

INOCULACIÓN MICORRÍZICA Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE DOS LEGUMINOSAS ARBÓREAS

Mycorrhizal Inoculation and its Effect on the Growth of Two Arboreous Leguminosae

M. Hernández-Martínez¹, V.M. Cetina-Alcalá¹, M.C. González-Chávez^{2†} y C.T. Cervantes-Martínez³

RESUMEN

Se estudió en invernadero el efecto de la inoculación con *Glomus intraradices* FS-18 (antes *Glomus intraradix*), el complejo micorrízico *Glomus* spp. Zac-19 (compuesto por tres especies) y *Gigaspora rosea* BEG-111 en el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* en dos tipos de suelo (forestal y agrícola) y un tepetate. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones en arreglo factorial de 4 x 3 x 2. La evaluación se realizó en intervalos de 14 días, durante un período de 126 días. Se consideraron las características: altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas formadas y, al final de este período, se evaluaron número de hojas presentes y caídas, área foliar, peso seco de la parte aérea, peso seco, volumen y longitud de raíz, contenido de fósforo en follaje y colonización micorrízica. Los resultados muestran que en suelo forestal y tepetate las plantas inoculadas presentaron en casi todas las variables, valores superiores a los tratamientos sin inocular. En el suelo agrícola, las plantas inoculadas, a pesar de presentar los máximos valores promedio, no manifestaron diferencia significativa en relación con las plantas testigo (no inoculadas). Esto sugiere que este efecto se debió a las características físicas y químicas del suelo, principalmente, su contenido nutrimental. A pesar de no apreciarse diferencia significativa entre los inóculos utilizados, las mejores respuestas se observaron con *Glomus* spp. Zac-19. Al mejorar el crecimiento de las plantas micorrizadas se muestra el potencial de la inoculación micorrízica en

la producción de plantas vigorosas en vivero, logrando que éstas puedan ser competitivas en sustratos con bajo contenido de nutrimentos.

Palabras clave: hongo micorrízico arbuscular, tepetate, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa*.

SUMMARY

The effect of two soils (forest and agricultural), and tepetate and inoculation with *Glomus* spp. Zac-19, *G. intraradices* FS-18 and *Gigaspora rosea* BEG-111 on *Acacia farnesiana* and *Prosopis glandulosa* was studied. A greenhouse experiment using randomized blocks with three replicates with a factorial arrangement 4 x 3 x 2 was established. Evaluations were carried out every 14 days during 126 days. The variables evaluated were plant height, stem diameter, and leaf number. Additionally, at 126 days, leaf area, aerial and root dry weight, root volume and length of roots, phosphorus content of foliage, and mycorrhizal colonization were evaluated. Inoculated plants showed higher values than non-inoculated plants in most evaluated variables in forest soil and tepetate. Inoculated plants growing in the agricultural soil had maximum values in the evaluated variables, but they did not show significant differences in comparison to non-inoculated plants (control). This suggests that physical and chemical characteristics in this soil, such as nutrient content, had more influence on plant growth than inoculation. There were no statistical differences among fungi; however, *Glomus* spp. Zac-19 produced better numeric response. Mycorrhizal inoculation may help to produce healthier and more vigorous plants in the nursery, giving them an advantage to compete in environments with low nutrients content.

Index words: arbuscular mycorrhizal fungi, tepetate, *Acacia farnesiana*, *Prosopis glandulosa*.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México.

[†] Autor responsable (carmeng@colpos.mx)

³ División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Texcoco, estado de México.

INTRODUCCIÓN

En México, aún se desconoce en gran medida la función que pueden desempeñar los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados con las plantas de interés forestal. Diversos autores coinciden con las ventajas que la inoculación presenta en la producción de plantas, destacando la estimulación del enraizamiento y crecimiento, el aumento en la supervivencia y el desarrollo durante la aclimatación de plantas micropropagadas, la reducción de requerimientos externos de fosfato, la uniformidad en la producción, el aumento de la tasa fotosintética, el incremento en la resistencia de las plantas al ataque de patógenos que afectan a la raíz, la resistencia a sequía, la salinidad y los metales pesados, principalmente (González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999; Manjarrez-Martínez *et al.*, 2000). Estas ventajas se han reportado en algunas leguminosas arbóreas, como: *Prosopis* spp. (Cardona y Ocampo, 1985), *Acacia* spp. (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990) y *Leucaena* sp. (De Lucena *et al.*, 1991; Thatoi *et al.*, 1993).

El tipo de suelo o sustrato de crecimiento de la planta hospedera es un factor que tiene gran influencia en el comportamiento de los HMA; éstos, en general, se han evaluado en vivero y muy pocos en campo. Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato (1990) utilizaron tepetate y la inoculación en *Acacia cyanophylla* y observaron que los brinzales inoculados presentaron crecimiento equivalente al obtenido con altas dosis de fertilización fosfatada. Ellos sugirieron que el uso de los HMA en plantas propagadas en vivero resulta benéfico para la implementación de programas de plantación con fines de rehabilitación y conservación de suelos.

Por otra parte, para obtener éxito en la simbiosis entre el hongo y la planta es indispensable hacer una selección de la especie micorrízica a inocular, ya que las diversas especies tienen comportamientos diferentes dependiendo del hospedante con el que se asocia.

Con base en los beneficios señalados anteriormente, es necesario implementar en los viveros forestales de México y otros países, un programa de inoculación que garantice la supervivencia y el desarrollo de la planta en campo; ya que, probablemente, la ausencia de HMA apropiados a la planta sea una de las razones principales de la mortandad de las plantas jóvenes. Bajo este contexto, la presente investigación plantea

la selección de la asociación más eficiente para promover el crecimiento de especies como *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* considerando HMA y sustratos de crecimiento. De esta manera, se espera contribuir al conocimiento del manejo de los HMA para la obtención de planta de calidad para los programas de reforestación, ya que estas plantas representan una opción para la recuperación de suelos y la obtención de madera, leña para carbón, forraje, taninos y aceite.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en invernadero, ubicado a una altitud de 2240 m. Se utilizaron semillas de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*. Las primeras se colectaron en el Rancho Banthí, San Juan del Río, Querétaro (20° 23' 11" N y 99° 56' 34" O), a una altitud de 1987 m, y las segundas en San Martín de las Vacas, Ramos Arizpe, Coahuila (25°32'55" N y 101°12'44" O) a una altitud de 1730 m.

Previo a la siembra, se efectuaron pruebas de germinación. En ambas especies se utilizó como tratamiento pregerminativo ácido sulfúrico concentrado. Las semillas de *A. farnesiana* se sumergieron durante 60 min y *P. glandulosa* por 6 min. La siembra se realizó en charolas de plástico, con una mezcla de sustratos de agrolita, vermiculita y turba en proporción 1:1:1 v/v. La mezcla se esterilizó en autoclave a una presión de 18 libras de vapor (121 °C) durante 2 h.

El trasplante se efectuó a 35 días después de la siembra (DDS), tiempo en que todas las plantas presentaron raíces secundarias, primeras hojas verdaderas y aproximadamente 5 cm de altura. Las plántulas se trasplantaron a envases de plástico color negro de 14 cm de diámetro por 30 cm de largo, conteniendo suelo forestal, agrícola o tepetate. La inoculación se realizó en el momento del trasplante de manera directa a la raíz, aplicando 10 g de inóculo por planta (González-Chávez *et al.*, 1998). Los HMA utilizados fueron *Glomus* spp. Zac-19 (consorcio fúngico que contiene *G. claroideum*, *G. diaphanum*, *G. albidum*), *G. intraradices* FS-18 y *Gigaspora rosea* BEG-111, los cuales se produjeron en condiciones controladas en sorgo y en arena como sustrato. Previo a su utilización, se determinó el porcentaje de colonización total, observándose que las raíces estuvieron colonizadas en 88% con *Glomus* spp. Zac-19, 76.6% con *G. intraradices* FS-18 y 58.3% con *Gi. rosea* BEG-111. Asimismo,

se cuantificó el número de esporas en 10 g de suelo-inóculo por el método de tamizado en húmedo y decantación (Gerdermann y Nicolson, 1963). En *Glomus* spp. Zac-19 se observó un promedio de 32 esporas, en *G. intraradices* de 162 esporas y en *Gi. rosea* de 129 esporas. En el Cuadro 1, se muestran las características físicas y químicas de los dos suelos (agrícola y forestal) y del tepetate. Estos se fumigaron con bromuro de metilo durante 72 h.

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo factorial de 4 x 3 x 2. El primer factor contempla las cepas de HMA; el segundo representa dos tipos de suelo y tepetate, y el último a las dos especies leguminosas, conformando de esta manera 24 tratamientos. Las unidades experimentales estuvieron compuestas por parcelas de 10 plantas.

El análisis estadístico consistió en un análisis descriptivo de la información, para verificar los supuestos del análisis de varianza, mediante el procedimiento UNIVARIATE de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000); análisis de varianza y prueba de F para cada variable, con el procedimiento MIXED de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000). Para las variables altura (AI), diámetro de tallo (DT) y número de hojas formadas (NHF), se incluyó dentro del análisis de varianza, días después del trasplante (DDT) como un factor de medida repetida (Gómez y Gómez, 1984). Finalmente, se efectuó una comparación múltiple de medias para las fuentes de variación que mostraron diferencias significativas al 0.05 de probabilidad en el análisis de varianza, a través de la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F (Gómez y Gómez, 1984), utilizando el procedimiento MIXED de SAS, Versión 8.1 (SAS Institute, 2000).

La evaluación se realizó a intervalos de 14 días durante un período de 126 DDT. Se evaluaron cinco plantas en competencia completa por unidad experimental y por cada repetición. Las características

estudiadas fueron: altura (AI), tomada del cuello de la raíz a la yema apical; diámetro de tallo (DT), medido a 2 cm arriba del cuello de la raíz, y número de hojas formadas (NHF). Al final de este período (126 DDT), se cosecharon tres de las cinco plantas por parcela y repetición, para determinar el número de hojas presentes (NHP) y caídas (NHC), área foliar (AF), peso seco de raíz (PSR), tallo (PST) y hojas (PSH), volumen radical (VR) y la longitud del sistema radical principal (LR), contenido de fósforo en follaje por el método de fósforo por colorimetría y colonización micorrízica por el método de clareo y tinción (Phillips y Hayman, 1970).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del Suelo en el Crecimiento

Las dos especies vegetales en estudio (*A. farnesiana* y *P. glandulosa*) crecieron mejor en el suelo agrícola con incrementos (%) con respecto a las plantas no inoculadas en AI (30 y 80%), DT (18 y 33%), NHF (14 y 39%), NHC (34 y 14%), AF (74 y 271%), PSH (88 y 500%), PST (108 y 450%), PSR (86 y 400%) y VR (61 y 145%). En la presente investigación, el suelo agrícola presentó altas concentraciones de fósforo y potasio, lo que sugiere que las diferencias en el crecimiento de las plantas se debieron a estos factores, como mencionado por Salisbury y Ross (1994).

No se observó respuesta significativamente diferente al comparar el crecimiento de las leguminosas en el suelo forestal y tepetate en todas las variables señaladas (Cuadro 2). En el suelo agrícola, el incremento en altura de *P. glandulosa* se empezó a observar a 56 DDT, mientras que en *A. farnesiana* fue a partir de 70 DDT. Así también, incremento significativo en DT y NHF en las dos especies, se observó a 56 DDT (Figura 1). Se destaca que en los primeros 42 DDT no existió diferencia estadística

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos (forestal y agrícola) y el tepetate utilizados para el establecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*.

Sustrato [†]	Textura	pH 1:2	CE [‡]	MO [§]	N	P	K	Ca	Mg
			dS m ⁻¹	----- % -----					
Forestal	Franco arenoso	6.0	0.18	10.99	0.55	10	0.96	13.30	2.50
Agrícola	Franco arcilloso	8.0	2.30	3.71	0.19	111	17.63	35.93	12.60
Tepetate	Franco arenoso	7.0	0.14	1.92	0.10	11	2.02	12.30	1.50

[†] Procedencia: tepetate, San Pablo, Edo. de Méx.; suelo agrícola, Colegio de Postgraduados, Edo. de Méx y suelo forestal, Tequexquínahuac, Edo. de Méx. Suelos y tepetate colectados en los primeros 30 cm de profundidad. [‡] CE = conductividad eléctrica, [§] MO = materia orgánica.

Cuadro 2. Efecto de dos tipos de suelo y tepetate sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* a los 126 días después del trasplante.

Especie	Sustrato	Altura cm	Diámetro de tallo mm	Número. de hojas		Área foliar cm ²	Peso seco g			Longitud radical cm	Volumen radical cm ³
				Formadas	Caídas		Hoja	Tallo	Raíz		
<i>A. farnesiana</i>	Forestal	25.7 b	2.4 b	20.1 b	10.6 a	44.5 b	0.8 b	1.1 b	0.7 b	37.3 a	2.7 b
	Agrícola	32.4 a	2.9 a	22.4 a	3.5 b	69.2 a	1.6 a	2.4 a	1.4 a	33.1 b	4.1 a
	Tepetate	24.1 b	2.5 b	19.1 b	9.9 a	34.9 b	0.9 b	1.2 b	0.8 b	37.4 a	2.4 b
<i>P. glandulosa</i>	Forestal	16.6 b	1.9 b	14.0 b	7.6 a	40.1 b	0.3 b	0.5 b	0.2 b	38.4 b	1.2 b
	Agrícola	27.2 a	2.4 a	18.1 a	1.1 b	120.8 a	1.2 a	2.2 a	1.0 a	41.6 a	2.7 a
	Tepetate	13.8 b	1.7 b	12.1 b	7.6 a	25.0 b	0.1 b	0.3 b	0.2 b	42.4 a	1.0 b

Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F).

significativa en las tres principales características estudiadas (Al, DT y NHF), debido quizá a que las plantas aun se encontraban en proceso de adaptación y asimilación de los elementos nutrimentales presentes en los suelos y tepetate (González-Chávez *et al.*, 1998).

En general, estos resultados indican que las propiedades del suelo o del tepetate influyen la producción de plantas. En México, el uso del suelo forestal es generalizado, ya sea sólo o en combinación con otros sustratos, por lo que el suelo agrícola, al menos con las propiedades del que se usó en este experimento, puede utilizarse alternativamente al suelo forestal para la producción de *A. farnesiana* y *P. glandulosa*.

Efecto de la Inoculación con Hongos Micorrízicos en el Crecimiento

Los HMA influyeron de manera positiva en el crecimiento de ambas leguminosas. Se observó diferencia significativa en relación con los tratamientos sin inocular, principalmente en las variables Al, NHF, NHC, AF y PSH. Los porcentajes de incremento con respecto a las plantas no inoculadas fluctuaron entre 13 y 135%. Se observaron diferencias significativas en las variables DT, PST, PSR y VR únicamente en *A. farnesiana*, con incrementos de 17 a 57% (Cuadro 3). No se observó diferencia significativa en el crecimiento de las plantas debido a la inoculación con los micobiontes *G. intraradices*, *Glomus* spp. Zac-19 y *Gi. rosea*; sin embargo, las respuestas con el complejo *Glomus* spp. Zac-19 fueron ligeramente mayores en las variables determinadas. El efecto de los HMA en Al, DT y NHF de *A. farnesiana* se manifestó a partir de 98 DDT, mientras que, en *P. glandulosa*, a partir de 112 DDT (Figura 2).

Con base en lo anterior, se observa que cuando una planta se inocula, ésta crece más rápido. Los resultados concuerdan con los resultados en otras especies forestales, como *Prosopis* spp. (Cardona y Ocampo, 1985), *Acacia* spp. (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990), *Eucalyptus* spp. (Plascencia *et al.*, 1997) y *Leucaena* spp. (Flores-Bello *et al.*, 2000). Por otro lado, Manjarrez-Martínez *et al.* (2000) señalaron que la efectividad de los inóculos se asocia al genotipo de la planta, ya que cada especie tiene diferente grado de dependencia micorrízica y que está de acuerdo con las relaciones de carbono:fósforo existentes en el suelo.

El efecto tardío observado en el incremento en Al, DT y NHF de *A. farnesiana* y *P. glandulosa* puede deberse a la relación fuente:demanda entre el hospedante y el hongo. Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) señalaron que el tipo de actividad fúngica representa alto costo para la planta, la cual tiene que compensar mediante la aportación de fuentes energéticas carbonadas, para que facilite la actividad metabólica del hongo. Por su parte, Sanders (1993) señaló que durante las fases iniciales de la colonización micorrízica, el hongo ocasiona una reducción en el crecimiento de la planta al usar parte de los nutrimentos de la misma.

Interacción Suelo-Hongos Micorrízicos en el Crecimiento

En el suelo agrícola, la inoculación de *A. farnesiana* no mostró efectos significativos en el crecimiento en relación con las plantas testigo (Cuadro 4), pero en *P. glandulosa* la inoculación incrementó el área foliar entre 142 y 170% con respecto a plantas no inoculadas. De manera contraria, en el suelo forestal y el tepetate, en ambas leguminosas, la inoculación incrementó

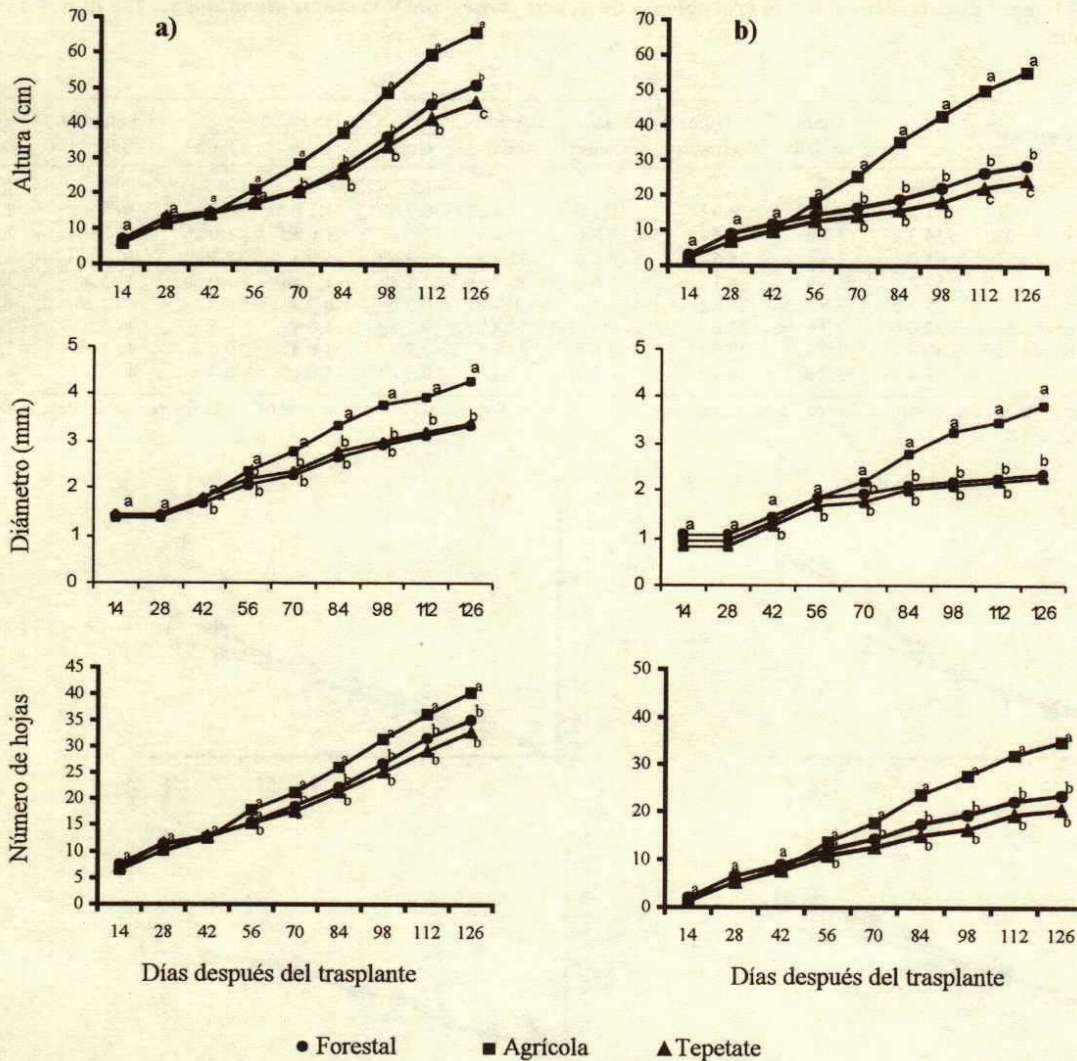


Figura 1. Efecto de dos tipos de suelo y tepetate sobre el incremento en altura, diámetro de tallo y número de hojas formadas de brinzales de *A. farnesiana* (a) y *P. glandulosa* (b). Medias con la misma letra en el mismo periodo después del trasplante, son estadísticamente iguales con $\alpha = 0.05$.

significativa-mente el crecimiento de las plantas. Se observó disminución del NHC, incremento del AF, PSH, PST, PSR y VR. En *A. farnesiana*, en suelo forestal y tepetate, las variables NHC, AF, PSH y PST mostraron diferencias significativas, mientras que incrementos en PSR y VR sólo se observaron en el suelo forestal. En cambio, en *P. glandulosa*, las variables que presentaron diferencias significativas, tanto en suelo forestal, como tepetate, fueron NHC, AF y PSH. No se observaron diferencias en la longitud radical de las plantas en los tratamientos establecidos (Cuadro 4). En suelo forestal y tepetate, el AF fue la variable que se afectó en mayor grado por la inoculación. En *A. farnesiana* se observaron incrementos con base en plantas no inoculadas en AF

entre 292 y 550% en suelo forestal, y entre 194 y 366% en tepetate, mientras que, en *P. glandulosa*, éstos fueron de 482 a 1698% en suelo forestal y de 386 a 2722 en tepetate (Cuadro 4). Es interesante resaltar que aun en el tepetate, el cual es muy pobre en nutrientes, la inoculación micorrízica mostró un importante efecto en el AF de ambas especies vegetales. Con esto, se enfatiza la importancia del uso de endófitos micorrízicos en sustratos con limitada disponibilidad nutrimental.

Alarcón *et al.* (2000) señalaron que los HMA en suelos no fertilizados y deficientes en nutrientes, especialmente fósforo ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$), permiten al micobionte aprovechar con mayor eficiencia

Cuadro 3. Efecto de los hongos micorrízicos sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* a 126 días después del trasplante e inoculación.

Especie	Hongo micorrízico	Altura cm	Diám. de tallo mm	Número de hojas		Área foliar cm ²	Peso seco g			Longitud radical cm	Volumen radical cm ³
				Formadas	Caidas		Hoja	Tallo	Raíz		
<i>A. farnesiana</i>	Ninguno	41.3 b [†]	3.2 b	29.9 b	10.1 a	28.8 c	0.7 b	1.1 b	0.7 b	36.3 a	2.4 b
	<i>Glomus intraradices</i>	56.3 a	3.7 a	37.5 a	8.8 b	47.8 b	1.1 ab	1.6 ab	1.0 ab	36.0 a	3.2 ab
	<i>Glomus</i> spp. Zac-19	61.0 a	3.9 a	38.6 a	6.6 c	62.9 a	1.4 a	1.9 a	1.1 a	36.0 a	3.3 ab
	<i>Gi. rosea</i>	57.8 a	3.7 a	38.1 a	6.6 c	58.7 ab	1.1 ab	1.7 ab	1.0 ab	35.5 a	3.4 a
<i>P. glandulosa</i>	Ninguno	32.5 b	2.8 a	23.8 b	6.1 a	30.7 c	0.3 b	0.9 a	0.5 a	40.1 ab	1.7 a
	<i>Glomus intraradices</i>	32.0 b	2.7 a	24.6 b	4.8 ab	54.4 bc	0.5 ab	1.0 a	0.5 a	38.5 b	1.5 a
	<i>Glomus</i> spp. Zac-19	40.8 a	2.9 a	29.3 a	4.6 b	94.6 a	0.7 a	1.0 a	0.5 a	42.1 ab	1.7 a
	<i>Gi. rosea</i>	38.4 a	2.7 a	26.9 a	6.1 ab	68.1 b	0.5 ab	1.0 a	0.4 a	42.5 a	1.6 a

[†] Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F).

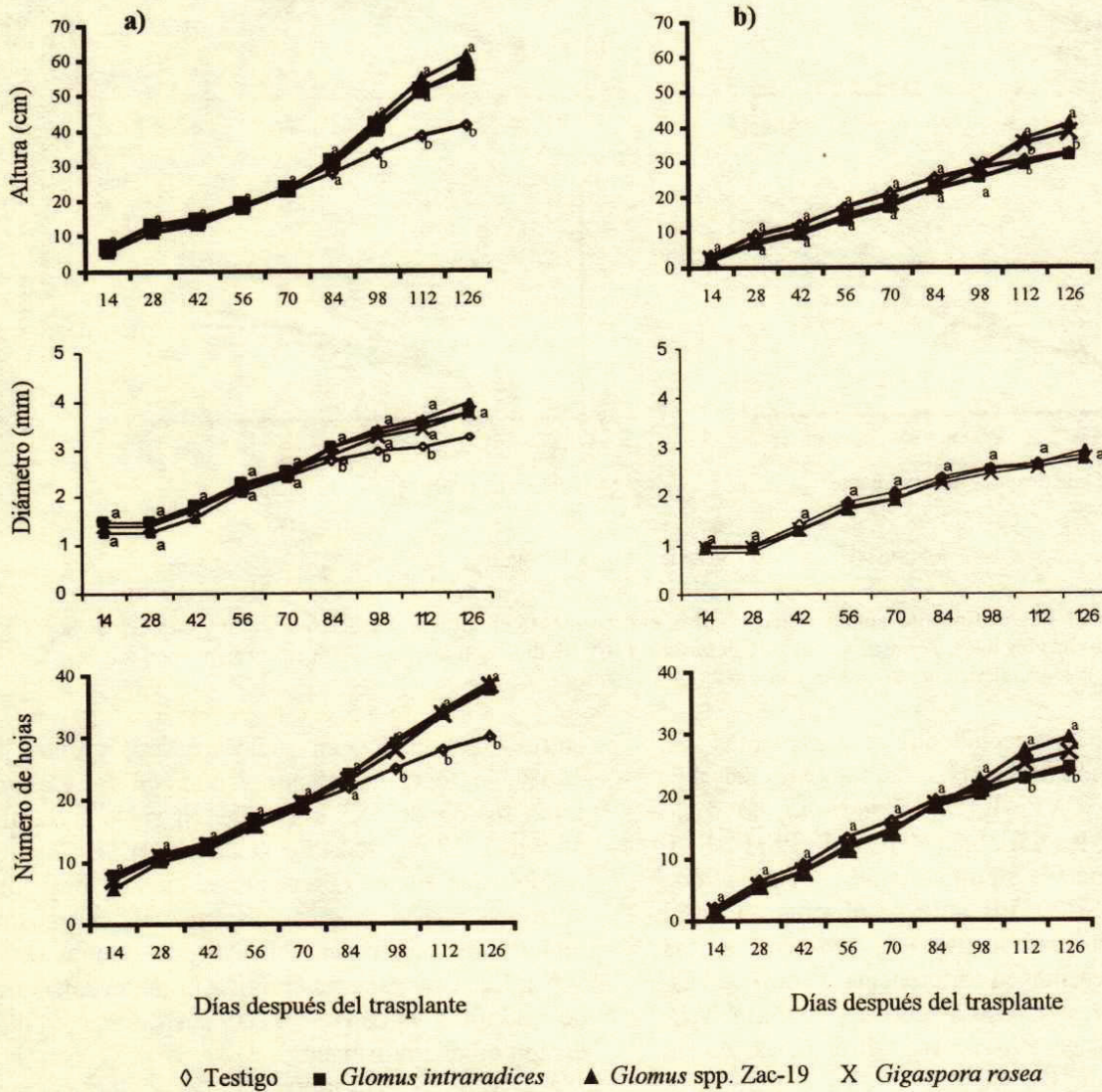


Figura 2. Efecto de los hongos micorrízicos sobre el incremento en altura, diámetro de tallo y número de hojas formadas de brinzales de *A. farnesiana* (a) y *P. glandulosa* (b). Medias con la misma letra en el mismo periodo, son estadísticamente iguales con $\alpha = 0.05$.

Cuadro 4. Interacción de los hongos micorrízicos, tipos de suelo y tepetate sobre el crecimiento de *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa*, correspondiente a 126 días después del trasplante.

Especie	Suelo	Hongo micorrízico	Num. de hojas caídas	Área foliar cm ²	Peso seco			Longitud radical cm	Volumen radical cm ³
					Hoja	Tallo	Raíz		
<i>A. farnesiana</i>	Forestal	Ninguno	14.80 a	10.16 c	0.16 b	0.39 b	0.26 b	39.55 a	1.17 b
		<i>G. intraradices</i>	12.20 b	39.84 b	0.81 ab	1.24 ab	0.83 ab	35.94 a	3.55 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	8.66 c	66.08 a	1.23 a	1.70 a	1.05 a	36.73 a	3.50 a
		<i>Gi. rosea</i>	7.00 c	61.90 ab	1.06 ab	1.20 ab	0.65 ab	36.91 a	2.50 ab
	Agrícola	Ninguno	3.16 a	65.25 a	1.57 a	2.15 a	1.51 a	31.79 a	4.22 a
		<i>G. intraradices</i>	4.53 a	71.38 a	1.84 a	2.47 a	1.32 a	34.36 a	3.83 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	2.80 a	71.60 a	1.74 a	2.53 a	1.41 a	32.81 a	3.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	3.59 a	68.47 a	1.48 a	2.37 a	1.54 a	33.64 a	4.72 a
	Tepetate	Ninguno	12.46 a	10.92 b	0.34 b	0.69 b	0.52 a	37.72 a	1.83 a
		<i>G. intraradices</i>	9.73 b	32.16 ab	0.62 b	1.16 a	0.80 a	37.63 a	2.40 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	8.33 b	50.94 a	1.24 a	1.53 a	0.86 a	38.56 a	2.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	9.26 b	45.72 ab	0.93 ab	1.45 a	0.95 a	35.93 a	2.90 a
<i>P. glandulosa</i>	Forestal	Ninguno	8.53 a	4.82 b	0.05 b	0.30 a	0.18 a	36.85 a	1.28 a
		<i>G. intraradices</i>	7.43 ab	28.09 b	0.21 ab	0.37 a	0.21 a	36.90 a	1.01 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	5.66 b	86.71 a	0.61 a	0.75 a	0.41 a	38.72 a	1.44 a
		<i>Gi. rosea</i>	8.66 a	40.79 b	0.30 ab	0.49 a	0.23 a	41.25 a	1.11 a
	Agrícola	Ninguno	0.86 a	85.00 b	0.98 a	2.20 a	1.07 a	40.01 a	2.80 a
		<i>G. intraradices</i>	0.55 a	123.49 ab	1.27 a	2.27 a	1.07 a	38.08 a	2.61 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	1.83 a	129.42 ab	1.17 a	1.89 a	0.87 a	44.35 a	2.70 a
		<i>Gi. rosea</i>	1.28 a	145.18 a	1.24 a	2.34 a	0.94 a	44.21 a	2.65 a
	Tepetate	Ninguno	9.06 a	2.40 b	0.02 a	0.28 a	0.20 a	43.63 a	1.00 a
		<i>G. intraradices</i>	6.46 b	11.68 b	0.08 a	0.30 a	0.16 a	40.51 a	0.95 a
		<i>Glomus</i> spp. Zac-19	6.50 b	67.73 a	0.40 a	0.56 a	0.24 a	43.14 a	1.13 a
		<i>Gi. rosea</i>	8.33 ab	18.34 b	0.12 a	0.27 a	0.14 a	42.20 a	0.94 a

Medias con la misma letra en la misma columna dentro de la misma especie son iguales a $\alpha = 0.05$ (según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida).

los escasos nutrimentos del sustrato, haciéndolos disponibles y aprovechables para la planta.

De los inóculos utilizados, *Glomus* spp. Zac-19 mostró mayor efecto positivo en el incremento de las características que se evaluaron en las dos leguminosas. *P. glandulosa* tuvo un mayor efecto positivo a la inoculación que *A. farnesiana*, por lo que puede mencionarse que es una especie micotrófica y es más dependiente de la condición micorrízica. Esto es, obtiene mayor beneficio de la inoculación que *A. farnesiana*.

En algunas investigaciones se ha demostrado que los suelos ricos en nutrimentos, en especial fósforo, inhiben el efecto benéfico que los HMA pueden ofrecer a sus plantas hospedantes (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Esta puede ser la razón del efecto nulo que la inoculación representó en las plantas cuando crecieron en el suelo agrícola.

Contenido de P en Follaje

Los tipos de suelo, el tepetate y la inoculación con los HMA influyeron en el contenido de fósforo en el follaje. En ambas leguminosas se observó que las plantas creciendo en el tepetate tuvieron mayor acumulación de este elemento en las hojas (0.40%), mientras que los suelos forestal (0.15% y 0.23%) y agrícola (0.11% y 0.15%), para *A. farnesiana* y *P. glandulosa*, respectivamente, no manifestaron diferencia significativa entre sí. Por otra parte, al analizar el efecto de la inoculación, se observó que *Glomus* spp. Zac-19 incrementó significativamente el contenido de P en el follaje de *A. farnesiana* (0.52%) en comparación con plantas no inoculadas (0.08%) e inoculadas con los otros hongos (0.10 a 0.16%). Mientras que en *P. glandulosa*, *Glomus* spp. Zac-19 (0.34%) y *Gi. rosea* (0.41%) presentaron los mayores contenidos de P, en comparación con plantas testigo e inoculadas con *G. intraradices*.

Con base en lo anterior, se mostró que el efecto benéfico por los HMA es importante, sobre todo si se considera que las plantas no se fertilizaron durante el tiempo de la investigación y su única fuente de obtención de nutrimentos fue la fertilidad basal de los suelos o el tepetate, la cual fue baja en el suelo forestal y tepetate. Esta condición de fertilidad permitió a los HMA aprovechar con mayor eficiencia escasos nutrimentos del sustrato, haciéndolos disponibles y aprovechables para la planta (Alarcón *et al.*, 2000; González-Chávez *et al.*, 2000).

Colonización Micorrízica

Las tres especies de HMA colonizaron las raíces de ambas leguminosas establecidas en los dos tipos de suelo y en el tepetate. En *A. farnesiana* se presentaron los mayores porcentajes de colonización micorrízica. En las raíces de las plantas creciendo en el suelo forestal y el tepetate se observaron los valores máximos promedio en colonización total con 61.7 y 67.2%, en arbusculos con 37.82 y 47.86% y vesículas con 24.9 y 27.2%, respectivamente. Las plantas creciendo en suelo agrícola presentaron valores de colonización total de 38%, de arbusculos 2.87% y vesículas de 1.49%. En contraste, en las raíces de *P. glandulosa* se observaron valores bajos en la colonización total (menor que 20%) en el suelo forestal y tepetate y menor que 5% en suelo agrícola. Aparentemente, los altos valores de P en el suelo agrícola afectaron negativamente en la colonización micorrízica y el efecto de la inoculación.

No se observaron diferencias significativas en la colonización radical entre las tres cepas micorrízicas. La efectividad de los HMA no siempre se correlaciona con la capacidad infectiva de éstos. Algunos investigadores han observado que plantas que presentan bajo porcentaje de colonización total, estimulan en mayor grado el crecimiento de las plantas (Plascencia *et al.*, 1997). Para este caso en particular, a pesar de la baja colonización micorrízica en *P. glandulosa*, se observó una significativa efectividad de los endófitos. En el caso de *A. farnesiana*, la infectividad de los hongos se relacionó positivamente con el incremento en crecimiento. De ahí la importancia para lograr los máximos beneficios con el uso de inoculantes para la producción de plantas de calidad, sobre todo se deben tomar en consideración algunos factores, como el tipo de hongo a utilizar, el hospedante y las condiciones de crecimiento (suelo o sustrato, nutrimentos, agua, luz).

CONCLUSIONES

- En el suelo forestal y en el tepetate el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) influyó positivamente en el incremento de las estructuras morfológicas de las dos especies, como se observó en la altura, diámetro de tallo, número de hojas presentes y caídas, área foliar, peso seco de hoja, tallo y raíz y volumen radical, así como en el contenido de fósforo en follaje. En el suelo agrícola, a pesar de que se presentaron los máximos valores promedio en estos caracteres, se inhibió la infectividad y efectividad de los micobiontes, por lo que el crecimiento se debió más al efecto de las características físicas y químicas del suelo, que a la acción de los HMA. En el suelo agrícola, la inoculación no es necesaria, debido a su alto contenido de P y otros nutrimentos.
- La inoculación de HMA es necesaria para la obtención de plantas forestales de calidad producidas en vivero cuando se utilizan sustratos pobres en fósforo (por ejemplo, menor que 20 mg kg⁻¹). Las posibilidades del éxito en el manejo de los HMA requieren de un cambio considerable en la tecnología de los viveros, desde la selección de cepas altamente efectivas y competitivas después de la desinfección del suelo, elección del tipo de sustrato y otras condiciones de crecimiento, como nutrimentos, agua y luz.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17: 179-191.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González-Chávez y A. Villegas-Monter. 2000. Hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa Cv. Fern. obtenidas por cultivo *in vitro*. *Terra* 18: 211-218.
- Cardona, L.F. y J.A. Ocampo 1985. Estudio de la posible utilización de micorrizas VA como fertilizantes biológicos en dos suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología*. XLIV: 453-462.
- De Lucena, C.N., V.T. Paulino, E.A. Veasey y F. das C. Leonidas. 1991. Effect of cutting frequency on the productivity of *Leucaena*. *Leucaena Res. Rep.* 12: 14-15.
- Flores-Bello, R., S. Aguilar, R. García y A. Zamora. 2000. Respuesta de crecimiento en plántulas de *Leucaena* a la micorriza arbuscular en condiciones de vivero. pp. 156-161. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.) Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundi Prensa. México, D.F.
- Gerdermann, J.W. y T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

- Gómez, K.A. y A.A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2a Edition. International Rice Research Institute Book. Manila, The Philippines.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J.L. Oropeza. 2000. Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. *Zac-19*. *Terra* 18: 369-377.
- Guzmán-Plazola, R.A. y R. Ferrera-Cerrato. 1990. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Manjarrez-Martínez, M.J., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad. pp. 238-250. In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundi Prensa. México, D.F.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Plascencia E., F.O., J.J. Vargas H., R. Ferrera-Cerrato y V.A. González H. 1997. Efecto de la micorriza vesículo-arbuscular sobre el crecimiento y distribución de biomasa de plántulas de eucalipto. *Terra* 15: 7-14.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F.
- Sanders, F.E. 1993. Modeling plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection. *Adv. Plant Pathol.* 9: 135-166.
- SAS Institute, Inc. 2000. *SAS/STAT User's guide, Version 8.1*. Cary, NC.
- Thatoi, H.N., S. Sahu, A.K. Misra y G.S. Padhi. 1993. Comparative effect of VAM inoculation on growth, nodulation and *Rhizobium* population of subabul (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.) grown in iron mine waste soil. *Indian Forester.* 119: 481-489.

EFFECTO DEL SISTEMA DE RIEGO Y TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL AJO

Garlic Yield and Quality as Affected by Irrigation Type and Soil Water Tension

Juan Manuel Barrios-Díaz¹, Mari Carmen Larios-García¹, Javier Z. Castellanos^{2,†}, Gabriel Alcántar-González³, Leonardo Tijerina-Chávez³ y Ma. de las Nieves Rodríguez-Mendoza³

RESUMEN

Para evaluar el rendimiento y la calidad comercial del bulbo de ajo (*Allium sativum* L.), se realizó un experimento durante el ciclo otoño-invierno de 2000-2001 y 2001-2002. La variedad Tacázcuar, tipo Taiwán, se sembró y se sometió a cuatro tratamientos de tensión de humedad del suelo (THS) en riego por goteo superficial y uno más de riego por surcos con intervalo entre riegos de dos semanas. Se utilizaron tensiómetros instalados a 0.15 y 0.3 m de profundidad y los valores de la THS en cada tratamiento de riego por goteo en los dos ciclos de cultivo fueron: 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 25 a 50 kPa. El rendimiento total obtenido en estos tratamientos fue 26.9, 33.5, 35.9 y 37.3 t ha⁻¹ en el ciclo 2000-2001 y 29.1, 38.9, 39.0 y 41.9 t ha⁻¹ en el ciclo 2001-2002. El rendimiento en riego por surcos fue 28.7 y 32.9 t ha⁻¹, respectivamente, en cada ciclo. El ahorro de agua de los tratamientos con riego por goteo varió entre 28 y 49% con respecto al volumen de agua aplicada en riego por surcos. Considerando el rendimiento promedio de ambos ciclos se muestra que mediante el riego por goteo se obtienen bulbos de mayor calidad que con riego por surcos. El rendimiento de los calibres de bulbo < 55 mm de diámetro (No exportable, Gigante y Jumbo) fue 5.6 t ha⁻¹ en riego por goteo y 8.4 t ha⁻¹ con riego por surcos; los calibres de bulbo entre 55 y 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo y Colossal) fueron los más frecuentes, se obtuvieron 25.8 t ha⁻¹ en riego por goteo y 21.6 t ha⁻¹ con riego por surcos; y el rendimiento

del calibre > 70 mm (Super colosal) fue 4.0 t ha⁻¹ en riego por goteo y 0.9 t ha⁻¹ en riego por surcos.

Palabras clave: *Allium sativum* L., fertirriego, riego por goteo, riego por surcos, tensiómetro.

SUMMARY

To evaluate yield and commercial quality of the garlic (*Allium sativum* L.) bulb, during the autumn-winter cycle, 2000-2001 and 2001-2002, an experiment was carried out in Celaya, Guanajuato, Mexico. Taiwan type garlic, Tacázcuar variety was sowed and subjected to four soil water tension (SWT) treatments in surface drip irrigation and another by furrow irrigation with an interval of two weeks between irrigations. Tensiometers were installed at depths of 0.15 and 0.3 m and the ranges of SWT for each drip irrigation treatment in both growth cycles were: 5-10, 10-20, 20-30, and 25-50 kPa. Total yields obtained from these treatments were 26.9, 33.5, 35.9 and 37.3 t ha⁻¹ for the 2000-2001 season and 29.1, 38.9, 39.0 and 41.9 t ha⁻¹ for the 2001-2002 season. Yields of 28.7 and 32.9 t ha⁻¹ were obtained in furrow irrigation in each season, respectively. Water saved in drip irrigation treatments ranged from 28 to 49% with respect to the applied water volume in furrow irrigation. Considering the average yield of both seasons, it was showed that bulbs of higher quality were obtained with drip irrigation than with furrow irrigation. Bulb caliber < 55 mm diameter (Non exportable, Giant and Jumbo) yield was 5.6 t ha⁻¹ in drip irrigation and 8.4 t ha⁻¹ with furrow irrigation; bulb calibers between 55 and 70 mm (Extra jumbo, Super jumbo and Colossal) were more frequent: 28.5 t ha⁻¹ with drip irrigation and 21.6 t ha⁻¹ with furrow irrigation. Finally, caliber > 70 mm (Super colossal) yield was 4.0 t ha⁻¹ in drip irrigation and 0.9 t ha⁻¹ with furrow irrigation.

Index words: *Allium sativum* L., fertigation, drip irrigation, furrow irrigation, tensiometer.

¹ Escuela de Ingeniería Agrohídrica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 73800 Teziutlán, Puebla, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 112, 38000 Celaya, Guanajuato, México.

[†] Autor responsable (casteja100@hotmail.com)

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.