v) de composta); y T3= 4 (20% suelo agrícola salino + 80% (v/v) composta); sobre la concentración y extracción de micronutrientes y sodio en petunia (*Petunia x hybrida*) bajo condiciones de invernadero en 2008. La composta fue elaborada con estiércol bovino y residuos de cosecha; ocho meses después del trasplante en estos sustratos, las concentraciones y acumulaciones de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na fueron determinadas en raíces, tallos y hojas. Se utilizó un arreglo de tratamientos completamente al azar con diez repeticiones por cada uno. La relación composta/suelo se relacionó en forma positiva con las concentraciones de Fe y B en raíces, el Fe en tallo y hojas. Asimismo, se observó una relación negativa entre la cantidad de composta en el sustrato y las concentraciones de Cu y Na en tallos y Mn, B y Na en hojas. Por el contrario, a mayor relación composta/suelo en el sustrato, se observaron incrementos en la acumulación de Fe, Cu, Zn, Mn, B y Na en raíces; Fe, Zn, Mn, B y Na en tallos y hojas. Estos resultados permiten concluir que la

ABSTRACT

The effects of compost/soil relations in three mixtures of substrates were studied. The compost/soil relations tested were: T1= 0 (100% saline agricultural soil); T2= 0.43 (70% saline agricultural soil + 30% (v/v) of compost); and T3= 4 (20% saline agricultural soil + 80% (v/v) compost); about the concentration and extraction of micronutrients and sodium in petunia (*Petunia x hybrida*) under greenhouse conditions in 2008. The compost was elaborated with bovine manure and crop residues; eight months after transplant of these substrates, the concentrations and accumulations of Fe, Cu, Zn, Mn, B and Na were determined in roots, stems and leaves. The used-treatments arrangement was completely random with ten repetitions for each of them. The compost/soil relations were related positively with the Fe and B concentrations in roots and Fe in stem and leaves. Likewise, a negative relation was observed between the compost quantity in the substrate and the concentration of Cu and Na in stems and Mn, B and Na in the leaves. On the contrary, with higher compost/soil relation in the substrate, increments were observed in the accumulation of Fe, Cu, Zn, Mn, B and Na in the roots; Fe, Zn, Mn, B and Na in the stems and leaves. These results allow us to conclude that,

* Recibido: mayo de 2011
Aceptado: septiembre de 2011

adición de composta al sustrato de crecimiento, reduce la acumulación de Na en hojas e incrementa la absorción de micronutrientes en petunia.

Palabras clave: *Petunia x hybrida*, extracción nutrimental, horticultura ornamental, materia orgánica.

INTRODUCCIÓN

La producción de petunia (*Petunia x hybrida* Hort. Vilm.-Andr.) en invernadero emplea turba ("peat moss") como principal componente de los sustratos (García-Albarado *et al.*, 2010). Por otra parte, existen numerosos reportes científicos que han demostrado los efectos positivos del uso de compostas en los cultivos hortícolas (He *et al.*, 2001), dado que éstas pueden ser empleadas como sustituto de la turba en los medios de crecimiento.

En particular para petunia se ha reportado que la inclusión de composta en el sustrato, tiene efectos positivos sobre el crecimiento y la concentración nutrimental (García-Albarado *et al.*, 2010). Adicionalmente a los beneficios del uso de composta en petunia *per se*, la sustitución de la turba en los sustratos coadyuva a evitar la extracción de este recurso natural, promueve la reutilización de los residuos y en consecuencia disminuye los problemas de contaminación ambiental (Moldes *et al.*, 2007). El uso de compostas ha sido evaluado para el crecimiento de diversas especies. Sin embargo, la variabilidad en las compostas, ocasiona respuestas diferenciales debido a las distintas materias primas que la conforman (Vendrame y Maguire, 2005).

Las compostas pueden incrementar la concentración de nutrientes disponibles para las plantas en el suelo y fomentar el crecimiento, pero puede también alterar la dinámica de los micronutrientes e incrementar las pérdidas de éstos por lixiviación. En el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), se estudió la influencia de la adición de composta al suelo en la dinámica estacional de Fe, Cu, Zn y Mn biodisponibles. Las concentraciones de Mn y Cu se incrementaron a los 29 meses; mientras que el Fe y Zn disminuyeron considerablemente en el mismo periodo de tiempo (Provin *et al.*, 2008).

En brócoli, Pérez-Murcia *et al.* (2006) evaluaron el uso de lodos residuales procesados para obtener compostas, en combinación con turba sobre el desarrollo de la

the addition of compost to the growth substrate, reduce the accumulation of Na in leaves and increments the absorption of micronutrients in petunia.

Key words: *Petunia x hybrida*, nutrient extraction, organic matter, ornamental horticulture.

INTRODUCTION

The production of petunia (*Petunia x hybrida* Hort. Vilm.-Andr) in greenhouse employs peat moss as the main component in the substrates (García-Albarado *et al.*, 2010). Moreover, there are numerous scientific reports that have shown the positive effects of compost use in horticultural crops (He *et al.*, 2001), since these tests could be used as a substitute for the peat on the growth medium.

Particularly for petunia, it's been reported that the inclusion of compost in the substrate has positive effects on growth and nutrient concentration (García-Albarado *et al.*, 2010). In addition to the benefits of the compost used in petunia *per se*, the substitution of peat in the substrates helps to prevent the extraction of this natural resource, promotes the reuse of residues and thus reduces the environmental pollution problems (Moldes *et al.*, 2007). The use of compost has been tested for growth in diverse species. However, the variability in the compost results in differential responses due to different raw materials that comprise them (Vendrame y Maguire, 2005).

Composts may increase the concentration of nutrients available for the plants in the soil and promote growth, but can also alter the dynamics of micronutrients and increase their losses by leaching. In Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), we studied the influence of the addition of compost to the soil in the seasonal dynamics of Fe, Cu, Zn and bioavailable Mn. The concentrations of Mn and Cu were increased at 29 months, whereas Fe and Zn decreased significantly over the same period of time (Provin *et al.*, 2008).

In broccoli, Pérez-Murcia *et al.* (2006) evaluated the use of sludge to obtain compost, in combination with peat on the plant's development, biomass production, content of macro and micronutrients and, heavy metals in plant tissue. In particular, the combination of 50% compost with 50% peat moss produced the highest concentration of macro and micronutrients, as well as heavy metals in the plant. By contrast, Ekling *et al.* (2001) indicated that, the presence of compost

planta, producción de biomasa, contenidos de macro y micronutrientes y metales pesados en tejido vegetal. En particular, la combinación de 50% de composta con 50% de turba, produjo las mayores concentraciones de macro y micronutrientes, así como de metales pesados en la planta. Por el contrario, Ekling *et al.* (2001) indican que la presencia de composta en el medio de crecimiento reduce las concentraciones de metales pesados en plantas, debido a los altos valores del pH resultantes en el medio de crecimiento; es decir, las compostas presentan valores de pH clasificados de ligeramente alcalinos a alcalinos, que se relacionan de forma inversa con la disponibilidad de micronutrientes (Handreck y Black, 2002).

García-Albarado *et al.* (2010) reportaron que el uso de compostas a base de estiércol y residuos vegetales de traspatio en combinación con suelos agrícolas salinos, mejora significativamente variables de crecimiento como diámetro de tallo y producción de biomasa total de petunia, y variables relacionadas con el rendimiento como la producción de flores, hojas, brotes, así como la concentración de N y K en hojas. En esta investigación, se evaluó la influencia de distintas relaciones composta/suelo sobre la concentración y extracción de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y de sodio (Na) en raíces, tallos y hojas de petunia, mediante curvas respuesta y modelos de regresión.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones experimentales y manejo del experimento

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero tipo cenital de estructura metálica y plástico blanco lechoso (calibre 720) localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y altitud de 2 240 m, en Montecillo, Texcoco, Estado de México, durante 2008, hasta alcanzar la fase de floración. Las temperaturas máximas y mínima registradas dentro del invernadero en este periodo fueron de 47.5 y 2.5 °C, respectivamente. Asimismo, la humedad relativa promedio del periodo de experimentación fue de 59%, mientras que la intensidad luminosa promedio fue de 690 mmol m⁻² s⁻¹.

Durante la fase experimental no se suministró fertilización a las unidades experimentales (descritas en el apartado de tratamientos y diseño experimental) y éstas fueron regadas

in the growth medium reduces the concentrations of heavy metals in the plants, due to high pH values resulting in the growth medium; that is, composts exhibit pH values classified from slightly alkaline to alkaline, inversely related with the micronutrients' availability (Handreck and Black, 2002).

García-Albarado *et al.* (2010) reported that, the use of manure compost and vegetable waste in combination with saline agricultural soils, significantly improved the growth's variables such as stem diameter and total biomass production of petunia, and variables related to yield on production of flowers, leaves, buds, as well as the concentration of N and K in the leaves. In this paper, we evaluated the influence of different compost/soil relations on concentration and extraction of micronutrients (Fe, Cu, Zn, Mn and B) and sodium (Na) in the roots, stems and leaves of petunia, by response curves and regression models.

MATERIALS AND METHODS

Experimental conditions and management

The research was conducted under zenithal white plastic (720 gauge) metallic structured greenhouse conditions located at 19° 29' north latitude, 98° 53' west longitude and 2 240 m in Montecillo, Texcoco, Estado de México, during 2008 up to the flowering phase. The minimum and maximum temperatures recorded inside the greenhouse during this period were 47.5 and 2.5 °C respectively. Likewise, the average relative humidity of the experimental period was 59%, while the average light intensity was 690 mmol m⁻² s⁻¹.

During the experimental phase, fertilization was not supplied to the experimental units (described in the section on treatments and experimental design) and they were manually irrigated twice a week at field capacity. The irrigation was made with tap water (pH of 7.34, electrical conductivity of 0.37 dS m⁻¹, content of NO₃⁻, NH₄⁺, K, Ca, Mg, S, Na and HCO₃⁻ of 0.98, 0.28, 1.5, 23.7, 29.7, 24.5, 39.3 and 240 mg L⁻¹, respectively; no presence of P, Fe, Cu, Zn, Mn, and CO₃⁻² was detected).

Vegetal material

Petunia seeds (*Petunia x hybrida* Hort. Vilm.-Andr.) were germinated in trays containing a mixture of peat with perlite (70/30 v/v). Once the plants reached 10cm height, they were transplanted into 2 kg-bags containing the substrate mixtures to be evaluated.

en forma manual, dos veces por semana a capacidad de campo. El riego se hizo con agua corriente (pH de 7.34, conductividad eléctrica de 0.37 dS m^{-1} , contenido de NO_3^- , NH_4^+ , K, Ca, Mg, S, Na y HCO_3^- de 0.98, 0.28, 1.5, 23.7, 29.7, 24.5, 39.3 y 240 mg L^{-1} , respectivamente; no se detectó presencia de P, Fe, Cu, Zn, Mn, y CO_3^{2-}).

Material vegetal

Semillas de petunia (*Petunia x hybrida* Hort. Vilm.-Andr.) fueron germinadas en charolas conteniendo una mezcla de turba con agrolita (70/30 v/v). Una vez que las plantas alcanzaron 10 cm de altura, éstas fueron trasplantadas en bolsas de 2 kg de capacidad conteniendo las mezclas de sustratos a evaluar.

Tratamientos y diseño experimental

Se probaron los siguientes tratamientos: suelo agrícola salino del sitio experimental (T1) como testigo; mezcla de suelo agrícola salino (70%) con 30% de composta (T2) v/v; y mezcla de suelo agrícola salino (20%) con 80% de composta (T3) v/v. La composta fue preparada con estiércol de bovino y residuos vegetales de cosechas de huertos de traspatio. Las relaciones composta/suelo en los tratamientos resultantes T1, T2 y T3 fueron 0, 0.43 y 4, respectivamente. Cada tratamiento con diez repeticiones, el diseño experimental tuvo una distribución completamente al azar; las unidades experimentales fueron bolsas negras de polietileno de 2 kg de capacidad, con mezcla de sustratos a evaluar y una planta. Las propiedades físicas y químicas de las mezclas de sustratos y suelo evaluadas, son reportadas por García-Albarado *et al.* (2010).

Toma y manejo de muestras vegetales

La toma de muestras se realizó a los ocho meses de haber establecido el experimento en macetas, etapa que coincidió con la fase de floración de las plantas. Las plantas cosechadas fueron divididas por órganos: raíces, tallos y hojas. Una vez separados, los órganos fueron depositados en bolsas de papel y éstas secadas en estufa de aire forzado a 72°C por 48 h. Una vez secas, se tomó el peso de biomasa y se molieron en molino de acero inoxidable marca Wiley modelo 4. Las muestras molidas fueron pesadas para determinar la biomasa seca total por componente y procesadas para determinar sus concentraciones nutrimentales y posterior estimación de acumulaciones nutrimentales.

Treatments and experimental design

The following treatments were tested: saline agricultural soil of the experimental site (T1) as a witness; a mixture of saline agricultural soil (70%) with 30% compost (T2) v/v; and mixture of saline agricultural soil (20%) with 80% compost (T3) v/v. The compost was prepared with bovine manure and vegetable waste from the backyard garden crops. The resulting compost/soil relations in treatments T1, T2 and T3 were 0, 0.43 and 4, respectively. Each treatment with 10 repetitions, the experimental design had a completely random distribution; the experimental units were black polyethylene 2 kg capacity bags, with a mixture of substrates to be evaluated and a plant. The physical and chemical properties of the substrate and soil mixtures evaluated, are reported by García-Albarado *et al.* (2010).

Sampling and management of vegetable samples

Sampling was performed eight months after having put the experiment in pots; stage that coincided with the flowering phase of the plants. The harvested plants were divided by organs: roots, stems and leaves. Once separated, the organs were deposited in paper bags and then dried in a forced air oven at 72°C for 48 h. Once dried, biomass weight was measured and they were milled in a stainless steel Wiley mill model 4. The samples were weighted to determine the total dried biomass per component and processed to determine the nutrient concentration, following the estimated nutrient accumulations.

Determinations of nutrient concentrations

The concentrations of iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn), boron (B) and sodium (Na) were determined by wet digestion of dried material with a mixture of perchloric and nitric acids (Alcántar and Sandoval, 1999). The reading of the extracts obtained after the digestion and filtration were determined in an inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy equipment ICP-AES VARIAN™ model Liberty II. The determination of sodium in the plant tissue was done because the soil in the substrates is saline and therefore presents significant amounts of soluble and exchangeable sodium (García-Albarado *et al.*, 2010).

Determinaciones de concentraciones nutrimentales

Las concentraciones de hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B) y sodio (Na), fueron determinadas mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado, se determinaron en un equipo de espectroscopía de emisión atómica de inducción por plasma acoplado ICP-AES VARIAN™ modelo Liberty II. La determinación de sodio en tejido vegetal fue realizada debido que el suelo en los sustratos es salino y en consecuencia, presenta cantidades importantes de sodio soluble e intercambiable (García-Albarado *et al.*, 2010).

Análisis estadístico

Se construyeron curvas respuesta de concentraciones y acumulaciones de nutrimentos y sodio en raíces, tallos y hojas. Posteriormente, en cada una de las variables se probaron los modelos de regresión presentados en el Cuadro 1, considerando como variable independiente en estudio la relación composta/suelo del sustrato. En cada variable se seleccionó el mejor modelo de regresión, considerando como mejor a aquel que tuviera el menor cuadrado medio del error de la regresión y mayor coeficiente de determinación (R^2).

Cuadro 1. Modelos de regresión ajustados.
Table 1. Adjusted regression models.

Modelo	Nombre
$Y = \beta_0 + \beta_1 X$	Lineal
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$	Cuadrático
$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^{0.5}$	Raíz cuadrada

RESULTADOS

Concentración y acumulación de micronutrientes y sodio en raíz

En la Figura 1 se presentan las curvas de respuesta de la concentración de micronutrientes y sodio, en raíces de petunias establecidas en sustratos con distinta relación composta/suelo. Se observan diferentes formas de respuesta, que hace necesario la evaluación de diferentes modelos en cada caso.

Statistical analysis

Response curves were constructed of concentration and accumulation of nutrients and sodium in roots, stems and leaves. Subsequently, the regression models presented in Table 1 were tested in each of the variables, considering the relationship compost/soil substrate as an independent variable under study. For each variable, the best regression model was selected, considering the best ones as those who had the lowest mean square error of the regression and, the higher coefficient of determination (R^2).

RESULTS

Concentration and accumulation of micronutrients and sodium in the roots

The Figure 1 shows the response curves of the concentration of micronutrients and sodium in petunia’s roots set in substrates with different compost/soil relations. Different types of responses were observed, which makes necessary the evaluation of different models in each case.

The response curves of the concentration of micronutrients and sodium in the roots show in general, an increase depending on the percentage increase of compost in the substrate (Figure 2). The most accumulated micronutrient in this organ was Fe (3.54 mg roots⁻¹ plant⁻¹), followed by B (1.14 mg roots⁻¹ plant⁻¹), Mn (0.3 mg roots⁻¹ plant⁻¹), Zn (0.28 mg roots⁻¹ plant⁻¹) and Cu (0.019 mg roots⁻¹ plant⁻¹), all recorded in roots of plants grown in agricultural soil with 80% compost (compost/soil relation, 4).

The Table 2 shows the models selected for the variables of concentration and accumulation of nutrients and sodium in roots of petunia set in substrates with different compost/soil relations; of these, those that were obtained for Cu and Zn concentration are not significant.

Concentration and accumulation of micronutrients and sodium in the stem

Response curves of micronutrients and sodium concentration in the stems (Figure 3) allow us to observe that, the concentration of Na in the compost/soil relation 4 (80% compost + 20% soil) was surpassed by 139.8% by the determined concentration in relation 0 (substrate without compost). A similar response

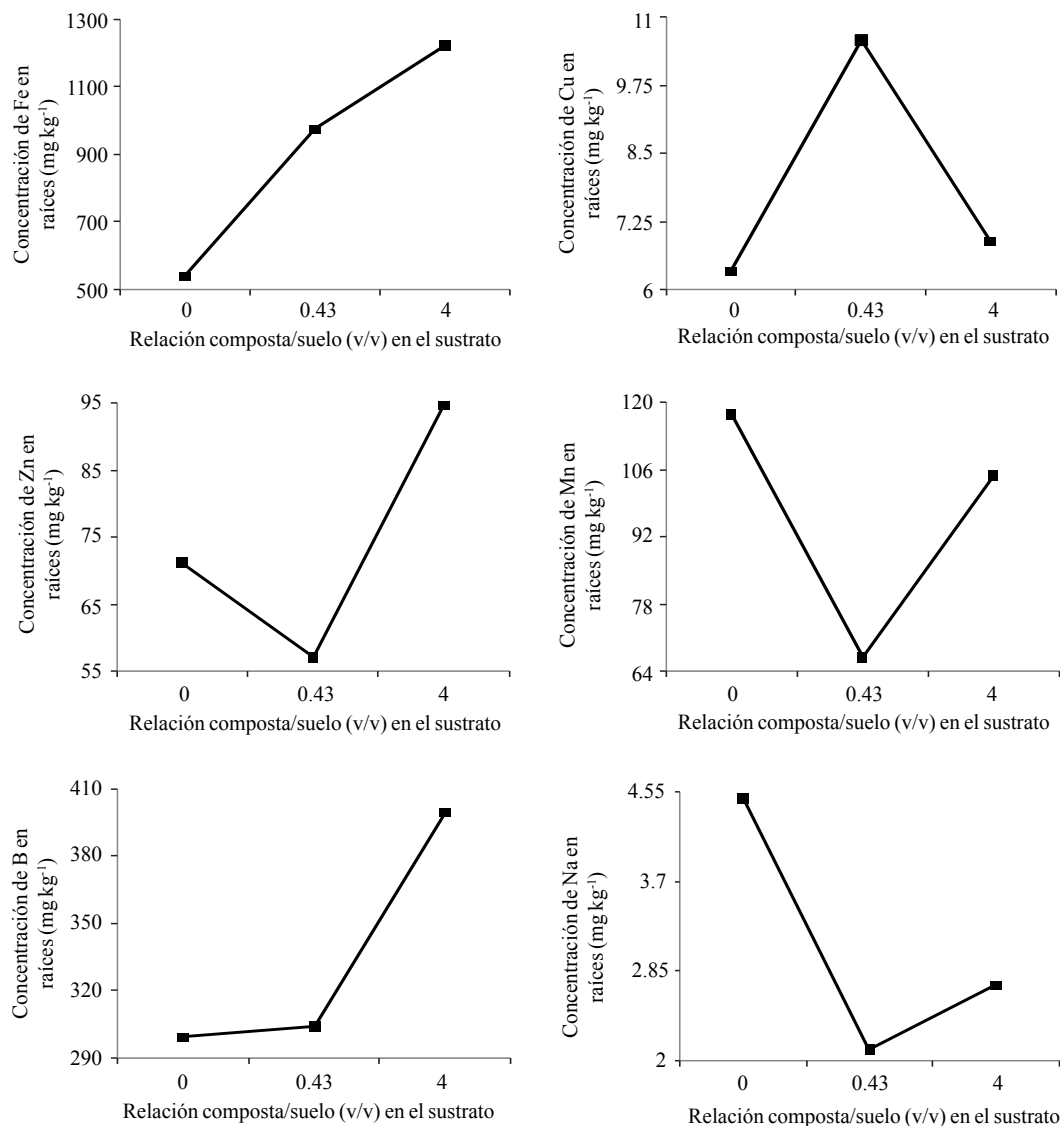


Figura 1. Respuesta de concentración de micronutrientos y sodio en raíces de petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 1. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia's roots. Compost/soil relation: T1= 0 (0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

Las curvas respuesta de acumulación de micronutrientos y sodio en raíces muestran, de manera general un incremento en función del aumento del porcentaje de composta en el sustrato (Figura 2). El micronutriente más acumulado en este órgano fue el Fe (3.54 mg raíces⁻¹ planta⁻¹), seguido de B (1.14 mg raíces⁻¹ planta⁻¹), Mn (0.3 mg raíces⁻¹ planta⁻¹), Zn (0.28 mg raíces⁻¹ planta⁻¹) y Cu (0.019 mg raíces⁻¹ planta⁻¹), todos ellos registrados en raíces de plantas crecidas en suelo agrícola con 80% de composta (relación composta/suelo, 4).

to Na was recorded for the element Cu. On the contrary, Fe concentration tends to increase as the proportion of compost in the substrate increases.

With the exception of the elements Cu and Na, in response curves for accumulations in stems, it's quite evident the increase in all of them as the compost/soil relation increases in the substrate. In the stems, the most accumulated element was Na, followed by B and Fe. On the contrary, the less accumulated element was Cu with an average value of 0.013016 mg (Figure 4).

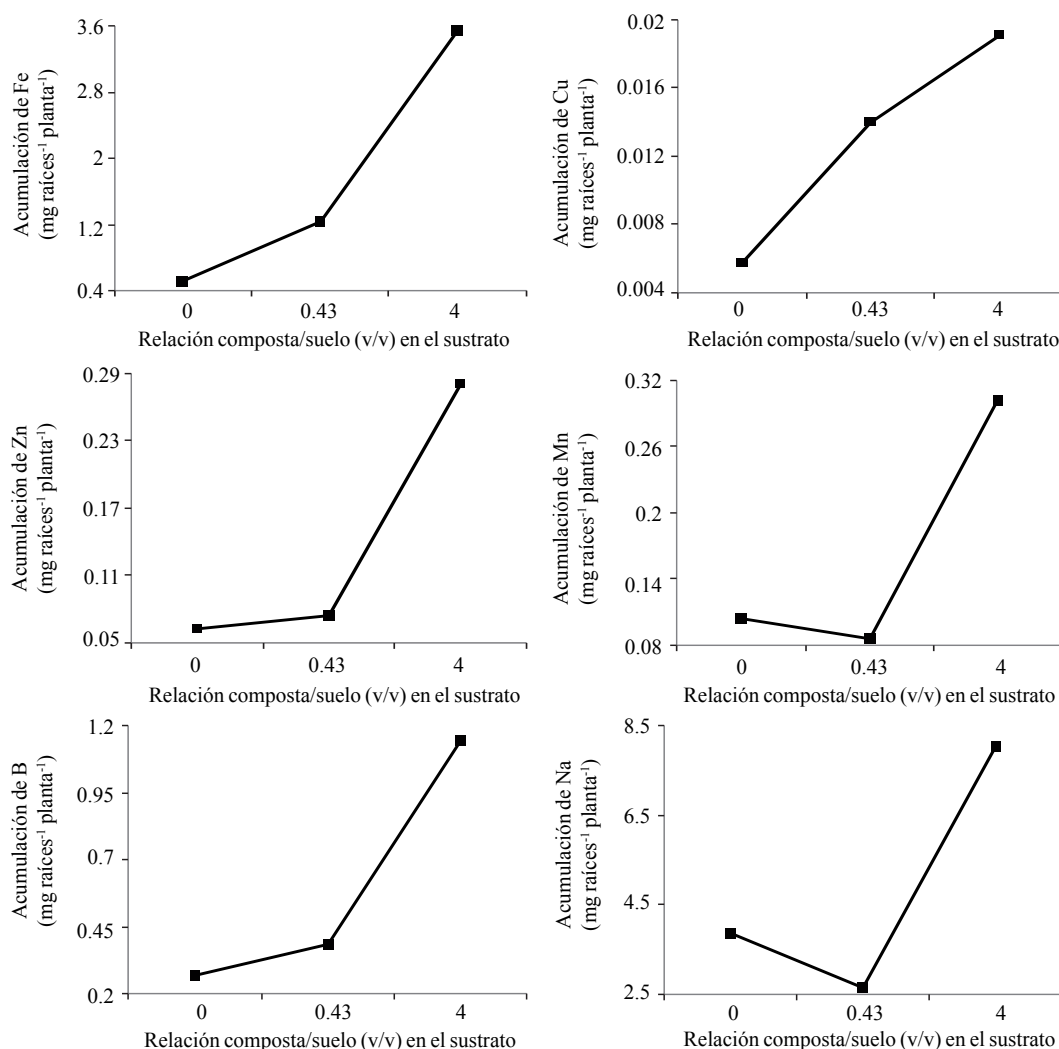


Figura 2. Respuesta de acumulación de micronutrientes y sodio en raíces petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 2. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia's roots. Compost/soil relation: T1=0 (0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

En el Cuadro 2 se muestran los modelos seleccionados para las variables concentración y acumulación de nutrientes y sodio en raíces de petunia, establecidas en sustratos con distintas relaciones composta/suelo; de éstos, no son significativos los obtenidos para concentración de Cu y Zn.

Concentración y acumulación de micronutrientes y sodio en tallo

Las curvas respuesta de concentración de micronutrientes y sodio en tallos (Figura 3), permiten observar que la concentración de Na en la relación composta/suelo de 4 (80% de composta + 20% de suelo), fue superada en 139.8% por la concentración determinada en la relación 0 (sustrato sin

The best models selected for the variables of concentration and accumulation of nutrients and sodium in the stems of petunia set in substrates with different compost/soil relations, are shown in Table 3. The models obtained for concentration of Cu, Mn and B, and the corresponding accumulation of Cu are not significant.

Concentration and accumulation of micronutrients and sodium in the leaves

In the leaves, with the exception of Cu, the compost/soil effect in the substrate is observed on the concentration responses. The concentrations of Zn, Mn, B and Na

composta). Una respuesta similar al Na fue registrada para el elemento Cu. Por el contrario, la concentración de Fe tiende a incrementar a medida que la proporción de composta en el sustrato aumenta.

are negatively related with the value of compost/soil relation in the substrate; on the contrary, the leaf concentration of Fe increases as the said relation increases (Figure 5).

Cuadro 2. Modelos de regresión para concentraciones y acumulaciones de micronutrientos y sodio en raíces de petunia.
Table 2. Regression models for concentrations and accumulations of micronutrients and sodium in petunia’s roots.

Elemento	Variable	Mejor modelo	Pr> F	R ²
Fe	Concentración ^x	Fe= 631.313 + 317.487X ^{0.5}	0.0263	0.3255
	Acumulación ^y	Fe= 0.398 + 1.543X ^{0.5}	0.0006	0.6162
Cu	Concentración	Cu= 6.338 + 11.041X -2.726X ²	0.2076	0.2305
	Acumulación	Cu= 0.0074 + 0.0063X ^{0.5}	0.0161	0.3699
Zn	Concentración	Zn= 71.154 - 37.458X + 10.832X ²	0.205	0.2321
	Acumulación	Zn= 0.057 + 0.056X	0.0026	0.5157
Mn	Concentración	Mn= 117.514 - 131.155X + 31.993X ²	0.0044	0.5955
	Acumulación	Mn= 0.084 + 0.054X	0.0003	0.6497
B	Concentración	B= 299.279 + 31.483X - 12.893X ²	0.0477	0.3977
	Acumulación	B= 0.281 + 0.216X	<0.0001	0.7019
Na	Concentración	Na= 4485.728 - 6133.19X + 1422.778X ²	0.047	0.3993
	Acumulación	Na= 3.053 + 1.219X	0.0172	0.3641

X= representa la relación composta/suelo en el sustrato; ^x=concentración expresada en mg kg⁻¹ de materia seca; ^y=acumulación expresada en mg en las raíces por planta.

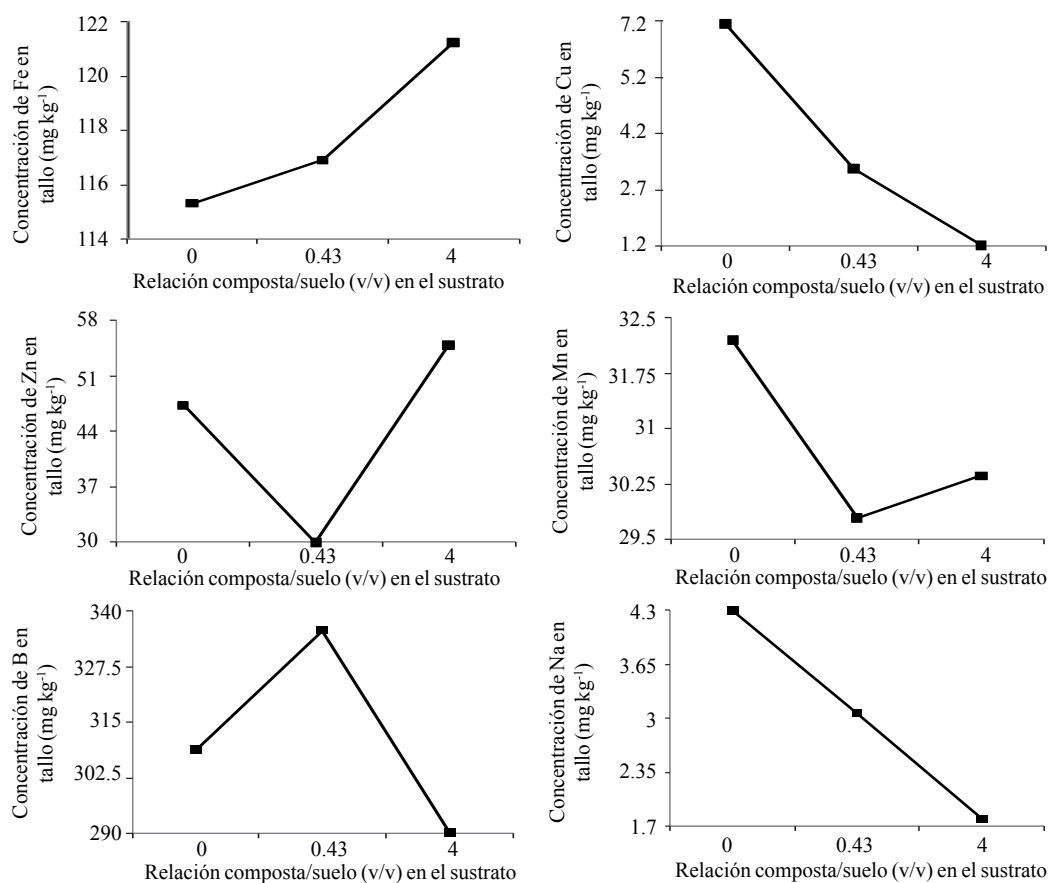


Figura 3. Respuesta de concentración de micronutrientos y sodio en tallos de petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 3. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia’s stems. Compost/soil relation: T1=0(0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

Con excepción de los elementos Cu y Na, en las curvas respuesta de acumulaciones en tallos, es evidente el incremento de éstas a medida que la relación composta/suelo aumenta en el sustrato. En tallos el elemento más acumulado fue Na, seguido de B y Fe. Por el contrario, el elemento menos acumulado fue el Cu con un valor medio de 0.013016 mg (Figura 4).

Just like the nutrimental concentration in the leaves, the tendencies of accumulation show relation with the evaluated treatments, except Cu. The micronutrients Fe, Zn, Mn and B are accumulated in higher quantity when the compost/soil relation used was 4. The accumulation of Na responded inversely to the value of the compost/soil relation in the substrate. It's important to note that, the

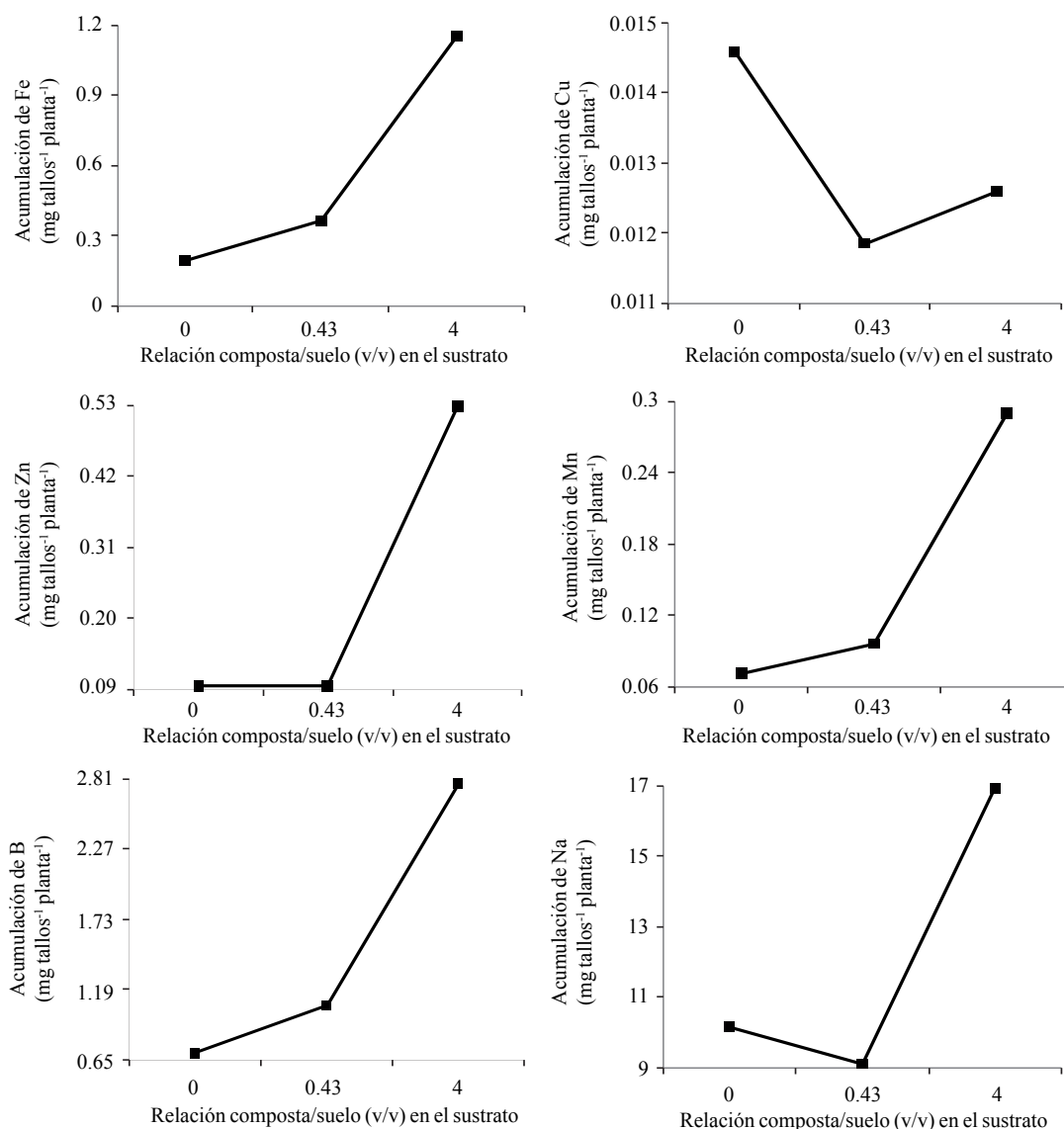


Figura 4. Respuesta de acumulación de micronutrientes y sodio en tallos de petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 4. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia's stems. Compost/soil relation: T1=0 (0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

Los mejores modelos seleccionados para las variables concentración y acumulación de nutrimentos y sodio en tallos de petunia, establecidas en sustratos con distintas

leaf content of Na was higher than the nutrients evaluated, independent of the compost/soil relation in the substrate (Figure 6).

relaciones composta/suelo, se presentan en el Cuadro 3. Los modelos obtenidos para concentración de Cu, Mn y B; así el correspondiente a acumulación de Cu no son significativos.

The best models selected for the variables of concentration and accumulation of nutrients and sodium in petunia's leaves set in substrates with different compost/soil

Cuadro 3. Modelos de regresión para las concentraciones y acumulaciones de micronutrientos y sodio en tallos de petunia.

Table 3. Regression models for concentrations and accumulations of micronutrients and sodium in petunia's stems.

Elemento	Variable	Mejor modelo	Pr > F	R ²
Fe	Concentración ^x	Fe= 115.788 + 1.379X	0.8882	0.0016
	Acumulación ^y	Fe= 0.228 + 0.233X	<0.0001	0.7106
Cu	Concentración	Cu= 7.125 - 9.877X + 2.101X ²	0.0287	0.4467
	Acumulación	Cu= 0.014 - 0.00077X ^{0.5}	0.8419	0.0032
Zn	Concentración	Zn= 38.354 - 3.861X	0.1623	0.1444
	Acumulación	Zn= 0.073 + 0.113X	<0.0001	0.8351
Mn	Concentración	Mn= 31.421 - 0.719X ^{0.5}	0.8121	0.0045
	Acumulación	Mn= 0.072 + 0.055X	<0.0001	0.7397
B	Concentración	B= 323.088 - 7.799X	0.5074	0.0345
	Acumulación	B= 0.77 + 0.505X	<0.0001	0.7554
Na	Concentración	Na= 4114.884 - 1205-559X ^{0.5}	0.0117	0.398
	Acumulación	Na= 9.294 + 1.886X	0.0479	0.2684

X= representa la relación composta/suelo en el sustrato; ^x=concentración expresada en mg kg⁻¹ de materia seca; ^y=acumulación expresada en mg en tallos por planta.

Concentración y acumulación de micronutrientos y sodio en hoja

En hojas con excepción del Cu, se observa efecto de la relación composta/suelo en el sustrato sobre las respuestas de concentración. Las concentraciones de Zn, Mn, B y Na se relaciona negativamente con el valor de la relación composta/suelo del sustrato; por el contrario, la concentración foliar de Fe incrementa a medida que dicha relación aumenta (Figura 5).

Al igual que la concentración nutrimental en hojas, las tendencias de acumulación muestran relación con los tratamientos evaluados, excepto el Cu. Los micronutrientos Fe, Zn, Mn y B son acumulados en mayor cantidad cuando la relación composta/suelo fue de 4. La acumulación de Na respondió de manera inversa al valor de la relación composta/suelo del sustrato. Es importante destacar que el contenido foliar de Na fue superior a los micronutrientos evaluados, independiente de la relación composta/suelo del sustrato (Figura 6).

relations are shown in Table 4. In the leaves, only the models obtained in Zn, both for concentration and accumulation and for sodium accumulation are not significant.

DISCUSSION

The compost increases the fertility of the substrates that contain them since they increase the nutrient availability (Canellas and Facanha, 2004). Sainz *et al.* (1998) reported that, addition of vermicompost to the soil would increase the nutrients content, and micronutrients concentrations of Cu, Mn and Zn also increased in cucumber and red clover's stems. In broccoli, the concentrations of micronutrients in aerial parts were significantly increased by the increasing presence of sewage-sludge compost in the substrate, especially for Zn (Pérez-Murcia *et al.*, 2006).

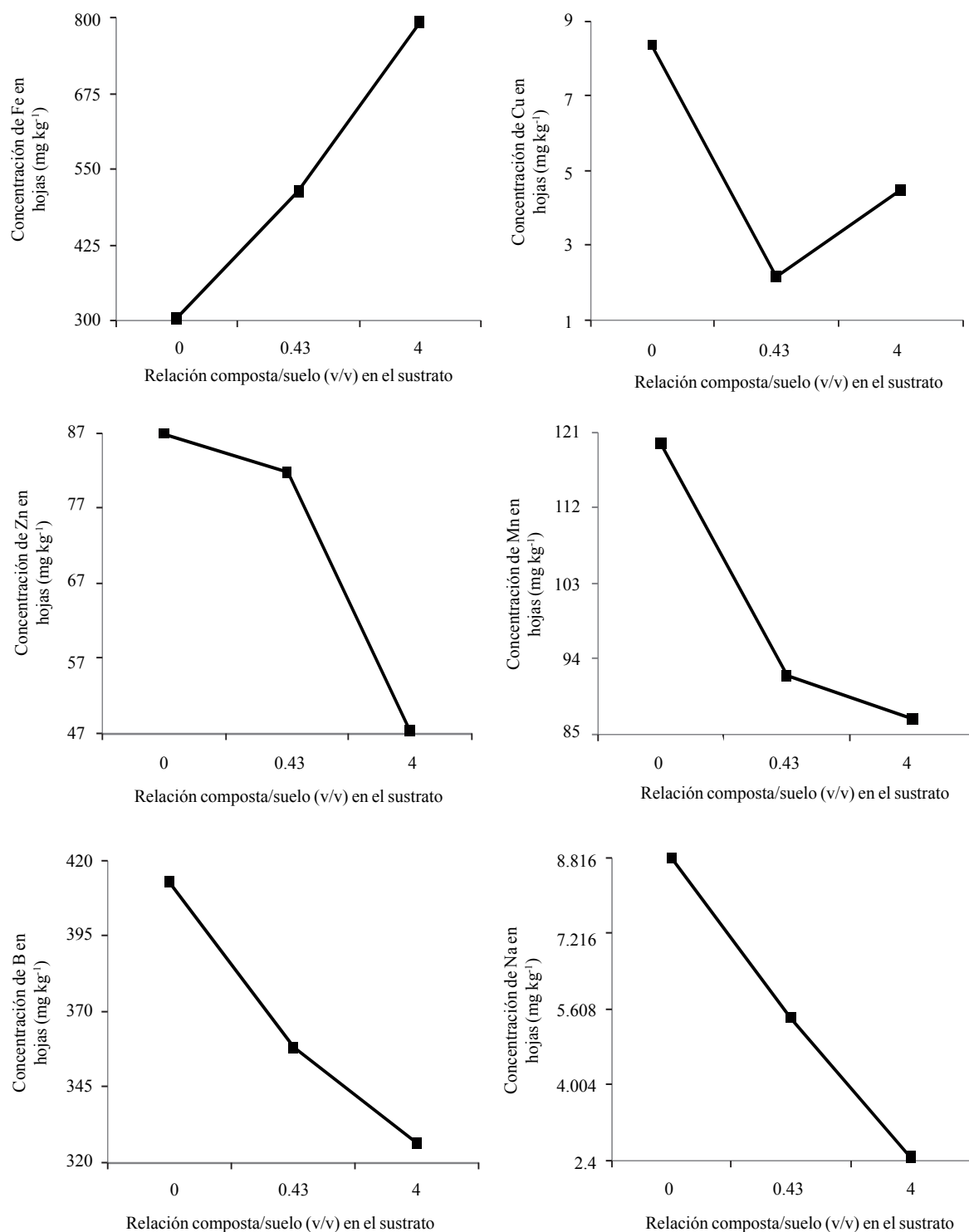


Figura 5. Respuesta de concentración de micronutrientes y sodio en hojas de petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 5. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia's leaves. Compost/soil relation: T1=0 (0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

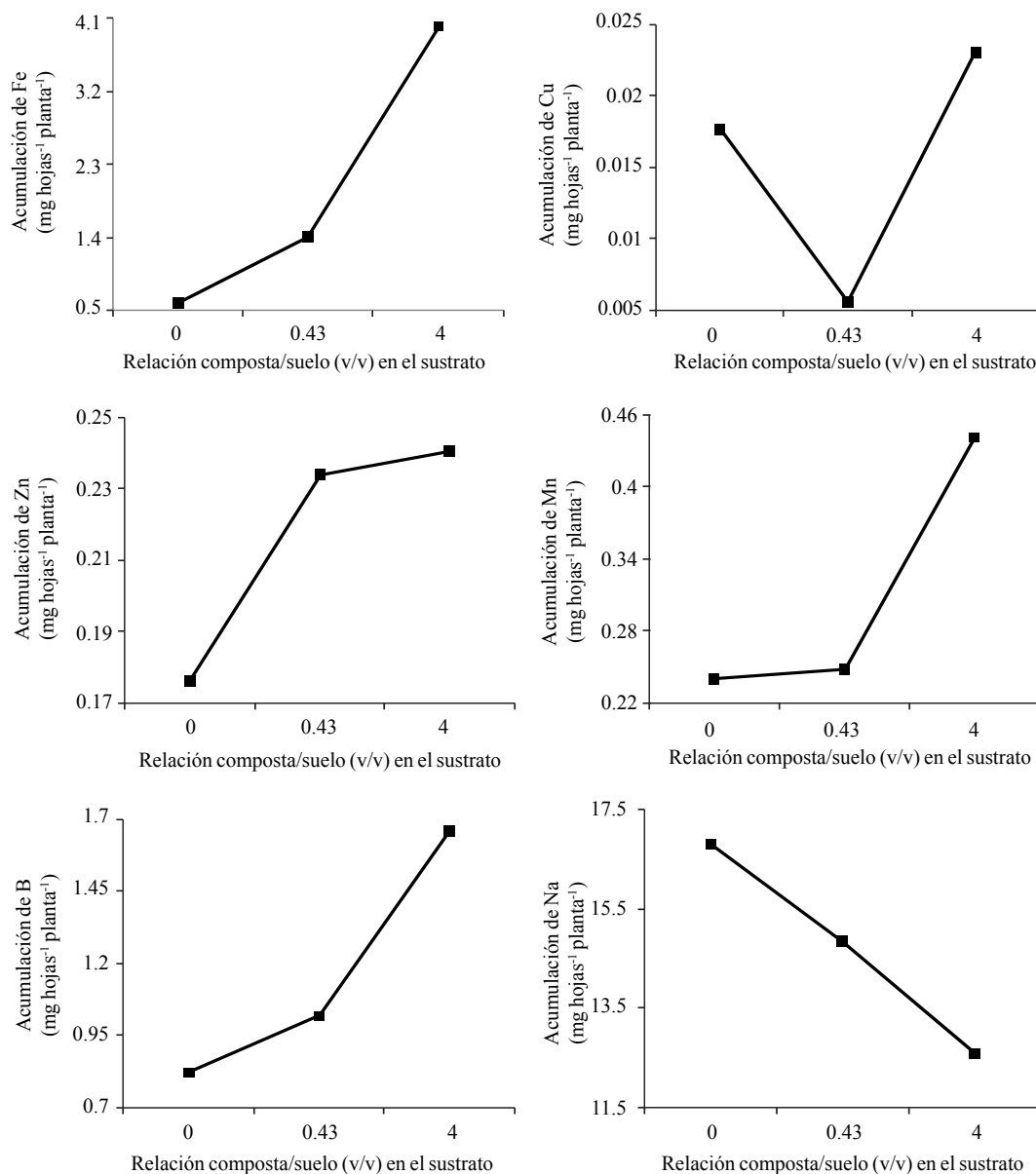


Figura 6. Respuesta de acumulación de micronutrientes y sodio en hojas de petunia. Relaciones composta/suelo: T1= 0 (0% composta/100% suelo, v/v); T2= 0.43 (30% composta/70% suelo, v/v); y T3= 4 (80% composta/20% suelo, v/v).

Figure 6. Response of micronutrients and sodium concentration in petunia's leaves. Compost/soil relation: T1=0 (0% compost/100% soil, v/v); T2= 0.43 (30% compost/70% soil, v/v); and T3= 4 (80% compost/20% soil, v/v).

Los mejores modelos seleccionados para las variables concentración y acumulación de nutrientes y sodio en hojas de petunia, establecidas en sustratos con distintas relaciones composta/suelo, se presentan en el Cuadro 4. En hojas, sólo los modelos obtenidos en Zn, tanto para concentración como acumulación y el correspondiente a acumulación de sodio, no fueron significativos.

In this paper, the response curves show that the amount of compost added to the substrate is positively correlated with the concentrations of Fe and Zn in roots (Figure 1) and with the Fe in the stems (Figure 3), meanwhile, in the leaves, this correlation is presented with the concentration of Fe (Figure 5). In petunia, with the addition of 60% of vermicompost to the substrate, the highest concentrations of Fe, Zn and Cu in the stems were obtained (Pérez-Murcia *et al.*, 2006).

Cuadro 4. Modelos de regresión para las concentraciones y acumulaciones de micronutrientes y sodio en hojas de petunia.
Table 4. Regression models for concentrations and accumulations of micronutrients and sodium in petunia's leaves.

Elemento	Variable	Mejor modelo	Pr > F	R ²
Fe	Concentración ^x	$Fe = 325.088 + 239.331X^{0.5}$	0.0028	0.5107
	Acumulación ^y	$Fe = 0.465 + 1.737X^{0.5}$	<0.0001	0.7312
Cu	Concentración	$Cu = 8.376 - 16.053X + 3.771X^2$	0.0055	0.5802
	Acumulación	$Cu = 0.0177 - 0.031X - 0.0082X^2$	0.041	0.4129
Zn	Concentración	$Zn = 86.575 - 9.807X$	0.1048	0.1895
	Acumulación	$Zn = 0.176 + 0.148X - 0.033X^2$	0.7737	0.0419
Mn	Concentración	$Mn = 119.704 - 71.129X + 15.727X^2$	0.0219	0.471
	Acumulación	$Mn = 0.234 + 0.052X$	0.0121	0.3948
B	Concentración	$B = 401.543 - 40.325X^{0.5}$	0.0349	0.299
	Acumulación	$B = 0.788 + 0.428X^{0.5}$	0.0093	0.4173
Na	Concentración	$Na = 8809.698 - 8624.159X + 1761.214X^2$	0.0027	0.6265
	Acumulación	$Na = 16.553 - 2.043X^{0.5}$	0.381	0.0595

X= representa la relación composta/suelo en el sustrato; ^x= concentración expresada en mg kg⁻¹ de materia seca; ^y= acumulación expresada en mg en hojas por planta.

DISCUSIÓN

Las compostas incrementan la fertilidad de los sustratos que las contienen, debido que éstas aumentan la disponibilidad nutricional (Canellas y Facanha, 2004). Sainz *et al.* (1998) reportaron que la adición de vermicomposta al suelo incrementó los contenidos de nutrientes, y las concentraciones de los micronutrientes Cu, Mn y Zn también aumentaron en vástagos de pepino y trébol rojo. En brócoli, la concentración de micronutrientes en parte aérea se incrementó de manera significativa, con el aumento de la cantidad de composta derivada de lodos residuales en el sustrato, en particular de Zn (Pérez-Murcia *et al.*, 2006).

En esta investigación, las curvas respuesta muestran que la cantidad de composta adicionada al sustrato se correlaciona en forma positiva con las concentraciones de Fe y Zn en raíces (Figura 1), y con el Fe en tallo (Figura 3), en tanto que en hojas esta correlación se presentó con la concentración de Fe (Figura 5). En petunia, con la adición de 60% de vermicomposta al sustrato se obtuvieron las mayores concentraciones de Fe, Zn y Cu en vástago (Pérez-Murcia *et al.*, 2006).

Las concentraciones de Fe y B obtenidas en hojas (Figura 5), son muy superiores a los intervalos establecidos por Mills y Jones (1996) para esta especie (84 a 168 y 18 a 43 mg kg⁻¹ de materia seca, respectivamente). Lo anterior, es independiente a la proporción de composta adicionada al

The concentrations of Fe and B obtained in the leaves (Figure 5) are well above the ranges established by Mills and Jones (1996) for this species (84 to 168 and 18 to 43 mg kg⁻¹ of dry matter, respectively). This is independent of the proportion of compost added to the substrate. On the contrary, the concentrations of Cu, Zn and Mn in plants growing in the three substrates tested (Figure 1, 3 and 5), are within the optimum ranges (3 to 19, 33 to 85 and 44 to 177 mg kg⁻¹ of dry matter, respectively) reported by Mills and Jones (1996).

With regard to sodium, the concentration in plants established in the substrate with a compost/soil relation of 4, it's outside the range of proficiency, which ranges from 3 067 to 10 890 mg kg⁻¹ of dry matter, respectively. The concentration obtained of Na in the plant tissue deserves special attention over the organs evaluated, this, decrease as the concentration of compost in the substrate increases. Pérez-Murcia *et al.* (2006) indicated that, the proportion of compost in the final substrate it's quite important in order to minimize potential risks, especially salinity.

Coincident with this statement, Lakhdar *et al.* (2008) demonstrated that, the addition of compost to the soil decreases the negative effects of salinity on growth. Similarly, the accumulation of Na in petunia's leaves (Figure 6) decreases as the proportion of compost in the substrate increases. However, if we analyze the results of accumulation of this element between organs, it's observed that, the content of Na in the roots and stems is lower than

sustrato. Por el contrario las concentraciones de Cu, Zn y Mn en plantas creciendo en los tres sustratos evaluados (Figura 1, 3 y 5), se encuentran dentro de los intervalos óptimos (3 a 19, 33 a 85 y 44 a 177 mg kg⁻¹ de materia seca, respectivamente) reportados por Mills y Jones (1996).

Respecto al sodio, la concentración obtenida en plantas establecidas en el sustrato con una relación composta/suelo de 4, se encuentra fuera del intervalo de suficiencia, el cual oscila del 3 067 a 10 890 mg kg⁻¹ de materia seca, respectivamente. Las concentraciones de Na obtenidas en tejido vegetal merecen especial atención en virtud que en los órganos evaluados, éstas disminuyen a medida que la concentración de composta incrementa en el sustrato. Pérez-Murcia *et al.* (2006) indica que la proporción de composta en el sustrato final es muy importante para minimizar riesgos potenciales, especialmente la salinidad.

Coincidente con esta afirmación, Lakhdar *et al.* (2008) demuestran que la adición de composta al suelo disminuye el efecto negativo de la salinidad sobre el crecimiento. Asimismo, la acumulación de Na en hojas de petunia (Figura 6), decrece a medida que la proporción de composta en el sustrato aumenta. No obstante, si se analizan los resultados de acumulación de este elemento entre órganos, se observa que en raíces y tallos existen menores contenidos de Na que en hojas. Esto permite confirmar los hallazgos de Fornes *et al.* (2007), quienes reportan que la petunia es una herbácea tolerante a la salinidad al tener la capacidad de acumular Na en láminas foliares.

En lo que a acumulaciones nutrimentales respecta, se observó de manera general que en raíces, los mayores valores promedio fueron registrados en plantas creciendo en el sustrato con más alta relación composta/suelo (Figura 2). En tallos y hojas, la tendencia de acumulación antes descrita fue observada en Fe, Zn, Mn y B (Figuras 4 y 6). Es decir, con excepción de Cu en tallos y hojas y del Na en hojas, las acumulaciones de micronutrientes *in planta* en petunia mostraron la misma tendencia, incrementaron con el aumento de la relación composta/suelo en el sustrato. Estos resultados coinciden con los reportados por Pérez-Murcia *et al.* (2006) en brócoli, donde las acumulaciones de Fe y Zn fueron más altas en plantas creciendo en mezclas de turba con composta.

De los 18 mejores modelos seleccionados para concentración de nutrimentos y sodio en los tres órganos evaluados, siete de ellos no fueron significativos: Cu y Zn en raíces; Fe, Zn, Mn y B en tallos; y Zn en hojas. Los modelos significativos en raíces presentaron coeficientes de determinación (R²) entre

in the leaves. This confirms the findings of Fornes *et al.* (2007), who reported that, the petunia is a salt-tolerant herbaceous, having the ability to accumulate Na in the leaf blades.

Regarding the nutrient accumulation, it was observed overall that, in the roots the highest average values were recorded in the plants growing on the substrate with the highest compost/soil relation (Figure 2). In the stems and leaves, the above described accumulation tendency was observed in Fe, Zn, Mn and B (Figures 4 and 6). I. e., except for Cu in the stems and leaves and Na in the leaves, accumulations of micronutrients *in planta* in petunia showed the same trend, they increased as the compost/soil relation did in the substrate. These results agree with those reported by Pérez-Murcia *et al.* (2006) in broccoli, where the accumulations of Fe and Zn were higher in plants growing in mixtures of peat moss with compost.

Out of the 18th best models selected for the concentration of nutrients and sodium in the three organs tested, seven were not significant: Cu and Zn in roots, Fe, Zn, Mn and B in stems, and Zn in the leaves. The significant models in the roots showed coefficients of determination (R²) between 0.3255 and 0.5955, resulting particularly low for Fe, B and Na (Table 2). In the stems, only models of Cu and Na were significant with R² values of 0.4467 and 0.3980, respectively (Table 3). In the leaves only the concentration model of Zn was not significant (Table 4).

In assessing the effect of nutrient management and application of nematicide on the nutrimental state of potato (variety Tollocan); Estañol-Botello *et al.* (2005) reported a significant regression model for nutrients concentration with R² values between 0.35 and 0.76. Meanwhile, Bres and Jerzy (2008) in assessing the influence of solar radiation on nutrition of chrysanthemum, reported R² values for concentrations of Fe, Cu and B of 0.3991, 0.5187 and 0.4816, respectively.

Three out of the 18th best accumulation models of nutrients in the three organs tested were not significant: Cu in stems, Zn and Na in the leaves (Tables 2, 3 and 4). In general, the coefficients of determination obtained in the accumulation models were higher than those obtained in the concentration models, since it reached values up to 0.8351 in the stems. In this context, R² results indicate that variability in the accumulation of nutrients and sodium in petunia is explained better by the compost/soil relation than by the

0.3255 y 0.5955, resultando particularmente bajos para Fe, B y Na (Cuadro 2). En tallos, sólo los modelos de concentración de Cu y Na fueron significativos con valores de R^2 de 0.4467 y 0.3980, respectivamente (Cuadro 3). En hojas sólo el modelo de concentración de Zn no fue significativo (Cuadro 4).

Al evaluar el efecto del manejo nutrimental y la aplicación de nematicida sobre el estado nutrimental de tubérculos de papa variedad Tollocan, Estañol-Botello *et al.* (2005), reportan modelos de regresión significativos para concentraciones nutrimentales con valores de R^2 entre 0.35 y 0.76. Por su parte, Bres y Jerzy (2008) al evaluar la influencia de la radiación solar sobre la nutrición de crisantemo, reportaron valores de R^2 para concentración de Fe, Cu y B de 0.3991, 0.5187 y 0.4816, respectivamente.

Tres de los 18 mejores modelos de acumulación de nutrientes en los tres órganos evaluados fueron no significativos: Cu en tallos, Zn y Na en hojas (Cuadros 2, 3 y 4). De manera general, los coeficientes de determinación obtenidos en los modelos de acumulación, fueron superiores a los obtenidos en los modelos de concentración, pues se alcanzaron valores de hasta 0.8351 en tallos. En este contexto, los resultados de R^2 indican que la variabilidad en la acumulación de nutrientes y sodio en petunia, es explicada en mayor medida por la relación composta/sustrato que la concentración nutrimental. Esto significa que existen otras variables que modifican la concentración nutrimental, adicionales a la relación composta/sustrato, las cuales pueden modificar y explicar la variabilidad de dicha concentración.

CONCLUSIONES

La composta adicionada al sustrato de crecimiento de petunias incrementa la acumulación de micronutrientes en raíces, tallos y hojas. Por el contrario, disminuye la acumulación de Na en hojas, elemento que en altas concentraciones puede resultar tóxico para los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores(as) agradecen a la línea prioritaria de investigación 4. Agronegocios, agroecoturismo y arquitectura del paisaje del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas el apoyo para la realización de esta investigación.

nutrient concentration. This means that there are other variables that modify the nutrient concentration, in addition to the compost/substrate relation, which can modify and explain the variability of such concentration.

CONCLUSIONS

Compost added to the substrate growth of petunia increases the accumulation of micronutrients in the roots, stems and leaves. On the contrary, Na accumulation in leaves decreases an element which in high concentrations may be toxic to the crop itself.

End of the English version



LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial. Núm. 10. SMCS. Chapingo, México. 150 p.
- Bres, W. and Jerzy, M. 2008. Changes of nutrient concentration in chrysanthemum leaves under influence of solar radiation. *Agron. Res.* 6(2):435-444.
- Canellas, L. P. and Facanha, A. R. 2004. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(3):233-240.
- Eklings, Y.; Ramert, B. and Wivstad, M. 2001. Evaluation of growing media containing farmyard manure compost, household waste compost or chicken manure for the propagation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) transplants. *Biol. Agric. Hort.* 19(2):157-181.
- Estañol-Botello, E.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Volke-Haller, V. H., Zavaleta-Mejía, E.; Sánchez-García, P. y Peña-Valdivia, C. 2005. Estudio preliminar sobre manejo nutrimental y aplicación de nematicida para el control de la infección por nematodos en papa. *Terra Latinoamericana.* 23(4):477-485.
- Fornes, F.; Belda, R. M.; Carrión, C.; Noriega, V.; García-Agustín, P. and Abad, M. 2007. Pre-conditioning ornamental plants to drought by means of saline water irrigation as related to salinity tolerance. *Sci. Hortic.* 113(1):52-59.

- García-Albarado, J. C.; Trejo-Téllez, L. I.; Velásquez-Hernández, M. A.; Ruiz-Bello, A. y Gómez-Merino, F. C. 2010. Crecimiento de petunia en respuesta a diferentes proporciones de composta en sustrato. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 16(2):107-113.
- Handreck, K. and Black, N. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. UNSW Press. Sidney, Australia. 534 p.
- He, Z.; Yang, X.; Kahn, B. A.; Stofella, P. J. and Calvert, D. V. 2001. Plant nutrition benefits of phosphorus, potassium, calcium, magnesium and micronutrients from compost utilization. *In: compost utilization in horticultural cropping systems*. Stofella, P. J. and Kahn, B. A. (eds.). Lewis Publishers, Boca Ratón, FL. 307-320 pp.
- Lakhdar, A.; Hafsi, C.; Rabhi, M.; Debez, A.; Montemurro, F.; Abdelly, C.; Jedidi, N. and Ouerghi, Z. 2008. Application of municipal solid waste compost reduces the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L. *Bioresour. Technol.* 99(15):7160-7167.
- Mills, H. A. and Jones, J. B. 1996. Plant analysis handbook II. MicroMacro Publishing. Athens, Ga. 422 p.
- Moldes, A.; Cendón, Y. and Barral, M. T. 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Bioresour. Technol.* 98(16):3069-3075.
- Pérez-Murcia, M. D.; Moral, R.; Moreno-Caselles, J.; Pérez-Espinosa, A. and Paredes, C. 2006. Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresour. Technol.* 97(1):123-130.
- Provin, T. L.; Wright, A. L.; Hons, F. M.; Zuberer, D. A. and White, R. H. 2008. Seasonal dynamics of soil micronutrients in compost-amended bermuda grass turf. *Bioresour. Technol.* 99(7):2672-2679.
- Sainz, M. J.; Taboada-Castro, M. T. and Vilariño, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant Soil.* 205(1):85-92.
- Vendrame, W. A. and Maguire, I. 2005. Growth of selected bedding plants as affected by different compost percentages. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 118:368-371.