

Crecimiento y estado nutricional de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos*

Growth and nutritional status of tomato in response to organic substrates and mycorrhizal fungi

Oscar Ávila-Peralta¹, Rosalinda Mendoza-Villarreal^{1§}, Luis Alonso Valdez-Aguilar¹, Edmundo Mario Rodríguez Campos², Armando Hernández-Pérez¹ y Antonio Cárdenas-Flores³

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315. (avilaperalta@universitarios.com; luisalonso_va@hotmail.com; hernandez865@hotmail.com). ²Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, C. P. 25315. (emrc@me.com). ³Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, C. P. 25294. (antonio.cardenas@ciqa.edu.mx). §Autor de correspondencia: rosalingamendoza@hotmail.com.

Resumen

La función principal de los hongos micorrízicos es facilitarle a la planta la absorción de agua, fósforo (P) y nitrógeno (N), además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio llamada glomalina. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos consorcios de hongos micorrizicosarbusculares y una especie comercial (*Rhizophagus irregularis*) combinadas con un sustrato a base de lombricomposta o turba ácida sobre el desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*. Rio Grande). El diseño experimental fue un bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2x4, con 8 tratamientos y 6 repeticiones, cada repetición consistió de un contenedor por planta. Se aplicó 1 g de micorriza comercial (500 ea g⁻¹), y 100 g (500 ea g⁻¹) de suelo nativo por planta. Las variables de altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz, peso seco de raíz, y parte aérea y total de planta fueron afectadas por los sustratos y hongos y por la interacción entre estos factores. El porcentaje de micorrización también fue afectado por la interacción, las raíces de plantas desarrolladas en lombricomposta y turba ácida e inoculadas con CN1 tuvieron el mayor porcentaje de micorrización, para el primer

Abstract

The main function of mycorrhizal fungi is to facilitate water absorption, phosphorus (P) and nitrogen (N) to plant, in addition to improve physicochemical properties of soil and aggregate formation through particle adhesion due to protein exuded by the mycelium called Glomalina. The aim of this study was to evaluate the effect of two arbuscular mycorrhizal fungi consortia and a commercial species (*Rhizophagus irregularis*) combined with a substrate based on vermicompost or peat on development of tomato plants (*Solanum lycopersicum*. Rio Grande). The experimental design was a randomized complete block with a factorial arrangement 2x4, with 8 treatments and 6 replications each replication consisted of a container per plant. 1 g of commercial mycorrhizal (500 ea g⁻¹), and 100 g (500 ea g⁻¹) of native soil per plant was applied. The variables plant height, stem diameter, root length, root, shoot and total plant dry weight were affected by the substrates and fungi and the interaction between these factors. The mycorrhization percentage was also affected by interaction, roots plants grown in vermicompost and peat inoculated with CN1 had the highest percentage of mycorrhization, for the first sampling, plants grown in peat decreased the percentage of mycorrhization

* Recibido: agosto de 2015
Aceptado: noviembre de 2015

muestreo, asimismo, las plantas desarrolladas en turba ácida disminuyeron el porcentaje de micorrización comparadas con las desarrolladas en lombricomposta. La concentración de los nutrimentos disminuyó en comparación con el testigo a excepción del nitrógeno.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, *Rhizophagus irregularis*, fósforo, micorrización.

Introducción

Una adecuada nutrición de las plantas cultivadas no necesariamente se logra con la aplicación de fertilizantes químicos, ya que existen otros que producen el mismo efecto pero tienen un menor impacto ambiental y pueden sostener una producción agrícola que satisfaga la creciente demanda de alimentos a nivel mundial. A raíz de esto surgen insumos agrícolas a base de microorganismos y materiales de origen orgánico, como los hongos micorrízicos y la lombricomposta, opciones que constituyen lo que se llama agricultura sostenible (Pretty, 2008), debido al amplio espectro de actividades que desarrollan, ya que ejercen una gran influencia sobre la fertilidad del mismo y sobre el desarrollo y protección contra microorganismos patógenos de las plantas.

La función principal de los hongos micorrízicos es facilitar a la planta la absorción de agua, fósforo (P) y nitrógeno (N), además de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio llamada glomalina, además mejora la estructura y estabilidad, aumentan la capacidad de retención de agua y reduce la erosión del suelo (Finlay, 2008). Además, también influyen de manera directa o indirecta en la absorción de otros iones minerales como el potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y manganeso (Mn), promoviendo el crecimiento de las plantas, especialmente en aquellos suelos donde estos nutrientes son escasos (Koltai y Kapulnik, 2010). Provocan una mayor tolerancia al déficit hídrico, así como la protección de las raíces contra patógenos a través de diversos mecanismos de acción, entre los que se encuentran: micoparasitismo, lisis enzimática, antibiosis y la competencia por espacio o nutrientes (Finlay, 2008).

La lombricomposta es un abono orgánico que proporciona nutrientes a las plantas; su aplicación incrementa el crecimiento, desarrollo y productividad de una amplia gama

comparado con las desarrolladas en vermicompost. Nutrientes concentración disminuyó comparado con control excluyendo nitrógeno.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Rhizophagus irregularis*, micorrización, fósforo.

Introduction

Proper nutrition of crop plants is not necessarily achieved with the application of chemical fertilizers, as there are others that produce the same effect but have less environmental impact and can sustain agricultural production to meet the growing demand for food worldwide. As a result of this arise agricultural inputs based on microorganisms and materials of organic origin, such as mycorrhizal fungi and vermicompost, options that constitute what is called sustainable agriculture (Pretty, 2008), due to the wide range of activities that develop, and exert a great influence on soil fertility and on the development and protection against plant pathogens.

The main function of mycorrhizal fungi is to facilitate plants water absorption, phosphorus (P) and nitrogen (N), in addition to improve the physical and chemical properties of soil and aggregate formation through particle adhesion due to a protein exuded by the mycelium called glomalina, also improves the structure and stability, increase water retention capacity and reduce soil erosion (Finlay, 2008). Furthermore, it also affects directly or indirectly in the absorption of other ion minerals such as potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe) and manganese (Mn), promoting plant growth, especially in soils where these nutrients are scarce (Koltai and Kapulnik, 2010). Cause greater tolerance to water deficit and protect roots against pathogens through various mechanisms of action, among which are: mycoparasitism, enzymatic lysis, antibiosis and competition for space or nutrients (Finlay, 2008).

Vermicompost is an organic fertilizer that provides nutrients to plants; its application increases growth, development and productivity of a wide range of crops (legumes, cereals, vegetables, ornamental plants and flowers), which is attributed to the physical and chemical characteristics of the fertilizer (Moreno *et al.*, 2008); it also provides N, P, K, Ca, Mg and carbon (Duran and

de cultivos (leguminosas, cereales, hortalizas, plantas de ornato y flores), lo cual se atribuye a las características físicas y químicas del abono (Moreno *et al.*, 2008); también aporta N, P, K, Ca, Mg y carbono (Duran y Henriquez, 2010). Debido a esto, la lombricomposta puede ser usada como medio de crecimiento de especies hortícolas cultivadas en condiciones de invernadero (Cruz *et al.*, 2010). El conocimiento del impacto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en hortalizas cultivadas en campo abierto es amplio (Hernández y Chailloux, 2004); sin embargo, el efecto de estas en cultivos en invernadero no ha sido estudiado, menos aún en combinación con abonos orgánicos como la lombricomposta, una práctica que debe ser incorporada a los sistemas de producción hortícola (Nelson y Nelson, 2015; Oseni *et al.*, 2010; Carpio *et al.*, 2005).

Algunos reportes señalan que la inoculación de HMA en tomate, aumenta el estado nutrimental, el tamaño de fruto y permite un mayor rendimiento (Al-Karaki, 2006; Desganet *et al.*, 2008; Oseni *et al.*, 2010). Sin embargo, el efecto en ambientes protegidos depende de la cepa del HMA, de la especie de planta cultivada y de las condiciones de crecimiento (Corkidi *et al.*, 2004). Por otro lado, las especies de micorrizas comerciales pueden estar en desventaja por la competitividad con los microorganismos del suelo, por lo que es recomendable utilizar cepas nativas (Caldera *et al.*, 2013). Por lo anterior, en el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar el efecto de dos consorcios de hongos micorrízicos arbusculares y una especie comercial (*Rhizophagus irregularis*) combinadas con un sustrato a base de lombricomposta o turba ácida sobre el desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, bajo la hipótesis de que las esporas de HMA nativos pueden superar a la especie comercial en el crecimiento y estado nutrimental de las plantas.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo de marzo a junio de 2013 en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: latitud norte 25° 27' y longitud oeste 101° 02' a una altura de 1 610 msnm. La temperatura mínima y máxima promedio durante el periodo experimental fue de 12 y 34°C respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 25 y 72%.

Henriquez, 2010). Because of this, vermicompost can be used as growth media of horticultural species grown under greenhouse conditions (Cruz *et al.*, 2010). Knowledge of the impact of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on vegetables grown in fields is wide (Hernández and Chailloux, 2004); however, the effect of these in greenhouse crops has not been studied, not even in combination with organic fertilizers like vermicompost, a practice that should be incorporated into horticultural production systems (Nelson and Nelson, 2015; Oseni *et al.*, 2010; Carpio *et al.*, 2005).

Some reports indicate that inoculation of AMF in tomato increase nutritional status, fruit size and allows higher yield (Al-Karaki, 2006; Desganet *et al.*, 2008; Oseni *et al.*, 2010). However, the effect in protected environments depends on the strain of AMF, the cultivated plant species and growing conditions (Corkidi *et al.*, 2004). On the other hand, commercial mycorrhizal species may be in disadvantage by competition with soil microorganisms, so it is advisable to use native strains (Caldera *et al.*, 2013). Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of two consortia of arbuscular mycorrhizal fungi and a commercial species (*Rhizophagus irregularis*) combined with a substrate based on vermicompost or peat on plant development of tomato (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, under the hypothesis that native AMF spores can outperform commercial species in growth and nutritional status of the plants.

Materials and methods

The experiment was carried out from March to June 2013 in a greenhouse from the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) in Saltillo, Coahuila, Mexico, whose geographical coordinates are: 25° 27' north latitude and 101° 02' west longitude at an altitude of 1 610 masl. The minimum and maximum average temperature during the experimental period was 12 and 34 °C respectively, while relative humidity ranged between 25 and 72%.

Tomato seedlings cv. Rio Grande of 15 cm height was used, which were transplanted in a black polyethylene container of 5 L volume. The containers were filled with a substrate based on vermicompost, peat, sand and soil (Table 1); the soil was sterilized at 120 °C for 15 min in an autoclave for

Se utilizaron plántulas de tomate cv. Rio Grande de 15 cm de altura, las cuales se trasplantaron una en cada contenedor de polietileno negro de 5 L de volumen. Los contenedores se llenaron con un sustrato a base de lombricomposta, turba ácida, arena y suelo (Cuadro 1); el suelo fue previamente esterilizado a 120°C durante 15 min en autoclave por tres ocasiones. Antes del trasplante se inoculó 1 g de producto con 500 esporas del hongo micorrízico comercial Endovit, (*Rhizophagus irregularis*) (Ri).

three times. Before the transplant 1 g of the product was inoculated with 500 spores from the commercial mycorrhizal fungi Endovit (*Rhizophagus irregularis*) (Ri).

However, for native mycorrhizal fungi 100 g of soil containing the same amount of spores were inoculated. Native mycorrhizal fungi were obtained in two soil types, one low in organic matter (1%) (native consortium 1 CN1) and the other high in organic matter (5%) (native

Cuadro 1. Tratamientos establecidos con diferente composición del sustrato y tipo de inoculó aplicados en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Var. Rio Grande en condiciones de invernadero.

Table 1. Treatments set with different composition of the substrate and type of inoculum used in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Var. Rio Grande under greenhouse conditions.

Tratamientos	Composición del sustrato (% v/v)
1. Consorcio nativo 1 CN1	10 suelo+30 arena+60 turba ácida
2. Consorcio nativo 2 CN2	10 suelo+30 arena+60 turba ácida
3. <i>Risophagusirregulariz</i> (Ri)	10 suelo+30 arena+60 turba ácida
4. Testigo 1	10 suelo+30 arena+60 turba ácida
5. CN1	10 suelo+30 arena+60 lombricomposta
6. CN2	10 suelo+30 arena+60 lombricomposta
7. <i>Rizophagusirregularis</i> (Ri)	10 suelo+30 arena+60 lombricomposta
8. Testigo 2	10 suelo+30 arena+60 lombricomposta

CN1 =Consorcio nativo 1, CN2=Consorcio nativo 2,Testigo 1 y Testigo 2 sin inocular y nutridos con la solución de Steiner.

Sin embargo, para los hongos micorrízicos nativos se inocularon 100 g de suelo que contiene la misma cantidad de esporas. Los hongos micorrízicos nativos fueron obtenidos en dos tipos de suelo: uno bajo en materia orgánica (1%) (consorcio nativo 1, CN1) y el otro con alto contenido de materia orgánica (5%) (consorcio nativo 2, CN2). Se recolectaron 3 kg de suelo con raíces de plantas para la extracción de esporas de estos hongos por el método de tamizado húmedo y decantación (Guerderman y Nicolson, 1963). El CN1 estuvo conformado por esporas de diferente diámetro polar y meridional 209.31 y 189.89, 110.56 y 105.49, 129.13 y 142.63, 194.11 y 174.70 μm , mientras que en el CN2 estas fueron 93.27 y 186.52, 229.56 y 275.98, 124.06 y 124.91, 222.72 y 179.04 μm . El diámetro de las esporas se midió mediante un software para Windows Dino Capture 2.0. Versión 1.3.8 y con la ayuda de un microscopio óptico.

Los tipos de esporas de HMA se evaluaron en combinación con dos tipos de sustrato (lombricomposta y turba ácida) que contenían la misma proporción de suelo (10%) y arena (30%), mejorados con la adición de lombricomposta o turba ácida (60%), los tratamientos evaluados se presentan en la Cuadro 1. La lombricomposta utilizada tiene un pH= 8.4,

consortium 2 CN2). 3 kg of soil with plant roots were collected for the extraction of spores of these fungi through wet sieving and decanting (Guerderman and Nicolson, 1963). CN1 consisted of spores of different polar and meridional diameter 209.31 and 189.89, 110.56 and 105.49, 129.13 and 142.63, 194.11 and 174.70 μm , while in CN2 these were 93.27 and 186.52, 229.56 and 275.98, 124.06 and 124.91, 222.72 and 179.04 μm . The diameter of the spores was measured by Dino Capture 2.0. version 1.3.8 software for Windows with the help of an optical microscope.

AMF spore types were evaluated in combination with two types of substrate (vermicompost and peat) containing the same proportion of soil (10%) and sand (30%), improved with the addition of vermicompost or peat (60%), treatments evaluated are presented in Table 1. Vermicompost used has a pH= 8.4, EC= 2.6 dS cm^{-1} , organic matter= 5%, bulk density = 0.67 g cm^3 , N= 0.62 meq L^{-1} , P= 0.6 meq L^{-1} and K= 1.3 meq L^{-1} and irrigation water Ca= 4.2, Mg= 3.9, Na= 0.54, Cl= 1.38, $\text{SO}_4 = 5.9$ and $\text{HCO}_3 = 5.9$ meq L^{-1} respectively. So the contents of both were considered for the formulation of nutrient solutions (SN), using in the control SN Steiner (1961) to 100%, and in the treatments inoculated the solution contained 50% phosphorus.

CE=2.6 dS cm⁻¹, materia orgánica= 5%, densidad aparente= 0.67 g cm³, N= 0.62 meq L⁻¹, P= 0.6 meq L⁻¹ y K= 1.3 meq L⁻¹ y el agua de riego Ca= 4.2, Mg= 3.9, Na= 0.54, Cl= 1.38, SO₄= 5.9 y HCO₃= 5.9 meq L⁻¹ respectivamente. Por lo que el contenido de ambas fueron consideradas para la formulación de las soluciones nutritivas (SN), utilizando en los testigos la SN de Steiner (1961) al 100%, y en los tratamientos inoculados la solución contenía el 50% de fósforo.

Los riegos se efectuaron manualmente aplicando 1 L de SN por planta, logrando mantener una fracción de lixiviado de 25%; los riegos se efectuaron cada cuatro días.

El experimento finalizó a los 80 días después del trasplante (DDT). Para determinar el porcentaje de micorrización se realizaron dos evaluaciones (50 y 80 DDT), utilizando cuatro plantas por cada tratamiento, de las cuáles se separó la parte aérea y la raíz; a ésta última se le eliminó el exceso de sustrato con agua potable, para posteriormente determinar el porcentaje de micorrización. Los órganos de la planta separados fueron secados en un estufa a 65 °C por 72 h para obtener el peso seco utilizando una balanza digital marca VE-1000. Otras variables evaluadas fueron altura de planta y diámetro de tallo.

Antes de determinar el porcentaje de micorrización las raíces se colocaron en tubos de ensayo adicionando una solución de KOH al 10% por 10 min a 60 °C, posteriormente se agregó H₂O₂ al 10% para eliminar los residuos de KOH, se dejaron en reposo por 5 min y finalmente se adicionó Lactoglicerol con azul de tripano para la tinción de las raíces (Phillips y Hayman, 1970). El porcentaje de micorrización se obtuvo a partir de las raíces teñidas; se segmentaron las raíces por 1 cm de longitud, colocando 10 seg en un portaobjetos, con tres repeticiones, para su posterior observación en microscopio óptico (10 y 40 x) (Sieverding, 1983).

En raíz y parte aérea se determinó la concentración de N, P y K; para el N se utilizó el método de micro-Kjeldahl (Bremner, 1996), el P por el método de molibdato de amonio y el K por absorción atómica (AOAC, 1980). Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2 x 4 (2= lombricomposta y turba ácida; 4= CN1, CN2, Ri y Test) con 8 tratamientos y 6 repeticiones. La unidad experimental consistió de un contenedor por planta, separado a cada 25 cm. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2.

Irrigation was carried manually applying 1 L SN per plant, managing to keep a fraction of 25% of leachate; irrigation was made every four days.

The experiment finished at 80 days after transplanting (DAT). To determine the percentage of mycorrhization two assessments (50 and 80 DAT) were performed using four plants per treatment, from which shoot and root was removed; to the latter was removed the excess of substrate with tap water, to determine the percentage of mycorrhization. Plant organs were dried in an oven at 65 °C for 72 h to obtain dry weight using a digital scale VE-1000. Other variables evaluated were plant height and stem diameter.

Before determining the percentage of mycorrhization, roots were placed in test tubes by adding a solution of 10% KOH for 10 min at 60 °C, adding 10% H₂O₂ to remove KOH residues, resting for 5 min and finally added lactoglycerol with trypan blue to stain roots (Phillips and Hayman, 1970). The percentage of mycorrhization was obtained from roots dyed; roots were segmented in 1 cm length, placing it 10 sec on a slide, with three replicates for subsequent observation in optic microscope (10 and 40 x) (Sieverding, 1983).

In root and shoot the concentration of N, P and K was determined; N through micro-Kjeldahl method (Bremner, 1996), P by the method of ammonium molybdate and K by atomic absorption (AOAC, 1980). The treatments were established under an experimental design of complete randomized blocks with a factorial arrangement of 2 x 4 (2= vermicompost and peat; 4= CN1, CN2, Ri and Control) with 8 treatments and 6 replications. The experimental unit consisted of a container per plant, spacing 25 cm. Data was subjected to an analysis of variance (ANOVA) and mean comparison test Tukey ($p \leq 0.05$) using SAS (Statistical Analysis System) version 9.2.

Results and discussion

The percentage of mycorrhization in plants grown in peat and vermicompost was higher with inoculation from CN1 in sampling at 50 days (Figure 1A) and in control with vermicompost. In the second sampling, the trend was similar, except plants grown in peat, as colonization was higher with CN1 and CN2 (Figure 1B). A higher percentage of mycorrhization was recorded with inoculation from spores of

Resultados y discusión

El porcentaje de micorrización en plantas desarrolladas en lombricomposta y turba ácida fue mayor con la inoculación del CN1 en el muestreo a los 50 días (Figura 1A) y en plantas testigo con lombricomposta. En el segundo muestreo la tendencia fue similar, a excepción de las plantas crecidas con turba ácida, pues la colonización fue mayor con el CN1 y CN2 (Figura 1B). Un mayor porcentaje de micorrización se registró con la inoculación de las esporas del CN1 tanto en etapas tempranas como en las etapas más avanzadas del desarrollo de las plantas coincidiendo con Velasco *et al.* (2001), quienes señalan que la mayor colonización micorrízica en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) se observó a los 60 días después del trasplante.

CN1 both in early and advanced stages of plant development coinciding with Velasco *et al.* (2001), who indicate that the highest mycorrhization in tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) observed at 60 days after transplantation.

In control plants grown in a substrate based on vermicompost, despite not being inoculated, showed greater colonization than those grown with peat, indicating that this substrate facilitates colonization, probably due to the presence of humic substances in the same since establishment of arbuscular mycorrhizal fungi and functionality of the symbiosis are favored by the application of certain amounts of humic substances (Gryndler *et al.*, 2005; Pinheiro *et al.*, 2014). It has been reported that vermicompost is comprised by bacteria and fungi capable of degrading compounds like lignin and hemicellulose (Aira *et al.*, 2007).

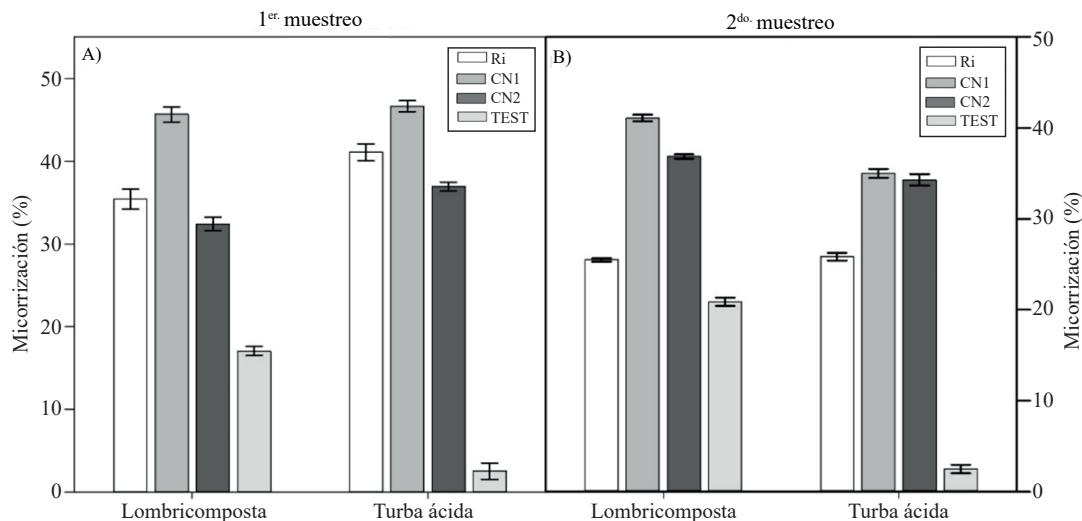


Figura 1. Efecto de los sustratos orgánicos y de las esporas de hongos micorrizicos inoculados en el porcentaje de micorrización en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri= *Rhizophagus irregularis*, CN1= consorcio nativo 1, CN2= consorcio nativo 2, TEST= Testigo. Las barras indican el error estándar de la media. (micorrización1 y 2; ANOVA sustratos =ns, ANOVA hongos= $p \leq 0.001$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.001$) coeficiente de variación; micorrización1= 8.93 y micorrización2= 6.3).

Figure 1. Effect of organic substrates and spores of mycorrhizal fungi inoculated on mycorrhization percentage in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri = *Rhizophagus irregularis*, native consortium CN1 = 1; CN2 = native 2 consortium; TEST = control. Bars indicate the standard error of the mean. (micorrización1 and 2; substrates ANOVA = ns, ANOVA fungi= $p \leq 0.001$, ANOVA substrates x = $p \leq 0.001$ fungi) coefficient of variation; = 8.93 and 6.3).

En las plantas testigo crecidas en un sustrato a base de lombricomposta, a pesar de no haber sido inoculadas, registraron una mayor colonización que aquellas crecidas con turba ácida, lo que indica que este sustrato facilita la colonización, probablemente debido a la presencia de sustancias húmicas en el mismo debido a que el establecimiento de los hongos micorrízicos arbusculares y la funcionalidad de la simbiosis son favorecidas por la

However, it has not been stated that the vermicompost contains mycorrhizal fungi spores, so mycorrhization may be due to a contamination by irrigation water; moreover, peat can contain mycorrhizal fungi as has already been pointed out by Callejas-Ruiz *et al.* (2009). The lowest colonization in plants grown in the substrate based on peat may be because this substrate has high water retention capacity, which can be up to 90% (Adams,

aplicación de ciertas cantidades de sustancias húmicas (Gryndler *et al.*, 2005; Pinheiro *et al.*, 2014). Se ha reportado que la lombricomposta está compuesta por bacterias y hongos con capacidad para degradar compuestos como lignina y hemicelulosa (Aira *et al.*, 2007).

Sin embargo, no se ha señalado que la lombricomposta contenga esporas de hongos micorrízicos, por lo que la micorrización puede ser debido a una contaminación por el agua de riego; por otra parte, la turba ácida puede contener hongos micorrízicos como ya fue señalado por Callejas-Ruiz *et al.* (2009). La menor colonización en plantas crecidas en el sustrato a base de turba ácida puede ser debido a que este sustrato tiene alta capacidad de retención de agua, la cual puede ser de hasta 90% (Adams, 2004), implicando una menor aireación en la zona de raíces y por lo tanto una menor oxigenación; algunos reportes señalan que las concentraciones de oxígeno idóneas están entre 12 y 16% para la micorrización y expresión benéfica de la simbiosis en el crecimiento de la planta (Callejas-Ruiz *et al.*, 2009).

El aumento del porcentaje de micorrización en plantas inoculadas con el CN1 comparando con el Ri puede ser debido a que los consorcios de hongos nativos tienen la habilidad de establecer relaciones simbióticas con los microbios del medio y de las condiciones edafoclimáticas, mientras que las micorrizas comerciales (Ri) han pasado por un proceso de selección, lo anterior concuerda con lo reportado por Jargeat *et al.* (2005), quienes señalan que los hongos micorrízicos están relacionados con bacterias endosimbióticas con forma de bacilos y no pueden desarrollar una fase de vida independiente, por lo tanto la eliminación de estas bacterias compromete seriamente el desarrollo y crecimiento pre-simbiótico del hongo (Lumini *et al.*, 2007). Lo anterior sugiere la importancia de seleccionar cepas de hongos micorrízicos nativos para dirigir a una condición específica con el fin de tener resultados satisfactorios (Trejo *et al.*, 2011).

En la Figura 2A, B, y C se muestra que las plantas desarrolladas en turba ácida mostraron una disminución en la altura de planta, diámetro de tallo y longitud de la raíz cuando se inocularon con las micorrizas nativas o con Ri. a disminución de la longitud de raíz puede ser debido a una mayor síntesis de hormonas provocada por la misma planta y por el hongo, ya que son importantes en las primeras etapas de la colonización, como fue reportado por Foo *et al.* (2013) y Bucher *et al.* (2014), quienes señalan que las fitohormonas interactúan para regular el establecimiento y funcionamiento de la simbiosis.

2004), implying lower aeration in root zones and therefore lower oxygenation; some reports indicate that optimal concentrations of oxygen are between 12 and 16% for mycorrhization and beneficial expression of symbiosis on plant growth (Callejas-Ruiz *et al.*, 2009).

The increase in the percentage of mycorrhization in plants inoculated with CN1 compared with Ri may be due to consortia of native fungi have the ability to establish symbiotic relationships with microbes from the environment and edapho-climatic conditions, while commercial mycorrhizal (Ri) have passed through a selection process, the above is consistent with that reported by Jargeat *et al.*, (2005), who note that mycorrhizal fungi are associated with endosymbiotic bacteria bacillus shaped and cannot develop an independent life phase, thus eliminating these bacteria seriously compromises the pre-symbiotic development and growth of the fungus (Lumini *et al.*, 2007). This suggests the importance of selecting native mycorrhizal fungi strains to lead a specific condition in order to obtain satisfactory results (Trejo *et al.*, 2011).

In Figure 2 A, B, and C it is shown that plants grown in peat showed a decrease in plant height, stem diameter and root length when inoculated with native mycorrhizae or with Ri a decrease in root length may be due to increased synthesis of hormones made by the same plant and by the fungus, as they are important in the early stages of colonization, as was reported by Foo *et al.* (2013) and Bucher *et al.* (2014), who point out that plant hormones interact to regulate the establishment and operation of the symbiosis.

For its part Pozo *et al.* (2015) report that some hormones control the first steps of the pre-symbiotic stage, while others regulate root morphological adaptations for the fungus to adapt and control colonization and functionality, these results contrast with those reported by Velasco *et al.* (2001), who points out that tomatillo plants height was higher in those grown with vermicompost and inoculated with *Glomus intraradices*, and by Alvarado *et al.* (2014) in tomato plants cv. Cid inoculated with *Rhizophagus irregularis*. Moreover salicylates, ethylene and cytokinins have negative effects in the early stages of penetration or root colonization by the fungus (Foo *et al.*, 2013). In general, plant growth and mycorrhizal colonization increased when a substrate based on vermicompost was used, although this response was affected by the interaction with the type AMF spore inoculated.

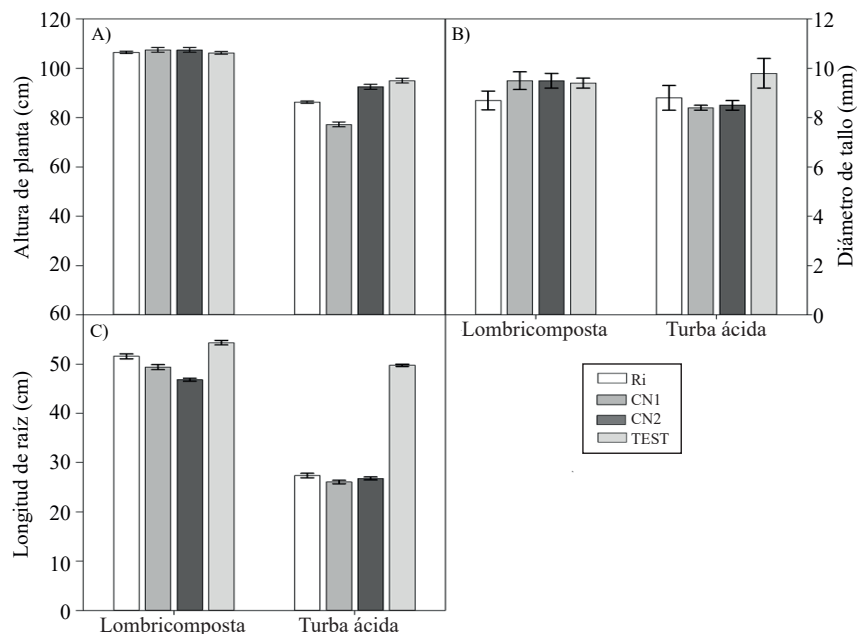


Figura 2. Efecto de los sustratos orgánicos y la inoculación de esporas de hongos micorrízicos en la altura, diámetro de tallo y longitud de raíz en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri= *Rhizophagus irregularis*, CN1= consorcio nativo 1, CN2= consorcio nativo 2, TEST= testigo. Las barras indican el error estándar de la media. (altura, diámetro de tallo, longitud de raíz; ANOVA sustratos= $p \leq 0.001$, ANOVA hongos= $p \leq 0.001$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.001$ coeficiente de variación; altura= 3.23, diámetro de tallo= 4.6 y longitud de raíz= 2.39).

Figure 2. Effect of substrates orgánicos y inoculation of mycorrhizal fungi spores in height, stem diameter and root length of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri = *Rhizophagus irregularis*, native consortium CN1 = 1; CN2 = native 2 consortium; TEST = control. Bars indicate the standard error of the mean. (Height, stem diameter, root length; substrates= $p \leq 0.001$ ANOVA, ANOVA fungi= $p \leq 0.001$, ANOVA yeast substrates x $p = 0.001$ coefficient of variation; Height = 3.23 = 4.60 stem diameter and root length = 2.39).

Por su parte Pozo *et al.* (2015) reportan que algunas hormonas controlan los primeros pasos de la etapa pre-simbiótica, mientras que otras regulan las adaptaciones morfológicas de la raíz para que el hongo se adapte y controle la colonización y funcionalidad, estos resultados se contraponen con los reportados por Velasco *et al.* (2001), quienes señalan que en las plantas de tomate de cáscara fue mayor la altura en aquellas crecidas con lombricomposta e inoculadas con *Glomus intraradices*, y por Alvarado *et al.* (2014) en plantas de tomate cv. Cid inoculadas con *Rhizophagus irregularis*. Por otra parte los salicilatos, etileno y citoquininas tienen efectos negativos en los primeros pasos de la penetración o colonización de la raíz por el hongo (Foo *et al.*, 2013). En general, el crecimiento de las plantas y la micorrización fueron incrementadas cuando se utilizó un sustrato a base de lombricomposta, aunque tal respuesta estuvo afectada por la interacción con el tipo de esporas de HMA inoculadas.

Las plantas crecidas en lombricomposta obtuvieron mayor peso seco de raíz con la inoculación del CN1, CN2 y en las plantas testigo (Figura 3A), mientras que

Plants grown in vermicompost obtained greater root dry weight with inoculation from CN1, CN2 and in control plants (Figure 3A), while shoots (Figure 3B) and total (3C) was greater in plants inoculated only with CN1. CN1 and CN2 increased total biomass in plants developed with vermicompost, mainly due to increase in aerial biomass, which can be due to mycorrhizal fungi in combination with vermicompost increases photosynthetic activity, as reported by Velasco *et al.* (2001).

Similar results were described in banana (*Musa paradisiaca*) clone Horton (Barrera *et al.*, 2012) and in maize (*Zea mays* L.) (Zhu *et al.*, 2012) as it obtained higher total dry matter with native mycorrhizae and commercial mycorrhizal respectively. Decreasing biomass accumulation in plants inoculated with native consortia and developed in peat can be due to these are receiving chemical fertilization, affecting the activity of mycorrhizal fungi; this coincides with those reported by Ortega-Larocea *et al.* (2008), who reported that mycorrhizal fungi are significantly affected when employed in high fertility conditions, as in the case of hydroponic crops.

en la parte aérea (Figura 3B) y total (Figura 3C) solo fue mayor en plantas inoculadas con el CN1. El CN1 y el CN2 aumentaron la biomasa total en las plantas desarrolladas con lombricomposta, debido principalmente al aumento en la biomasa aérea, lo cual puede ser debido a que los hongos micorrízicos en combinación con la lombricomposta aumentan la actividad fotosintética, como fue reportado por Velasco *et al.* (2001).

N concentration in root showed no changes by effect of AMF spores inoculated in plants grown with vermicompost, while those grown in peat recorded higher concentration, when inoculated with Ri (Figure 4A). N concentration in shoot was higher in non-inoculated plants, whether developed in vermicompost or peat, although the effect was more pronounced in those developed in the latter (Figure 4B). P concentration in root and shoot was higher

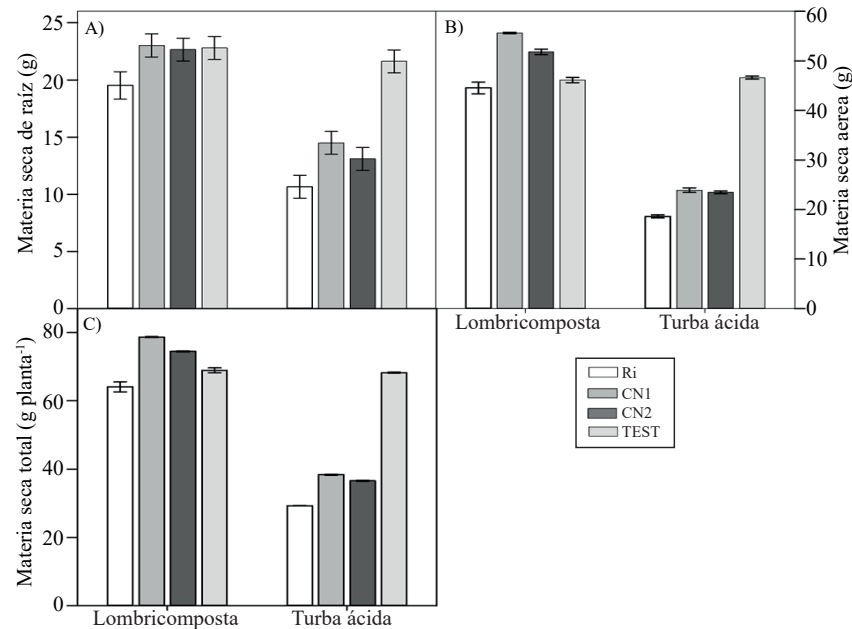


Figura 3. Efecto de los sustratos orgánicos y de las esporas de hongos micorrízicos inoculados en la materia seca de raíz y parte aérea de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri= *Rhizophagus irregularis*, CN1= consorcio nativo 1, CN2= consorcio nativo 2, TEST= testigo. Las barras indican el error estándar de la media. (materia seca de raíz, aérea y total ANOVA sustratos= $p \leq 0.01$, ANOVA hongos= $p \leq 0.01$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.01$, coeficiente de variación; materia seca de raíz= 2.21, materia seca aérea=6 y materia seca total= 4.02).

Figure 3. Effect of organic substrates and spores of mycorrhizal fungi inoculated on dry matter of root and aerial part of plants of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri = *Rhizophagus irregularis*, native consortium CN1 = 1; CN2= native 2 consortium; TEST = control. Bars indicate the standard error of the mean. (dry matter of roots, aerial and overall ANOVA substrates= $p \leq 0.01$, ANOVA fungi= $p \leq 0.01$, ANOVA yeast substrates= $p \leq 0.01$ coefficient of variation; dry matter root = 2.21, aerial dry matter= 6 and matter total dry= 4.02).

Similares resultados fueron descritos en plátano (*Musa paradisiaca*) clon Hórtón (Barrera *et al.*, 2012) y en maíz (*Zea mays* L.) (Zhu *et al.*, 2012) ya que se obtuvo mayor materia seca total con las micorrizas nativas y micorriza comercial, respectivamente. La disminución de la acumulación de biomasa en las plantas inoculadas con los consorcios nativos y desarrollados en turba ácida puede ser debido a que estas recibieron fertilización química, afectando la actividad de los hongos micorrízicos; esto coincide con lo señalado por Ortega-Larocea *et al.* (2008), quienes reportan que los hongos micorrízicos son afectados significativamente cuando son empleados en condiciones de alta fertilidad, como es el caso de los cultivos hidropónicos.

in those plants not inoculated, whereas in inoculated plants decreased regardless of the type of substrate, but this effect was more pronounced on the plants grown in peat (Figure 4C-D).

Mycorrhizal symbiosis favors the absorption of P and N, causing higher plant growth (Veresoglou *et al.*, 2012; Velasco *et al.*, 2001), which was confirmed in this study when tomato plants were inoculated with mycorrhizal fungi in combination with a substrate whose composition was based on vermicompost.

The decrease in root growth of plant developed in the substrate based on vermicompost could be due to a lower concentration of P and K in this organ, essential nutrients

La concentración de N en la raíz no mostró cambios por efecto de las esporas de HMA inoculadas en plantas crecidas con lombricomposta, mientras que en las crecidas en turba ácida se registró una mayor concentración, al ser inoculadas con Ri (Figura 4A). La concentración de N en la parte aérea fue mayor en las plantas no inoculadas, ya sea en las desarrolladas en lombricomposta o turba ácida, aunque el efecto fue más marcado en las desarrolladas en este último (Figura 4B). La concentración de P en la raíz y parte aérea fue mayor en aquellas plantas no inoculadas, mientras que en plantas inoculadas disminuyó, independientemente del tipo de sustrato, pero este efecto fue más marcado en las plantas crecidas en turba ácida (Figura 4C-D).

for its development (Ferrol and Perez-Tienda, 2009), while higher biomass accumulation in shoot may explain the decrease in the concentration of N and P due to a dilution effect. However, these results may also be due to vermicompost had an average contribution of P, as it has been reported that the application of high doses of this element, as well as N, have negative effects on the absorption of N, P, K, Fe, Mn and Zn in mycorrhizal plants (Castro *et al.*, 2009). In contrast with this result, Wang *et al.* (2008) note that in cucumber seedlings inoculated with three arbuscular mycorrhizal fungi increased the concentration of N and P in roots and magnesium (Mg), copper and zinc in shoots.

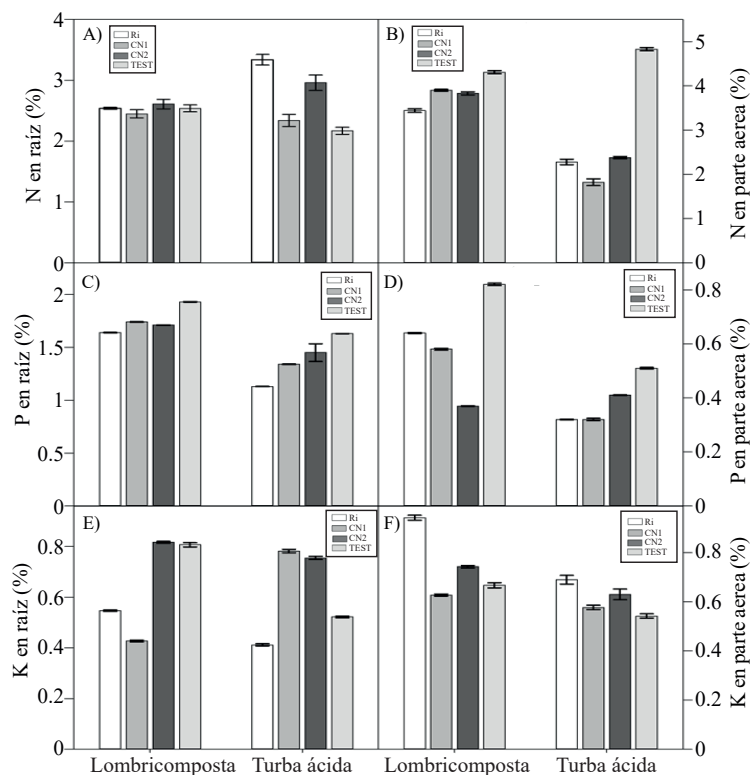


Figura 4. Efecto de los sustratos orgánicos y de las esporas de hongos micorrizicos inoculados en la concentración de N, P y K en la raíz y parte aérea de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri= *Rhizophagus irregularis*, CN1= consorcio nativo 1, CN2= consorcio nativo 2, TEST= testigo. Las barras indican el error estándar de la media. N en raíz; ANOVA sustratos = P ns, ANOVA hongos= $p \leq 0.003$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.01$, N en parte aérea, P en raíz y K en raíz y parte aérea; ANOVA sustratos= $p \leq 0.001$, ANOVA hongos= $p \leq 0.001$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.001$ (ANOVA sustratos= $p \leq 0.001$) y P en parte aérea ($p \leq 0.01$) (ANOVA hongos= $p \leq 0.001$, ANOVA sustratos x hongos= $p \leq 0.001$). Coeficiente de variación; N en raíz=12.48, N en parte aérea= 5.65. P en raíz=1.05, P en parte aérea= 2.24, K en raíz= 3.57 y K en parte aérea= 5.37).

Figure 4. Effect of organic substrates and mycorrhizal fungi esporas inoculated in the concentration of N, P and K in the roots and aerial parts of plants of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Rio Grande. Ri = *Rhizophagus irregularis*, native consortium CN1 = 1; CN2 = native 2 consortium; TEST = control. Bars indicate the standard error of the mean. N root; ANOVA substrates $p = ns$, ANOVA yeast $p \leq 0.003$, ANOVA substrates x $p \leq 0.01$ fungi, aerial part N, P and K in root and aerial part; $p \leq$ substrates ANOVA = 0.001, ANOVA fungi $p \leq 0.001$, ANOVA substrates x $p \leq 0.001$ fungi (ANOVA substrates = $p \leq 0.001$) and p aerial part ($p \leq 0.01$) (ANOVA fungi $p \leq 0.001$, ANOVA substrates $p \leq 0.001$ x fungi = Coefficient of variation; in root N = 12.48, N = 5.65 aerial part in root $p = 1.05$, $p = 2.24$ in aerial part, root K = 3.57 and K = 5.37 aerial part).

La simbiosis micorrízica favorece la absorción de P y N, provocando un mayor crecimiento de las plantas (Veresoglou *et al.*, 2012; Velazco *et al.*, 2001), lo cual fue corroborado en el presente estudio cuando las plantas de tomate se inocularon con los hongos micorrízicos en combinación con un sustrato cuya composición estuvo a base de lombricomposta.

La disminución en el crecimiento de raíz de las plantas desarrolladas en el sustrato a base de lombricomposta pudo ser debido a una menor concentración de P y K en este órgano, nutrientes esenciales para su desarrollo (Ferrol y Perez-Tienda, 2009), en tanto que la mayor acumulación de biomasa en la parte aérea puede explicar la disminución en la concentración de N y P debido a un efecto de dilución. Sin embargo, estos resultados también pueden deberse a que la lombricomposta tuvo un aporte medio de P, pues se ha reportado que la aplicación de altas dosis de este elemento, así como de N, tienen efectos negativos en la absorción de N, P, K, Fe, Mn y Zn en las plantas micorrizadas (Castro *et al.*, 2009). En contraste a los resultados obtenidos, Wang *et al.* (2008) señalan que en plántulas de pepino inoculadas con tres hongos micorrízicos arbusculares se aumentó la concentración de N y P en las raíces y de magnesio (Mg), cobre y zinc en los brotes.

Una micorrización entre el 20% y 35% afectó negativamente la altura y la concentración de P y N en la parte aérea, probablemente debido a que las plantas micorrizadas tienen un efecto negativo por la síntesis de estrigolactonas, la cual es sintetizada en la etapa presimbótica y es capaz de inhibir la ramificación del tallo (Gómez-Roldán *et al.*, 2008) y afectar al crecimiento de la raíz mediante la inducción de la elongación y disminución en el número y longitud de los pelos radicales (Ruyter-Spira *et al.*, 2011).

La disminución en la concentración de P pudo ser por efecto de la fertilización química, hongos micorrízicos son afectados por los materiales de síntesis (Millaleo *et al.*, 2006), además el fosfato como fertilizante sintético debe ser previamente hidrolizado antes de ser absorbido por la planta (Mäder *et al.*, 2000); bajo este contexto es posible sugerir que los hongos micorrízicos podrían actuar en forma más eficiente sobre las formas de P de menor labilidad (Borie y Rubio, 2003), así como también al P asociado de tipo orgánico sin presencia de sustancias sintéticas. La disminución de la concentración de N por efecto de la micorrización resulta extremadamente interesante destacar pues el efecto de los hongos micorrízicos no siempre será benéfico, ya que la respuesta de la planta puede variar en función del grado de dependencia entre los endófitos y la planta hospedante, así como al grado de colonización (Ferrera-Cerrato y Alarcon,

A micorrización entre 20% y 35% afectó negativamente la altura y la concentración de P y N en la parte aérea, probablemente debido a que las plantas micorrizadas tienen un efecto negativo por la síntesis de estrigolactonas, la cual es sintetizada en la etapa presimbótica y es capaz de inhibir la ramificación del tallo (Gómez-Roldán *et al.*, 2008) y afectar al crecimiento de la raíz mediante la inducción de la elongación y disminución en el número y longitud de los pelos radicales (Ruyter-Spira *et al.*, 2011).

The decrease in the concentration of P could be by effect of chemical fertilization, mycorrhizal fungi are affected by synthetic materials (Millaleo *et al.*, 2006), plus phosphate as synthetic fertilizer should be previously hydrolyzed before being absorbed by the plant (Mäder *et al.*, 2000); under this context it is possible to suggest that mycorrhizal fungi could act more efficiently on P forms of lower lability (Borie and Rubio, 2003), as well as organic P without the presence of synthetic substances. The decrease in N concentration due to mycorrhization results extremely interesting to note the effect of mycorrhizal fungi is not always beneficial, since plant response may vary depending on the degree of dependence between endophytes and the host plant as well as the degree of colonization (Ferrera-Cerrato and Alarcon, 2008). It has been indicated that the variation of environmental conditions influencing plant physiology and therefore in mycorrhizal effectiveness, so it is likely that although mycorrhization is noted, not all fungal structures are active, affecting nutrient translocation (Varela and Estrada-Torres, 1997).

In plants grown with vermicompost K concentration increased in roots inoculated with CN2 and uninoculated (Figure 4E), while plants grown in peat the concentration of this nutrient was higher with inoculating spores from CN1 and CN2 (Figure 4E). In shoot K concentration increased in plants inoculated with Ri in both substrate types (Figure 4F).

The highest plant height was between 30 and 32% of mycorrhization (Figure 5A) and the highest concentration of P in shoot was with 15% of mycorrhization (Figure 5B); however, when the percentage of this was above 35% and 20%, respectively, both tended to decrease. Also, the increase in mycorrhization was associated with a decrease in the concentration of N (Figure 5C), while the concentration of K is higher with increasing percentage of mycorrhization (Figure 5D). So our results are consistent with Kalyanne -Fernandez (2010) and George *et al.* (1995).

2008). Por otra parte se ha indicado que la variación de las condiciones ambientales influye en la fisiología de las plantas y por lo tanto en la efectividad micorrízica, por lo que es probable que aunque se observe micorrización, no todas las estructuras fúngicas estén activas, afectando la traslocación de nutrimentos (Varela y Estrada-Torres, 1997).

En plantas crecidas con lombricomposta aumentó la concentración de K en las raíces inoculadas con el CN2 y las no inoculadas (Figura 4E), mientras que en plantas desarrolladas en turba ácida fue mayor la concentración de este nutriente con la inoculación de las esporas del CN1 y CN2 (Figura 4E). En la parte aérea se incrementó la concentración de K en plantas inoculadas con Ri en ambos tipos de sustrato (Figura 4F).

La mayor altura de la planta se presentó entre 30 y 32% de micorrización (Figura 5A) y la mayor concentración de P en la parte aérea se obtuvo con el 15% de micorrización (Figura 5B); sin embargo, cuando el porcentaje de este fue superior a 35% y 20%, respectivamente, ambos tendieron a disminuir. Asimismo, el aumento en la micorrización estuvo asociado con una disminución en la concentración de N (Figura 5C), mientras que la concentración de K es mayor con el aumento del porcentaje de micorrización (Figura 5D). Por lo que nuestros resultados concuerdan con Kalyanne-Fernandez (2010) y George *et al.* (1995).

Conclusiones

El mejor sustrato para el desarrollo de las plantas de tomate fue con lombricomposta, pues en la turba ácida se disminuyó el crecimiento y la concentración de N, P y K. El consorcio nativo 1 en comparación con el consorcio nativo 2 y Ri aumentaron la micorrización, la biomasa total y la concentración de K en la raíz.

Literatura citada

- Adams, P. 2004. Aspectos de nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. *In: tratado de cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España. 95-104 pp.
- Aira, M.; Monroy, F. and Domínguez, J. 2007. *Eiseniafetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) Modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Almania. Microbial Ecol.* 54(4):662-671.

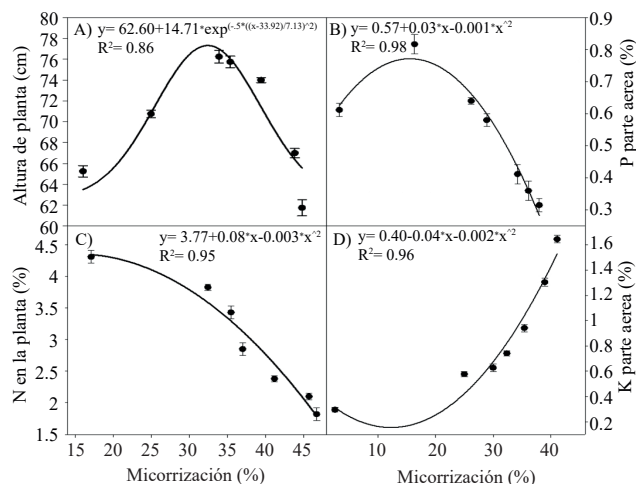


Figura 5. Efecto del porcentaje de micorrización sobre la altura, concentración de N, P y K en el tejido aéreo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv Rio Grande. Las barras indican el error estándar de la media.

Figure 5. Effect of mycorrhization rate on the height, concentration of N, P and K in the aerial tissue of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) cv Rio Grande. Bars indicate the standard error of the mean. ($p \leq 0.05$).

Conclusions

The best substrate for the development of the tomato plants was with vermicompost because peat decreased growth and concentration of N, P and K. The native consortium 1 compared to native consortium 2 and Ri increased mycorrhization, total biomass and concentration of K in root.

End of the English version



- Alvarado, C. M.; Díaz, F. A. y Peña del Río M. de los Á. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(3):513-518.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official methods of analysis. 13th edition. Washington. 1084 p.
- Barrera-Violeth J. L.; Oviedo-Zumaque, L. E. and Barraza-Álvarez F. V. 2012. Evaluación de micorrizas nativas en plantas de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en fase de vivero. Colombia. *Acta Agronómica.* 61(4):315-324.
- Borie, F. and Rubio R. 2003. Total an organic phosphorus in Chilean volcanic soils. Chile. *Gayana Botánica.* 60(1):69-73.
- Bremner, J. M. 1996. Total nitrogen. *In: Sparks, D. L. (Ed.). Methods of soil analysis. Part II. Chemical. Methods.* American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison, WI. USA. 1085-1086 pp.

- Bucher, M.; Hause, B.; Krajinski, F. and Kuster, H. 2014. Through the doors of perception to function in Arbuscular mycorrhizal symbioses. *Inglaterra*. 204(4):833-840.
- Caldera, E.; Acosta, K.; Garcés, G.; Petit, B.; Gutiérrez, W. and Pérez C. 2013. Response of a catatumbo variety bean crop (*Vigna unguiculata* L. Walp) to native and commercial mycorrhizal inoculant under controlled conditions. *Venezuela. Redie luz*. 3(1 y 2):157-164.
- Castro, A.; Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Costa Rica. Agronomía Costarricense*. 33(1):31-43.
- Corkidi, L.; Allen, E. B.; Merhaut, D.; Alle, M. F.; Downer, J.; Bohn, J. and Evans M. 2004. Assessing the infectivity of commercial mycorrhizal inoculants in plant nursery conditions. *Corea. J. Environ. Hort*. 22(3):149-154.
- Callejas-Ruiz, B. A.; Castillo-González, A. M.; Colinas-León, M. T.; González-Chávez, M. del C., Pineda-Pineda, J. and Valdez-Aguilar, L. A. 2009. Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. *México. Revista Chapingo. Serie horticultura*. 15(1): 57-66.
- Carpio, A. L.; Davies, F. T. and Arnold, M. A. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *Estados Unidos. J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 130(1):131-139.
- Cruz, E.; Osorio, R.; Martínez, E.; Lozano del Río J.; Gómez, A. y Sánchez R. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *México. Interciencia*. 35(5): 363-368.
- Desgan, Y. H.; Kusvaran, S. and Ortas, I. 2008. Responses of soilless grown tomato plants to Arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in recycling and open systems. *Sudafrica. Afr. J. Biotech*. 7(20):3606-3613.
- Duran, L. Y. and Henríquez C. 2010. El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en la planta. *Costa Rica. Agronomo. Mesoam*. 21(1):85-93.
- Ferrol, N. and Pérez-Tienda, J. 2009. Coordinated nutrient exchange in arbuscular mycorrhiza. *In: Azcón-Aguilar, C.; Barea J. M.; Gianinazzi, S.; Gianinazzi-Pearson, V. (Eds.). Mycorrhizas - functional processes and ecological impact. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg*. 73-87 pp.
- Ferrera-Cerrato, R. and Alarcón, A. 2008. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. *In: Díaz, A. y Mayek, N. (Eds.). Biofertilización como tecnología sostenible. Plaza y Valdéz / CONACYT. México*. 25-38 pp.
- Finlay, R. D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Reino Unido. J. Exp. Bot*. 59(5):1115-1126.
- Foo, E.; Ross, J. J.; Jones, W. T. and Reid, J. B. 2013. Plant hormones in arbuscular mycorrhizal symbioses: an emerging role for gibberellins. *Reino Unido Ann. Bot*. 111(5):769-779.
- Gerdemann, J. W. and Nicolson, H. T. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Reino Unido. Transactions of the British Mycological Society*. 46(2):235-244.
- George, E.; Marschner, H. and Jackobsen I. 1995. Role of arbuscular-mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *Reino Unido. Critical Reviews in Biotechnology*. 15(3-4): 257-270.
- Gomez-Roldan, V.; Femas, S.; Brewer, P. B.; Puech-Pagès, V.; Dun, E. A.; Pillot, J. P.; Letisse, F.; Matusova, R.; Danoun, S.; Portais, J. C.; Bouwmeester, H.; Bécard, G.; Beveridge, C. A.; Rameau, C. and Rochange, S. F. 2008. Strigolactone inhibition of shoot branching. *Reino Unido. Nature*. 455(1):189-194.
- Gryndler, M.; Hrselová, H.; Sudová, R.; Gryndlerová, H.; Řezáčová, V. and Merhautová, V. 2005. Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* BEG23 is stimulated by humic substances. *Alemania. Mycorrhiza*. 15(7):483-488.
- Hernández, M. y Chailloux, M. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. *Cuba. Cultivos tropicales*. 25(2): 5-12.
- Jargeat, P.; Cousseau, C.; Ola'h, B.; Jauneau, A.; Bonfante, P.; Batut, J. and Bécard, G. 2005. Isolation, freeliving capacities, and genome structure of 'Candidatus Glomeri bacterigigas porarum', the endocellular bacterium of the mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *Estados Unidos. J. Bacteriol*. 186(20): 6876-6884.
- Koltai, H.; Dor, E.; Hershenhorn, J.; Joel, D. M.; Weininger, S.; Lekalla, S.; Shealtiel, H.; Bhattacharya, C.; Eliahu, E.; Resnick, N.; Barg, R. and Kapulnik, Y. 2010. Strigoactones' effect on root growth and root-hair elongation may be mediated by auxin-efflux carriers. *Estados Unidos. J. Plant Growth Reg*. 29(2): 129-136.
- Koltai, H. and Kapulnik, Y. 2010. Arbuscular micorrizas: physiology and function. *Second Edition springer, London New York, US*. 323 p.
- Kalyanne-Fernández, M. C. 2010. Micorrización *in vitro* e *in vivo* de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* var. Alfa). *Cuba. Cultivos Tropicales*. 31(2): 21-31.
- Lumini, E.; Bianciotto, V.; Jargeat, P.; Novero, M.; Salvioli, A.; Faccio, A.; Bécard, G. and Bonfante, P. 2007. Presymbiotic growth and sporulation morphology are affected in the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita* cured of its endobacteria. *Reino Unido. Cellular Microbiology*. 9(7):1716-1729.
- Mäder, P.; Edenhofer, S.; Boller, T.; Wiemken, A. and Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Italia. Biol. Fertil. Soils*. 31(2):150-156.
- Millaleo, M. R.; Montecinos, U. C.; Rubio, H. R.; Contreras, N. A. y Borie, B. F. 2006. Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrízicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. *Chile. J. Soil Sc. Plant. Nutr*. 6(3):26-39.
- Moreno-Reséndez, A. L.; Gómez-Fuentes, P.; Cano-Ríos, V.; Martínez-Cueto, J. L.; Reyes-Carrillo, J. L.; Puente-Manríquez, L. and Rodríguez-Dimas, N. 2008. Genotipos de tomate en mezclas de vermicompost: arena en invernadero. *México. Terra Latinoam*. 26(2):103-109.
- Nelson, J. C. y Nelson, J. M. A. 2015. Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. *Cuba. Cultivos Tropicales*. 36(1):55-64.

- Ortega-Larrocea, M. P.; Morales, V. J. A. y García, S. R. 2008. Cultivos monospóricos de hongos Micorrízicos arbusculares. *In: Álvarez- Sánchez, J. Monroy, A. A. (Comps.). Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y su implicación de la restauración.* Distrito Federal, México. 69-83 pp.
- Oseni, T.O.; Shongwe, N. S. and Masarirambi, M. T. 2010. Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. Pakistan. *Int. J. Agr. Biol.* 12: 789-792.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Reino Unido. *Transactions of the British Mycological Society.* 1970; 55(1): 158-161.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Reino Unido. *Phil. Trans.R. Soc. B.* 363:447-465.
- Pinheiro, N. C.; Tavares, H. O. C.; Figueira, T. J. R.; Saggin, J. O. J.; Coutinho, F. H. M. A and Louro, B. R. L. 2013. Biostimulation of inoculation with *Glomus proliferum* and application of humic acid in the *in vitro* growth of *Lunula riacruciata*. Brasil. *Acta Botánica Brasilica.* 27(4):773-778.
- Pozo, M. J.; López-Ráez, J. A.; Azcón-Aguilar, C. and García-Garrido, J. M. 2015. Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. Reino Unido. *New Phytologist.* 205(4): 1431-1436.
- Ruyter-Spira, C.; Kohlen, W.; Charnikhova, T.; van Zeijl, A.; van Bezouwen, L.; de Ruijter, N.; Cardoso, C.; López-Ráez, J. A.; Matusova, R.; Bours, R., Verstappen, F. and Bouwmeester, H. 2011. Physiological effects of the synthetic strigolactone analog GR24 on root system architecture in *Arabidopsis*: Another below ground role for strigolactones?. Estados Unidos. *Plant Physiology.* 155(2):721-734.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Australia. *Plant Soil.* 15(2):134-154.
- Sieverding E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en ellaboratorio. Ciat. Palmira-Cali, Colombia. 120 p.
- Trejo, D.; Ferrera-Cerrato, R.; García, R.; Varela, L. y Alarcón, A. 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. Chile. *Revista Chilena de Historia Natural.* 84(1):23-31.
- Varela, L. y Estrada-Torres, A. 1997. El papel de los microorganismos de la rizósfera y de la micorriza en la absorción de nutrimentos minerales y agua. *In: Orellana, R.; Escamilla, J. A.; Larqué-Saavedra, A. (Eds.). Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos.* Yucatán, México. 222 p.
- Veresoglou, S. D.; Chen, B. and Rillig, M. C. 2012. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. Australia. *Soil Biology and Biochemistry.* 46:53-62.
- Velasco, V. J.; Ferrera, C. R. and Almaraz, S. J. J. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. México. *Terra Latinoam.* 19(3):241-248.
- Wang, C.; Li, X.; Zhou, J.; Wang, G. and Dong, Y. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of cucumber plants. Reino Unido. *Comm Soil Sci Plant Anal.* 39(3-4):499-509.
- Zhu, X. C.; Song, F. B.; Liu, S. Q.; Liu, T. D. and Zhou, X. 2012. Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. Estados Unidos. *Plant Soil Environ.* 58(4)186-191.