



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Alarcón, Alejandro; Ferrera-Cerrato, Ronald
Aplicación de fósforo e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y estado
nutricional de Citrus volkameriana Tan & Pasq
Terra Latinoamericana, vol. 21, núm. 1, enero-marzo, 2003, pp. 91-99
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321111>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

APLICACIÓN DE FÓSFORO E INOCULACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRICIONAL DE

Citrus volkameriana Tan & Pasq

Phosphorus Application and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation on Growth and Nutritional Status of *Citrus volkameriana* Tan & Pasq

Alejandro Alarcón¹ y Ronald Ferrera-Cerrato¹

RESUMEN

En la actualidad, se ha dado especial interés al uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la agricultura de México. Sin embargo, es importante considerar algunos aspectos que pueden influir en el efecto benéfico de estos micosimbiontes, como lo es la fertilización fosfatada aplicada a frutales. Se evaluó el efecto de la aplicación de fósforo sobre el crecimiento y la nutrición de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, inoculado con el consorcio *Glomus* Zac-19. Plántulas de 25 días de edad, obtenidas a partir de semillas, se inocularon, o no, con el consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19 (*Gl. claroides* Schenck & Smith, *Gl. diaphanum* Morton & Walker y *Gl. albidum* Walker & Rhodes) y se fertilizaron con 0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg P kg⁻¹ de suelo, utilizando KH₂PO₄ como fuente fertilizante. Se planteó un experimento factorial (2 x 6) con 12 tratamientos y ocho repeticiones, en un diseño completamente al azar. La inoculación con el consorcio *Glomus* Zac-19 incrementó de manera significativa la altura, el diámetro y la tasa de crecimiento acumulado del tallo, así como la materia seca total, en comparación con la aplicación de las dosis de P y su combinación con el consorcio. La aplicación de P, en plantas inoculadas, incrementó la concentración de N y P en raíces, así como la concentración de K en hojas y raíces. Se destaca el efecto de la micorriza arbuscular en la absorción de K por la planta. La combinación micorriza*dosis de P favoreció la concentración de N y P en raíces. La aplicación de P no disminuyó significativamente la colonización micorrízica.

Palabras clave: *Glomus*, micorriza arbuscular, micotrofia, nutrición, manejo en vivero, cítricos.

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México. México. (alexala@colpos.colpos.mx, ronaldfc@colpos.colpos.mx)

Recibido: Septiembre de 2001. Aceptado: Agosto de 2002. Publicado en Terra 21: 91-99.

SUMMARY

Application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in agricultural systems, such as fruit nurseries, is of special interest in many regions. In order to use these fungi, it is important to consider management practices, such as phosphate fertilizers applied to fruit crops, which may influence the effectiveness of fungi. This research evaluated the effect of phosphate fertilization on the symbiosis between *Citrus volkameriana* Tan & Pasq and *Glomus* Zac-19, regarding growth and plant nutrition (NPK). Seedlings (25 days old) were inoculated with the mycorrhizal consortium *Glomus* Zac-19 (*Gl. claroides* Schenck & Smith, *Gl. diaphanum* Morton & Walker y *Gl. albidum* Walker & Rhodes) and fertilized with 0, 20, 40, 60, 80, and 100 mg P kg⁻¹ soil; KH₂PO₄ was used as fertilizer source. A factorial experiment (2 x 6) was established with 12 treatments and eight replicates in a randomized design. Mycorrhizal inoculation significantly increased plant height, stem diameter, accumulated stem growth rate, and total dry matter relative to fertilized plants. In mycorrhizal plants, N and P root concentration and K shoot and root concentrations were significantly increased by P-application. Arbuscular mycorrhizal inoculation had a relevant role in K uptake by the plant. The combination of mycorrhizal fungi and P showed significant effects on N and P root concentration. P-application did not negatively affect mycorrhizal colonization.

Index words: *Glomus*, arbuscular mycorrhiza, mycotrophy, plant nutrition, nursery management, citrus.

INTRODUCCIÓN

La efectividad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), entendida como la capacidad de estimular mayor crecimiento en la planta (Sylvia, 1999), al inocularlos en frutales obtenidos por

diferentes sistemas de propagación, se ha demostrado en diversos estudios (Lovato *et al.*, 1996; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). En el caso de cítricos, la inoculación de estos endófitos produce efectos significativos en el crecimiento de diversos portainjertos, así como en algunos aspectos fisiológicos, como la fotosíntesis y distribución de carbohidratos (Alarcón *et al.*, 1998; Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1998).

Ante la inminente llegada del vector del virus de la tristeza de los cítricos (VTC) a México, se ha iniciado la investigación con portainjertos tolerantes a esta enfermedad. Se sabe que material infectado con el virus se encuentra en algunas regiones de los estados de Veracruz y Tamaulipas, lo que originó que se implementara un plan de emergencia contra esta enfermedad desde 1993 (SARH, 1993). Esta problemática ha llevado a investigar los portainjertos alternativos al naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), entre los que destacan algunos citrangeres [(Troyer y Carrizo) Hernández-Meza *et al.*, 1998], así como el limón volkameriano (Alarcón *et al.*, 1998) y, con ellos, a diversificar el uso de portainjertos en plantaciones comerciales de cítricos. No obstante, en muchos de estos portainjertos alternativos se desconoce el micotrofismo hacia los HMA y su comportamiento de crecimiento por la aplicación de fertilizantes.

A pesar de la importancia de los HMA, su inoculación aún no se generaliza en México, por lo que se requiere de investigar los efectos de estos endófitos en diversos portainjertos, así como conocer el impacto de la fertilización en la efectividad de los HMA. Como antecedente, Sieverding (1991), Alarcón *et al.* (1993) y Smith y Read (1997) mencionaron que la aplicación de fósforo reduce la colonización micorrízica y el beneficio de los HMA en algunas plantas de consistencia herbácea. Sin embargo, con respecto a cítricos, como *C. volkameriana* y otros tolerantes al VTC, poco se sabe de este efecto negativo de la fertilización. Es posible inferir que la inoculación con HMA favorece el crecimiento de portainjertos tolerantes al VTC. Por otra parte, la combinación de los HMA con fertilizantes fosfatados puede repercutir también en el desarrollo de los portainjertos alternativos al naranjo agrio. Sin embargo, se requiere de investigaciones que permitan definir el efecto de los HMA y de la aplicación de fertilizantes fosfatados no sólo en el crecimiento, sino también en el estado nutricional de los portainjertos tolerantes al VTC.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de fósforo sobre el crecimiento y la nutrición del portainjerto *Citrus volkameriana* Tan & Pasq inoculado con el consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero del Área de Microbiología del Suelo, Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México.

Las semillas del portainjerto *Citrus volkameriana* Tan & Pasq (proporcionadas por el Dr. Ángel Villegas Monter, Especialidad de Fruticultura, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados) se desinfectaron con solución de captan y benomil a 1%. La aplicación de los fungicidas a la semilla se hizo para evitar la presencia de otros organismos fitopatógenos y, con ello, asegurar la sanidad de las plántulas, previo a la inoculación del consorcio micorrízico. La germinación de las semillas se llevó a cabo en cámara de incubación a 28 °C, utilizando arena de río esterilizada con calor húmedo, aplicando una presión de vapor de 1.26 kg cm⁻³, durante tres horas. Después de 25 días de la emergencia, las plántulas se transplantaron a bolsas de polietileno negro que contenían 7 kg de sustrato, el cual consistió de una mezcla de suelo agrícola de la región de San Mateo Atenco, estado de México (seleccionado por presentar bajo contenido en fósforo), y arena de río, en proporción 2:1 v/v. La mezcla se esterilizó con calor húmedo (1.26 kg cm⁻³ de presión de vapor, 3 h). Las características del sustrato fueron las siguientes: materia orgánica, 0.40%; N-total, 0.17%; P-Olsen, 6.26 µg g⁻¹ de sustrato; K-disponible, 1.8 meq 100 g⁻¹ de sustrato; conductividad eléctrica, 0.2 dS m⁻¹; pH 7.5 y textura franco-arenosa (60.9% de arena, 16.4% de arcilla y 22.7% de limo).

El consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19, integrado por *Gl. claroides* Schenck & Smith, *Gl. diaphanum* Morton & Walker y *Gl. albidum* Walker & Rhodes (Chamizo *et al.*, 1998) se inoculó en cada plántula, en los tratamientos correspondientes. La inoculación se realizó en el momento del trasplante, aplicando 10 g de suelo inóculo que incluía 250 esporas, hifas y fragmentos de raíces de sorgo colonizadas en 65.6%. El fósforo se aplicó una

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

semana después del trasplante y de la inoculación. La cantidad estimada de fertilizante fosfatado a aplicar a cada planta, utilizando como fuente K_2HPO_4 , se diluyó en 100 mL de agua, misma que se aplicó alrededor del tallo.

Se tuvieron 12 tratamientos, con ocho repeticiones, consistentes de plantas inoculadas y no inoculadas, con aplicación de fósforo en seis dosis (0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg kg^{-1} de suelo). Los tratamientos tuvieron un arreglo factorial 2 x 6 en un diseño completamente al azar. Las variables consideradas, a 210 días después del trasplante, fueron: altura de planta, diámetro y tasa de crecimiento acumulado del tallo (Hurtado y Sieverding, 1986), área foliar (Areometer LI-COR modelo LI-3100), materia seca total, relación raíz:parte aérea, área foliar específica (área foliar/materia seca de hojas) y colonización micorrízica en raíces (Phillips y Hayman, 1970; Biermann y Linderman, 1981). Se realizó la determinación de nitrógeno, fósforo y potasio, tanto en hojas y raíces, mediante los métodos descritos por Etchevers (1989). Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (SAS Institute, 1995) y se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Respuesta en Crecimiento de Plantas

La inoculación con *Glomus* Zac-19 indujo incrementos significativos en altura, diámetro de tallo y materia seca total de las plantas (Cuadro 1). En el caso de la altura y el diámetro del tallo, se estableció un sinergismo de la micorriza con las dosis de P aplicado, sobresaliendo las de 20 mg y 80 mg, respectivamente. Por otra parte, el contenido de materia seca total presentó diferencias no significativas, en el tratamiento donde se combinó el consorcio con 80 mg de P. En las tres variables mencionadas, la interacción micorriza*fósforo no fue significativa por lo que el principal efecto se atribuyó a la presencia de la micorriza, como factor principal (Cuadro 1). No obstante, la aplicación de P en plantas inoculadas produjo mayores respuestas que la sola inoculación del consorcio micorrízico (Cuadro 1).

No se demostró un efecto significativo en la relación raíz:parte aérea y área foliar específica, entre tratamientos (Cuadro 1). En plantas no inoculadas, la mayor proporción de crecimiento hacia la raíz se observó con la aplicación de 40, 60 y 80 mg de P; mientras que en plantas inoculadas, el mayor valor

Cuadro 1. Efecto de la inoculación con *Glomus* Zac-19 y la aplicación de fósforo en el crecimiento y desarrollo de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, a 210 días después del trasplante.

Inoculación	Fósforo aplicado mg kg^{-1}	Altura cm	Diámetro de tallo cm	Materia seca total g	Relación raíz:parte aérea g g^{-1}	Área foliar específica cm ² g^{-1}
Sin micorriza	0	17.5 c [†]	0.23 d	2.27 b	0.36 a	101.8 a
	20	18.3 c	0.23 d	1.38 b	0.33 a	141.5 a
	40	19.7 c	0.25 d	1.83 b	0.72 a	178.2 a
	60	41.8 abc	0.30 cd	2.68 b	0.69 a	215.4 a
	80	20.7 c	0.27 d	1.98 b	0.69 a	151.0 a
	100	27.5 bc	0.34 bcd	3.60 b	0.40 a	197.5 a
Con micorriza	0	44.8 abc	0.45 abc	11.53 a	0.45 a	145.8 a
	20	63.7 a	0.52 a	12.93 a	0.49 a	140.8 a
	40	60.4 ab	0.52 a	12.67 a	0.49 a	386.9 a
	60	60.5 ab	0.49 ab	13.05 a	0.53 a	251.3 a
	80	60.7 ab	0.53 a	14.71 a	0.42 a	142.6 a
	100	58.4 ab	0.52 a	13.58 a	0.44 a	161.9 a
DMS		33.8	0.16	3.58	0.90	346.4
Significancia:						
Micorriza		0.01	0.01	0.01	NS	NS
Fósforo		NS	NS	NS	NS	NS
Micorriza*Fósforo		NS	NS	NS	NS	NS

[†] Medias con letras idénticas en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). NS = no significativo. n = 8.

se obtuvo con la combinación de 60 mg de P (Cuadro 1). La presencia de la simbiosis micorrízica favoreció la distribución homogénea del crecimiento de las plantas de cítricos, tanto hacia la parte aérea, como hacia la raíz. Es decir, de cada gramo de materia seca producido por una planta inoculada, 500 mg se distribuyen tanto a la parte aérea, como al sistema radical; mientras que en plantas no inoculadas, el crecimiento se da en mayor proporción hacia la parte aérea, en especial cuando se tiene limitación por fósforo. Aguilera-Gómez *et al.* (1999) establecieron que los HMA contribuyen en la disminución de la relación raíz:parte aérea de *Capsicum annuum* en comparación con plantas sin HMA y sin aplicación de P, cuyo valor fue mayor, situación contraria a lo obtenido en el presente experimento. Azcón-Bieto y Talón (2000) reportaron que la respuesta de la relación raíz:parte aérea es modificada por factores de estrés, ya que éstos limitan la división celular y expansión de las hojas. En este caso, el factor limitativo del crecimiento de las plantas no inoculadas es la ausencia de la simbiosis micorrízica. De este modo, las plantas sin HMA y sin aplicación de P tuvieron menor crecimiento (Cuadro 1,) debido a que estaban en una condición de limitación nutricional, en particular por P.

Con respecto a la producción de área foliar específica, a pesar de no encontrarse un efecto significativo entre tratamientos, las plantas inoculadas con aplicación de 40 mg de P presentaron mayor superficie foliar por gramo de hoja en comparación con los tratamientos restantes (Cuadro 1). Aguilera-Gómez *et al.* (1999) mencionaron que el aumento del área foliar específica tiene correlación con la producción de materia seca por efecto de la fotosíntesis, la cual es mejorada por los HMA en cítricos (Alarcón *et al.*, 1998).

La tasa de crecimiento acumulado del tallo fue significativamente mayor en plantas inoculadas más la aplicación de P, en comparación con las plantas no inoculadas aún con la aplicación de este nutriente (Figura 1). En sí, la fertilización con las dosis 20, 40, 60 y 80 mg de P en plantas inoculadas, produjo mayor respuesta que la sola inoculación del consorcio micorrízico (Figura 1).

Los HMA propiciaron mayor crecimiento y desarrollo de *C. volkameriana* Tan & Pasq, cuya dependencia hacia estos endófitos es mayor que otros frutales (González-Chávez *et al.*, 1998), por lo que es recomendable inocularlos en portainjertos de cítricos, aun cuando se obtengan por diferentes sistemas de

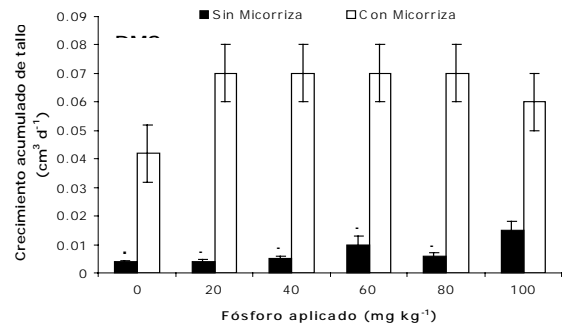


Figura 1. Tasa de crecimiento acumulado del tallo de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, con inoculación de *Glomus Zac-19* y aplicación de seis dosis de fósforo, a 210 días después del transplante. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). I = Error estándar. n = 8.

propagación (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993; Hernández-Meza *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

La fertilización con fósforo en plantas no inoculadas, al compararlas con la sola inoculación de los HMA, no produjo efectos significativos en el crecimiento, incluso con 100 mg de P (Cuadro 1). Al hacer una comparación entre las plantas inoculadas, la aplicación de 20 mg de P produjo ligeros incrementos en altura (42.1%) y en el diámetro de tallo (15.5%). En el caso de la combinación de los HMA con 80 mg de P, la materia seca tuvo un incremento de 27.5%, con respecto a las plantas inoculadas y sin aplicación de P. No obstante el ligero efecto sinérgico observado, es posible combinar el uso de este tipo de fertilizantes en plantas inoculadas y, con ello, hacer más eficiente el uso de los fertilizantes, lo que repercute directamente en el vigor y crecimiento de las plantas. Además, al aplicar menor cantidad de fertilizante, o incluso no aplicarlo, en plantas inoculadas, es posible reducir los costos de producción de las plantas en el vivero. Estos resultados denotan el carácter micotrófico del portainjerto cuya dependencia de los HMA es tal que, a pesar de encontrarse en disponibilidad de P, no son capaces de incrementar su crecimiento. En este caso, la tasa de crecimiento acumulado del tallo tuvo mayor respuesta por la inoculación del consorcio micorrízico, mientras que en plantas sin HMA, el mayor valor se observó con 100 mg de P (Figura 1). La aplicación de P en plantas inoculadas, en cualquiera de sus dosis, es posible evitarla ya que no mostró efectos significativos con la sola inoculación del consorcio (0 mg de P kg⁻¹ de suelo). De este modo, puede establecerse que en las condiciones de fertilidad del sustrato utilizado, la sola

inoculación del consorcio micorrízico produce efectos significativos en comparación con la aplicación del P en plantas no inoculadas, por lo que la fertilización resultaría en un gasto innecesario.

Concentración de N, P y K en Plantas

La concentración de N, P y K, tanto en hojas, como en raíces, fue significativamente menor en plantas fertilizadas sin micorriza, en comparación con las plantas con micorriza y en su combinación con el fósforo aplicado (Cuadro 2). La fertilización fosfatada, en plantas con micorriza, produjo incrementos significativos en la concentración de N y P en raíz (Cuadro 2). Con la aplicación de 60 mg de P, se obtuvieron diferencias significativas en la concentración de N en tejido de raíces y de K en hojas y con la aplicación de 100 mg de P, la concentración de P en el tejido radical fue mayor (Cuadro 2). Autores como Alarcón *et al.* (2000) establecieron que la micorriza arbuscular tiene especial impacto en la capacidad de absorción y aprovechamiento de N y P en las plantas. En el caso del P, los HMA tienen mayor impacto en la captación y aprovechamiento de este nutriente (Smith *et al.*, 1994). En tanto que para el N, los HMA pueden tener una acción relevante en

el metabolismo de N en plantas inoculadas, sin embargo, los mecanismos de este proceso aún no están bien definidos (Bago *et al.*, 2001).

Pocos estudios se han enfocado a la evaluación de la capacidad de translocación de K por los HMA. Brown *et al.* (1981) reportaron que plantas inoculadas, en presencia de fertilizantes nitrogenados, presentaron mayor contenido de este elemento cuando se aplicó KNO₃. En este caso, es relevante el papel que tiene la simbiosis micorrízica arbuscular en la acumulación del potasio, ya que comparada con los datos obtenidos en plantas no inoculadas, la concentración de K fue altamente contrastante. La concentración de K en hojas de plantas inoculadas (0 mg de P kg⁻¹ de suelo) tuvo un incremento de 379% en comparación con las plantas no inoculadas y sin aplicación de P. Puede establecerse que los HMA mejoraron el estado nutricional de *C. volkameriana*. Con base en el micotrofismo obligado de este portainjerto (Alarcón *et al.*, 1998), los HMA mejoraron el aprovechamiento del P aplicado, así como de los nutrientes contenidos en el sustrato, aun cuando éste presentó limitada disponibilidad nutrimental, excepto para potasio (Vázquez y Bautista, 1993). No obstante la limitada fertilidad del sustrato, no se presentaron síntomas de deficiencia nutrimental en plantas no

Cuadro 2. Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio ($\mu\text{g g}^{-1}$ de tejido seco) en hojas y raíces de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq, inoculadas con *Glomus Zac-19* y con aplicación de fósforo, a 210 días después del transplante.

Inoculación	Fósforo aplicado mg kg ⁻¹	Nitrógeno		Fósforo		Potasio	
		Hojas	Raíces	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces
		----- $\mu\text{g g}^{-1}$ -----					
Sin Micorriza	0	42.61 b [†]	6.76 d	0.58 b	0.30 c	15.51 c	4.95 b
	20	26.66 b	7.23 d	0.49 b	0.35 c	9.30 c	7.00 b
	40	23.60 b	5.33 d	0.33 b	0.37 c	16.55 c	7.25 b
	60	25.60 b	8.34 d	0.52 b	0.51 c	11.00 c	7.44 b
	80	32.44 b	9.72 d	0.56 b	0.46 c	13.39 c	9.15 b
	100	35.18 b	14.17 cd	0.96 b	0.70 c	18.27 c	8.71 b
Con Micorriza	0	103.74 a	38.13 bc	7.22 a	4.51 b	58.90 ab	50.61 a
	20	123.61 a	42.16 b	9.87 a	6.25 ab	50.76 b	70.42 a
	40	104.32 a	48.10 ab	10.71 a	7.23 ab	58.30 ab	53.89 a
	60	135.04 a	73.29 a	7.91 a	8.14 a	81.36 a	73.87 a
	80	132.84 a	48.24 ab	9.72 a	6.25 ab	74.50 ab	62.09 a
	100	121.83 a	72.03 a	8.37 a	8.82 a	73.00 ab	67.62 a
DMS		56.86	25.94	4.28	3.60	30.26	29.24
Significancia:							
Micorriza		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fósforo		NS	0.01	NS	0.01	0.01	0.05
Micorriza* Fósforo		NS	0.01	NS	0.05	NS	NS

[†] Medias con letras idénticas en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$). NS = no significativo. n = 8.

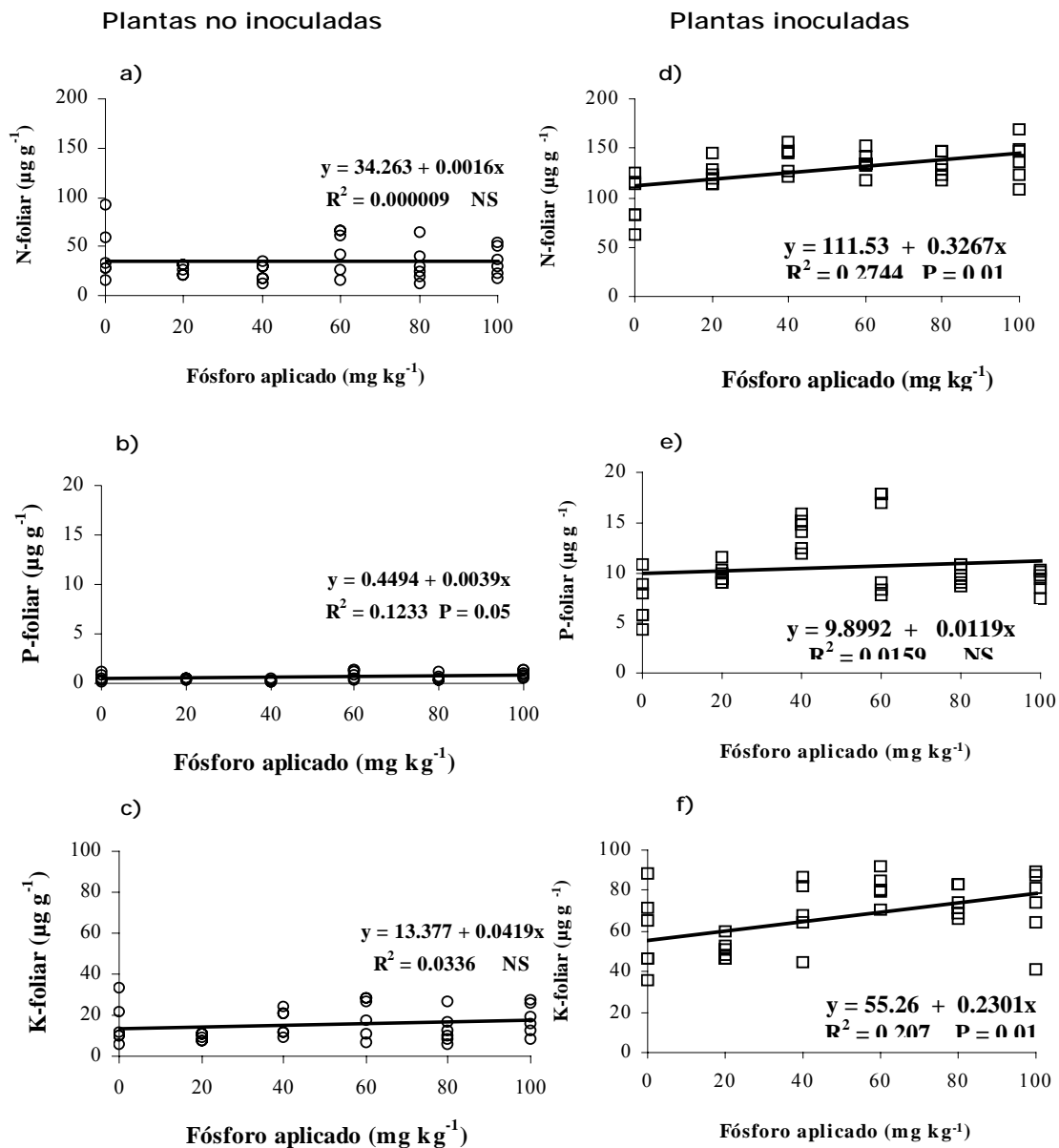


Figura 2. Relaciones entre la absorción de N, P y K en hojas de plantas de *Citrus volkameriana* con la aplicación de P. Plantas sin micorriza (a, b y c) y plantas con micorriza (d, e y f), a 210 días después del transplante. NS = no significativo.

inoculadas; sin embargo, la condición micorrizada de las plantas favoreció el aprovechamiento de los nutrientes.

Las concentraciones foliares de N, P y K de plantas inoculadas fueron inferiores a las reportadas como satisfactorias para árboles de cítricos en producción (Sauls y Pennington, 1999). Aunque no pueden realizarse comparaciones, las concentraciones obtenidas pueden corresponder a valores óptimos en

plantas de 210 días, ya que no se tienen datos del contenido nutrimental de plantas de un año.

En la Figura 2, puede apreciarse la relación que se presentó en la capacidad de absorción de N, P y K con respecto a la aplicación de las dosis de P, tanto en plantas no inoculadas (Figura 2a, b y c) como en plantas inoculadas (Figura 2d, e y f). Con base en la ecuación de regresión lineal, la absorción de los macronutrientes tuvo limitada relación con la

aplicación de P, aún en presencia de los HMA. En plantas inoculadas, la concentración foliar de N presentó una relación (R^2) de 0.27, mientras que para P y K foliar fue de 0.01 y 0.20, respectivamente (Figura 2c, d y f). Estas relaciones fueron ligeramente mayores al compararlas con las relaciones de la concentración de N, P y K foliar de plantas no inoculadas (Figura 2a, b y c). En plantas no inoculadas, la aplicación de P no tuvo efecto significativo en la absorción de N y K, mientras que en el P absorbido, se obtuvo significancia a 0.05%. Esto denota que las plantas sin inoculación de HMA respondieron a la aplicación de P, como se observa en el Cuadro 1. En el caso de plantas inoculadas, la aplicación de P presentó significancia en el N y K. En el caso de la absorción de P, el efecto no fue significativo (Figura 2e). Por otra parte, la colonización de los HMA tuvo mayor relación (R^2) con la absorción de los tres nutrientes en tejido foliar (Figura 3). La relación (R^2) de la concentración foliar de N con la colonización micorrízica fue de 0.52 (Figura 3a), en tanto que la relación de la concentración de P y K en follaje con la colonización micorrízica fue de 0.52 y 0.42, respectivamente (Figura 3b y c). Estos valores denotan que la colonización del sistema radical por los HMA, es un factor que influye significativamente en la absorción y el mejoramiento del estado nutricional del portainjerto.

Por lo anterior, es posible aseverar que la condición micotrófica obligada de *C. volkammeriana* no permite que la adición de fertilizantes fosfatados aporte mayor beneficio en su crecimiento, a menos que se inoculen HMA. Sin embargo, se requiere mayor información sobre la aplicación de fertilizaciones balanceadas en combinación con HMA, con el fin de obtener mayor vigor, sanidad y calidad de portainjertos de cítricos.

Efecto de la Aplicación de Fósforo sobre la Colonización Micorrízica

No se observaron efectos significativos de la aplicación de P en la colonización micorrízica. El porcentaje de colonización total promedio de los tratamientos inoculados fue de 55.8%, mientras que para arbuscúlos fue de 47.9%. No obstante, la dosis de 100 mg de P en plantas inoculadas mostró una colonización total de 22.1% y arbuscúlos de 21.5%. Este efecto del P se traduce en una disminución del 60% para colonización total y 55.% para arbuscúlos

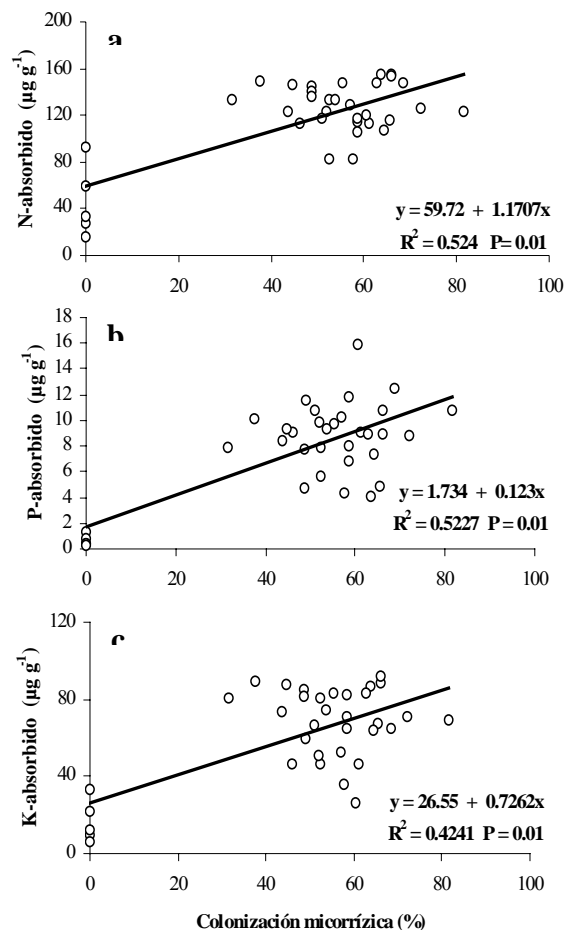


Figura 3. Relaciones entre la absorción de N, (a) P (b) y K (c) en hojas de plantas de *Citrus volkammeriana* con la colonización micorrízica, a 210 días después del trasplante.

(con respecto a la media de los tratamientos inoculados considerada como 100%). Esta reducción en la colonización total y en los arbuscúlos puede tener repercusión en el beneficio que aporta la simbiosis a las plantas, ya que se reducen de manera considerable las interfases de intercambio nutricional entre el hongo y las células corticales (Smith y Read, 1997; Bago *et al.*, 2000). Con esta reducción de la colonización micorrízica, se justifica la disminución de los efectos en el crecimiento y nutrición que tuvieron las plantas inoculadas en combinación con las dosis 80 y 100 mg de P (Cuadros 1 y 2). Sin embargo, con base en la ecuación de regresión lineal estimada para la colonización total ($y = 60.30 - 0.08x$, $R^2 = 0.072$; $P = 0.01$ para colonización total) y para arbuscúlos ($y = 34.16 + 0.16x$, $R^2 = 0.096$; $P = 0.01$), puede establecerse que la fertilización con P no afectó la colonización micorrízica. No se observaron

vesículas en todas las raíces de las plantas inoculadas. Además, tampoco se apreció colonización micorrízica en las plantas no inoculadas.

De acuerdo con los valores de colonización micorrízica encontrada y con los resultados obtenidos en el crecimiento y en la nutrición de las plantas, puede establecerse que el beneficio de la simbiosis se expresó aún en presencia de dosis elevadas de P. Se ha demostrado que los HMA son, por lo general, susceptibles a la aplicación de P (Smith *et al.*, 1994; Sylvia, 1999). En este caso, el consorcio *Glomus* Zac 19 puede catalogarse como tolerante a la aplicación de fertilizantes fosfatados, sin dejar de considerar la fertilidad basal del sustrato utilizado, cualidad que puede tomarse en cuenta en las prácticas de fertilización utilizadas por los viveristas.

CONCLUSIONES

- La aplicación de las dosis de fósforo tuvo efecto diferencial en el beneficio del consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19 sobre el crecimiento y la nutrición de *C. volkameriana*. La aplicación de fósforo, en plantas no inoculadas, no influyó en las variables de crecimiento de las plantas, en comparación con las respuestas obtenidas con la sola inoculación del consorcio micorrízico arbuscular.

- La concentración de N, P y K en hojas fue mayor en plantas inoculadas, en las que la aplicación de 60 mg de P kg⁻¹ produjo la mayor concentración de N y K foliar, así como mayor concentración de P en raíces. La simbiosis micorrízica favoreció la capacidad de absorción y aprovechamiento de K, tanto en hojas, como en raíces de este portainjerto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto CONACYT 31947-B. Expresamos nuestro agradecimiento a la Dra. Carmen González por sus observaciones y sugerencias para el mejoramiento del escrito. Al Dr. Jorge A. Santizo Rincón por sus comentarios y apoyo en la revisión del análisis estadístico del experimento. Al personal técnico de apoyo del Área de Microbiología cuya ayuda es invaluable en el desarrollo de las investigaciones.

LITERATURA CITADA

Aguilera-Gómez, L., F.T., Davies Jr., V. Olalde-Portugal, S.A. Duray y L. Phavaphutanon. 1999. Influence of

phosphorus and endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas exchange and plant growth of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis). *Photosynthetica* 36: 441-449.

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., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1993. Influencia de tres hongos micorrízicos vesículo-arbusculares en fresa (*Fragaria x annanassa* Duch.) cv. Fern y su interacción con fertilización fosfórica. pp. 62-76. *In*: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de investigación, Área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.

Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, J.J. Almaraz y A. Villegas-Monter. 1998. Efecto de la simbiosis en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. pp. 119-126. *In*: R. Zulueta R., M.A. Escalona A. y D. Trejo A. (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.

Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2000. Efecto de 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.

Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Mc Graw-Hill Interamericana. Edicions Universitat de Barcelona. Barcelona, España.

Bago, B., C. Azcón-Aguilar, Y. Shachar-Hill y P.E. Pfeffer. 2000. El micelio externo de las micorrizas arbusculares como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. pp. 71-86. *In*: A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prensa. México, D.F.

Bago, B., P. Pfeffer y Y. Schachar-Hill. 2001. Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytol.* 149: 4-8.

Biermann, B. y R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae. A proposed method towards standardization. *New Phytol.* 87: 423-432.

Brown, R.W., R.C. Schultz y P.P. Kormanik. 1981. Response of vesicular arbuscular endomycorrhizal sweetgum seedlings to three nitrogen fertilizers. *Forest Sci.* 27: 413-420.

Chamizo, A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Rev. Mex. Micol.* 14: 37-40.

Etchevers B., J.D. 1989. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.

Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1998. La simbiosis micorrízica en el manejo de vivero de los cítricos. pp. 37-63. *In*: R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno (eds.). Manejo de agroecosistemas sostenibles. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.

González-Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Manejo de la endomicorriza vesículo-arbuscular en cinco portainjertos de cítricos. pp. 77-90. *In*: J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Avances de Investigación. Área de Microbiología de Suelos. Programa de Edafología. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.

- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autónoma de Tlaxcala-Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Hernández-Meza, V., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 1998. Inoculación con hongos endomicorrízicos durante el establecimiento de portainjertos de cítricos micropropagados. pp. 231-240. *In*: R. Zulueta R., M.A. Escalona A. y D. Trejo A. (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
- Hurtado, T. y E. Sieverding. 1986. Estudio del efecto de hongos formadores de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en cinco especies latifoliadas regionales en la zona geográfica del Valle de Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 16: 109-115.
- Lovato, P.E., V. Gianinazzi-Pearson, A. Trouvelot y S. Gianinazzi. 1996. The state of art of mycorrhizas and micropropagation. *Adv. Hort. Sci.* 10: 46-52.
- 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.
- SAS Institute Inc. 1995. SAS/STAT User's guide, Version 6.03. SAS Institute. Cary, NC.
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1993. Norma oficial de emergencia 001-1993 por la que se establece con carácter de obligatorio el Plan de emergencia contra el virus de la tristeza de los cítricos. *Diario Oficial de la Federación*, 2 de junio 1993.
- Sauls, J.W. y D. Pennington. 1999. Texas citrus-nutrition and fertilization. Texas Agricultural Extension Service. [http://aggiehorticulture/citrus/ Texas A&M University](http://aggiehorticulture/citrus/Texas A&M University).
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *Schriftenreihe der GTZ* 224. Eschborn. Technical Cooperation-Federal Republic of Germany. Schborn, Germany.
- Smith, S.E. y D.J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd ed. Academic Press, Hortcourt Brace & Co. Publishers. London, UK.
- Smith, S.E., S. Dickson, C. Morris y F.A. Smith. 1994. Transfer of phosphate from fungus to plant in VA mycorrhizas: Calculation of the area of symbiotic interface and fluxes of P from two different fungi to *Allium porrum* L. *New Phytol.* 127: 93-99.
- Sylvia, D.M. 1999. Mycorrhizal symbioses. pp. 408-426. *In*: D.M. Sylvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel y D.A. Zuberer (eds.). *Principles and applications of soil microbiology*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Vázquez A., A. y N. Bautista A. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.