

INFLUENCIA DE *Glomus fasciculatum* EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE *Lilium* sp. cv ORANGE PIXIE*

INFLUENCE OF *Glomus fasciculatum* IN GROWTH AND DEVELOPMENT OF *Lilium* sp. cv ORANGE PIXIE

Martín Rubí Arriaga^{1§}, Víctor Olalde Portugal², Bernardo Gabriel Reyes Reyes³, Andrés González Huerta⁴ y Luis Isaac Aguilera Gómez⁵.

¹Programa de Postgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Campus Universitario El Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca, Estado de México, km 15.5 carretera Toluca-Ixtlahuaca, C. P. 50200. ²Laboratorio de Bioquímica Ecológica. Departamento de Biotecnología y Bioquímica. Cinvestav-IPN. Unidad Irapuato. km 9.6 Libramiento norte carretera Irapuato-León, C. P. 36500, Irapuato, Guanajuato. (v_olalde@yahoo.com.mx). ³Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales ICAR. Universidad Autónoma del Estado de México. km 14.5 carretera Toluca-Atlacomulco. San Cayetano de Morelos. Toluca Estado de México, C. P. 50200. (b_gabrielrr@yahoo.com.mx). ⁴Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro de Investigación de Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Campus Universitario el Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México, km 15.5 carretera Toluca-Ixtlahuaca, C. P. 50200. (agonzalezh@uaemex.com.mx). ⁵Facultad de Ciencias. Campus Universitario el Cerrillo, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca, Estado de México, km 15.5 carretera Toluca-Ixtlahuaca, C. P. 50200. (luishalc@mailcity.com). [§]Autor para correspondencia: m_rubi65@yahoo.com.mx.

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron determinar la susceptibilidad del *Lilium* sp. cv Orange Pixie a la colonización simbiótica por el hongo *Glomus fasciculatum* y el efecto de éste sobre la absorción de fósforo, desarrollo y calidad de la flor. La investigación se realizó de junio a septiembre de 2006 en el campus El Cerrillo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Se plantaron bulbos con y sin inoculación de hongos micorrízicos arbusculares con 0, 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ P en solución nutritiva Long Ashton modificada. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial 2x3, con 10 repeticiones, se efectuó prueba de comparación de medias y análisis multivariado. Los parámetros estudiados fueron: altura de planta, diámetro del tallo, días a apertura de botón floral, número de botones florales, longitud y diámetro del botón floral, vida útil de la flor, peso seco de raíz, tallo y flores, porcentaje de colonización y contenido de fósforo en el tallo. Los resultados mostraron que *Lilium* sp. cv Orange Pixie es susceptible a la colonización por *G. fasciculatum* y que a su vez incrementó el diámetro del tallo, la longitud y el diámetro del botón, el peso seco y la vida de la flor. Con

lainoculación de *G. fasciculatum* y 22 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P. se obtuvo la mayor calidad comercial de flor y se adelantó la floración. La inoculación podría reducir el uso de fertilizantes químicos en 50%.

Palabras clave: fósforo, micorrizas, ornamentales.

ABSTRACT

The aims of this study were to determine the susceptibility of *Lilium* sp. to be colonized by *Glomus fasciculatum* and the effect of the fungi in phosphorus absorption, plant development and flower quality. The study was carried out from June to September 2006 at El Cerrillo campus of the State of Mexico Autonomous University. Inoculated and noninoculated bulbs of *Lilium* sp. cv Orange Pixie were planted and irrigated with a modified Long Ashton nutrient solution with 0, 22 and 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ P. A completely randomized block design under a bifactorial 2x3 arrangement with 10 replicates was utilized. The studied parameters were: plant

* Recibido: Octubre, 2008
Aceptado: Abril, 2009

height, stem diameter, days to bud opening, number of flower buds, length and diameter of buds, flower lifespan, root, stem and flower dry weight, percent of colonization and phosphorus content in stem. Results showed that *Lilium* sp. cv. Orange Pixie is susceptible to *Glomus fasciculatum* colonization, which enhanced stem diameter, bud length and diameter, flower dry weight and flower lifespan. The best commercial flower quality was obtained with the inoculation with *G. fasciculatum* and $22 \mu\text{g ml}^{-1}$ P. Inoculation contributed to an early bud opening and would reduce the use of chemical fertilizers up to 50% with the consequent benefits to *Lilium* producers.

Key words: mycorrhizal fungi, ornamentals, phosphorus.

INTRODUCCIÓN

En México, la horticultura ornamental se ha convertido en uno de los detonadores económicos más significativos del sector agrícola. El Estado de México es la entidad federativa de mayor importancia en la producción de flor de corte con 40% del total de la superficie sembrada a nivel nacional, principalmente con crisantemo (*Chrysanthemum indicum*), gladiola (*Gladiolus* sp.), clavel (*Dianthus caryophyllus*), rosa (*Rosa gigantea* y *R. chinensis*), gerbera (*Gerbera jamesonii*) y lily (*Lilium* spp).

El *Lilium* o lily, proviene de regiones frías, presenta amplia diversidad de cultivares con buena aceptación en el mercado nacional e internacional, por lo que su cultivo es altamente rentable. La superficie cultivada con esta especie ha sido una de las que más se ha incrementado en las últimas décadas a nivel nacional y mundial. En 2007 en el corredor horto-florícola del Estado de México se ubicó entre los cinco cultivos de mayor demanda (Beltrán, 2008), por lo que su producción se efectúa en forma intensiva.

Bajo el esquema de producción intensiva, la floricultura requiere cambios en los componentes físicos, químicos y biológicos del sustrato y en la aplicación de insumos inorgánicos, (Amaya *et al.*, 2005), los que a largo plazo reducen el rendimiento e incrementan el costo de producción (Gaur y Adholeya, 2000; Jeffries *et al.*, 2003). Las alternativas de fertilización que sean económicas, eficientes y con enfoque biológico, pueden contribuir significativamente a la solución de estos problemas (Jeffries *et al.*, 2003).

Las plantas cultivadas y las ornamentales forman asociaciones con hongos micorrizicos, particularmente con los de tipo arbuscular, lo que origina simbiosis mutualistas relacionadas con la nutrición mineral de las plantas (Gaur y Adholeya, 2005) lo que los convierte en un recurso biológico con potencial para incrementar la productividad con menor uso de fertilizantes químicos (Amaya *et al.*, 2003). El estudio de la interacción entre las micorrizas y la fertilización con fósforo o el efecto individual de ambos puede estudiarse por medio de la técnica multivariada descrita por González *et al.* (2007).

La inoculación con micorrizas mejora la absorción de nutrientes, favorece el crecimiento, la ramificación, la época de floración, el número y la calidad de las flores de diferentes especies ornamentales (Sohn *et al.*, 2003; Gaur y Adholeya, 2005). Vanderploeg *et al.* (1974), Ames y Linderman (1978) y Anushri *et al.* (2002) observaron que plantas de *Lilium* sp. cultivadas en invernadero se beneficiaron con la asociación con micorrizas arbusculares.

En México, se conoce poco sobre la inoculación de *Lilium* con hongos micorrizicos arbusculares. Esta especie ornamental posee un bulbo con brácteas escamosas que sirven de almacén de nutrientes y doble sistema radical en el que la raíz primaria es de tipo adventicio caulinar, emerge de un disco basal y es la responsable de absorber nutrientes durante las primeras tres semanas después de la plantación; del disco emerge una yema con escamas que al brotar forma el tallo, el que al emerger del suelo desarrolla en la parte inferior el sistema radical adventicio secundario, que substituyen en 90% las funciones de la raíz primaria a partir de la cuarta semana de plantación (Bañón *et al.*, 1993).

El desarrollo continuo de nuevos híbridos y la práctica de producción en ciclos de cultivo fuera de su época natural causan que los nutrientes almacenados en el bulbo y el aporte de las raíces primaria y secundaria sean insuficientes para obtener flor con la calidad que demanda la norma comercial, lo que se hace necesaria la fertilización química adicional que incrementa el costo de producción (Betancourt *et al.*, 2005).

La asociación micorrizica ofrece posibilidades de gran interés para reducir el costo de producción; sin embargo, las particularidades de este cultivo dificultan su estudio. Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la susceptibilidad de *Lilium* sp. cv Orange Pixie a la colonización por *Glomus fasciculatum*, la eficiencia de

este microsimbionte en la absorción de de fósforo por la planta y su efecto en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de flor.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló de junio a septiembre de 2006 en el Campus Universitario “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), localizado a 19° 26' 00" latitud norte y 99° 43' 00" longitud oeste, a 2656 msnm bajo condiciones de invernadero con temperatura ambiente promedio de 32/10 °C día/noche.

Los bulbos vernalizados calibre 14/16 de *Lilium* sp. cv Orange pixie del grupo asiático, importados de Holanda se plantaron en contenedores de plástico con capacidad de 1 kg, los cuales fueron previamente lavados y desinfectados con una solución de Cloramina T al 2% durante 5 min. Como sustrato se utilizó una mezcla 1:1 de suelo y arena de río con pH de 6.8, 2.8% de contenido de materia orgánica y 18.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ de P, esterilizado a una presión de 120 kg cm^{-2} durante una hora en tres días consecutivos.

La inoculación se realizó al momento de plantación, a cada bulbo se le retiró la raíz primaria para evitar la presencia de micorrizas nativas. Se utilizaron más de 1000 esporas y fragmentos de raíz (100 g de inóculo) de *Glomus fasciculatum* por contenedor. En cada contenedor se colocaron 250 g de sustrato, se aplicaron 50 g de inóculo y el bulbo se ubicó a una profundidad de 10 cm de la superficie, éste se cubrió con 500 g de sustrato, el resto del inóculo se depositó en el sitio donde surge el sistema radical secundario y finalmente se adicionaron 250 g del sustrato restante.

El riego se aplicó desde la plantación, con 100 ml de agua destilada aplicados cada tercer día, hasta la emisión de raíces secundarias, ocurrida a los 15 días de la plantación, momento en que se inició la fertilización con la solución nutritiva Long Ashton (LANS) (Hewitt, 1966).

Los seis tratamientos se evaluaron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo bifactorial (3x2); en el factor A se incluyeron plantas inoculadas y no inoculadas con micorrizas, mientras que en el factor B se incluyeron tres niveles de fósforo en la solución LANS (0, 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P). Se consideraron 10 repeticiones por tratamiento en las que cada contenedor con una planta fue una repetición y una unidad experimental (UE). El número de UE por

tratamiento fue diferente; para altura de planta, diámetro del tallo, número de botones y días a brotación fue de 60, para longitud y diámetro de botón, días a apertura de botón y vida de la flor fue de 54, para peso seco de raíz, tallo y flor fue de 30 y para porcentaje de colonización, micelio extraradical y contenido de P fue de 24.

Las variables evaluadas fueron altura de planta (de la base del tallo hasta el ápice, registrada a los 50 días de la plantación), diámetro de tallo (en la base del tallo con un vernier digital mod. CD-6" C Mitutoyo, determinado a los 50 días de plantación), días a apertura de botones florales (de la plantación hasta la apertura de botón), número de botones florales (registrado en cada unidad experimental a los 40 días de la plantación), longitud y diámetro del botón, y vida de la flor (de la apertura del botón hasta marchitez de la flor, cuando los pétalos se debilitaron y cambiaron de color y el pedúnculo tomó consistencia flácida), peso seco de raíz, tallo y flores (a los 60 días de la plantación, la raíz, el tallo y las flores fueron separados y colocados en bolsas de papel, se secaron en un horno de circulación forzada a 75 °C por 72 hs y el peso seco se determinó con una balanza electrónica analítica Sartorius i 1800). El porcentaje de colonización de la raíz se determinó en una muestra de raíz colectada de cuatro unidades experimentales por tratamiento con el método descrito por Phillips y Hayman (1970) y el micelio extraradical se determinó con el método de Davies *et al.* (2005)]. El contenido de fósforo en tallos se determinó a partir de la digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácido perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999); los extractos obtenidos fueron procesados en un equipo de espectroscopía de emisión atómica (ICP-AES. Varion, Mod. Liberty II).

Para cada variable se realizó el análisis de varianza combinado y las medias de cada factor de estudio fueron comparadas con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5%. Los procedimientos para el análisis estadístico fueron descritos por Martínez (1988). Para el análisis de tratamiento por variable se utilizó la técnica del biplot, descrita por González *et al.* (2007). Esta metodología multivariada permite el estudio de la estructura de una matriz de datos compuesta de unidades taxonómicas (arregladas en hileras) y los valores de las variables que las describen (arregladas en columnas). Su propósito es reemplazar los análisis individuales en los que los dos primeros componentes principales representan tratamientos, variables o cuadros de coeficientes de correlación. La representación gráfica permite el estudio de ambos criterios de clasificación y de la interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de planta

Diámetro del tallo. Se observaron diferencias altamente significativas en este parámetro por efecto de la aplicación de micorrizas (Cuadro 1). El diámetro promedio de las plantas inoculadas fue de 1.29 cm en comparación con 0.95 cm en las no inoculadas (Cuadro 2). Estos resultados fueron similares a los reportados por Vanderploeg *et al.* (1974) y Ames y Linderman (1978), quienes señalaron que en plantas de *Lilium longiflorum* Thumb producidas en invernadero se favoreció el crecimiento por efecto de la asociación con hongos micorrízicos arbusculares. En otro trabajo orientado a mejorar

el desempeño de plantas obtenidas por micro propagación de esta especie, la inoculación también mostró efectos positivos (Anushri *et al.*, 2002). En *Anthurium andreaeanum* (Stancato y Parada, 2006) y en *Chrysanthemum morifolium* (Sohn *et al.*, 2003), se ha observado que la inoculación endomicorrizica puede modificar el desarrollo de la planta, debido a que los HMA excretan enzimas que solubilizan nutrientes del suelo que de otra manera no están disponibles para la absorción, entre ellos el P (Tawarayama *et al.*, 2006), lo que incrementa la eficiencia de la utilización de este elemento; además, la extensa red de hifas que conforman el micelio extraradical explora mayor volumen de suelo que los pelos radicales aumentando la proporción del sistema radical y la eficiencia de absorción de nutrientes (Ferrol *et al.*, 2002).

Cuadro 1. Media, coeficiente de variación, cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F del análisis de varianza del experimento bifactorial 2x3 evaluado en un diseño completamente al azar.

FV	DT	LB	DB	DAB	DDF	PSF	PST	PSR
Micorrizas (A)	1.80 **	11.35 **	2.2816 **	327.57 **	52.01 **	96.12 **	7.70 **	51.22 **
Fósforo (B)	0.0011 ns	1.70 ns	0.4432 **	13.5926 **	19.19 **	7.65 ns	0.56 ns	8.82 *
Interacción AxB	0.0021 ns	1.03 ns	0.1281 ns	9.3054 **	9.01 **	6.08 ns	0.69 ns	12.84 **
Error	0.0092	0.8503	0.0633	0.4131	0.7936	2.65	0.4393	2.05
Media	1.1233	6.82	1.76	34.5740	8.90	9.50	8.41	8.30
C. V. (%)	8.54	13.52	14.25	1.85	10.00	17.13	7.87	17.27
FV	(%) Col.	ME	AP	NB	P			
Micorrizas (A)	15 290 **	591.03 **	106.93 ns	1.66 ns	818073 ns			
Fósforo (B)	551.75 **	402.93 **	78.89 ns	0.86 ns	296931 ns			
Interacción AxB	551.75 **	175.51 *	16.65 ns	0.46 ns	73289 ns			
Error	4.89	47.59	34.78	0.56	241340			
Media	25.24	36.17	22.14	5.53	2819			
C. V. (%)	8.76	19.00	26.62	13.60	17.42			

DT= diámetro del tallo; LB= longitud de botón; DB= diámetro de botón; DAB= días a apertura de botón; DDF= días de duración de la flor; PSF= peso seco de la flor; PST= peso seco del tallo; PSR= peso seco de la raíz; % Col.= porcentaje de colonización en raíz; ME= micelio Extraradical; AP= altura de planta; NB= número de botones; P= contenido de fósforo en tallo.

Cuadro 2. Comparación de medias entre tratamientos con y sin micorrizas en *Lilium sp. cv Orange Pixie* 2006.

Factor	Variable												
	DT	LB	DB	DAB	DDF	PSF	PST	PSR	% Col.	ME	AP	NB	P
A													
SM	0.95	6.35	1.55	37.03	7.92	7.71	7.90	7.0	0.00	31.21	20.81	5.70	2634.9
	b	b	b	a	b	b	b	b	b	b	a	a	a
CM	1.29	7.28	1.97	32.11	9.88	11.29	8.92	9.61	50.48	41.14	23.48	5.36	3004.2
	a	a	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a

SM= sin micorrizas; CM= con micorrizas; DT= diámetro del tallo; LB= longitud de botón; DB= diámetro de botón; DAB= días a apertura de botón; DDF= días de duración de la flor; PSF= peso seco de la flor; PST= peso seco del tallo; PSR= peso seco de la raíz; % Col.= porcentaje de colonización en raíz; ME= micelio Extraradical; AP= altura de planta; NB= número de botones; P= contenido de fósforo en tallo. Medias con la misma letra son iguales $\alpha=0.05$.

Altura de planta

Los valores observados para este parámetro no fueron diferentes (Cuadro 1). Estos resultados son similares a los reportados por Ames y Linderman (1978), quienes inocularon con *Acaulospora trappei* plantas de *Lilium* sp. y observaron mayor altura en plantas provenientes de semilla que de bulbo debido a que estas no dependen de las micorrizas como las plántulas originadas de semilla, porque tienen mayor reserva de nutrientes y pueden abastecer la demanda durante la etapa de crecimiento. En otras especies como *Salvia splendens* F., *Impatiens walleriana* H., *Tagetes patula* L., *Petunia xhybrida* Hort., *Coleus xhybridus* V., *Viola xwittrockiana* G. e *Ipomoea carnea* spp. *Fistulosa*, no se observaron efectos significativos sobre el crecimiento del tallo (Koide *et al.*, 1999; Amaya *et al.*, 2005).

Peso seco de raíz, tallo y flores

La inoculación micorrizica incrementó significativamente ($p \leq 0.01$) el peso seco de raíz, tallo y flores mientras que entre los tratamientos de fósforo se observó diferencia en el peso seco de raíz. Resultados similares fueron reportados por Pedraza *et al.* (2000) y Sohn *et al.* (2003) en crisantemo *Dendrathera glandiflora* Tzevelev y *Chrysanthemum morifolium* Ramat, respectivamente. Gaur *et al.* (2000) estudiaron *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* e *Impatiens balsamina*, mientras que Amaya *et al.* (2005) lo hicieron con *Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa* y Stancato y Parada (2006) en *Anthurium andreaeanum*; en ambos estudios se observó que la fertilización mineral combinada con la inoculación con HMA incrementó la producción de materia seca en diferentes órganos, debido a una mayor absorción de elementos nutritivos como el fósforo y al incremento en la superficie de la raíz y ser más activa para explorar y traslocar nutrimentos (Amaya *et al.*, 2005).

Características de floración

Longitud y diámetro de botón

Se observó diferencia significativa ($p \leq 0.01$) en longitud y diámetro de botón para el factor micorriza, pero no para el factor fósforo. En el parámetro diámetro de botón se detectó significancia ($p \leq 0.01$) para cada factor. En ambas variables la interacción AxB no fue significativa (Cuadro 1). La aplicación de micorrizas tuvo un efecto significativo sobre ambas variables. Para diámetro de botón, (importante porque determina el diámetro y calidad de la flor), la concentración

de $44 \mu\text{g ml}^{-1}$ de P superó estadísticamente al control sin P pero no a la de $22 \mu\text{g ml}^{-1}$ P. Estos resultados sugieren que es posible obtener un adecuado tamaño de flor al combinar la inoculación con micorrizas y el nivel de $22 \mu\text{g ml}^{-1}$ P, como lo reportaron Ames y Linderman (1978) para especies como *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* e *Impatiens balsamina*. Marshner y Dell (1994). Davies *et al.* (2005) concluyeron que estos resultados se deben a la absorción de nutrimentos, particularmente de fósforo, que favorece el crecimiento de la planta a través de mejorar la eficiencia fotosintética y el transporte de fotosintatos destinados a tallos, flores y frutos.

Los resultados anteriores sugieren que la aplicación de *Glomus fasciculatum* podría reducir 50% la aplicación de P. En producción comercial de *Lilium* es importante reducir el costo de producción para mantener la rentabilidad del cultivo.

Días a apertura de botón

Se detectó significancia ($p \leq 0.01$) en ambos factores y en la interacción AxB, lo que hace evidente el comportamiento diferencial que presentó el *Lilium* en función de la dosis de fósforo y de la aplicación de micorrizas (Cuadro 1). La inoculación con micorrizas acertó en cinco días la apertura de botón. Las concentraciones de 22 y $44 \mu\text{g ml}^{-1}$ P produjeron resultados similares pero superaron estadísticamente al testigo; la mejor combinación fue con inoculación y $22 \mu\text{g ml}^{-1}$ P (apertura de botones a los 30.8 días de plantado el bulbo *versus* 37.4 días para el testigo), lo que equivale a 21.4% de adelanto para alcanzar esta etapa fenológica. Estos resultados coinciden con los de Anushri *et al.* (2002) quienes evaluaron el efecto de la inoculación de tres micorrizas arbusculares y cuatro niveles de fósforo; la mezcla de especies nativas de micorrizas y 13.9 ppm de P, adelantaron la floración 30 días en comparación con las plantas no inoculadas, respuesta que varió en función de la especie de hongo y el nivel de P.

En *Gerbera jamesonni* (Pedraza *et al.* 2001), *Chrysanthemum morifolium* (Sohn *et al.*, 2003), *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* e *Impatiens balsamina* (Gaur *et al.*, 2000) reportaron resultados similares a los observados en el presente estudio, ya que la inoculación micorrizica modificó significativamente el período de iniciación floral, las plantas inoculadas florecieron antes y $22 \mu\text{g ml}^{-1}$ P produjeron significativamente mayor número de flores y prolongaron el período de floración. Tisdale *et al.* (1990) observaron

que el adecuado suministro de P en las primeras etapas del ciclo de la planta acelera el crecimiento de las estructuras reproductivas, lo que se puede relacionar con el efecto del simbionte sobre la absorción de P y en consecuencia adelanta la formación de flores.

Vida útil de la flor

Se observaron diferencias significativas para los factores de estudio y la interacción (Cuadro 1). La inoculación micorrizica incrementó el tiempo de anaquel de las flores, pero ésta también varió con el nivel de P. Con la dosis de 22 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P más micorrizas se incrementó en cinco días en comparación con el testigo. Resultados similares fueron observados con la aplicación de diferentes fuentes de HMA en otras especies de flor de corte como *Chrysanthemum morifolium* Ramat (Shon *et al.*, 2003) y *Antirrhinum majus* L. (Besmer y Koide, 1999). Estos resultados se han relacionado con el incremento en la capacidad de transporte de nutrimentos proporcionado por los HMA (Ferrol *et al.*, 2002), así como a la reducción en la síntesis de etileno (Besmer y Koide, 1999). Gaur *et al.* (2000) estudiaron el crecimiento y la floración en *Petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* e *Impatiens balsamina* inoculadas con una mezcla de micorrizas nativas y la adición de fertilizantes químicos en suelos con bajo nivel de P; reportaron que la inoculación micorrizica prolongó el período de floración.

En promedio se observaron 5.4 botones en plantas sin inoculación y 5.3 en plantas inoculadas; estos valores coinciden con lo establecido en el catálogo de cultivares de *Lilium*, en el que se indica 6 botones en promedio por planta para bulbos de calibre 14-16 del cv. Orange Pixie. Lo anterior, podría atribuirse a que el número de botones es una característica determinada genéticamente y está estrechamente relacionada con las dimensiones del bulbo. Aunque en especies como *Chrysanthemum morifolium* (Sohn *et al.*, 2003) y *Tagetes* spp. Linderman y Davies (2004) observaron incremento en la cantidad de unidades florales por efecto de la inoculación, lo que refleja una respuesta diferencial entre especies de plantas y hongos.

Simbiosis micorrizica y colonización

Porcentaje de colonización

Los resultados mostraron significancia estadística ($p \leq 0.01$) para ambos factores y para su interacción (Cuadro 1), lo cual indica que el porcentaje de colonización en raíz de

Lilium sp. cv. Orange Pixie varió con el nivel de fósforo. Las plantas inoculadas superaron a las no inoculadas. Para la especie y cultivar en estudio la mayor respuesta se observó con la combinación de *Glomus fasciculatum* y 22 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P, con 68.24% de colonización, mientras que con 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P fue 35.33%, lo que refleja un efecto adverso del alto niveles de P. Estos resultados permiten establecer que *Lilium* sp. cv. Orange Pixie es susceptible a colonización por *Glomus fasciculatum* y que existe un importante efecto del nivel de P sobre la colonización por HMA. Ames y Linderman (1977) evaluaron en campo la presencia de hongos micorrizicos arbusculares en *Lilium longiflorum* Thumb e identificaron cuatro especies colonizando la raíz, siendo las más abundantes *Acaulospora trapepei* y *Glomus fasciculatum*, que alcanzaron porcentajes de colonización hasta 75%. Los mismos autores (1978) estudiaron el efecto de la colonización micorrizica bajo condiciones de invernadero en plantas provenientes de bulbo y de semilla de *Lilium longiflorum* Thumb con dos dosis de aplicación de hongos micorrizicos arbusculares y tres niveles de fertilización y observaron que la dosis alta de inóculo produjo mayor infección en los dos niveles de fertilización; sin embargo, la diferencia no fue significativa cuando no se aplicó fertilizante, es decir, el nivel de fertilizante influenció la colonización de raíz, la cual promedió 63% y 13% con bajo y alto nivel de fertilizante, respectivamente. Cuando utilizaron plántulas provenientes de semilla (que carecían de los nutrientes de reserva del bulbo), fertilizadas con el nivel bajo de fertilización e inoculadas con *A. trapepei*, se registró 75% de colonización, valor que refleja la mayor dependencia de las plantas provenientes de semilla comparadas con las de bulbo.

Anushri *et al.* (2002) incorporaron tres fuentes de hongos MA en combinación con cuatro niveles de P en la producción de plantas micropropagadas de *Lilium* sp. y observaron que el porcentaje de colonización micorrizica de cada inóculo varió con el nivel de P; la mezcla de micorrizas nativas y *Glomus intraradices* aislado puro mostraron la colonización mas alta (23.5 y 20.8%, respectivamente) cuando se desarrollaron con 13.6 ppm de P disponible, mientras que *Glomus intraradices* comercial mostró la máxima colonización de raíz (23.8%) a 12.53 ppm de P. El porcentaje de colonización de raíz disminuyó con 14.6 ppm de P para los tres inóculos. Resultados similares fueron reportados en otras especies bulbosas ornamentales como narciso y azafrán (Chilvers y Daft, 1981), *Chrysanthemum* (Pedraza *et al.*, 2000; Sohn *et al.*, 2003), *Petunia hybrida*, *Tagetes erecta*, *Callistephus chinensis*, *Papaver rhoeas* y *Dianthus caryophyllus* (Gaur

y Adholeya, 2005); la mayor colonización se observó con niveles medios de fósforo dado que los niveles altos indujeron un efecto supresivo sobre el número de esporas, el desarrollo del tubo germinativo primario, la ramificación y la longitud total de las hifas extraradicales, así como el número de hifas que penetran la raíz.

Las características fisiológicas y morfológicas del sistema radical pueden influir en la colonización micorrizica, lo que refleja una variación significativa entre especies, la concentración de P, la época de colonización, la capacidad del micosimbionte, densidad, composición y origen del inóculo, del genotipo y la fenología de la planta, así como de la compatibilidad entre el hongo y la planta y la temperatura en el invernadero (Linderman y Davies, 2004; Amaya *et al.*, 2005; Gaur y Adholeya, 2005).

La dosis de 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P aplicada en el presente experimento, que aparentemente inhibió la colonización micorrizica, es menor a la que emplean algunos de los productores de *Lilium*, lo que puede dar idea del riesgo que se corre con las altas aplicaciones de estos productos.

Micelio extraradical

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en ambos factores y la interacción ($p \leq 0.05$) (Cuadro 1). La inoculación superó estadísticamente al control. Las dosis de 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P fueron estadísticamente iguales entre sí, y, superaron significativamente al testigo, por lo que el mejor resultado se asoció a la combinación de inoculación con *Glomus fasciculatum* y 22 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P. Resultados

similares fueron reportados por Davies *et al.* (2005) en papa (*Solanum tuberosum* L.), donde la colonización micorrizica mejora la agregación de las partículas del suelo a través de la hifa extraradical y por exudación de la glicoproteína glomalina que une los microagregados del suelo en estructuras largas (Rilling y Mummey, 2004). La formación de agregados mejora la aireación y la percolación del agua y facilita el transporte del agua y nutrientes hacia la raíz.

El nivel de P no se relacionó con el micelio extraradical dado que este es característico de las micorrizas, lo que este resultado refleja es el mayor desarrollo de la raíz por efecto de este elemento.

Contenido de fósforo en tallo

La aplicación de micorrizas y de fósforo no modificó en forma significativa el contenido de este elemento en el tallo (Cuadros 1, 2, 3), lo cual pudo deberse a el mayor desarrollo de la planta, como lo demuestran los resultados observados en el diámetro de botón, días a apertura de botones, días de duración de la flor y peso seco de raíz, en los que el fósforo juega un papel preponderante (Marschner y Dell, 1994). Estos resultados difieren de los de Vanderploeg *et al.* (1974), Ames y Linderman (1978) y Anushri *et al.* (2002), quienes reportaron que el contenido de P en los tejidos de plantas de *Lilium* sp. inoculadas con micorrizas fue mayor que en las no inoculadas, aunque este resultado varió en función del nivel de fertilización. Ferrol *et al.* (2002) y Tawaraya *et al.* (2006) coincidieron en señalar que los HMA contribuyen al crecimiento de la planta al mejorar la absorción de iones con bajo coeficiente de difusión, como el P.

Cuadro 3. Comparación de medias entre niveles de fósforo en *Lilium* sp. cv Orange Pixie 2006.

Factor B	Variables evaluadas												
	DT	LB	DB	DAB	DDF	PSF	PST	PSR	% Col.	ME	AP	NB	P
F1	1.13a	6.45a	1.58b	35.93a	7.62c	8.55a	8.16a	7.32b	23.93b	28.47b	20.23a	5.60a	2597.5a
F2	1.12a	6.80a	1.74ab	33.78b	9.89a	10.27a	8.63a	9.19a	34.12a	42.45a	22.01a	5.70a	2942.4a
F3	1.11a	7.15a	1.93a	34.21b	9.00b	9.69a	8.45a	8.41ab	17.66c	37.61a	24.20a	5.30a	2918.8a

F1, F2, F3=, 0, 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ P respectivamente; DT= diámetro del tallo; LB= longitud de botón; DB= diámetro de botón; DAB=días a apertura de botón; DDF= días de duración de la flor; PSF= peso seco de la flor; PST= peso seco del tallo; PSR= peso seco de la raíz; % Col.= porcentaje de colonización en raíz; ME= micelio Extraradical; AP= altura de planta; NB= número de botones; P= contenido de fósforo en tallo. Medias con la misma letra son iguales $\alpha = 0.05$.

La influencia de los HMA en la absorción de nutrientes varía con la fuente y cantidad de P aplicado y con las especies de HMA que coloniza la raíz (Linderman y Davies, 2004; Amaya *et al.*, 2005). La raíz induce cambios en el pH de la rizósfera que pueden afectar de manera importante la disponibilidad y la absorción de P causados por la absorción diferencial de aniones y cationes, por la respiración de la raíz y la exudación de ácidos orgánicos por las hifas (Tawaraya *et al.*, 2006). Estos factores podrían estar relacionados con los resultados observados en el presente estudio.

En la región florícola del Estado de México, los suelos sometidos a agricultura intensiva presentan una reducción importante en la capacidad de colonización con HMA; la fertilización excesiva también puede afectar el establecimiento de la simbiosis y el desarrollo de la planta; consecuentemente, los cultivos tienden a depender de los fertilizantes inorgánicos como prerequisite para obtener alta producción, por lo que se puede deducir que las prácticas agrícolas basadas en el uso intensivo de fertilizantes químicos son en general nocivas para los HMA, mientras que el uso de éstos en dosis óptimas bajo un esquema de agricultura sustentable mejoran la simbiosis.

Análisis tratamiento x variable

Los componentes principales 1 (82.5%) y 2 (9.3 %) explicaron 91.9% de la variabilidad observada, por lo que las correlaciones aproximadas que se observaron en el biplot pueden interpretarse confiablemente. Los tratamientos sin micorrizas con 0, 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P se asociaron negativamente con la componente principal 1 y los tratamientos con micorrizas se asociaron con ambas componentes principales: días a apertura de botón (DAB), diámetro de tallo (DT), longitud de botón (LB), diámetro de botón (DB), altura de planta (AP), micelio extraradical (ME), días a duración de flor (DDF), peso seco de raíz (PSR), peso seco de flor (PSF), peso seco de tallo (PST), porcentaje de colonización (PC) y fósforo en el tallo (P), explicaron el componente principal 1, mientras que número de botones (NB) se correlacionó positivamente con la componente principal 2 (Figura 1).

Se observó que NB y DAB se correlacionaron entre sí y que los tratamientos sin micorrizas en los tres niveles de P incrementaron los promedios aritméticos en las dos

variables. La combinación micorrizas y 22 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P contribuyó al incremento de ME, DDF, PSR, PC, PST, P y PSF, mientras que los tratamientos con micorrizas y 0 $\mu\text{g ml}^{-1}$ P y micorrizas con 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P favorecieron la mayor expresión de DT, LB, DB y AP (Figura 1). Estos resultados indican que NB dependió de DAB, pero a 44 $\mu\text{g mg}^{-1}$ de P se inhibió el efecto de las micorrizas y la expresión de estas variables y de ME, DDF, PSR, PC, PST, P y PSF.

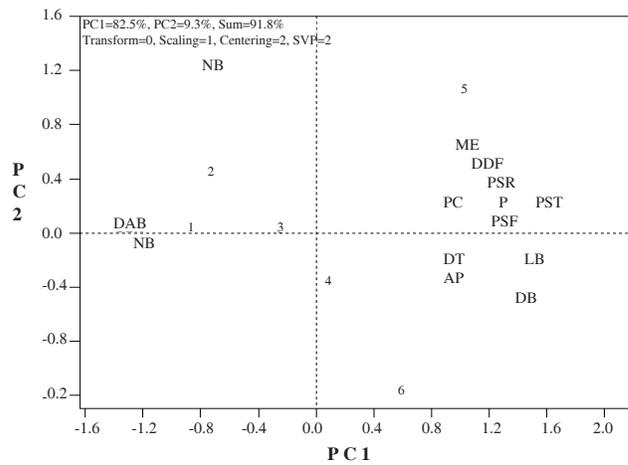


Figura 1. Representación gráfica de los seis tratamientos sin y con aplicación de micorrizas y 0, 22 y 44 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de P y su interrelación con las variables evaluadas en *Lilium sp.* cv Orange Pixie.

CONCLUSIONES

El *Lilium sp.* cv Orange Pixie es susceptible a la colonización por *Glomus fasciculatum* y la simbiosis tiene efectos favorables sobre el diámetro de tallo, la longitud y el diámetro del botón, el peso seco y la vida útil de la flor, que en conjunto contribuyen a mejorar la calidad comercial de la flor.

El período de inoculación, el tipo de aislado del hongo, así como la fuente y concentración del fertilizante químico, deben considerarse para maximizar los beneficios de la simbiosis.

La inoculación de *Lilium sp.* cv Orange Pixie con *Glomus fasciculatum*. *G. fasciculatum* adelanta la floración, mejora la calidad de la flor y permite reducir el uso de fertilizantes químicos.

LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y Sandoval, M. V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. Publicación Especial 10.
- Amaya, C. L.; Davies Jr., F. T. and Arnold, M. A. 2003. Effect of commercial arbuscular mycorrhizal fungi on growth, survivability, and subsequent landscape performance of select container growth nursery crops. *J. Environ. Hort.* 21(4):190-195.
- Amaya, C. L.; Davies Jr., F. T. and Arnold, M. A. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi and inorganic controlled-release fertilizer: Effect on growth and leachate of container-grown Bush Morning Glory (*Ipomea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130(1):131-139.
- Ames, R. N. and Linderman, R. G. 1977. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of easter lily in the northwestern United States. *Can. J. Microbiol.* 23(12):1663-1668.
- Ames, R. N. and Linderman, R. G. 1978. The growth of easter lily (*Lilium longiflorum*) as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *Fusarium oxysporium* and fertility level. *Can. J. Bot.* 56(21):2773-2780.
- Anushri, V. M.; Sharma, P.; Adholeya, A.; Dhawan, V. and Srivastava, P. S. 2002. Enhanced growth of micropropagated bulblets of *Lilium* sp. inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi at different P fertility levels in an alfisol. *J. of Hort. Sci. & Tech.* 77(3):258-263
- Bañón, A. S.; Cifuentes, R. D.; González, B. G. A. y Fernández, H. I. 1993. *Lilium In: Gerbera, Lilium, Tulipán y Rosa*. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 71-158.
- Beltrán, M. A. 2008. El futuro de la industria florícola de México. Reporte de actividades del Consejo Mexicano de la Flor. Villa Guerrero, México. 10 p.
- Besmer, Y. L. and Koide, R. T. 1999. Effect of mycorrhizal colonization and phosphorus on ethylene production by snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) flowers. *Mycorrhiza*. 9:161-166.
- Betancourt, O. M.; Rodríguez, M. M. N.; Sandoval, V. M. y Gaytán, A. E. A. 2005. Fertilización foliar una herramienta en el desarrollo del cultivo de *Lilium* cultivar Stargazer. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11(2):371-378.
- Chilvers, M. T. and Daft, M. F. J. 1981. Mycorrhizas of the Liliiflorae. II. Mycorrhiza formation and incidence of root hairs in field grown *Narcissus* L., *Tulipa* L. and *Crocus* L. cultivars. *New Phytol.* 89:247-261.
- Davies Jr., F. T.; Calderon, C. M. and Huaman, Z. 2005. Influence of arbuscular mycorrhizae indigenous to Peru and flavonoid on growth, yield and leaf elemental concentration of Yungay potatoes. *Hort. Sci.* 40(2):381-385.
- Ferrol, N.; Barea J., M. and Aguilar C., A. 2002. Mechanisms of nutrient transport across interfaces in arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil.* 244:231-237.
- Gaur, A. and Adholeya, A. 2000. Growth and flowering in *petunia hybrida*, *Callistephus chinensis* and *Impatiens balsamina* inoculated with mixed AM inocula or chemical fertilizers in a soil of low P fertility. *Sci. Hort.* 84:151-162.
- Gaur, A. and Adholeya, A. 2005. Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and single isolate arbuscular mycorrhizal inocula in marginal soil attended with organic matter. *J. of Plant Nutr.* 28(4):707-723.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- Hewitt, E. J. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureau of Horticulture. *Tech. Commun.* 22. 340 p.
- Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Rutnau, K. and Barea, J. M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fert. Soil.* 37:1-16.
- Koide, R. T.; Landherr, L. L.; Besmer, L. Y.; Detweiler, J. M. and Holcomb, E. J. 1999. Strategies for mycorrhizal inoculation of six annual bedding plant species. *HotScience* 34(7):1217-1220.
- Linderman, R. G. and Davies, E. A. 2004. Varied response of marigold (*Tagetes* spp.) genotypes to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi. *Sci. Hort.* 99:67-78.
- Marschner, H. and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil.* 159(1):89-102.

- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. 1ª ed. Trillas, México. 756 p.
- Pedraza, S. M. E.; Jaén, C. D.; Gutiérrez, E. M. A.; Colinas, L. T., and López, P. C. 2000. Growth and nutrition of chrysanthemum micro plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. HortScience. 35:3446.
- Pedraza, S. M. E.; Jaén, C. D.; Gutiérrez, E. M. A.; Colinas, L. T. y López, P. C. 2001. Crecimiento y nutrición de micro plantas de gerbera inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. Agrociencia. 35 (2):149-158.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of interaction. Trans. Br. Mycol. Soc. 55:158-161.
- Rilling, C. M. and Mummey, L. D. 2004. Mycorrhizal and soil structure. New Phytol. 171:41-53.
- Sohn, B. K.; Kim, K. Y.; Chung, S. J.; Kim, W. S.; Park, S. M.; Kang, J. G.; Rim, S., Y.; Cho, J. S.; Kim, T. H. and Lee, J. H. 2003. Effect of the different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of Chrysanthemum. Sci. Hort. 98:173-183.
- Stancato, G. C. and Parada, D. A. 2006. Mycorrhizal fungi and micropropagated cultivars of *Anthurium* associations. Bragantia. 65(3):1-9.
- Tawarayama, K.; Naito, M. and Wagatsuma, T. 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hifal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi. J. Plant Nutr. 29(4):657-665.
- Tisdale, L. S.; Nelson, L. W. and Beaton, D. J. 1990. Soil Fertility and Fertilizer. Fourth edition. Maxwell Macmillan International Editions. Republic Singapore. 754 p.
- Vanderploeg, J. F.; Lighty, R. W. and Sasser, M. 1974. Mycorrhizal association between *Lilium* taxa and endogone. HortScience. 9:383-384.