

HONGOS MICORRÍFICO-ARBUSCULARES EN LA PRODUCCIÓN DE VIOLETA AFRICANA EN UN SISTEMA DE MANEJO TRADICIONAL

Ramón Zulueta-Rodríguez^{*}; Dora Trejo-Aguilar; Liliana Lara-Capistrán

¹Universidad Veracruzana, Campus Xalapa, Facultad de Ciencias Agrícolas, Laboratorio de Organismos Benéficos. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s./n., Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz, MÉXICO. C. P. 91090. Tel/Fax. (228) 842 1749
Correo-e: rzulueta36@hotmail.com (*Autor para correspondencia).

RESUMEN

Se determinó el efecto de la inoculación de violeta africana (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) con hongos micorrízico-arbusculares (HMA) en un vivero comercial bajo el sistema de cultivo del productor. Se probaron dos presentaciones del inóculo, raíces frescas (IT) e inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio (IE). Los tratamientos establecidos fueron plantas inoculadas con cada uno de los inóculos (IT e IE), plantas fertilizadas sin inocular (F), plantas inoculadas + fertilizante (IT+F e IE+F) y plantas testigo (T). Las variables evaluadas 90 y 180 días después de la inoculación (DDI) fueron área foliar, número de hojas, de botones florales y de flores, así como la longitud de raíz colonizada, peso seco de pecíolos, hojas y raíces al final del experimento (180 DDI). El análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas entre los tratamientos a los 90 DDI para área foliar, número de botones florales y de flores (ANOVA, $P \leq 0.01$), respuesta que prevaleció hasta los 180 DDI con respecto a las plantas testigo (ANOVA, $P \leq 0.01$). En general, la interacción de los HMA con el fertilizante promovió una floración prematura, lo cual indica que el uso de estos microorganismos puede considerarse una alternativa biotecnológica factible de incorporar en estos sistemas de producción.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Saintpaulia ionantha* Wendl., vivero comercial, inoculación microbiana, especie florícola ornamental.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE PRODUCTION OF AFRICAN VIOLET IN A TRADITIONAL MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

The effect of inoculating African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in a commercial nursery under the producer's farming system was determined. Two forms of the inoculum, fresh roots (TI) and inoculant encapsulated in calcium alginate beads (EI), were tested. The treatments consisted of plants inoculated with each inoculum (TI and EI), fertilized plants without inoculum (F), inoculated plants with fertilizer (TI+F and EI+F) and control plants (C). Variables evaluated at 90 and 180 days after inoculation (DAI) were leaf area, number of leaves, flower buds and flowers, root length colonized and petiole, leaf and root dry weight at the end of the experiment (180 DAI). Statistical analysis showed highly significant differences among treatments at 90 DAI for leaf area and number of flower buds and flowers (ANOVA, $P \leq 0.01$), a response which continued until 180 DAI with respect to the control plants (ANOVA, $P \leq 0.01$). In general, the interaction between AM fungi and the fertilizer promoted early flowering, indicating that the use of these microorganisms can be considered a feasible alternative biotechnology to incorporate into these production systems.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Saintpaulia ionantha* Wendl., commercial nursery, microbial inoculation, ornamental floricultural species.

INTRODUCCIÓN

La violeta africana (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) es una especie ornamental de maceta muy popular en todo el mundo (Alanís-Flores y González-Alanís, 2002; Streck, 2004), que genera millones de dólares a los floristas especializados y de la cual, por esta razón, se han obtenido miles de variedades cultivadas para la decoración de interiores (DeFilipps, 2000). Sin embargo, su producción se ha visto afectada por la cantidad de fertilizantes y plaguicidas que su cuidado demanda durante los ocho meses que las plantas permanecen en vivero. Por tal motivo, se hace necesaria la adaptación de tecnologías que reduzcan los costos de producción y sean factibles de aplicar en los sistemas de producción donde se propaga *S. ionantha* en México.

Una de ellas implica el uso de los hongos micorrízico-arbusculares (HMA), pues en la literatura especializada se consigna su capacidad de promover el crecimiento de las plantas (Brooks *et al.*, 2006), de fomentar la tolerancia a la sequía (Singh *et al.*, 2011) y al estrés por temperatura (Bunn *et al.*, 2009), de favorecer su actividad nutricional y fotosintética (Mishra y Mishra, 2004), o bien la aclimatación de especies micropropagadas a condiciones *ex vitro* (Yadav *et al.*, 2012).

Así, diversos trabajos han demostrado el control de enfermedades fungosas en especies de ornato como gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* Andrews) (Gardezi *et al.*, 2001) y violeta persa (*Cyclamen persicum* Mill.) (Dubský *et al.*, 2002), la absorción más eficiente de nutrimentos y el rápido crecimiento del girasol (*Helianthus annuus* L.) (Chandrashekara *et al.*, 1995), la aclimatización y supervivencia de plántulas de gerbera (*Gerbera jamesonii* Adlam) (Pedraza-Santos *et al.*, 2001), el aumento en el número de flores y floración anticipada en lilys (White Rain Lily, *Zephyranthes candida* (Lindl.) Herb.; Pink Fairy Lily, *Z. robusta* (Herb. ex Sweet) Baker; Yellow Zephyr Lily, *Z. sulphurea* hort.) (Scagel, 2003) o en la emergencia de hojas, retoños y flores en los arlequines (*Sparaxis tricolor* [Schneev.] Ker Gawl.) (Scagel, 2004a).

Los estudios donde se determina el efecto de los HMA en el crecimiento y desarrollo de las violetas africanas son escasos, y por ello en el presente trabajo se hace necesaria la realización de ensayos para corroborar las bondades de la incorporación de estos microorganismos, bajo las condiciones de manejo de un productor comercial de violetas africanas en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó siguiendo las prácticas de cultivo utilizadas por el productor en un vivero de produc-

INTRODUCTION

The African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.) is a very popular potted ornamental species throughout the world (Alanís-Flores and González-Alanís, 2002; Streck, 2004), which generates millions of dollars for specialized florists and which, for this reason, thousands of cultivated varieties have been obtained for home decor (DeFilipps, 2000). However, its production has been affected by the amount of fertilizers and pesticides that its care demands during the eight months that the plants remain in the nursery. Therefore, technology that reduces production costs and that is feasible to implement in production systems where *S. ionantha* is propagated in Mexico needs to be adapted.

One such technology involves the use of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, as their ability to promote plant growth (Brooks *et al.*, 2006) and drought tolerance (Singh *et al.*, 2011) ameliorate temperature stress (Bunn *et al.*, 2009), and promote nutritional and photosynthetic activity (Mishra and Mishra, 2004), or the acclimation of micropropagated species to *ex vitro* conditions (Yadav *et al.*, 2012), is reported in the literature.

In this context, several studies have demonstrated fungal disease control in ornamental species such as gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* Andrews) (Gardezi *et al.*, 2001) and Persian violet (*Cyclamen persicum* Mill.) (Dubský *et al.*, 2002), more efficient nutrient uptake and rapid growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.) (Chandrashekara *et al.*, 1995), acclimatization and survival of gerbera (*Gerbera jamesonii* Adlam) seedlings (Pedraza-Santos *et al.*, 2001), an increase in the number of flowers and early growth in lilies (White Rain Lily, *Zephyranthes candida* (Lindl.) Herb.; Pink Fairy Lily, *Z. robusta* (Herb. ex Sweet) Baker; Yellow Zephyr Lily, *Z. sulphurea* hort.) (Scagel, 2003) or in the emergence of leaves, shoots and flowers in harlequin (*Sparaxis tricolor* [Schneev.] Ker Gawl.) (Scagel, 2004a).

Studies in which the effect of AM fungi on the growth and development of African violets is determined are scarce; therefore, trials were conducted in the present study to corroborate the benefits of incorporating these microorganisms under the management conditions of a commercial African violet grower in a nursery.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted following the cultivation practices used by the producer in a commercial production nursery located in the municipality of Emiliano Zapata, Veracruz, Mexico, at 19° 27' NL and 96° 51' WL, at an altitude of 1,033 m.

ción comercial localizado en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, México, a 19° 27' LN y 96° 51' LO, a una altitud de 1,033 m.

Preparación del inóculo micorrízico

Se utilizó el consorcio micorrízico MTZ1 formado por *Acaulospora morrowiae*, *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora scrobiculata*, *Funneliformis mosseae*, *Funneliformis geosporus*, *Gigaspora rosea*, *Gigaspora decipiens*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus aggregatum*, *Cetranspora pellucida* y *Claroideoglomus etunicatum*, el cual se multiplicó durante cuatro meses en cultivos trampa (Sieverding, 1991) con *Brachiaria decumbens* establecida en un sustrato de arena de banco y grava volcánica (1:1, v/v) en vivero. Con este se prepararon dos tipos de inóculo: el tradicional (IT), que consistió en una mezcla de arena con esporas, hifas extraradicales y segmentos de raíces colonizadas de 3 a 5 mm de longitud, y el encapsulado (IE), donde los propágulos micorrízicos se inmovilizaron en perlas de alginato de calcio (Strullu y Plenchette, 1990; 1991).

Propagación de la planta

Se seleccionaron hojas nuevas de plantas maduras a las cuales se aplicó ácido indol-3-butírico 0.15 % para promover el enraizamiento, y el sustrato preparado con una mezcla de tierra de hoja, tepetzil (cacahuatillo) y peat most (5:5:2, v/v) se esterilizó con bromuro de metilo (CH_3Br , 97.14 g·m⁻³). Los esquejes con pecíolos de 1 a 2 cm de largo se colocaron en el sustrato durante dos meses en charolas. Los materiales reproducidos se trasladaron a contenedores individuales, donde permanecieron dos meses más antes del traspaso definitivo a macetas de 185.3 g de capacidad que se mantuvieron a una temperatura de 24 °C dentro de un invernadero. Se regaron cada tercer día con agua tibia, y se aplicaron 0.5 g·litro⁻¹ de KNO_3 quincenalmente, y 1.0 g·litro⁻¹ de MgSO_4 cada mes.

Inoculación de las plantas

Plantas homogéneas fueron inoculadas con las dos presentaciones de inóculo micorrízico: 1) IT, 40 g·planta⁻¹, y 2) IE, 50 perlas·planta⁻¹.

Variables de estudio

Las variables de estudio fueron área foliar, número de hojas, de botones florales y de flores a los 90 y 180 días después de la inoculación (DDI), así como porcentaje de longitud de raíz colonizada y peso de pecíolos, hojas y raíces (180 DDI).

Toma de datos

El área foliar se determinó mediante un método no destructivo basado en la relación existente entre el área

Preparation of mycorrhizal inoculum

We used MTZ-1 mycorrhizal consortium formed by *Acaulospora morrowiae*, *Acaulospora spinosa*, *Acaulospora scrobiculata*, *Funneliformis mosseae*, *Funneliformis geosporus*, *Gigaspora rosea*, *Gigaspora decipiens*, *Glomus macrocarpum*, *Glomus aggregatum*, *Cetranspora pellucida* and *Claroideoglomus etunicatum*, which multiplied for four months in trap cultures (Sieverding, 1991) with *Brachiaria decumbens* established in a substrate of riverbank sand and volcanic gravel (1:1, v/v) in a nursery. With this, two types of inoculum were prepared: traditional inoculum (TI), which consisted of a mixture of sand with spores, extraradical hyphae and colonized root sections from 3 to 5 mm in length, and encapsulated inoculum (EI), where mycorrhizal propagules were immobilized in calcium alginate beads (Strullu and Plenchette, 1990, 1991).

Plant propagation

New leaves were selected from mature plants to which 0.15 % indole-3-butyric acid was applied to promote rooting, and the substrate prepared with a mixture of leaf mulch, tepetzil (cacahuatillo) and peat most (5:5:2, v/v) was sterilized with methyl bromide (CH_3Br , 97.14 g·m⁻³). Cuttings with 1–2 cm long petioles were placed in the substrate for two months in trays. The reproduced materials were moved into individual containers, where they remained for two more months before final transfer to 185.3 g pots that were kept at a temperature of 24 °C inside a greenhouse. They were irrigated every other day with warm water, and 0.5 g·liter⁻¹ of KNO_3 biweekly, and 1.0 g·liter⁻¹ of MgSO_4 each month.

Plant inoculation

Homogeneous plants were inoculated with two forms of mycorrhizal inoculum: 1) TI, 40 g·plant⁻¹, and 2) EI, 50 beads·plant⁻¹.

Study variables

The study variables were leaf area and number of leaves, flower buds and flowers at 90 and 180 days after inoculation (DAI), as well as percentage of root length colonized and petiole, leaf and root weight (180 DAI).

Data collection

Leaf area was determined by a non-destructive method based on the existing relationship between the total photosynthetic area obtained with a CI-202 portable meter (model SE410G, CID, Inc.®) and its correlation with leaf width, measured with an A.W. Faber-Castell 853-HP-A scale ruler in cm. The correlation coefficient between actual and calculated leaf area was defined by the equation $y = 1.0185x - 0.1856$, and the number of leaves, flow-

fotosintética total obtenida con un medidor portátil CI-202 (modelo SE410G, CID, Inc.[®]) y su correlación con el ancho de las hojas, medidas con un escalímetro A.W. Faber-Castell 853-HP-A en cm. El coeficiente de correlación entre el área foliar real y la calculada se definió mediante la ecuación $y = 1.0185x - 0.1856$, y el número de hojas, de botones florales y de flores se precisó mediante conteo manual (90 y 180 DDI). Al final del experimento (180 DDI) se cuantificó el porcentaje de longitud de raíz colonizada por el método de la intersección en las líneas de una cuadrícula (Giovannetti y Mosse, 1980), y el peso seco de pecíolos, hojas y raíces se cuantificó en una balanza digital modelo Precisa 125 ASC5 (Swiss Quality[®], ISO 9001) después de secar las muestras en una estufa a 70 °C, hasta obtener peso constante.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con ocho repeticiones. Se aplicaron seis tratamientos: testigo (T), inoculado tradicional (IT), inoculado encapsulado (IE), fertilizante (F), inoculado tradicional + fertilizante (IT+F), inoculado encapsulado + fertilizante (IE+F). Los datos obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el software SAS 6.12 para Windows, y en los casos donde hubo diferencias significativas las medias se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Como en la variable longitud de raíz colonizada no hubo una distribución normal ni homogeneidad en las varianzas requeridas en un ANOVA (Álvarez-Santiago *et al.*, 1996), sus resultados se transformaron a logaritmos naturales para su análisis mediante las pruebas no paramétricas de Bartlett, de Kendall y de Shapiro Wilk ($\alpha=0.05$, datos no mostrados).

RESULTADOS

A los 90 DDI ya se observaban los efectos de los HMA en el crecimiento y desarrollo de *S. ionantha*. Para el área foliar (Figura 1) y el número de botones florales de las plantas (Figura 2) el mejor tratamiento fue IE+F, con diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) e incrementos respectivos del 60.20 y 94.77 % en relación a las testigo.

En el número de flores no sólo las plantas del tratamiento IT+F se distinguieron al superar a las testigo hasta en 236.31 %, sino que las del tratamiento IE+F también aventajaron a las demás (Figura 3).

A los 180 DDI se observaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Fue en la interacción entre el fertilizante y el inóculo (IT+F) donde las plantas mostraron una mayor área foliar (>196.86 %) con respecto a las testigo (Cuadro 1). En la variable área foliar calculada, cabe resaltar que la correlación mostró una alta correspondencia ($r^2 = 0.983$), y dado que el ANOVA no estableció

er buds and flowers was manually counted (90 and 180 DAI). At the end of the experiment (180 DAI), the percentage of root length colonized was quantified by the gridline intersect method (Giovannetti and Mosse, 1980), and the dry weight of petioles, leaves and roots was quantified using a model 125 ASC5 digital scale (Swiss Quality[®], ISO 9001) after drying the samples in an oven at 70 °C to constant weight.

Experimental design and statistical analysis

A completely randomized experimental design with eight replications was used. Six treatments were applied: control (C), traditional inoculum (TI), encapsulated inoculum (EI), fertilizer (F), traditional inoculum + fertilizer (TI+F), encapsulated inoculum + fertilizer (EI+F). Data were processed by analysis of variance (ANOVA) with SAS 6.12 software for Windows, and in cases where there were significant differences, means were compared with the Tukey test ($P \leq 0.05$). As in the variable root length colonized, there was neither a normal distribution nor homogeneity in the variances required by ANOVA (Álvarez-Santiago *et al.*, 1996); the results were transformed to natural logarithms for analysis by nonparametric Bartlett, Kendall and Shapiro-Wilk tests ($\alpha=0.05$, data not shown).

RESULTS

At 90 DAI the effects of AM fungi on the growth and development of *S. ionantha* were observed. For leaf area (Figure 1) and the number of flower buds (Figure 2), the best treatment was EI+F, with highly significant differences ($P \leq 0.01$) and respective increases of 60.20 and 94.77 % in relation to the control.

In the number of flowers not only the TI+F treatment plants stood out by outperforming the control ones by up to 236.31 %, but those of the EI+F treatment also outdid the others (Figure 3).

At 180 DAI highly significant differences were observed among treatments. It was in the interaction between inoculum and fertilizer (TI+F) where plants showed greater leaf area (>196.86 %) compared to the control (Table 1). In the variable calculated leaf area, it should be noted that the correlation showed high correspondence ($r^2 = 0.983$), and since the ANOVA did not establish significant difference ($P \leq 0.05$) between it and actual leaf area ($Pr>F = 0.0333$), it was confirmed that the use of this non-destructive method was appropriate.

In the number of flower buds, highly significant differences were found among the treatments. The best was EI+F, with increases exceeding 609.09 % compared to the control (Figure 4). Similarly, in the variable number of flowers, significant differences were found among the

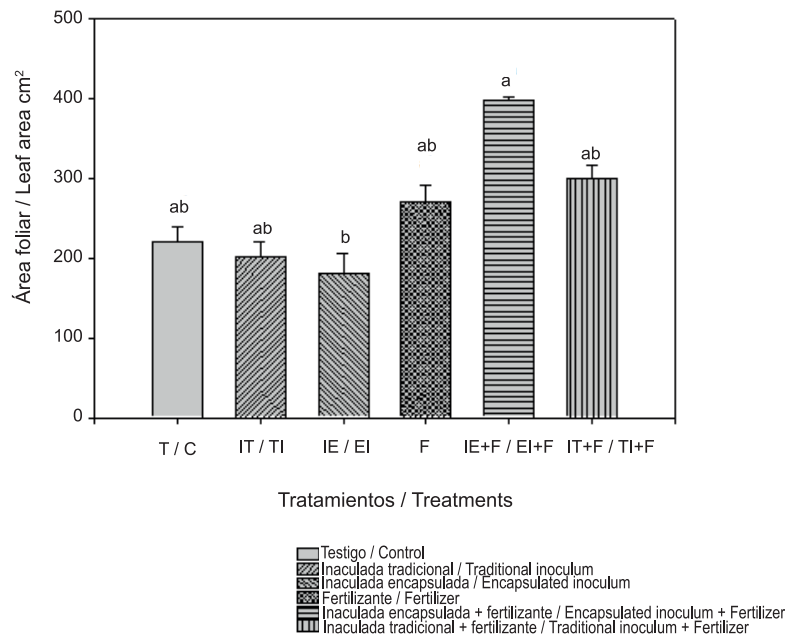


FIGURA 1. Área foliar (cm²) en *Saintpaulia ionantha* a los 90 días de la inoculación con hongos micorrícicos. T: Testigo; IT: inoculación con raíces frescas; IE: inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio; F: aplicación de fertilizante; IT+F: inoculado tradicional + fertilizante; IE+F: inoculado encapsulado + fertilizante. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). Las líneas verticales son el error estándar (\pm).

FIGURE 1. Leaf area (cm²) in *Saintpaulia ionantha* at 90 days after inoculation with mycorrhizal fungi. C: Control; TI: inoculation with fresh roots; EI: encapsulated inoculum in calcium alginate beads; F: fertilizer application; TI+F: traditional inoculum + fertilizer; EI+F: encapsulated inoculum + fertilizer. Columns with the same letter are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$). The vertical lines are the standard error (\pm)

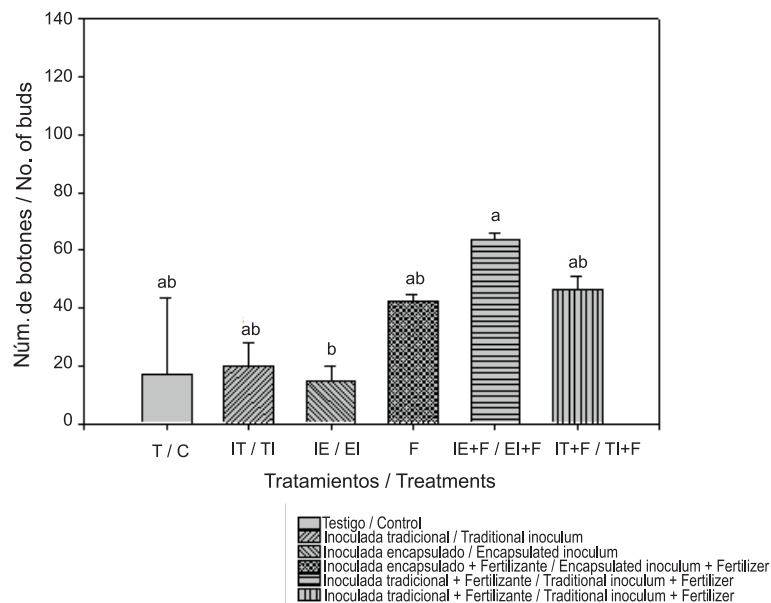


FIGURA 2. Número de botones florales en *Saintpaulia ionantha* a los 90 días de la inoculación con hongos micorrícicos. T: Testigo; IT: inoculación con raíces frescas; IE: inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio; F: aplicación de fertilizante; IT+F: inoculado tradicional + fertilizante; IE+F: inoculado encapsulado + fertilizante. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$). Las líneas verticales son el error estándar (\pm).

FIGURE 2. Number of flower buds in *Saintpaulia ionantha* at 90 days after inoculation with mycorrhizal fungi. C: Control; TI: inoculation with fresh roots; EI: encapsulated inoculum in calcium alginate beads; F: fertilizer application; TI+F: traditional inoculum + fertilizer; EI+F: encapsulated inoculum + fertilizer. Columns with the same letter are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$). The vertical lines are the standard error (\pm)

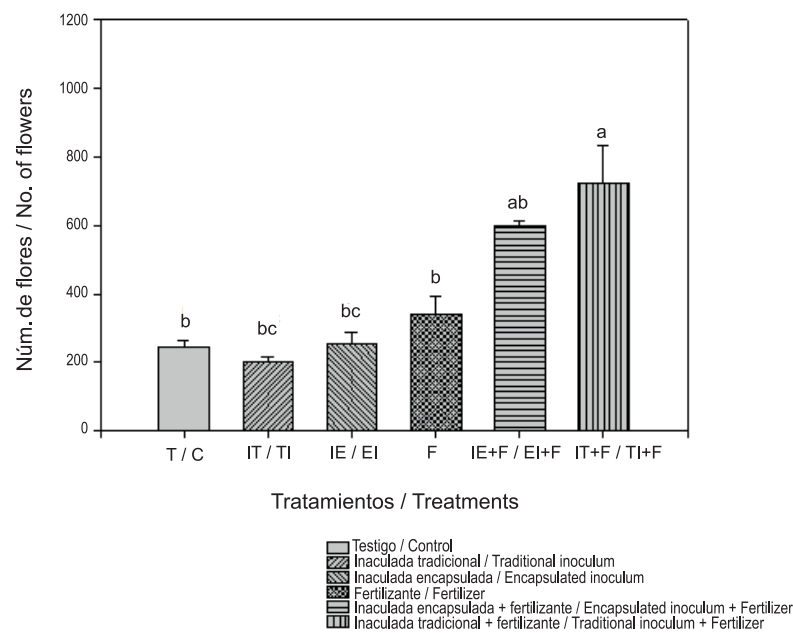


FIGURA 3. Número de flores en *Saintpaulia ionantha* a los 90 días de la inoculación con hongos micorrícicos. T: Testigo; IT: inoculación con raíces frescas; IE: inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio; F: aplicación de fertilizante; IT+F: inoculado tradicional + fertilizante; IE+F: inoculado encapsulado + fertilizante. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). Las líneas verticales son el error estándar (\pm).

FIGURE 3. Number of flowers in *Saintpaulia ionantha* at 90 days after inoculation with mycorrhizal fungi. C: Control; TI: inoculation with fresh roots; EI: encapsulated inoculum in calcium alginate beads; F: fertilizer application; TI+F: traditional inoculum + fertilizer; EI+F: encapsulated inoculum + fertilizer. Columns with the same letter are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$). The vertical lines are the standard error (\pm).

CUADRO 1. Comparación de medias de variables evaluadas en *Saintpaulia ionantha* 180 días después de la inoculación con hongos micorrícicos.

TABLE 1. Comparison of means of variables evaluated in *Saintpaulia ionantha* at 180 days after inoculation with mycorrhizal fungi.

Tratamiento / Treatment	Área foliar / Leaf area (cm²)	Número de flores / Number of flowers	Número de hojas / Number of leaves	Peso seco de las hojas / Leaf dry weight (g)	Peso seco de los peciolo / Petiole dry weight (g)
T / C	241.20 c ^z	7.25 b	21.75 b	1.175 b	0.425 b
IT / TI	207.96 c	7.00 b	21.25 b	1.150 b	0.350 b
IE / EI	266.54 c	11.25 b	23.25 b	1.225 b	0.350 b
F	334.71 bc	6.00 b	28.50 ab	1.000 b	0.475 b
IT+F / TI+F	716.03 a	19.50 ab	40.75 a	2.175 a	0.925 a
IE+F / EI+F	550.90 ab	34.50 a	41.00 a	2.200 a	1.050 a

T: Testigo; IT: inoculación con raíces frescas; IE: inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio; F: aplicación de fertilizante; IT+F: inoculado tradicional + fertilizante; IE+F: inoculado encapsulado + fertilizante. ^zMedias con la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

C: Control; TI: inoculation with fresh roots; EI: encapsulated inoculum in calcium alginate beads; F: fertilizer application; TI+F: traditional inoculum + fertilizer; EI+F: encapsulated inoculum + fertilizer. ^zMeans with the same letter within a column are equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ésta y el área foliar real ($P > F = 0.0333$), se comprobó que el uso de este método no destructivo fue apropiado.

En el número de botones florales se encontraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El mejor fue IE+F, con incrementos mayores a 609.09 % respecto a las testigo (Figura 4). De igual manera, en la variable número de flores se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, mas cuando el inóculo micorrícico interactuó con el fertilizante (IE+F e IT+F) las plantas no sólo superaron a las testigo con incrementos de hasta 375.86 y 168.96 %, respectivamente, sino que también fueron los mejores para la variable número de hojas (Cuadro 1).

En el peso seco de hojas y pecíolos los incrementos fueron de 87.23 y 57.00 % en el tratamiento IE+F, y de 85.10 y 99.65 % en el tratamiento IT+F, en comparación con los demás tratamientos. Con respecto a la interacción entre factores, los tratamientos solo inoculados (IT, IE) y sin inocular (T) no revelaron notables diferencias en las variables de crecimiento citadas con antelación (Cuadro 1).

treatments, more when the mycorrhizal inoculum interacted with the fertilizer (EI+F and TI+F), as the plants not only exceeded the control with increases of up to 375.86 and 168.96 %, respectively, but were also the best for the variable number of leaves (Table 1).

In leaf and petiole dry weight, the increases were 87.23 and 57.00 % in the EI+F treatment and 85.10 and 99.65 % in the TI+F treatment, compared with the other treatments. With regard to the interaction between factors, only inoculated (TI, EI) and non-inoculated (T) treatments showed no significant differences in the afore-mentioned growth variables (Table 1). For the variables root length colonized and root dry weight, there were no significant differences among treatments ($P \leq 0.05$). However, the highest percentage of colonization was observed in the EI+F interaction (24.70 %) followed by the TI (23.65 %), TI+F (16.72 %) and EI (13.45 %) treatments.

DISCUSSION

S. ionantha is an ornamental plant that requires considerable inputs of nitrogen, phosphorus and potassium for

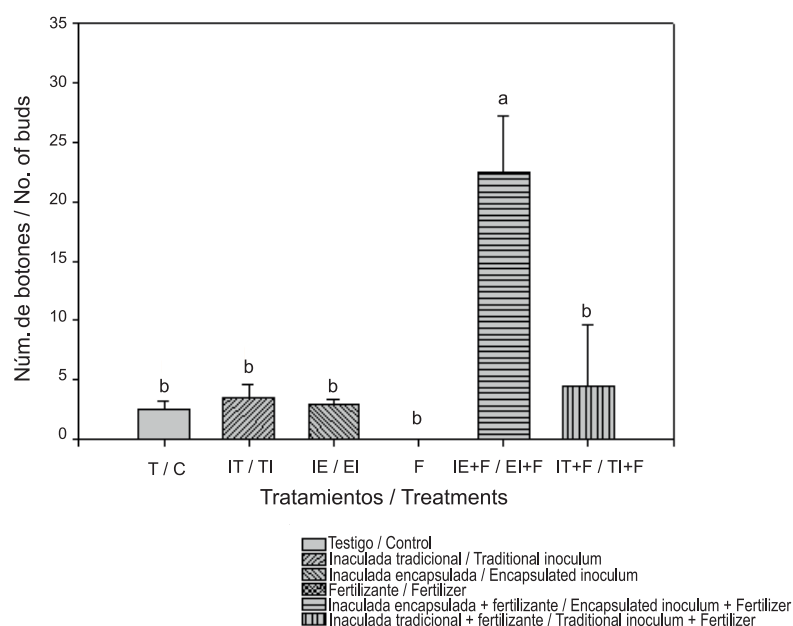


FIGURA 4. Número de botones florales en *Saintpaulia ionantha* a los 180 días de la inoculación con hongos micorrícicos. T: Testigo; IT: inoculación con raíces frescas; IE: inoculante encapsulado en perlas de alginato de calcio; F: aplicación de fertilizante; IT+F: inoculado tradicional + fertilizante; IE+F: inoculado encapsulado + fertilizante. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). Las líneas verticales son el error estándar (\pm).

FIGURE 4. Number of flower buds in *Saintpaulia ionantha* at 180 days after inoculation with mycorrhizal fungi. C: Control; TI: inoculation with fresh roots; EI: encapsulated inoculum in calcium alginate beads; F: fertilizer application; TI+F: traditional inoculum + fertilizer; EI+F: encapsulated inoculum + fertilizer. Columns with the same letter are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$). The vertical lines are the standard error (\pm).

Para la variable longitud de raíz colonizada y peso seco de la raíz no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Sin embargo, el porcentaje más alto de colonización se observó en la interacción IE+F (24.70 %), seguido de los tratamientos IT (23.65 %), IT+F (16.72 %) e IE (13.45 %).

DISCUSIÓN

S. ionantha es una planta de ornato que demanda aportes considerables de nitrógeno, fósforo y potasio para su cultivo (Thomas, 2012), y por ello los floricultores consideran fundamental la fertilización inorgánica para su apropiado crecimiento y desarrollo. Sin embargo, las características comerciales de las violetas africanas mostraron una marcada mejoría al incorporar HMA en el proceso productivo, de modo que estos se convierten en una buena alternativa para el productor, tal y como Gaur *et al.* (2000) y Scagel (2004b) lo han confirmado.

Respecto al área foliar, la respuesta más satisfactoria a los 90 y 180 DDI fue donde se incorporaron primeramente los HMA y luego se fertilizó (IT+F e IE+F), lo cual, desde un punto de vista comercial, es esencial en las plantas de ornato para interior donde el follaje es un factor determinante de calidad e indiscutible valor para su mercadeo. Además, Jones (1992) y Bisgrove y Hadley (2002) aseguran que una fotosíntesis laminar óptima se traduce en la formación, nutrición interna y progreso hormonal de los primordios florales.

En relación al número de botones florales producidos a los 90 DDI, el análisis de los resultados indicó que entre los tratamientos fertilizados (IE+F, IT+F y F) y los inoculados (IT e IE) no hubo diferencias estadísticas, aunque en estos últimos fue claro el efecto de los microorganismos al promover la aparición de hasta un 50 % más de flores, lo cual ratifica su capacidad para actuar como biofertilizantes, biorreguladores y bioprotectores, tal cual es documentado por Panwar y Vyas (2002) en *Moringa concanensis* Nimmo. Sin embargo, la aparición de estas estructuras se elevó hasta en 80 % (IE+F) cuando se adicionó fertilizante en dosis comúnmente utilizadas por el productor en este sistema de producción.

Por esta razón, la aplicación de fertilizantes inorgánicos contribuye a acelerar la presencia de ambas estructuras y, por ende, reduce el tiempo de floración y favorece la obtención de plantas de buena calidad, tal y como Gaur *et al.* (2000) lo constatan en *Petunia hybrida* E. Vilm., *Callistephus chinensis* (L.) Nees e *Impatiens balsamina* L. inoculadas con HMA y fertilizadas en tiempo y forma.

Incluso cuando la inoculación de *S. ionantha* se realizó junto con dosis continuas de fertilización, en particular de nitratos y sulfatos que pudiesen haber afectado el establecimiento funcional de la simbiosis, los mejores trata-

cultivos (Thomas, 2012), and that is why growers consider inorganic fertilization essential for its proper growth and development. However, the African violet's commercial characteristics showed marked improvement when AM fungi were incorporated into the production process, making them a good alternative for the producer, as Gaur *et al.* (2000) and Scagel (2004b) have confirmed.

Regarding leaf area, the most satisfactory response at 90 and 180 DAI was where AM fungi were first incorporated and then fertilized (TI+ F and EI+F), which, from a commercial point of view, is essential in indoor ornamental plants where foliage is a decisive quality factor and of unquestionable value for marketing purposes. In addition, Jones (1992) and Bisgrove and Hadley (2002) ensure that optimal laminar photosynthesis results in the formation, internal nutrition and hormonal progress of floral primordia.

In relation to the number of flower buds produced at 90 DAI, results analysis indicated that among the fertilized treatments (EI+F, TI+F and F) and the inoculated ones (TI and EI) there were no statistical differences, although in the latter the effect of the microorganisms was clear as they promoted the emergence of up to 50 % more flowers, which confirms their ability to act as biofertilizers, bioregulators and bioprotectors, as is documented by Panwar and Vyas (2002) in *Moringa concanensis* Nimmo. However, the emergence of these structures increased by up to 80 % (EI+F) when fertilizer was added in doses commonly used by the producer in this production system.

For this reason, inorganic fertilizer application helps accelerate the emergence of both structures and, therefore, reduces flowering time and promotes the production of good quality plants, as Gaur *et al.* (2000) found in *Petunia hybrida* E. Vilm., *Callistephus chinensis* (L.) Nees and *Impatiens balsamina* L. inoculated with AM fungi and fertilized in a timely manner.

Even when the inoculation of *S. ionantha* was performed in conjunction with continuous fertilization doses, particularly nitrates and sulfates that could have affected the functional establishment of symbiosis, the best treatments were TI+F and EI+F, a circumstance that at some point arises because mycorrhizal activity adapts to soil fertility, as recognized by Johnson and Pfleger (1992) and Grant *et al.* (2005).

Regarding the number of leaves, the best treatments were where AM fungi and fertilizer (EI+F and TI+F) were added, which could be due to the synergy of the interaction that occurs when the two elements are in the soil, as pointed out by El-Khateeb *et al.* (2010) in accounting for the greater number of leaves in treatments of parlor palm (*Chamaedorea elegans* Mart.) inoculated with low concentrations of AM fungi (5 g·plant⁻¹) and fertilized with NPK (1:1:1), 5 g·plant⁻¹ of NH₄NO₃, P₂O₅ and K₂O, respectively.

mientos fueron IT+F e IE+F, circunstancia que en un momento dado se origina debido a que la actividad micorrícica se aclimata a la fertilidad de un suelo, tal cual Johnson y Pfleger (1992) y Grant *et al.* (2005) lo reconocen.

Con respecto al número de hojas, los mejores tratamientos fueron donde se incorporaron los HMA y el fertilizante (IE+F e IT+F), lo cual podría deberse a la sinergia de la interacción que se da al interactuar ambos elementos en el suelo, tal y como lo señalan El-Khateeb *et al.* (2010) al contabilizar mayor número de hojas en los tratamientos de palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.) inoculados con bajas concentraciones de HMA (5 g.planta⁻¹) y fertilizados con NPK (1:1:1), 5 g.planta⁻¹ de NH₄NO₃, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Sin embargo, como el propósito del presente trabajo fue cotejar si el uso de estos microorganismos reduce los costos de producción de *S. ionantha* en este sistema florícola comercial, y de ser así proponer alternativas para la reducción en la aplicación de fertilizantes inorgánicos, los resultados emanados de esta investigación sugieren la conveniencia de profundizar en la sinergia positiva que puede existir entre los microorganismos y los elementos de origen inorgánico (KNO₃ y MgSO₄) que se incorporaron al suelo.

En consecuencia, precisar la dosis óptima de fertilización para *S. ionantha* en sistemas de cultivo intensivo se convierte en una tarea inaplazable, ya que sin duda ello redundaría en beneficio de los productores, como Varshney *et al.* (2002) lo han confirmado.

Al finalizar el experimento se observó que la sola aplicación de HMA sin fertilizante no produjo plantas con los estándares de calidad requeridos en el mercado, por lo que la adición del insumo inorgánico potenció el efecto deseado por el productor en la floración y vigor de las violetas africanas.

Tal inferencia coincide con lo asegurado por Azcón-Aguilar y Barea (1980), en cuanto a los requerimientos de niveles adecuados de P y otros elementos nutritivos para que la presencia de los HMA sea exitosa en el crecimiento y desarrollo de sus hospedadoras. Sin embargo, valdría la pena estimar los costos-beneficio que un floricultor tendría al recurrir a la inoculación controlada con hongos micorrizógenos para mejorar el manejo tradicional de esta ornamental. Si el envío al mercado de la violeta africana depende del número de racimos florales y flores casi completamente abiertas (Espinosa *et al.*, 2013), el uso de los HMA podría repercutir en un ahorro apreciable en insumos y jornales necesarios para el cuidado de las plantas, tal y como Callejas-Ruiz *et al.* (2009) lo han corroborado en la producción de flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzch) en vivero.

However, as the purpose of this study was to corroborate whether the use of these microorganisms reduces the production costs of *S. ionantha* in this commercial floriculture system, and if so, propose alternatives to reduce the application of inorganic fertilizer, the results of this research suggest the advisability of reinforcing the positive synergy that can exist between the microorganisms and inorganic elements (KNO₃ and MgSO₄) that were incorporated into the soil.

As a result, defining the optimal fertilization dose for *S. ionantha* in intensive culture systems is an urgent task, as it would certainly benefit producers, as Varshney *et al.* (2002) have confirmed.

At the end of the experiment it was observed that only the application of AM fungi without fertilizer did not produce plants with the quality standards required by the market, so it can be deduced that the addition of the inorganic input enhanced the effect desired by the producer in the flowering and vigor of African violets.

This inference coincides with the assurances given by Azcón-Aguilar and Barea (1980), in terms of the requirements of adequate levels of P and other nutrients for AM fungi to successfully contribute to the growth and development of their host. However, it would be worthwhile to estimate the benefit-cost ratio that a grower would have by resorting to controlled inoculation with mycorrhizal fungi to improve the traditional management of this ornamental. If the shipping of African Violet to market depends on the number of flower clusters and flowers almost completely open (Espinosa *et al.*, 2013), the use of AM fungi could result in a significant savings in inputs and wages necessary for the care of these plants, as Callejas-Ruiz *et al.* (2009) have confirmed in the production of poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzch) in a nursery.

CONCLUSION

Given that the interaction between the AM fungi and the fertilizer promoted not only earlier emergence of quality flowers in *S. ionantha*, but also reduced its time under management conditions in this commercial nursery to 180 days, the use of these symbionts is considered a biotechnological alternative with potential application in African violet production.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Mr. Víctor Llamas, who was passionate about Veracruz floriculture throughout his life, for providing the facilities and material that were required to conduct this research.

End of English Version

CONCLUSIÓN

Dado que la interacción entre los HMA y el fertilizante no sólo promovió la prematura aparición de flores de calidad en *S. ionantha*, sino que también redujo su estancia bajo las condiciones de manejo en este vivero comercial a 180 días, el uso de estos simbiontes se considera como una alternativa biotecnológica con posibilidades de aplicación en la producción de violeta africana.

AGRADECIMIENTOS

A Víctor Llamas, un apasionado de la floricultura veracruzana, por facilitar las instalaciones y el material que se requirió para llevar a cabo esta investigación.

LITERATURA CITADA

- AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J. M. 1980. Micorrizas. Investigación y Ciencia 47: 8-16.
- ALANÍS-FLORES, G. J.; GONZÁLEZ-ALANÍS, D. 2002. Flora urbana del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México, pp.1-19. In: Alba y Horizonte. GALÁN, L. J.; LUNA, H. A.; GARCÍA, J. A.; ARÉVALO, K.; CAVAZOS, A.; PEREYRA B. (eds.). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- ALVAREZ-SANTIAGO, S. A.; GARCÍA-OLIVA, F.; VARELA, L. 1996. Analysis of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization data with a logistic regression model. Mycorrhiza 6: 197-200. doi: 10.1007/s005720050126
- BISGROVE, R.; HADLEY, P. 2002. Gardening in the Global Greenhouse: The Impacts of Climate Change on Gardens in the UK. UK Climate Impacts Programme. Oxford, United Kingdom. 139 p. http://ukcip-main.clustered.net/wordpress/wp-content/PDFs/Gardens_tech.pdf
- BROOKS, L.; BROWN, D.; SMITH, S.; SPRENGER, S. 2006. The Use of Mycorrhizae in Native Plant Production. University of Washington, Washington D.C., USA. 13 p. http://depts.washington.edu/propplnt/Chapters/Myco_NPP_FINAL.pdf
- BUNN, R.; LEKBERG, Y.; ZABINSKI, C. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants. Ecology 90(5): 1378-1388. doi: 10.1890/07-2080.1
- CALLEJAS-RUIZ, B. A.; CASTILLO-GONZÁLEZ, A. M.; COLINAS-LEÓN, M. T.; GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C.; PINEDA-PINEDA, J.; VALDEZ-AGUILAR, L. A. 2009. Sustratos y hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(1): 57-66. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?id=NDUz>
- CHANDRASHEKARA, C. P.; PATIL, V. C.; SREENIVASA M. N. 1995. VA-mycorrhiza mediated P effect on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) at different P levels. Plant and Soil 176(2): 325-328. doi: 10.1007/BF00011797
- JOHNSON, N. C.; PFLEGER F. L. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses, pp. 71-99. In: Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (eds.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, United States of America. doi:10.2134/asapecpub54.c4
- DEFILIPPS, R. 2000. Gesneriads turn on "the guiding light". The Plant Press 3(4): 1-6. <http://botany.si.edu/pubs/plantpress/vol3no4.pdf>
- DUBSKÝ, M.; ŠRÁMEK, F.; VOSÁTKA, M. 2002. Inoculation of cyclamen (*Cyclamen persicum*) and poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) with arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum*. Plant Soil and Environment 48(1): 63-68. <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/53766.pdf>
- EL-KHATEEB, M. A.; EL-MADAAWY, E.; EL-ATTAR, A. 2010. Effect of some biofertilizers on growth and chemical composition of *Chamaedorea elegans* Mart. seedlings. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants 2(3): 123-129. <http://www.idosi.org/jhsop/2%283%2910/6.pdf>
- ESPINOSA F., A.; MEJÍA M., J.; RODRÍGUEZ E., M. A. 2013. Manual de Producción de Plantas de Nochebuena y Ornato. Fundación PRODUCE Sinaloa A. C. México. 47 p. <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/839/Manual%20de%20produccion%20de%20plantas%20de%20nochebuena%20y%20ornato.pdf>
- GARDEZI, A. K.; CETINA A., V. M.; FERRERA-CERRATO, R.; VELÁSQUEZ M., J.; PÉREZ M., C. A.; LARQUÉ S., M. 2001. Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biológico de la pudrición causada por *Fusarium* sp. en gladiola. Terra 19(3): 259-264. <http://94.23.146.173/ficheros/9cdae478861548bfd2048a3ddaaf842f.pdf>
- GAUR, A.; GAUR, A.; 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. Scientia Horticulturae 84(1): 151-162. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00105-3
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 84(3): 489-500. doi: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x
- GRANT, C.; BITTMAN, S.; MONTREAL, M.; PLENCHETTE, C.; MOREL C. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: effects on plant P supply and mycorrhizal development. Canadian Journal of Plant Science 85(1): 3-14. doi: 10.4141/P03-182
- JONES, H. G. 1992. Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Second Edition. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 456 p.
- MISHRA, B. B.; MISHRA, S. N. 2004. Mycorrhiza and its significance in sustainable forest development. Orissa Review 12: 52-55. <http://orissa.gov.in/e-magazine/Orissareview/dec2004/englishPdf/mycorrhizaanditsignificanceinsustainableforest.pdf>
- PANWAR, J.; VYAS, A. 2002. AM fungi: a biological approach towards conservation of endangered plants in Thar desert, India. Current Science 82(5): 576-578. http://www.currentscience.ac.in/Downloads/article_id_082_05_0576_0578_0.pdf

- PEDRAZA-SANTOS, M.; JAEN-CONTRERAS, D.; GUTIÉRREZ-ESPINOSA, A.; COLINAS-LEÓN, T.; LÓPEZ-PERALTA, C. 2001. Crecimiento y nutrición de microplantas de gerbera inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares. *Agrociencia* 35(2): 149-158. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2001/mar-abr/art-3.pdf>
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Hesse, Germany. 371 p.
- SINGH, L. P.; GILL, S. S.; TUTEJA, N. 2011. Unraveling the role of fungal symbionts in plant abiotic stress tolerance. *Plant Signaling & Behavior* 6(2): 175-191. doi: 10.4161/psb.6.2.14146
- SCAGEL, C.F. 2003. Soil pasteurization and inoculation with *Glomus intraradices* alters flower production and bulb composition of *Zephyranthes* spp. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 78(6): 798-812. <http://www.usmarc.usda.gov/SP2UserFiles/person/4947/PDFs/Scagel1st/Scagel2003ZephyrJHSB.pdf>
- SCAGEL, C.F. 2004a. Inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria alters nutrient allocation and flowering of harlequin flower. *HortTechnology* 14(1): 39-48. <http://horttech.ashspublications.org/content/14/1/39.full.pdf>
- SCAGEL, C.F. 2004b. Soil pasteurization and mycorrhizal inoculation alter flower production and corm composition of *Brodiaea laxa* "Queen Fabiola". *HortScience* 39(6): 1432-1437. <http://hortsci.ashspublications.org/content/39/6/1432.full.pdf>
- STRECK, N. A. 2004. A temperature response function for modeling leaf growth and development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). *Ciência Rural* 34(1): 55-62. doi: 10.1590/S0103-84782004000100009
- STRULLU, D. G.; PLENCHETTE, C. 1990. Encapsulation de la forme intraracinaire de *Glomus* dans l'alginate et utilisation des capsules comme inoculum. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Série III, Sciences de la vie* 310(10): 447-452. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6296917d/f465.image.langEN>
- STRULLU, D. G.; PLENCHETTE, C. 1991. The entrapment of *Glomus* sp. in alginate beads and their use as root inoculum. *Mycological Research* 95(10): 1194-1196. doi: 10.1016/S0953-7562(09)80009-9
- THOMAS, P. A. 2012. Growing African Violets (Circular no. 660). University of Georgia. Cooperative Extension. Athens, Georgia, United States of America. 4 p. http://www.caes.uga.edu/applications/publications/files/pdf/C%20660_2.PDF
- VARSHNEY, A.; SHARMA, M. P.; ADHOLEYA, A.; DHAWAN, V.; 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. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77(3): 258-263. http://www.jhortscib.org/Vol77/77_3/2.htm
- YADAV, K., SINGH, N.; AGGARWAL, A. 2012. Arbuscular mycorrhizal technology for the growth enhancement of micropropagated *Spilanthus acmella* Murr. *Plant Protection Science* 48(1): 31-36. <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/81166.pdf>