

ROCA FOSFORICA Y *Glomus* sp. EN EL CRECIMIENTO DE NARANJO AGRIO

Rock Phosphate and *Glomus* sp. on Sour Orange Growth

M.C. González Chávez¹ y R. Ferrera-Cerrato^{1,2}

RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de roca fosfórica en cuatro dosis (0, 30, 60 y 90 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo) y de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 en el crecimiento de tres portainjertos: naranjo agrio, naranjo agrio Australiano y naranjo agrio Brazilian. La inoculación incrementó el crecimiento de las plántulas a partir de los 105 días después del trasplante (DDT), pero fueron estadísticamente significativos hasta los 135 DDT. La altura de plantas inoculadas fue tres veces mayor que la altura de plantas testigo. No se observó interacción entre los diferentes dosis de fertilización y la inoculación en los parámetros de crecimiento evaluados en los portainjertos naranjo agrio y naranjo agrio Brazilian, pero en el caso de naranjo agrio Australiano se observó interacción negativa a los 105 y 135 DDT cuando se fertilizó con 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹. La fertilización no afectó la colonización micorrízica en ninguno de los portainjertos. Se sugieren efectos de la roca fosfórica en suelos de condición más ácida, donde la introducción de hongos arbusculares durante los procesos de propagación de cítricos y su combinación con roca fosfórica de bajo costo, podría ser una metodología atractiva para usarse en los viveros, lo cual repercutiría en la obtención de plantas sanas y vigorosas en menos tiempo y a menor costo.

Palabras clave: Cítricos, micorriza, viveros.

SUMMARY

Rock phosphate fertilization and inoculation with *Glomus* sp. Zac-19 on the growth of three citrus rootstocks sour orange, sour orange Australian, and sour orange Brazilian were studied. Inoculation significantly increased plant growth, which was

evident since 105 days after transplant (DAT), but it was significant until 135 DAT. Height of inoculated plants was more than three times greater than control plants. An interaction was not observed between phosphate rock and inoculation regarding growth parameters in any of the rootstocks, except on sour orange Australian, which presented negative interaction when fertilized with 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹. Fertilization did not affect mycorrhizal colonization by *Glomus* sp. Zac-19. It is possible to observe effect of rock phosphate in a more acid soil, where the use of arbuscular fungi in the propagation of citrus plus the rock phosphate low-cost combination, may be an attractive methodology to be used in nurseries, in order to obtain healthy and vigorous plants in a shorter time and at a lower cost.

Index words: *Citrus*, *micorriza*, *nurseries*.

INTRODUCCION

La asociación micorrízica arbuscular en cítricos se reportó por primera vez en 1933 (Antunes y Cardoso, 1991) y, en los últimos años, numerosos investigadores han resaltado la importancia de la simbiosis para un adecuado crecimiento de la planta y mayor supervivencia de las plántulas producidas en vivero (Timmer y Leyden, 1980; Botello *et al.*, 1993; González-Chávez *et al.*, 1998). Respecto a la introducción de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), Sieverding (1991) señaló que la inoculación es mucho más factible en plántulas que crecen en los viveros cítricos que en plantas que crecen en campo, por la cantidad de inóculo que se requiere. Dentro de las prácticas de vivero en la producción de plántulas de cítricos, el uso de fertilizantes fosfatados es una práctica común, sobre todo de fertilizantes con P soluble; sin embargo, estos incrementan los costos de producción y casi siempre afectan la eficiencia de los HMA (Timmer y Leyden, 1980; Graham y Timmer, 1984; Barea, 1991; Bolan, 1991). El uso de fertilizantes menos solubles puede presentar ventajas para la simbiosis y conveniencias económicas para los viveristas. Antunes y Cardoso (1991) reportaron que la fertilización con roca fosfórica (RF), junto con

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México. (carmeng@colpos.colpos.mx)

² (ronaldf@colpos.colpos.mx)

HMA, puede ser usada como una práctica viable, con ventajas económicas y ecológicas en la producción de cítricos. Kiernan *et al.* (1983) mencionaron que, para programas comerciales de inoculación con HMA, es fundamental realizar una selección de hongos, así como de dosis de P, que favorezcan el óptimo crecimiento de las plantas, sin alterar la efectividad de la simbiosis micorrízica. En algunos trabajos publicados, *Glomus* sp. Zac-19 (especie de origen mexicano) ha mostrado ser un hongo altamente eficiente en promover el crecimiento de cítricos y otros frutales (Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1997, 1998; González-Chávez *et al.*, 1998), por lo que el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19 y tres dosis de roca fosfórica en el desarrollo de tres portainjertos de naranjo agrio.

MATERIAL Y METODOS

Obtención de Plántulas

Semillas de tres portainjertos de *Citrus aurantium* (naranjo agrio = NA, naranjo agrio Brazilian = NAB y naranjo agrio Australiano = NAA) se remojaron durante 24 h en agua. Posteriormente se sumergieron en una solución de benomil (20 mg L⁻¹) durante 20 min y se sembraron en tezontle fino esterilizado por 3 h a 18 lb pulg⁻² y se mantuvieron en cámara de crecimiento con luz y temperatura controladas (T = 30 °C y 12/12 horas de fotoperíodo día/noche).

Sustrato

El sustrato empleado consistió de una mezcla de suelo:arena y agrolita en proporciones 3:6:1, que se esterilizó durante 3 h a 18 lb pulg⁻². La concentración de N en el suelo fue 0.7 mg g⁻¹, 12 µg g⁻¹ de P, 0.078 mg g⁻¹ de K y con pH 6.5.

Inoculación y Fertilización

Se inoculó al momento del trasplante, se utilizaron 10 g de inóculo micorrízico (producido en el Colegio de Postgraduados, km 36.5, Montecillo, estado de México), con aproximadamente 100 esporas y raíz de alfalfa colonizada en 72% con *Glomus* sp. Zac-19. La roca fosfórica (de lenta reactividad con 30% de P como P₂O₅), originaria de Baja California Sur (Nuñez y Gavi, 1994), se tamizó y la fracción tamizada por la malla 100 µm se mezcló con el sustrato estéril en

proporciones necesarias para establecer cuatro dosis de fertilización (0, 30, 60 y 90 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo). Como recipientes se utilizaron bolsas negras para vivero con capacidad para 3 kg de sustrato estéril.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

El diseño de tratamientos fue un factorial completo, las fuentes de variación fueron inoculación (con y sin) y cuatro dosis de fósforo, cuya fuente fue la roca fosfórica, lo que resultó en un total de ocho tratamientos en NA y NAA. Por contar con pocas plántulas de NAB, sólo se establecieron cuatro tratamientos (0 y 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo, con y sin inoculación). Todos los tratamientos en los tres portainjertos tuvieron cuatro repeticiones. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y la prueba de separación de medias de Tukey (• = 0.05).

VARIABLES EVALUADAS

Se consideraron: la altura, el diámetro de tallo y el número de hojas a los 105, 135 y 185 días después del trasplante (DDT). A la cosecha (185 DDT) se determinaron el volumen radical, el área foliar, el peso seco de la parte aérea y la colonización micorrízica en raíces clareadas y teñidas con base en el método de Phillips y Hayman (1970). Adicionalmente, se determinó la concentración de P en tejido vegetal de los portainjertos (Alcántar, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los tres portainjertos se observó que la inoculación con HMA estimuló en forma notoria el crecimiento de las plantas. Este efecto fue significativo a partir de los 105 días después del trasplante (DDT) en los portainjertos NA y NAA (Figuras 1a y 1b). En contraste, en NAB este efecto se observó hasta los 135 DDT (Figura 1c). Las dosis de RF ensayadas no tuvieron efecto significativo en la altura de los tres portainjertos, en ninguna de las tres fechas evaluadas. La combinación de RF e inoculación no afectaron significativamente la altura del portainjerto NA, en comparación solo con la inoculación. En contraste, en NAA se observó una interacción negativa con 60 y 90 mg P₂O₅ kg⁻¹ de suelo a los 105 y 135 DDT. En cambio, en NAB se observó efecto significativo por adición de RF a los 105 DDT, pero éste fue estadísticamente similar

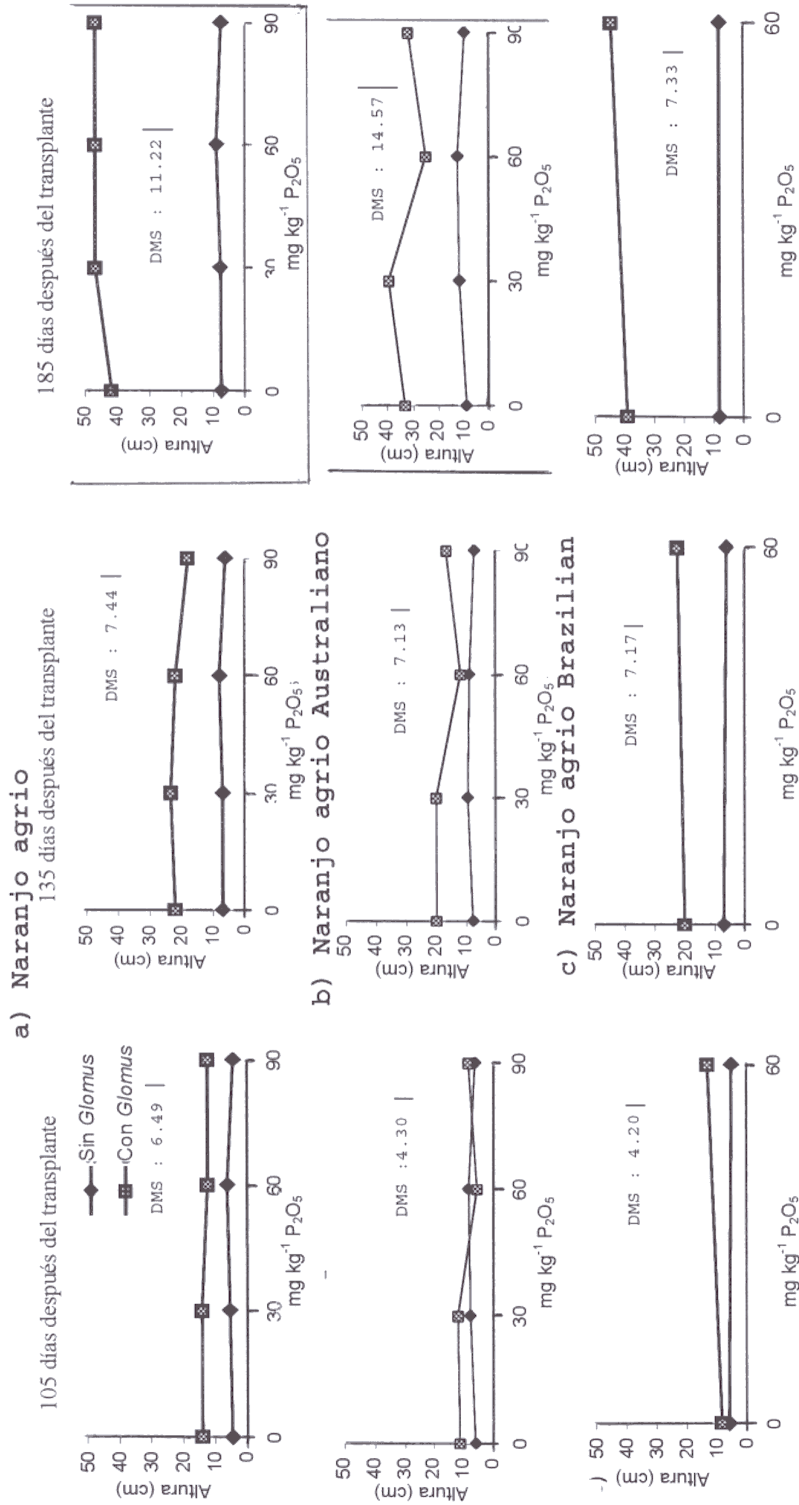


Figura 1. Efecto de la inoculación con *Glomus* sp. Zae-19 y dosis de roca fosfórica en la altura de tres portainjertos de naranjo agrio en tres fechas después del trasplante.

después de los 135 y 185 DDT (Figura 1). Torres *et al.* (1992) reportaron que la fertilización fosfatada en NA tuvo un efecto positivo en la eficiencia del hongo micorrízico. Sin embargo, esta respuesta se debió al uso de un fertilizante con P disponible en forma mineral, lo que influenció el efecto positivo sobre la simbiosis. En este caso, el uso de RF favoreció el crecimiento de NAB al inicio del crecimiento, pero posteriormente, este efecto no continuó. En este estudio, se utilizó un suelo con pH de 6.0, pero es posible inferir que en un suelo con menor pH, la liberación lenta de P favorezca la simbiosis y su efecto sobre el crecimiento de los portainjertos. Menge *et al.* (1978) evaluaron la interacción de *Glomus fasciculatum* y dosis de fertilizantes fosfatados y observaron que, con el uso de 278 mg kg⁻¹ de P (568.2 kg ha⁻¹) se obtuvo el mismo efecto en el desarrollo de las plantas de naranjo agrio, al compararlo con el producido por la inoculación con el hongo endomicorrízico.

El diámetro de tallo se incrementó significativamente por la inoculación a partir de los 105 DDT en los portainjertos NA y NAB, mientras que en NAA este efecto se observó hasta los 135 DDT. A los 105 y 135 DDT, el diámetro de tallo en plantas inoculadas varió entre 2.0 y 2.7 mm, mientras que en plantas testigo fue de 1.1 a 1.8 mm. A los 185 DDT éste varió de 3.8 a 4.4 mm en plantas inoculadas y de 1.6 a 2.0 mm en plantas testigo. La RF no tuvo efecto significativo sobre el incremento en el diámetro de tallo de plántulas inoculadas y no inoculadas de NA y NAA. En NAB se observó una interacción positiva significativa ($\alpha = 0.05$) por la adición de 60 mg de P₂O₅ y la inoculación. Se tuvieron diámetros de tallo de 1.6 mm en plantas testigo, 1.8 mm en plantas no inoculadas y con RF,

3.8 mm en plantas inoculadas y de 4.3 mm en plantas inoculadas y fertilizadas con RF.

Antunes y Cardoso (1991) reportaron que el diámetro de tallo requerido en las plantas para realizar la injertación (5 mm) es después de seis meses del trasplante en plantas inoculadas; en contraste, de nueve a 12 meses en plantas no inoculadas. En este trabajo, se observó un incremento de diámetro muy rápido en plantas inoculadas a partir de los 105 DDT y a los 185 DDT en comparación con las plantas no inoculadas. Esto demuestra, que la simbiosis repercute favorablemente en la obtención de plantas saludables, en menor tiempo y con desarrollo adecuado para injertarlas, como han reportado otros autores (Menge *et al.*, 1978; Vinayak y Bagyaraj, 1990; Antunes y Cardoso, 1991; Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1998), también representando ahorro en el uso de fertilizantes e importantes ventajas económicas para los viveristas.

El área foliar, el peso seco y el volumen radical de los tres portainjertos fueron significativamente mayores en las plantas inoculadas que en las no inoculadas (Cuadro 1). La adición de RF no modificó significativamente el efecto de la inoculación en NA. En NAA fertilizado con 60 y 90 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo, a diferencia del volumen radical, el área foliar y el peso seco disminuyeron, aunque esta disminución no fue significativa. En NAB, la fertilización con 60 mg de P₂O₅ kg⁻¹ de suelo tuvo un efecto significativo en el peso seco. En este tratamiento, la fertilización interactuó positivamente con la inoculación, proporcionando mayor producción de biomasa (Cuadro 1).

Se observó mayor concentración de P en la parte aérea de los portainjertos como respuesta a la inoculación con *Glomus* sp. Zac-19, pero no hubo

Cuadro 1. Efecto de la inoculación endomicorrízica sobre el crecimiento del naranjo agrio.

Tratamiento	Área foliar			Peso seco			Volumen radical			Contenido de P		
	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB	NA	NAA	NAB
	cm ²			g			cm ³			%		
Testigo	36.3 b	43.5 b	31.1 b	0.36 b	0.45 c	0.32 c	2.8 b	4.6 b	3.0 b	0.05 b	0.06 b	0.06 b
<i>Glomus</i> [†]	407.5 a	267.2 a	442.5 a	4.02 a	3.67 ab	3.45 b	15.1 a	17.5 a	15.5 a	0.18 a	0.21 a	0.23 a
P ₁	44.9 b	56.6 b	ND	0.40 b	0.62 c	ND	3.7 b	4.3 b	ND	0.06 b	0.06 b	ND
P ₂	38.4 b	57.8 b	36.6 b	0.40 b	0.60 c	0.32 c	3.3 b	3.3 b	2.8 b	0.06 b	0.06 b	0.06 a
P ₃	42.6 b	54.5 b	ND	0.37 b	0.50 c	ND	3.1 b	3.4 b	ND	0.07 b	0.06 b	ND
<i>Glomus</i> +P ₁	561.0 a	432.0 a	ND	4.85 a	3.97 a	ND	16.7 a	16.5 a	ND	0.18 a	0.20 a	ND
<i>Glomus</i> +P ₂	494.3 a	175.6 b	507.8 a	4.25 a	2.02 bc	4.60 a	14.6 a	7.3 b	16.0 a	0.18 a	0.20 a	0.21 a
<i>Glomus</i> +P ₃	467.3 a	218.7 b	ND	3.90 a	3.07 ab	ND	16.1 a	14.5 a	ND	0.19 a	0.21 a	ND

Naranjo agrio (NA), Naranjo agrio Australiano (NAA) y Naranjo agrio Brazilian (NAB).

[†]*Glomus* sp. Zac-19, P₁ = 30, P₂ = 60, P₃ = 90 mg de P₂O₅ a partir de roca fosfórica.

Letras idénticas dentro de la misma columna son estadísticamente iguales. ND = No determinado.

respuesta a la adición de RF (Cuadro 1). En el presente estudio, se observó que *Glomus* sp. Zac-19 fue altamente eficiente en promover el crecimiento de los tres portainjertos y que, en la mayoría de los casos, el uso combinado con RF, en esta etapa de crecimiento, fue innecesario (excepto en NAB), ya que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las dosis ensayadas. Sin embargo, en otras etapas fenológicas, cuando las plantas requieran más P, la presencia de fuentes fosfatadas y la actividad de las hifas de los HMA pueden ser importantes. La combinación de HMA y fertilizantes fosfatados poco solubles como la RF ha permitido incrementar los rendimientos en varios cultivos (Pairunan *et al.*, 1980; Graham y Timmer, 1984; Cardoso, 1985; Guzmán-Plazola *et al.*, 1988). Chulan (1991) mencionó que la cantidad de fertilizante necesaria para el máximo crecimiento de las plantas puede reducirse significativamente a través de la simbiosis micorrízica.

El efecto de los HMA, reflejado en un mejor crecimiento de las plantas de NAB en adición con la RF, puede estar basado en que las hifas de los HMA pueden producir y liberar compuestos orgánicos como citrato y oxalato, y enzimas como las fosfatasa, que incrementan la disponibilidad de P en el suelo (Jayachandran *et al.*, 1989; Bolan, 1991; Li *et al.*, 1991), debido a la capacidad de los HMA de formar una zona de abatimiento ('depletion') de P y una zona de pH alterado en el suelo adyacente (Li *et al.*, 1991), lo que puede causar un incremento significativo de dos a 10 veces en la utilización de P, situación que no sucede en raíces no micorrizadas. También se ha observado que las plantas micorrizadas utilizan el N más eficientemente que las no micorrizadas (Smith *et al.*, 1985), fenómeno que tiene como consecuencia la exudación de iones H⁺, tanto por las hifas como por las raíces. Esto podría reducir el pH de la rizosfera y así aumentar la disponibilidad de P proveniente de fuentes lentamente solubles como la RF. Los resultados de este experimento muestran que, a los 185 DDT, no se observaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento estudiados, entre el tratamiento combinado de inoculación y adición de RF con respecto a sólo la inoculación y aunque pueden apreciarse diferencias numéricas con el uso de 30 mg de P₂O₅ en NA y NAA, sólo son significativas en NAB en plantas inoculadas y con 60 mg. Es posible que a mayor tiempo después del trasplante, los efectos de la adición de RF e inoculación pudieran ser significativos con respecto a sólo la inoculación; sin

embargo, es necesario realizar los experimentos correspondientes a mayor edad de las plantas. Cooper (1984) reportó que la respuesta a la inoculación está relacionada con la edad de la planta, especie vegetal, tipo de suelo y hongo micorrízico involucrado. Pero, en general, la inoculación con HMA favorecerá el crecimiento de los cítricos (Timmer y Leyden, 1980; Shanmuyam *et al.*, 1981), pero es importante seleccionar la mejor interacción.

Bolan (1991) encontró que la colonización micorrízica y el incremento en absorción de P varió por el uso de tres fuentes de P. Los mejores resultados se obtuvieron con la fuente de P menos soluble. La más común explicación al incremento de utilización de P es, que los hongos micorrízicos exploran un mayor volumen del suelo, abarcando más sitios con fuente de P, lo que incrementa el grado de utilización por aumento de gradiente de difusión. Bolan (1991) mencionó que una posibilidad lejana sería que las hifas micorrízicas pueden ser capaces de modificar químicamente la utilización de P por secreción de compuestos orgánicos con propiedades mineralizadoras y solubilizadoras, y liberar así el P para la planta. Al respecto, Barrow *et al.* (1977) y Pairunan *et al.* (1980) reportaron que el incremento en utilización de P, a partir de RF, fue el mismo que con un fertilizante soluble.

En los tres portainjertos, la inoculación con HMA incrementó la producción de materia seca. Resultados similares reportó Daft (1991), quien mencionó que la inoculación con *Glomus mosseae* y la fertilización con 190 mg de RF kg⁻¹ suelo, incrementaron la producción de materia seca, aunque con el uso de mayores dosis, la eficiencia del HMA se vio afectada.

La colonización micorrízica no se afectó por las diferentes dosis de RF utilizadas (Figura 2). El

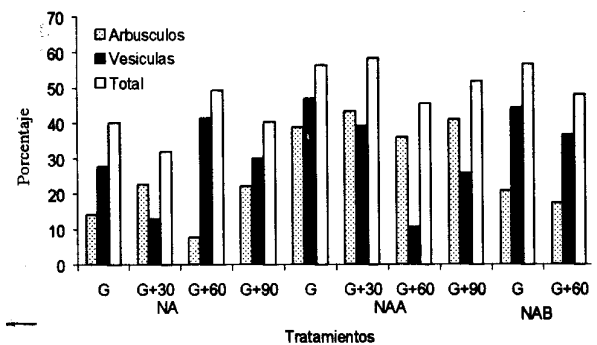


Figura 2. Efecto de la adición de roca fosfórica sobre el porcentaje de colonización endomicorrízica de portainjertos de cítricos. NA = naranjo agrio, NAA = naranjo agrio Australiano, NAB = naranjo agrio Brazilian.

porcentaje de arbusculos fue el que menos varió en todas las dosis de P aplicadas, excepto en naranjo agrio con 60 mg de P. Esta variación no afectó la funcionalidad de la simbiosis y la efectividad del HMA. Lambais y Cardoso (1988) mencionaron que la reducción del porcentaje de colonización, debido a la fertilización con P, es variable de acuerdo con la dosis utilizada, la planta hospedante y el aislado fúngico. Dichos autores establecieron que puede haber un balance iónico especial para combinaciones HMA-hospedante para tener máxima expresión de colonización en la raíz o de habilidad de promover el crecimiento. Daft (1991) y Antunes y Cardoso (1991) concluyeron que la adición de RF puede sustituir el uso de fertilizantes más costosos y su uso puede ser particularmente importante, si se sabe que altas dosis de fosfato soluble deprimen la formación de micorriza y la eficiencia de la simbiosis.

CONCLUSIONES

Las diferencias de respuesta en todas las variables evaluadas en los tres portainjertos muestran que la inoculación con HMA es un método eficiente para la producción de plantas, durante el proceso de propagación de cítricos. Los resultados también sugieren que puede incluirse el uso de RF que es de bajo costo, representando una alternativa ecológica atractiva para el uso intensivo en los viveros; sin embargo, debe considerarse el pH del suelo para obtener mejor respuesta de la simbiosis en la captación de P de la RF y mejoramiento del aprovechamiento del elemento por la planta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Roberto Núñez Escobar el proporcionar la roca fosfórica, la revisión y sugerencias al artículo, y al Dr. Rogelio Carrillo González y M.C. Alejandro Alarcón por sus aportaciones y comentarios para mejorar el escrito.

LITERATURA CITADA

- Alcantar G., G. 1992. Análisis vegetal. pp. 108-125. In: G. Alcántar G., J.D. Etchevers B. y A. Aguilar S. (eds.). Los análisis físicos y químicos, su aplicación en agronomía. Centro de Edafología-Colegio de Postgraduados, México.
- Antunes, V. y E.J.B.N. Cardoso. 1991. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. *Plant Soil* 131: 11-19.
- Barea, J. M. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers soil fertility. pp. 1-39. In: B.A. Stewart (ed.). *Advances in Soil Sci.* Vol. 15. Springer-Verlag, London.
- Barrow, N.J., N. Malajczuk y T. C. Shaw. 1977. A direct test of the ability of vesicular arbuscular mycorrhiza to help plants take up fixed soil phosphate. *New Phytol.* 78: 269-276.
- Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134: 189-207.
- Botello G., J.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1993. Respuesta de *Citrus aurantium* a la inoculación de hongos endomicorrízicos utilizando diferentes niveles de inóculo. *Terra* 11: 178-184.
- Cardoso, E.J.B.N. 1985. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and rock phosphate on the soybean-*Rhizobium* symbiosis. *R. Bras. Ci. Solo* 9: 125-130.
- Chulan, A.H., G.T. Shaki y A.A. Christine. 1990. Interaction of mycorrhizal fungi with root pathogens of cocoa. pp. 78-79. In: B.L. Jalali (ed.). *Current trends in mycorrhizal research.* Proc. of the National Conference on Mycorrhiza. Agricultural University, Hisar, India.
- Cooper, K.M. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. pp. 155-186. In: C.L. Powell y D.J. Bagyaraj (eds.). *VA mycorrhizal.* CRC Press. Boca Ratón, Florida.
- Daft, M.J. 1991. Influences of genotypes, rock phosphate and plant densities on mycorrhizal development and the growth responses of five different crops. *Agric. Ecosystems Environ.* 35: 151-169.
- Ferrera-Cerrato, R. y MC. González-Chávez. 1997. La biotecnología micorrízica en la producción agrícola, frutícola y hortícola. pp. 325-343. In: *Perspectivas de la Microbiología en México.* Instituto Politécnico Nacional, México.
- Ferrera-Cerrato, R. y MC. González-Chávez. 1998. La simbiosis micorrízica en el manejo del vivero de los cítricos. pp. 7-63. In: R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez Moreno (eds.). *Manejo de agroecosistemas sostenibles.* Textos Universitarios. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- González-Chávez, MC., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados, México.
- Graham, J.H. y L.W. Timmer. 1984. Vesicular arbuscular mycorrhizal development and growth response of rough lemon in soil and soilless media. Effect of phosphorus source. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109: 118-121.
- Guzmán-Plazola, R., R. Ferrera-Cerrato y J.D. Etchevers. 1988. *Leucaena leucocephala*, a plant of high mycorrhizal dependence in acid soils. *Leucaena Res. Rep.* 9: 69-73.
- Jayachandran, K., A.P. Scwab y B.A.D. Hetrick. 1989. Acacias respond to additions of phosphorus and to inoculation with VA mycorrhizal fungi in soils stockpiled during mineral sand mining. *Plant Soil* 115: 99-108.
- Kiernan, J.M., J.W. Hendrix, L.P. Stoltz y C.M. Maronek. 1983. Characterization of strawberry plants produced by tissue culture and infected with specific mycorrhizal fungi. *HortSci.* 19: 883-885.
- Lambais, M.R. y E.J.B.N. Cardoso. 1988. Spore germination and root colonization of *Stilosanthes guianensis* by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in an acid and dystrophic soil. *R. Bras. Ci. Solo* 12: 249-255.

- Li, S., E. George y H. Marschner. 1991. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytol.* 119: 397-404.
- Menge, J.A., C.K. Labanauskas, E.L. V. Johnson y R.G. Platt. 1978. Partial substitution of mycorrhizal fungi for phosphorus fertilization in the greenhouse culture of citrus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 926-930.
- Núñez, E.R. y R.F. Gavi. 1994. Comportamiento agronómico de roca fosfórica en Baja California en un andosol, un planosol y un aridisol de México. *Terra* 12: 17-22.
- Pairunan, A.K., A.D. Robson y L.K. Abbott. 1980. The effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizas in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus sources of different solubilities. *New Phytol.* 84: 327-338.
- Phillips, J.A. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Shanmuyam, N., R. Chandra Babu y C. Thalamuthy. 1981. Studies on the response of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swing) to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Curr. Sci.* 50: 772-773.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhiza in agrosystems. Technical Coop. Germany, GTZ Schborn.
- Smith, S.E., B.J. St. John, F.A. Smith y J.D. Nicholas. 1985. Activity of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in *Trifolium subterraneum* L. and *Allium cepa* L.: Effects of mycorrhizal infection and phosphate nutrition. *New Phytol.* 99: 211-227.
- Timmer, L.W. y R.F. Leyden. 1980. The relationship of mycorrhizal infection to phosphorus-induced copper deficiency in sour seedlings. *New Phytol.* 85: 15-23.
- Torres, A.M., R. Ferrera-Cerrato, J.L. Tirado, M.C. González-Chávez y J.A. Santizo. 1992. Respuesta de la simbiosis naranjo agrario-hongo endomicorrízico al suministro de fósforo. pp. 225. *In:* J.L. Tovar S. y R. Quintero L. (eds.). 1992. La investigación edafológica en México 1991-1992. XXV Congr. Nac. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro.
- Vinayak, K. y D.J. Bagyaraj. 1990. Vesicular arbuscular mycorrhizal screened for troyer citange. *Biol. Fertil. Soils* 9: 311-314.