

Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero*

Plant nutrition and fruit quality of pepper associated with arbuscular mycorrhizal in greenhouse

Arturo Díaz Franco¹, Manuel Alvarado Carrillo¹, Flor Ortiz Chairez¹ y Oscar Grageda Cabrera^{2§}

¹Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Carretera. Matamoros-Reynosa km 61, Río Bravo, Tamaulipas, C. P. 88900, México, Tel. 899341045 (diaz.arturo@inifap.gob.mx; alvarado.manuel@inifap.gob.mx; ortiz.flor@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Bajío, INIFAP. Carretera. Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, C. P. 38110, México, Tel. 4616115323 (grageda.oscar@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: grageda.oscar@inifap.gob.mx.

Resumen

La actividad simbiótica que presentan los hongos formadores de micorrizas puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola. Dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, se encuentra la promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta. La producción hortícola en invernadero ha tenido una creciente expansión en México, debido a que tiene ventajas no solo en las demandas de los consumidores, sino por la alta productividad generada. No obstante, son múltiples los factores que procedidos de diferentes prácticas agronómicas del cultivo se manifiestan en la calidad de la producción. Por lo que se evaluó la nutrición y la calidad de fruto de pimiento (cv. 'Valeria'), por efecto de la inoculación con el hongo micorrízico arbuscular (HMA) *Rhizofagus intraradices*, en invernadero. El cultivo fue manejado con sistema de fertiriego y la inoculación del HMA fue en el trasplante. Las plantas inoculadas mostraron incrementos en índice de clorofila, contenidos foliares de N, P, Fe y Zn, y colonización micorrízica, comparados con plantas no inoculadas. También se manifestaron diferencias en la calidad de fruto. Por tamaño, los frutos de plantas no inoculadas alcanzaron el grado 2, mientras que con el HMA alcanzaron el grado 1, con un incremento de peso de 30%. La inoculación con el

Abstract

The symbiotic activity that mycorrhizal fungi present may constitute a major biotechnological component to increase horticultural productivity. Among the benefits of the AMF-host plant symbiosis, is growth promotion and greater mineral nutrition of the plant. The horticultural production in greenhouse has had an increasing expansion in Mexico, because it has advantages, not only in consumer demand but by the high productivity generated. However, there are multiple factors that proceed from different agricultural practices that express in quality of production. Nutrition and fruit quality of pepper (cv. 'Valeria') was evaluated, by effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Rhizofagus intraradices*, in greenhouse. The crop was handled with a fertigation system and HMA inoculation was in transplantation. The inoculated plants showed an increase in chlorophyll index, leaf contents of N, P, Fe and Zn, and mycorrhizal colonization, compared with non-inoculated plants. Also showed differences in fruit quality; by size, the fruits from non-inoculated plants reached grade 2, while the AMF reached level 1, with a weight gain of 30%. Inoculation with the AMF represents a biotech management that can be added within the horticultural production practices in greenhouse.

* Recibido: junio de 2012
Aceptado: enero de 2013

HMA representa un manejo biotecnológico que puede ser adicionado dentro de las prácticas de producción hortícola en invernadero.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, *Glomus intraradices*, *Rhizofagus intraradice*, calidad de fruto, nutrición.

Introducción

La industria de la horticultura protegida en México es un sector en franco crecimiento, con gran potencial de desarrollo, dada la demanda generada en el mercado de los Estados Unidos de América, principalmente, por las hortalizas frescas producidas en forma inocua en estos ambientes; de éstas, las que tienen mayor demanda son berenjena, calabacita, chile verde, lechuga y pepino (Castellanos, 2004). Las condiciones de producción son heterogéneas, desde invernaderos de vidrio de alta y mediana tecnología, hasta instalaciones económicas como son los bioespacios o casas sombras (Castellanos, 2004; Muñoz, 2004a). Sin embargo, independiente del nivel tecnológico del invernadero, son múltiples los factores que, procedidos de diferentes prácticas agronómicas del cultivo, se manifiestan en la nutrición de la planta y en la cantidad y la calidad de la producción (Muñoz, 2004b). Además, la industria hortícola demanda ahora prácticas que reduzcan los costos, minimicen el uso de agroquímicos e incrementen el uso eficiente del agua (Davies *et al.*, 2000). En este sentido Montero *et al.* (2010) señalan que es importante desarrollar estudios para definir estrategias de fertilización biológica en la producción hortícola de invernadero.

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una práctica que ha tenido beneficios en la producción agrícola. La actividad simbiótica que presentan los hongos formadores de micorrizas puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola (Vosatka *et al.*, 1999; Sharma y Adholeya, 2000; Kaya *et al.*, 2003). Dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, se tienen: promoción del crecimiento y mayor absorción de nutrimentos minerales (Carpio *et al.*, 2005; Russo y Perkins, 2010); tolerancia a ciertos patógenos del suelo (Khalil *et al.*, 1998; Graham, 2001) así como a condiciones abióticas adversas (Davies *et al.*, 2002; Kaya *et al.*, 2003). Por lo tanto, la inoculación micorrízica representa una práctica

Key words: *Capsicum annuum*, *Glomus intraradices*, *Rhizofagus intraradice*, fruit quality, nutrition.

Introduction

The protected horticulture industry in Mexico is steadily growing, with great development potential, given the market demand generated in the United States, mainly by fresh vegetables produced safely in these environments; from these, the most demanded are eggplant, zucchini, green pepper, lettuce and cucumber (Castellanos, 2004). Production conditions are heterogeneous, from glasshouses of high and medium technology to economical installations such as shade house (Castellanos, 2004; Muñoz, 2004a). However, regardless of the technological level of the greenhouse, there are multiple factors that come from different agronomical crop practices, which express in the nutrition of the plant and in the quantity and quality of production (Muñoz, 2004b). In addition, the horticultural industry now demands for practices that reduce costs, minimize the use of agrochemicals and increase water use efficiency (Davies *et al.*, 2000). In this sense Montero *et al.* (2010) note that it is important to develop studies to define biological fertilization strategies in greenhouse horticultural production.

The inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is a practice that has been profitable in agricultural production. The symbiotic activity that mycorrhizal fungi present may constitute a major biotechnological component to increase horticultural productivity (Vosatka *et al.*, 1999; Sharma and Adholeya, 2000; Kaya *et al.*, 2003). Among the benefits of the AMF-host plant symbiosis, are: growth promotion and increased uptake of mineral nutrients (Carpio *et al.*, 2005; Russo and Perkins, 2010); tolerance to certain soil pathogens (Khalil *et al.*, 1998; Graham, 2001) as to adverse abiotic conditions (Davies *et al.*, 2002; Kaya *et al.*, 2003). Therefore, the mycorrhizal inoculation represents a practice that may be incorporated with benefits horticultural production systems in greenhouse (Davies *et al.*, 2000; Carpio *et al.*, 2005).

Although the extensive knowledge on the impacts of AMF in vegetables grown in the field little is known about its effects in greenhouse conditions; some studies have been conducted using HMA to stimulate the productivity of greenhouse tomatoes (Plenchette *et al.*, 2006; Al-Karaki, 2009). In

que puede ser incorporada con beneficios a los sistemas de producción hortícola en invernadero (Davies *et al.*, 2000; Carpio *et al.*, 2005).

Aunque es amplio el conocimiento sobre los impactos de los HMA en hortalizas producidas en campo, poco se conoce sobre sus efectos en condiciones de invernadero. Algunos estudios se han realizado utilizando HMA para estimular la productividad de tomate en invernadero (Plenchette *et al.*, 2006; Al-Karaki, 2009). En particular con pimiento, el trabajo precedente bajo condiciones de invernadero es el de Russo y Perkins (2010), quienes estudiaron la influencia de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y HMA sobre algunas características químicas foliares y rendimiento de fruto. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el estatus nutrimental y la calidad de fruto de pimiento, con la inoculación de micorriza arbuscular en condiciones de invernadero.

El estudio se realizó en Río Bravo, Tamaulipas en un invernadero de baja tecnología (Muñoz, 2004a). El híbrido de pimiento utilizado fue 'Valeria', sembrado el 27 de agosto y trasplantado en el invernadero el 3 de noviembre de 2009. El manejo de todo el ensayo fue a través de fertiriego, con una fertilización programada en función al estado fenológico de la planta de un total de 425 kg N ha⁻¹, 125 kg P₂O₅ ha⁻¹, 660 kg K₂O ha⁻¹, 110 kg Ca ha⁻¹ y 55 kg Mg ha⁻¹ (Rincón, 2002). El riego se realizó a través de un sistema de goteo con mangueras como líneas regantes superficiales y goteros espaciados a 60 cm, con un goteo individual de 8 L h⁻¹. Los riegos se aplicaron cuando los tensiómetros ubicados a 20 cm de profundidad indicaron 20 centibars, aproximadamente dos riegos por semana. La poda se efectuó a dos tallos con una densidad de población de 2 plantas m⁻².

Se comparó el efecto de la inoculación con micorriza INIFAP^{MR} que contiene 80 esporas g⁻¹ de suelo más raicillas micorrizadas del hongo micorrízico arbuscular *Rhizofagus intraradices* (Schenck y Smith), contra el testigo sin inoculante. La inoculación se realizó con la adición de 1 g de inoculante planta⁻¹, el cepellón se cubrió con el inóculo al momento del trasplante (Montero *et al.*, 2010). Cada tratamiento se estableció en camas de 4 m de largo (6.4 m²). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Durante la floración, se determinaron los valores SPAD de cinco hojas del tercio superior de la planta, mediante 25 lecturas por tratamiento, con un medidor portátil Minolta SPAD-502[®].

particular with pepper, previous work under greenhouse conditions is that of Russo and Perkins (2010), who studied the influence of inoculation from plant growth promoting bacteria and AMF on some chemical foliar and fruit yield characteristics. So the aim of this study was to evaluate the nutritional status and fruit quality of pepper with arbuscular mycorrhizal inoculation under greenhouse conditions.

The study was conducted in Río Bravo, Tamaulipas in a low-tech greenhouse (Muñoz, 2004a). The hybrid pepper used was 'Valeria', sown on August 27 and was transplanted in the greenhouse on November 3, 2009. The management of the whole trial was through fertigation, with a scheduled fertilization according to plant phenological stage of a total of 425 kg N ha⁻¹, 125 kg P₂O₅ ha⁻¹, 660 kg K₂O ha⁻¹, 110 kg Ca ha⁻¹ and 55 kg Mg ha⁻¹ (Rincon, 2002). Irrigation was done through a drip system with hoses as irrigation lines and drippers spaced to 60 cm, with a single drip of 8 L h⁻¹. Irrigation was applied when tensiometers placed at 20 cm depth indicated 20 centibars, approximately two irrigations per week. Pruning was conducted at two stems with a population density of 2 plants m⁻².

The inoculation effect was compared with mycorrhizal INIFAP^{MR}, containing 80 spores g⁻¹ of soil plus mycorrhizal rootlets from arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizofagus intraradices* (Schenck and Smith), against the control without inoculant. Inoculation was performed with the addition of 1 g of plant⁻¹ inoculant; the root ball was covered with the inoculum at the time of transplantation (Montero *et al.*, 2010). Each treatment was established in beds of 4 m long (6.4 m²). The experimental design was a randomized complete block with four replications. During flowering, SPAD values were determined from five leaves of the upper third of the plant, with 25 readings per treatment, with a portable Minolta SPAD-502[®].

In the third cut of fruit, leaf analysis was made to determine the nutrient content of N, P, Fe and Zn. Nitrogen was quantified by the Kjeldahl method with rapid digestion; the P with the colorimetric method of ammonium metavanadate, and Fe and Zn through a wet digestion with a mixture of nitric perchloric acid, then to be measured with an atomic absorption spectrophotometer (Plenecassange *et al.*, 1999). In each cut were randomly taken 10 fruits per treatment, from which measurements of size were made according to the diameter, length and weight, to determine the quality standards (Hochmuth *et al.*, 2010).

En el tercer corte de fruto, se hicieron análisis foliares para determinar el contenido nutrimental de N, P, Fe y Zn. El N se cuantificó mediante el método Kjeldahl con digestión rápida; el P con el método colorimétrico de molibdo-metavanadato de amonio, y el Fe y Zn mediante una digestión húmeda con mezcla de ácido nítrico-perclórico para después medirse con un espectrofotómetro de absorción atómica (Plenecassange *et al.*, 1999). En cada corte se tomaron aleatoriamente 10 frutos por tratamiento, de los cuales se hicieron mediciones de tamaño en función al diámetro, largo y peso, para determinar los estándares de la calidad (Hochmuth *et al.*, 2010).

En total se realizaron tres cortes de fruto antes de concluir el experimento. Después del último corte, de cada cama se muestrearon cinco plantas, que fueron sacadas con raíz a profundidad aproximada de 30 cm, en las cuales se cuantificó la colonización micorrízica radical. Las raíces se fijaron con formaldehído, ácido acético y etanol y después se aclararon y tiñeron (Phillips y Hayman, 1970). La colonización fue con base a la presencia total de estructuras fúngicas dentro de la raíz (hifas, arbusculos y vesículas) (Giovannetti y Mosse, 1980). Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza mediante el programa Statgraphics Plus (Manugistics, Inc., 1997).

El análisis estadístico indicó que la inoculación con *R. intraradices* incrementó significativamente el valor SPAD, el cual se correlaciona con el contenido de clorofila y la absorción de nutrimentos (Sims y Gamon, 2002), en comparación con las plantas testigo. El mayor valor SPAD se obtuvo en las plantas inoculadas (Cuadro 1). En otros estudios se ha reportado también que la inoculación de HMA incrementa los pigmentos fotosintéticos comparado con plantas no inoculadas (Abdel y Mohamedin, 2000; Carpio *et al.*, 2005). El contenido de N foliar fue significativamente superior en plantas de pimienta inoculadas y correlacionó positivamente ($r= 0.81$) con los valores SPAD. Se ha informado de incrementos de N foliar atribuidos a la actividad simbiótica de hongos formadores de micorrizas (Kothari *et al.*, 1990; Carpio *et al.*, 2005; Loredó *et al.*, 2007). En particular, Loredó *et al.* (2007), demostraron que *R. intraradices* fue promotor de una mayor concentración de N foliar, comparando con plantas de maíz no inoculadas, variable que fue correlacionada con los valores SPAD.

También, el contenido de P foliar se incrementó significativamente en las plantas inoculadas (Cuadro 1), este efecto puede ser debido a que los HMA incrementan la

In total were made three cuts of fruit before concluding the experiment. After the final cut, five plants were sampled of each bed, which was taken with root depth of about 30 cm, in which was quantified radical mycorrhizal colonization. The roots were fixed with formaldehyde, acetic acid and ethanol and then rinsed and stained (Phillips and Hayman, 1970). The colonization was based on the total presence of fungal structures within the root (hyphae, arbuscules and vesicles) (Giovannetti and Mosse, 1980). The obtained data were subjected to analysis of variance using the Statgraphics Plus program (Manugistics, Inc., 1997).

Statistical analysis indicated that inoculation with *R. intraradices* significantly increased the SPAD value, which correlates with the chlorophyll content and nutrient absorption (Sims and Gamon, 2002), compared with control plants. The highest SPAD value was obtained on inoculated plants (Table 1). Other studies have also reported that AMF inoculation increases the photosynthetic pigments compared to non-inoculated plants (Abdel and Mohamedin, 2000; Carpio *et al.*, 2005). The leaf N content was significantly higher in pepper plants inoculated and positively correlated ($r= 0.81$) with the SPAD values. It has been reported increments of leaf N, attributed to the symbiotic mycorrhizal fungi activity (Kothari *et al.*, 1990; Carpio *et al.*, 2005; Loredó *et al.*, 2007). In particular, Loredó *et al.* (2007) showed that *R. intraradices* was a promoter of a higher concentration of leaf N, compared with non-inoculated maize plants, a variable which was correlated with the SPAD values.

Also, leaf P content increased significantly in inoculated plants (Table 1), this effect may be due to HMA increase the uptake of water and nutrients such as P, N, K and Ca (Clark *et al.*, 1999). Similarly, treatment with HMA increased leaf content of microelements Fe and Zn, which exceeded 33 and 24% the control plants (Table 1). The greatest accumulation of minor elements in plants inoculated with HMA has also been reported by Arihara and Karasawa (1999), Khalil *et al.* (1994) and Clark *et al.* (1999).

Regarding fruit characteristics in the average of the three cuts, again inoculation with *R. intraradices* promoted greater size and weight. Inoculation with mycorrhiza increased by 8 mm the length, 8.9 mm in width and 40 g fruit weight, compared to the control. When comparing the sizes of fruit obtained from the two treatments with quality standards for export (Hochmuth *et al.*, 2010), it was determined that the inoculated plants reached grade 1 (> 6.35 cm in diameter and length), while the control non-inoculated plants were

captación de agua y nutrimentos como P, N, K y Ca (Clark *et al.*, 1999). Igualmente, el tratamiento con HMA incrementó el contenido foliar de los microelementos Fe y Zn, los cuales superaron 33 y 24% a las plantas testigo (Cuadro 1). La mayor acumulación de elementos menores en plantas inoculadas con HMA, ha sido reportado igualmente por Arihara y Karasawa (1999), Khalil *et al.* (1994) y Clark *et al.* (1999).

located in grade 2 (<6.35 cm). The impact that the treatment with HMA had in fruit quality, may be closely related to better nutrition status of the plant caused by the same symbiont. Carpio *et al.* (2005) used commercial mycorrhizal inoculants in morning glory plants (*Ipomoea carnea* sp. *fistulosa*), which showed higher growth, contents of N, P, K, chlorophyll and leaf area, as well as marketable plant.

Cuadro 1. Efecto de la inoculación micorrízica en pimiento (cv. 'Valeria') en la nutrición y la calidad del fruto, bajo condiciones de invernadero.

Table 1. Effect of mycorrhizal inoculation in pepper (cv. 'Valeria') in nutrition and fruit quality under greenhouse conditions.

Variable	<i>R. intraradices</i>	Testigo	P>F	DMS ¹	CV ²
<i>Análisis foliar</i>					
Clorofila (SPAD)	45.9	41.0	0.001	2.21	2.0
N (%)	4.00	3.73	0.028	0.22	3.4
P (%)	0.435	0.400	0.05	0.032	5.0
Fe (ppm)	192.7	144.3	0.013	33.0	11
Zn (ppm)	55.0	44.2	0.012	7.5	8.8
<i>Colonización radical (%)</i>	51.0	22.0	0.002	20.0	13
<i>Características de fruto</i>					
Largo (cm)	8.45	7.65	0.009	0.76	7.2
Diámetro (cm)	6.93	6.01	0.001	0.41	6.3
Calidad de exportación ³	1	2			
Peso (g)	128	98	0.003	18.0	10

¹Diferencia mínima significativa; ²coeficiente de variación; ³calidad 1, cuando el diámetro y el largo son ≥ 6.35 cm; calidad 2, diámetro y largo de <6.35 cm (Hochmuth *et al.*, 2010).

En cuanto a las características de fruto, en el promedio de los tres cortes, nuevamente la inoculación con *R. intraradices* promovió el mayor tamaño y peso. La inoculación con micorriza aumentó en 8 mm la longitud, en 8.9 mm el ancho y en 40 g el peso del fruto, comparado con el testigo. Cuando se compararon los tamaños de fruto obtenidos de los dos tratamientos con los estándares de calidad para la exportación (Hochmuth *et al.*, 2010), se determinó que los de plantas inoculadas alcanzaron el grado 1 (> 6.35 cm de diámetro y largo), mientras que el testigo, no inoculado fue ubicado en el grado 2 (< 6.35 cm). Este impacto que tuvo el tratamiento con HMA en la calidad de fruto, puede estar estrechamente relacionado con la mejor condición de nutrición de la planta originada por el mismo simbiote. Carpio *et al.* (2005), utilizaron inoculantes micorrízicos comerciales en plantas de gloria de la mañana (*Ipomoea carnea* sp. *fistulosa*), los cuales manifestaron mayor crecimiento, contenido de N, P, K, clorofila y área foliar, así como planta comercializable.

However the chemical fertilization level supplied to the crop, the percentage of radical mycorrhizal colonization was significantly higher in the inoculated plants, more than double that root colonization showed in the control, colonized by the native mycorrhizal from the soil. Davies *et al.* (2000), when inoculating *R. intraradices* in ornamental plants with high levels of fertilization in greenhouse, reported increases in the development of intraradical hyphae and colonization.

For fruit characteristics, in the average of the three cuts, again inoculation with *R. intraradices* promoted greater size and weight. Inoculation with mycorrhiza increased by 8 mm length, 8.9 mm in diameter and 40 g fruit weight, compared to the control. When comparing length and width of the fruit obtained from the two treatments with quality standards for export (Hochmuth *et al.*, 2010), it was determined that the inoculated plants reached grade 1 (> 6.35 cm in diameter and length), while the control, non-inoculated was placed in the grade 2 (<6.35 cm). The impact that the HMA had in fruit quality, may be closely associated with better nutritional

No obstante el nivel de fertilización química suministrada al cultivo, el porcentaje de colonización micorrízica radical fue significativamente mayor en las plantas inoculadas, más del doble que la colonización radical presentada en el testigo colonizado por la micorriza nativa del suelo. Davies *et al.* (2000), al inocular *R. intraradices* en plantas de ornato con altos niveles de fertilización en invernadero, reportaron incrementos en el desarrollo de hifas intraradicales y colonización.

Para las características de fruto, en el promedio de los tres cortes, nuevamente la inoculación con *R. intraradices* promovió el mayor tamaño y peso. La inoculación con micorriza aumentó en 8 mm la longitud, en 8.9 mm el diámetro y en 40 g el peso del fruto, comparado con el testigo. Cuando se comparó el largo y ancho de fruto obtenidos de los dos tratamientos con los estándares de calidad para la exportación (Hochmuth *et al.*, 2010), se determinó que los de plantas inoculadas alcanzaron el grado 1 (> 6.35 cm de diámetro y largo), mientras que el testigo, no inoculado fue ubicado en el grado 2 (< 6.35 cm). Este impacto que tuvo el HMA en la calidad de fruto, puede estar estrechamente relacionado con la mejor condición de nutrición de la planta originada por el mismo simbiote. Carpio *et al.* (2005), utilizaron inoculantes micorrízicos comerciales en plantas de gloria de la mañana (*Ipomoea carnea* sp. *fistulosa*), los cuales manifestaron mayor crecimiento, contenido de N, P, K, clorofila y área foliar, así como planta comercializable.

Es importante destacar que pese a las condiciones de fertilización implementadas para atender las necesidades nutrimentales del cultivo a través del fertiriego, la simbiosis micorrízica demostró los beneficios que aporta tanto en la nutrición de la planta como en una mayor productividad de pimiento, por lo que representa un manejo biotecnológico que puede ser adicionado dentro de las prácticas de producción hortícola en invernadero.

Conclusiones

La inoculación del hongo micorrízico *R. intraradices* (micorriza INIFAP^{MR}) a plantas de pimiento, bajo un sistema de fertiriego y en condiciones de invernadero favoreció el valor SPAD y la absorción de N, P, Fe y Zn. Además, promovió una mejor calidad del fruto al aumentar los valores de longitud, ancho y peso de fruto, el cual alcanzó la categoría de 1, comparado con el grado 2 de plantas no inoculadas.

status of the plant caused by the same symbiont. Carpio *et al.* (2005) used commercial mycorrhizal inoculants in morning glory plant (*Ipomoea carnea* sp. *fistulosa*), which showed higher growth, contents of N, P, K, chlorophyll and leaf area, as well as marketable plant.

Importantly, despite the conditions of fertilization implemented to meet the nutrient needs of the crop through fertigation, mycorrhizal symbiosis demonstrated the benefits the contributes in both, plant nutrition and increased productivity in pepper, so it represents a biotechnological management that can be added within the horticultural production practices in greenhouse.

Conclusions

The inoculation of the mycorrhizal fungi *R. intraradices* (micorriza INIFAP^{MR}) to pepper plants, under a system of fertigation and in greenhouse conditions favored the SPAD value and absorption of N, P, Fe and Zn. Also promoted a better fruit quality by increasing the values of length, width and weight of fruit, which reached grade 1, compared to grade 2 from non-inoculated plants.

End of the English version



Literatura citada

- Abdel, F. G. and Mohamedin, A. H. 2000. Interactions between a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and *Streptomyces* and their effects on sorghum plants. *Biol. Fert. Soils* 32:401-409.
- Al-Karaki, G. N. 2009. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Sci. Hort.* 109:1-7.
- Arihara, J. and Karasawa, T. 1999. Effect of previous crops on arbuscular mycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soli Sci. Plant Nutr.* 46:43-51.
- 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. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:131-139.

- Castellanos, Z. J. 2004. La industria de la horticultura protegida en México. *In*: Castellanos, Z. J. (ed.). Manual de producción hortícola en invernadero. 2ª. Ed. Intagri. México. 18-34 pp.
- Clark, R. B.; Zobel, R. W. and Zeto, S. K. 1999. Effects of mycorrhizal fungus isolates on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acidic soil. *Mycorrhiza* 9:167-176.
- Davies, F. T.; Olalde, P. V.; Aguilera, G. L.; Alvarado, M. J.; Ferrera, C. R. and Boutton, T. W. 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L.) with arbuscular mycorrhiza indigenous to Mexico. *Sci. Hort.* 92:347-359.
- Davies, F. T.; Saravia, G. J. A.; Carpio, L. and Estrada, L. A. A. 2000. Colonization and growth effects of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in a commercial nursery container production system. *J. Environ. Hort.* 18:247-251.
- Giovannetti, M. and Mosse, B. 1980. Anevaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84:489-499.
- Graham, J. H. 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas? *New Phytol.* 149:357-359.
- Hochmuth, R. C.; Treadwell, D. D.; Simonne, H. E.; Landrum, B. L. and Davis, L. L. 2010. Growing bell peppers in soilless culture under open shade structures. University of Florida, IFAS Extension. Publ. HS-1113. 5 p.
- Kaya, C.; Higgess, D.; Kirnak, H. and Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Soil* 253:287-292.
- Khalil, G.; García, R. E.; Ferrera, C. R.; Aguilar, L. A. y Larqué, S. M. 1998. La micorriza y materia orgánica como componentes del control biológico de *Fusarium oxysporum* en tomate. *Rev. Mex. Fitopatol.* 16:79-83.
- Khalil, S.; Loynochan, T. and Tabatabai, M. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient-uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agron. Jour.* 86:949-958.
- Kothari, S. K.; Marschner, H. and Romheld, V. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in calcareous soil. *New Phytol.* 116:637-645.
- Loredo, O. C.; Beltrán, L. S. y Peña del Río, M. A. 2007. Uso de biofertilizantes para la producción de maíz forrajero en condiciones de temporal. *Campo Experimental San Luis, INIFAP. Folleto científico Núm. 2.* 60 p.
- Manugistics, Inc. 1997. Statgraphics Plus. Version 3.1. Rockville, MD.
- Montero, L.; Duarte, C.; Cun, R.; Cabrera, J. A. y González, P. J. 2010. Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Trop.* 31:11-14.
- Muñoz, R. J. J. 2004a. Estructuras de invernaderos y cubiertas de protección. *In*: Castellanos, Z. J. (ed.). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª. Ed. Intagri. México. 18-34 pp.
- Muñoz, R. J. J. 2004b. Manejo del cultivo de pimiento en invernadero. *In*: Castellanos, Z. J. (ed.). Manual de producción hortícola en invernadero. 2ª. (Ed.) Intagri. México. 257-281 pp.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-160.
- Plenchette, C.; Dauphin, C. C.; Meynard, J. M. and Fortin, J. A. 2006. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Can. J. Plant Sci.* 85:31-40.
- Plenecassange, A.; Romero-Fierro, E. y López-Borrego, C. 1999. Manual de laboratorio para análisis de suelo, planta y agua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias- ORSTOM. Gómez Palacio, Durango, México.
- Rincón, S. L.; Saes, J.; Balsolobre, E. y Pellicer, C. 2002. Crecimiento y absorción de nutrientes de pimiento grueso en cultivos bajo invernadero. *Invest. Agr. Prod. Protec. Veg.* 10:47-59.
- Russo, V. M. and Perkins, V. P. 2010. Yield and nutrient content of bell pepper pods from plants developed from seedlings inoculated, or not, with microorganisms. *HortSci.* 45:352-358.
- Sims, D. A. and Gamon, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environ.* 81: 337-354.
- Sharma, M. P. and Adholeya, A. 2000. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisol. *Biol. Agr. Hort.* 18:1-14.
- Vosatka, M.; Jansa, J.; Regvar, M.; Sramek, F. and Malcoma, R. 1999. Inoculation with mycorrhizal fungi a feasible biotechnology for horticulture. *Annu. Rev. Bot.* 39:219-224.