



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo

### Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions

DORA TREJO<sup>1</sup>, RONALD FERRERA-CERRATO<sup>2</sup>, ROBERTO GARCÍA<sup>2</sup>, LUCÍA VARELA<sup>3</sup>, LILIANA LARA<sup>1</sup>, & ALEJANDRO ALARCÓN<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Veracruzana s/n, Lomas del estadio, 91090, Xalapa, Veracruz

<sup>2</sup> Área de Microbiología, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo 56230, Estado de México

<sup>3</sup> Hongos y Derivados, S. A. de C. V. Acueducto Molino del Rey Manzana A, Lote 20 Fraccionamiento Xalpa La Huerta Naucalpan, Estado de México

\*Autor correspondiente: aalarconcp@gmail.com

#### RESUMEN

Se probó el efecto de siete consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) aislados de fincas cafetaleras con diferente nivel de tecnología (bajo, medio y alto) del estado de Veracruz, en el crecimiento de plantas de café (*Coffea arabica* L.) var. Garnica en condiciones de invernadero y de campo. El grado de tecnificación influyó en la composición de especies de HMA, a mayor tecnificación menor número de especies de HMA encontradas. En condiciones de invernadero, los consorcios incrementaron la altura en un 91 % con respecto al testigo absoluto y al testigo fertilizado con fósforo (800 mg Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>). A los 130 días después de la inoculación (DDI), el mejor consorcio fue La Estanzuela (ES). En condiciones de campo, a los 290 DDI, las plantas inoculadas con los consorcios ES, Miradores (MI), y Paso Grande (PG) tuvieron mayor supervivencia (> 80 %). Los consorcios más efectivos en la promoción de la altura y supervivencia de las plantas en condiciones de campo, procedieron de agroecosistemas con nivel de tecnología medio (MI y ES), mismos que tuvieron mayor número de especies de HMA.

**Palabras clave:** café, crecimiento, HMA nativos, supervivencia.

#### ABSTRACT

Seven arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) consortia isolated from coffee plantations with different agricultural inputs (low, intermediate, and high) at several sites of Veracruz State were tested on their effects on the growth of coffee plants (*Coffea arabica* L.) var. Garnica under nursery and field conditions. Agricultural input influenced the AMF-composition, in which the highest input the lowest number of AMF-species. At greenhouse conditions, AMF-consortia significantly increased plant height (91 %) in comparison to the control and to the P-fertilized control (800 mg Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>). After 130 days of inoculation (DAI), the best AMF-consortium was La Estanzuela (ES). At field conditions, after 290 DAI, the plants inoculated with the consortia ES, Miradores (MI), and Paso Grande (PG) had greater survival (> 80 %). The most effective AMF-consortia on plant growth promotion and survival under field conditions were collected from intermediate-input agricultural plantations (MI and ES), which also had the greatest number of AMF-species.

**Key words:** coffee crop, growth, native AMF, plant survival.

#### INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos rizosféricos simbióticos de más del 80 % de las plantas (Smith y Read 1997). El efecto benéfico de los HMA (definido como efectividad) en la promoción del crecimiento y/o nutrición de las plantas parece estar definido por la riqueza de especies y por la procedencia de su

aislamiento (Van der Heijden et al. 1998, Klironomos et al. 2000). Como ejemplo, se ha demostrado que la inoculación con HMA aislados de fincas cafetaleras favorece significativamente el crecimiento de plantas de café en comparación con cepas de HMA de diferente origen (González-Chávez & Ferrera-Cerrato 1996, Álvarez-Solís & Ferrera-Cerrato 2006). No obstante, estos trabajos no consideraron la identidad taxonómica ni

aspectos ecológicos de donde fueron recolectados los HMA.

Aún cuando no son específicos, los HMA pueden presentar mayor compatibilidad hacia algunas especies vegetales (Van der Heijden et al. 1998). Así, algunos HMA pueden estimular el crecimiento, y otros pueden favorecer la absorción de nutrientes, inducir resistencia a fitopatógenos, o ayudar en la adaptación y tolerancia de las plantas ante condiciones de estrés (Aguilera-Gómez et al. 1999, Hodge et al. 2000). Por lo anterior, el uso de inoculantes basados en consorcios integrados por más de una especie de HMA tiene especial importancia para asegurar mayores efectos benéficos en sus hospedantes (Gavito & Varela 1995).

La mayor parte de las investigaciones respecto a la aplicación de HMA en plantas han considerado evaluaciones bajo condiciones controladas de invernadero y/o cámara de crecimiento (Abdel-Fattah 1997, Beyeler & Heyser 1997, Munro et al. 1999, Fracchia et al. 2000). Sin embargo, poco se sabe de la respuesta de estas plantas al ser establecidas en condiciones de campo (Jakobsen 1994, Van der Putten & Peters 1997, Olsson et al. 1999, Jakobsen et al. 2001, Matthews & Clay 2001, Schweiger et al. 2001).

Por otra parte, la diversidad funcional de los HMA puede depender de la procedencia de los aislamientos, más que de la especie fúngica (Robson et al. 1994, Brundrett et al. 1996). Con base en el uso práctico de los inoculantes en la agricultura, es pertinente mencionar que cada especie de HMA que conforma a un consorcio micorrízico puede tener diferente función. Por lo anterior, es importante tener inoculantes de HMA aislados de cultivos establecidos (Calvente et al. 2004). Lo anterior permite aislar HMA con mayor adaptación a condiciones edafoclimáticas específicas en donde serán introducidos.

En México, el café se cultiva bajo diferente manejo agronómico y condiciones edafoclimáticas (Alvarado-Rivero et al. 2006, Muschler 2006), y cuya respuesta a la inoculación con HMA se refleja en mayor crecimiento y adaptación a condiciones adversas. Por lo anterior, este trabajo evaluó la efectividad de consorcios de HMA aislados de fincas cafetaleras de Veracruz, en el crecimiento de plantas de café var. Garnica, en condiciones de invernadero y de campo. De

manera paralela, se probó la hipótesis de que el manejo de los agrosistemas cafetaleros influye en la comunidad de los HMA en la rizosfera, y de manera significativa, en los efectos benéficos aportados a plantas de café establecidas en condiciones de invernadero y campo.

## MÉTODOS

### *Recolecta de suelo rizosférico en fincas cafetaleras*

Se recolectó suelo rizosférico de siete fincas de café (*Coffea arabica* L.) de la parte central del estado de Veracruz. Las fincas fueron seleccionadas de acuerdo con sistema de producción (Tabla 1): (a) Nivel de tecnología bajo, con sombra, una fertilización por año, deshierbes manuales, sin aplicación de agroquímicos y una producción promedio de una tonelada por hectárea; (b) Nivel de tecnología medio, con sombra, dos fertilizaciones por año, deshierbes manual y químico, regulación de la sombra, podas fitosanitarias y producción promedio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>; y (c) Nivel de tecnología alto, con exposición directa al sol, más de tres fertilizaciones por año, aplicación de herbicidas, fungicidas e insecticidas, programa de rejuvenecimiento, y producción promedio 7.5 t ha<sup>-1</sup>. Las características físicas y químicas de los suelos recolectados se presentan en la Tabla 2.

### *Propagación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)*

Los HMA fueron propagados en cultivo trampa (Sieverding 1991), durante siete meses, irrigados con agua destilada cada tercer día, en macetas de 3 kg de capacidad con arena estéril. Se utilizó un policultivo de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), café (*Coffea arabica* L.) variedad Garnica, pasto (*Dactylis glomerata* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) como plantas trampa. Las esporas fueron extraídas del suelo con base en la metodología propuesta por Gerdemann & Nicolson (1963), cuantificadas e identificadas a nivel morfoespecie con base en las descripciones del INVAM (2004).

### *Efectividad de HMA en condiciones de invernadero y campo*

Se preparó una mezcla de suelo de la región de Coatepec, Veracruz, con arena (1:1 v/v), desinfectada con 35 g m<sup>2</sup> de Dazomet por 48 h (Melgarejo et al. 2001). El contenido de P en la mezcla fue de 28 mg kg<sup>-1</sup> considerado como de contenido medio (Vázquez & Bautista 1993). Las semillas de café variedad Garnica, fueron desinfectadas superficialmente con hipoclorito de sodio al 10 %, por 15 minutos, y pregerminadas a 30 °C durante una semana. Una vez aparecida la radícula se estableció el almácigo con arena estéril, hasta tener plántulas en fase de mariposa (hojas cotiledonales). Las plántulas fueron individualmente inoculadas con 10 g de una mezcla de fragmentos de raíces (58 % de colonización en promedio) y suelo, de cada consorcio micorrízico obtenido de los cultivos trampa.

La efectividad de los HMA fue evaluada con base en la altura de las plantas, comparada con plantas fertilizadas con P y con el testigo. Esta evaluación se

hizo cada 30 días a partir de los 90 días después de la inoculación (DDI).

A los 130 DDI, se seleccionaron ocho plantas con altura homogénea de cada tratamiento, para ser llevadas a campo en una finca cafetalera del municipio de Totutla, Veracruz (19°14' N y 96°51' O), para evaluar el efecto de los consorcios en la supervivencia de las plantas. El potencial micorrízico de la finca medido por el número más probable (Sieverding 1991) fue de 2.9, y la cantidad de micelio extrarradical (Jakobsen et al. 1992, Sylvia 1992) fue de 338.8 mm g<sup>-1</sup>; se cuantificaron 2282 esporas (14.8 % de viabilidad) en 100 g de suelo seco. La distancia entre plantas fue de 70 cm distribuyendo los tratamientos en un diseño completamente al azar. Las plantas no fueron fertilizadas durante esta fase y la altura se evaluó mensualmente hasta los 290 DDI, además de la colonización micorrízica (Phillips & Hayman 1970).

#### *Diseño experimental y análisis de los datos*

Para el caso del número de esporas procedentes de muestras de campo, se evaluaron tres muestras (n = 3) y se aplicó la prueba de comparación de medias de

Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). La evaluación de la efectividad en invernadero y campo consistió de un diseño experimental completamente al azar, que incluyó nueve tratamientos (siete consorcios de HMA, un tratamiento fertilizado con fósforo (800 mg Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>) aplicado en una dosis al momento del trasplante, y un testigo absoluto sin inoculación y sin fertilización) con 15 y 8 repeticiones, respectivamente. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey.

## RESULTADOS

Se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el número de esporas entre los siete consorcios, el cual varió de 1160 a 8592 en 100 g suelo seco<sup>-1</sup>, correspondiendo a los consorcios de La Concepción (CO) y Paso Grande (PG), respectivamente (Tabla 3). Los consorcios procedentes de localidades con

TABLA 1

Características de manejo agronómico de las siete localidades cafetaleras del estado de Veracruz.

Agronomical management characteristics of seven sites with coffee plantations from Veracruz.

(Clave) Localidad	Edad (años)	Condiciones de estrés	Pendiente (%)	Nivel de tecnología	Densidad de siembra (plantas ha <sup>-1</sup> )	Sombra(%)
(BE) Bella Esperanza	15	Ninguna	30	Bajo	1500	70
(PG) Paso Grande	10	Ninguna	0	Bajo	1500	30
(JU) Juchique	30	Roya de café	0	Medio	1500	70
(CO) La Concepción	20	Exposición directa al sol	0	Alto	No determinado	0
(MI) Miradores	10	Sequía	25	Medio	1000	50
(XI) Xico	8	Exposición directa al sol	75	Alto	1500	0
(ES) La Estanzuela	27	Sequía	50	Medio	1400	70

TABLA 2

Características físicas y químicas de los suelos recolectados de siete localidades cafetaleras del estado de Veracruz. Los análisis de suelo fueron determinados en 100 g de suelo seco a temperatura ambiente, en oscuridad. Ver simbología de las localidades en la Tabla 1.

Chemical and physical characteristics of soils collected from seven sites with coffee plantations from Veracruz. Soil analysis were assessed in 100 of soil dried at room temperature in darkness. See abbreviations for sites at Table 1.

Localidad	Textura (%)			pH (2:1 H <sub>2</sub> O)	Materia orgánica Walkey-Back (%)	N-Kjeldahl (g kg <sup>-1</sup> )	P-Bray (mg kg <sup>-1</sup> )	K-extractable (g kg <sup>-1</sup> )
	Arena	Limo	Arcilla					
BE	24	27	39	5.8	7.8	0.40	30	0.40
PG	28	25	46	3.6	8.0	0.40	25	0.45
JU	17	29	54	4.8	3.7	0.20	14	0.30
CO	16	21	63	3.8	4.7	0.24	28	0.30
MI	18	27	55	3.7	5.6	0.31	20	0.45
XI	11	30	59	4.8	1.0	0.50	14	0.35
ES	20	34	46	4.9	3.9	0.20	20	0.35

TABLA 3

Procedencia de los consorcios, nivel tecnología, número de esporas y especies de HMA identificados en la rizósfera de siete localidades con plantaciones de café (*Coffea arabica* variedad Typica) en el estado de Veracruz. Ver simbología de las localidades en la Tabla 1. Letras idénticas en la misma columna para la variable número de esporas, son estadísticamente iguales, Tukey (P < 0.05). n = 3. Para la localidad CO, la plantación correspondía a *Coffea arabica* variedad Caturra.

Origin of the consortia, technology level, number of spores and AMF species identified in the rhizosphere of seven sites with coffee plantations (*Coffea arabica* variety Typica) in the state of Veracruz. See abbreviations for sites at Table 1. Identical letters in the column for the numbers of spores, are not significantly different (Tukey, P < 0.05). n = 3. For site CO the plantation corresponded to *Coffea arabica* variety Caturra.

Localidad	Nivel de tecnología	Número de esporas 100 g suelo seco	Especies de HMA identificadas
PG	Bajo (Sombra 70 %, 10 años, sin condición de estrés, pendiente cero, y densidad de siembra 1500 plantas ha <sup>-1</sup> )	8592 a	<i>Acaulospora foveata</i> (Trappe & Janos), <i>A. mellea</i> (Spain & Schenck), <i>A. spinosa</i> (Walker & Trappe), <i>Gigaspora</i> sp., <i>Glomus geosporum</i> , <i>Gl. macrocarpum</i> (Tul. & Tul.)
BE	Bajo (Sombra 70 %, 15 años, sin condición de estrés, pendiente 30 %, y densidad de siembra 1500 plantas ha <sup>-1</sup> )	7414 ab	<i>Acaulospora</i> aff. <i>rhemii</i> , <i>Gl. geosporum</i> ([Nicolson & Gerdemann] Walker), <i>Gl. intraradices</i> (Schenck & Smith), <i>Gl. coremioides</i> ([Berk. & Broome] Redecker & Morton)
JU	Medio (Sombra 60 %, 30 años, con roya de café, pendiente cero, y densidad de siembra 1500 plantas ha <sup>-1</sup> )	4110 bc	<i>Acaulospora mellea</i> (Spain & Schenck), <i>A. scrobiculata</i> (Trappe), <i>Acaulospora</i> sp. 1, <i>Glomus coremioides</i> ([Berk. & Broome] Redecker & Morton)
MI	Medio (Sombra 50 %, 10 años, con sequía, pendiente 25 %, y densidad de siembra 1000 plantas ha <sup>-1</sup> )	4769 abc	<i>Acaulospora mellea</i> (Spain & Schenck), <i>A. scrobiculata</i> (Trappe), <i>Gl. aggregatum</i> (Schenck & Smith), <i>Gl. geosporum</i> ([Nicolson & Gerdemann] Walker), <i>Gl. macrocarpum</i> (Tul. & Tul.), <i>Glomus</i> sp. 1, <i>Glomus</i> sp. 2, <i>Gl. coremioides</i> ([Berk. & Broome] Redecker & Morton), <i>Gl. sinuosum</i> ([Gerd. & Bakshi] Almeida & Schenck), <i>Scutellospora</i> sp.
ES	Medio (Sombra 60 %, 27 años, con sequía, pendiente 50 %, y densidad de siembra 1400 plantas ha <sup>-1</sup> )	4110 bc	<i>Acaulospora</i> aff. <i>rhemii</i> , <i>A. foveata</i> (Trappe & Janos), <i>A. scrobiculata</i> (Trappe), <i>Gigaspora gigantea</i> ([Nicolson & Gerd.] Gerd. & Trappe), <i>Gl. constrictum</i> (Trappe), <i>Gl. geosporum</i> ([Nicolson & Gerdemann] Walker), <i>Glomus</i> sp. 1, <i>Glomus</i> sp. 2, <i>Gl. coremioides</i> ([Berk. & Broome] Redecker & Morton)
XI	Alto (Exposición directa al sol, 8 años, pendiente 75 %, y densidad de siembra 1500 plantas ha <sup>-1</sup> )	1399 c	<i>Acaulospora scrobiculata</i> (Trappe), <i>Gigaspora</i> sp. 1, <i>Gl. geosporum</i> , <i>Gl. macrocarpum</i> (Tul. & Tul.)
CO	Alto (Exposición directa al sol, 20 años, pendiente cero)	1160 c	<i>Acaulospora mellea</i> (Spain & Schenck), <i>Gigaspora</i> sp. 1, <i>Glomus geosporum</i> ([Nicolson & Gerdemann] Walker), <i>Glomus</i> sp. 1

bajo nivel de tecnología presentaron mayor número de esporas con respecto a aquellas con nivel tecnológico medio o alto (Tabla 3). El mayor número de especies de HMA correspondió a los consorcios Miradores (MI) y La Estanzuela (ES) con nivel de tecnología medio, con 10 y 9 especies, respectivamente. No hubo variaciones en el número de especies entre los consorcios de localidades con bajo o alto nivel tecnológico (Tabla 3).

Los efectos benéficos de los consorcios micorrízicos fueron visibles a partir de los 90 DDI. Desde esta fecha hasta los 130 DDI, los consorcios ES y MI produjeron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mayor altura de plantas con respecto al resto de los tratamientos (Fig. 1). Los consorcios MI y ES fueron más eficientes en promover el crecimiento de las plantas, mientras que los consorcios CO y XI no presentaron diferencias con el testigo. A partir de los 30 días después del trasplante a campo (160 DDI), los consorcios MI y ES significativamente favorecieron la altura de la planta, con

respecto a los demás tratamientos, prevaleciendo este efecto hasta los 120 días después del trasplante a campo (250 DDI) (Fig. 1). A esta fecha de muestreo, la intensidad de la colonización mostró diferencias estadísticas entre consorcios de HMA. Los valores más altos de colonización fueron obtenidos en las plantas inoculadas con el consorcio PG (90.2 %) cuyo valor fue similar a los consorcios JU y MI. En contraste, los porcentajes de colonización más bajos fueron observados en las plantas inoculadas con los consorcios XI y CO (Fig. 2). No se observó colonización en las plantas de los tratamientos con fertilización ni en el testigo absoluto.

A los 290 DDI (condiciones de campo), las plantas inoculadas con los consorcios PG, ES, y MI presentaron mayor supervivencia ( $> 80\%$ ) (Fig. 3). Las plantas testigo tuvieron 60 % de supervivencia, mientras que en el resto de los tratamientos la supervivencia fue de 40 % en promedio (Fig. 3). Después de 250 DDI, no se observaron diferencias significativas en la colonización micorrízica entre tratamientos,

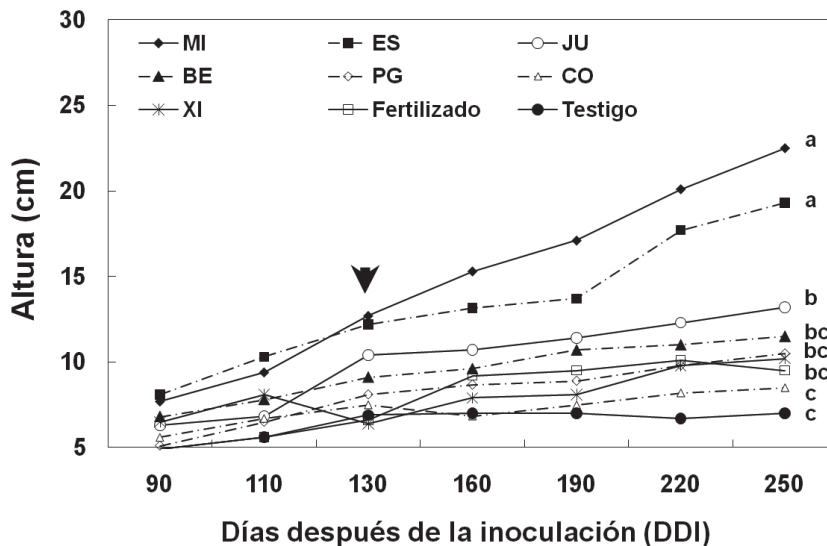


Fig. 1: Dinámica de altura de plantas de *Coffea arabica* variedad Garnica, inoculadas con siete consorcios de hongos micorrízicos arbusculares bajo condiciones de invernadero y campo (flecha indica el momento del trasplante a campo). Tratamiento fertilizado con fósforo:  $800 \text{ mg Ca(PO}_4\text{)}_3 \text{ kg}^{-1}$ . Letras idénticas para tratamientos a los 250 días, no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).  $n = 10$ . Abreviaciones: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepción, MI = Miradores, XI = Xico, y ES = La Estanzuela.

Dynamics of plant height of *Coffea arabica* variety Garnica, inoculated with seven consortia of arbuscular mycorrhizal fungi under greenhouse and field conditions (arrow indicates the time of transplanting to the field). Phosphorus fertilization:  $800 \text{ mg Ca(PO}_4\text{)}_3 \text{ kg}^{-1}$ . Identical letters for treatments at 250 days, are not significantly different (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).  $n = 10$ . Abbreviations: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepcion, MI = Miradores, XI = Xico, and ES = La Estanzuela.

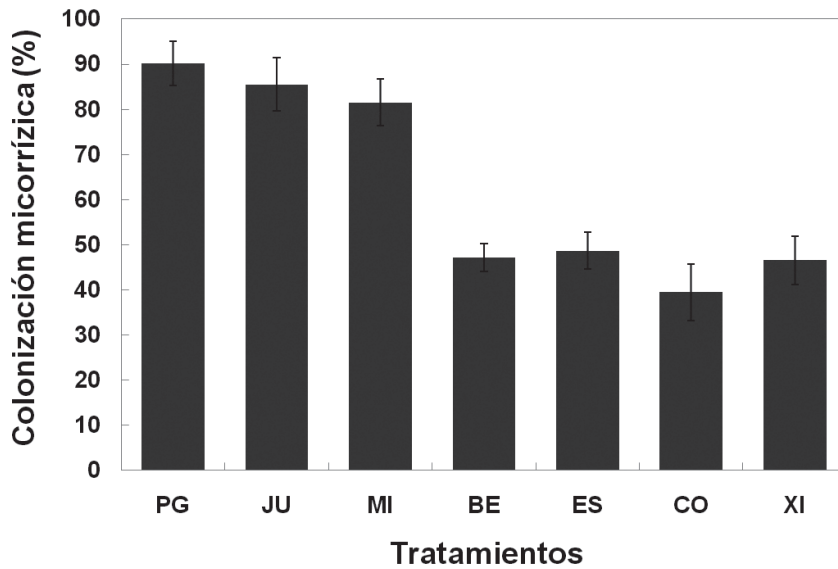


Fig. 2: Colonización micorrízica en plantas de *Coffea arabica* variedad Garnica, establecidas en condiciones de invernadero e inoculadas con siete consorcios de hongos micorrízicos arbusculares, después de 180 días de la inoculación. Medias  $\pm$  error estándar.  $n = 10$ . Abreviaciones: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepción, MI = Miradores, XI = Xico, y ES = La Estanzuela.

Mycorrhizal colonization in plants of *Coffea arabica* variety Garnica, under greenhouse conditions and inoculated with seven consortia of arbuscular mycorrhizal fungi, after 180 days of the inoculation. Means  $\pm$  standard error.  $n = 10$ . Abbreviations: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepcion, MI = Miradores, XI = Xico, and ES = La Estanzuela.

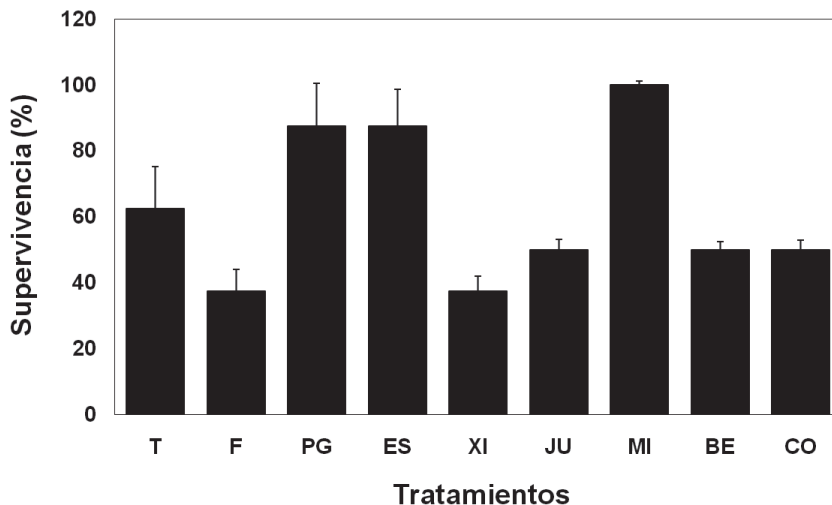


Fig. 3: Supervivencia en campo de plantas de *Coffea arabica* variedad Garnica inoculadas con siete consorcios de hongos micorrízicos arbusculares, después de 250 días de la inoculación. Medias  $\pm$  error estándar.  $n = 8$ . T = Testigo; F = Fertilizado con fósforo ( $800 \text{ mg Ca(PO}_4\text{)}_3 \text{ kg}^{-1}$ ). Abreviaciones: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepción, MI = Miradores, XI = Xico, y ES = La Estanzuela.

Field survival of plants of *Coffea arabica* variety Garnica inoculated with seven consortia of arbuscular mycorrhizal fungi, after 250 days of the inoculation. Means  $\pm$  standard error.  $n = 8$ . T = Control; F = Phosphorus fertilization ( $800 \text{ mg Ca(PO}_4\text{)}_3 \text{ kg}^{-1}$ ). Abbreviations: BE = Bella Esperanza, PG = Paso Grande, JU = Juchique, CO = La Concepcion, MI = Miradores, XI = Xico, and ES = La Estanzuela.

misma que estuvo en un rango de 37 y 57 % de colonización total (Trejo et al., datos no publicados). La colonización micorrízica en plantas testigo fue menor al 1 %, atribuida a la colonización de los HMA nativos.

## DISCUSIÓN

Las comunidades de HMA pueden diferir por efectos estacionales y la propia sucesión que se establece por la dinámica de esporulación entre las especies. No obstante, el manejo agronómico de los ecosistemas y agrosistemas tiene especial influencia en las poblaciones de HMA. Al respecto, aquellos sitios agrícolas orientados al manejo orgánico presentan mayor riqueza de especies de HMA en comparación con pastizales (Oehl et al. 2009). En el presente estudio, el mayor número de especies de HMA fue encontrado en la rizosfera de plantas procedentes de las plantaciones de café con bajo y medio nivel de tecnificación, con respecto a aquellas especies encontradas en los sistemas de alta tecnificación (XI y CO). Lo anterior se puede relacionar con la proliferación de mayor número de especies vegetales que caracteriza a los sistemas cafetaleros con baja y media tecnificación (PG, BE, JU, MI, y ES), mismas que proveen un nicho ecológico para las especies de HMA. Al respecto, Chiffot et al. (2009) mencionan que la abundancia de esporas es mayor en sistemas donde se utilizan especies arbóreas de manera intercalada en comparación con aquellos sistemas de monocultivo. De este modo, las especies arbóreas favorecen la proliferación de esporas de los HMA, favoreciendo con ello, la presencia de mayor número de especies en la rizosfera, como fue observado en el presente estudio en las localidades con bajo y medio nivel de tecnificación (PG, BE, JU, MI, y ES). Aun cuando se tienen variaciones en las poblaciones de los HMA en las localidades cafetaleras evaluadas en este estudio, las respuestas de las plantas de café variedad Garnica a la inoculación de los consorcios procedentes de los sistemas con menor tecnificación, fue mayor con respecto al efecto de los consorcios procedentes de sistemas altamente tecnificados (XI y CO). Lo anterior fortalece la idea de los beneficios y

del servicio simbiótico que proveen los HMA cuando son utilizados como inoculantes para las plantas, aun cuando estos procedan de agroecosistemas o ecosistemas con diferente manejo (Oibopuu et al. 2009).

Tanto en condiciones de invernadero y de campo se observaron diferencias significativas entre los siete consorcios en la promoción de la altura de las plantas. La mayoría de estos consorcios, excepto CO y XI, favorecieron significativamente la altura de las plantas con respecto al testigo. Lo anterior denota el efecto benéfico de los HMA en plantas con micotrofia obligada como lo es el café (Souza et al. 1991, Vaast et al. 1997, Siquiera et al. 1998, Bhattacharya & Bagyaraj 2002). El beneficio de los consorcios micorrízicos en las plantas dependió de su procedencia. Los consorcios con mayor efecto en el crecimiento vegetal correspondieron a aquellos que fueron recolectados de fincas con nivel tecnológico medio (MI, ES y JU), en comparación con los consorcios de fincas con bajo nivel tecnológico (PG y BE) y con alto nivel tecnológico (XI y CO).

El manejo agronómico de las fincas cafetaleras muestreadas resultó en variaciones en el beneficio de los HMA en las plantas. Al respecto se ha indicado que el manejo tecnológico de los agroecosistemas puede causar diferencias en las comunidades de HMA (Franke-Snyder et al. 2001, Mathimaran et al. 2007). Los consorcios procedentes de fincas con exposición directa al sol y con más de tres fertilizaciones al año (XI y CO), produjeron menor beneficio, y tuvieron menor número de especies de HMA. En contraste, los consorcios más efectivos en el crecimiento de las plantas (MI y ES) tuvieron mayor número de especies de HMA. Lo anterior refuerza la hipótesis de que los agroecosistemas con tendencia a la sustentabilidad tienen mayor riqueza de especies de HMA (Purin et al. 2006, Mathimaran et al. 2007). Gavito y Varela (1995) indican que un mayor número de especies de HMA en un consorcio, representa la suma de las posibles interacciones fúngicas con diferentes habilidades competitivas, fisiológicas e infectivas, que definen su beneficio en las plantas. Aun cuando la diversidad de los HMA tiene un papel importante, la abundancia de cada especie que conforma a un consorcio puede ser

determinante en la promoción del crecimiento vegetal (Lovelock et al. 2003). Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que las especies identificadas de HMA en los consorcios puedan estar subestimadas debido a la dificultad de caracterizar aquellas especies de HMA no esporulantes (Douds & Millner 1999).

A manera de conclusiones se tiene que el mayor número de especies de HMA (10 especies) se observó en dos de las localidades con manejo tecnológico medio (MI y ES), además, de que la inoculación de estos dos consorcios produjo efectos significativos en el crecimiento y desarrollo de *Coffea arabica* var. Garnica, tanto en condiciones de invernadero como en campo. En contraste, los consorcios procedentes de localidades con nivel tecnológico alto (XI y CO), presentaron menor número de especies de HMA, cuya efectividad en el crecimiento fue similar al de plantas no inoculadas.

Este trabajo resalta la necesidad de estudiar la diversidad natural de HMA para usarlos como inoculantes en la producción comercial de plantas de café, como se sugiere para otros cultivos (Calvente et al. 2004). Con base en los resultados, se fortalece la hipótesis de que el manejo altamente tecnificado de los agrosistemas cafetaleros influye en la disminución de la población de HMA, y de manera más importante, la pérdida de especies de HMA por efecto de la tecnificación se refleja en la disminución de sus efectos benéficos en la altura y adaptación de las plantas de café establecidas en condiciones de invernadero y campo.

AGRADECIMIENTOS: Dr. Robert Linderman (UDSA, Oregon Corvallis) por la revisión del trabajo. Trabajo financiado por el proyecto 99-06-012-V SIGOLFO-CONACYT, y por el programa PROMEP y la Universidad Veracruzana. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias emitidas a este manuscrito por dos revisores anónimos.

#### LITERATURA CITADA

- ABDEL-FATTAH GM (1997) Functional activity of VAMycorrhiza (*Glomus mosseae*) in the growth and productivity of soybean plants grown in sterilized soil. *Folia Microbiologica* 42: 495-502.
- AGUILERA-GÓMEZ L, FT DAVIES JR, V OLALDE-PORTUGAL, SA DURAY & 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.
- ALVARADO-RIVERO JL, R QUIROGA-MADRIGAL, L SOTO-PINTO, N LEÓN-MARTÍNEZ & H SAUCEDO-MARTÍNEZ (2006) Interacciones entre el manejo de sistemas de producción de café y su impacto en la calidad del suelo: Experiencias de la Sierra Madre de Chiapas, México. En: Pohlan J, L Soto & J Barrera (eds) El cafetal del futuro, realidades y visiones: 29-38. Shaker Verlag, Aachen, Alemania.
- ÁLVAREZ-SOLÍS JD & R FERRERA-CERRATO (2006) Micorriza arbuscular y crecimiento del café en vivero. En: Pohlan J, L Soto & J Barrera (eds) El cafetal del futuro, realidades y visiones: 19-22. Shaker Verlag, Aachen, Alemania.
- BHATTACHARYA S & DJ BAGYARAJ (2002) Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal isolates on arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Biology Agriculture and Horticulture* 20: 125-131.
- BRUNDRETT MC, N BOUGHER, B DELL, T GRAVE & N MALAJCZUK (1996) Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Monografía 32. Canberra, Australia.
- CALVENTE R, C CANO, N FERROL, C AZCON-AGUILAR & JM BAREA (2004) Analysing natural diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in olive tree (*Olea europaea* L.) plantations and assessment of the effectiveness of native fungal isolates as inoculants for commercial cultivars of olive plantlets. *Applied Soil Ecology* 26: 11-19.
- CHIFFLOT V, D RIVEST, A OLIVIER, A COGLIASTRO & D KHASA (2009) Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131: 32-39.
- DOUDS DDJR & P MILLNER (1999) Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74: 77-93.
- FRACCHIA S, I GARCÍA-ROMERA, A GODEAS & JA OCAMPO (2000) Effect of the saprophytic fungus *Fusarium oxysporum* on arbuscular mycorrhizal colonization and growth of plants in greenhouse and field trials. *Plant Soil* 223: 175-184.
- FRANKE-SNYDER M, DD DOUDS JR, L GÁLVEZ, JG PHILLIP, P WAGONER, L DRINKWATER & JB MORTON (2001) Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. *Applied Soil Ecology* 16: 35-48.
- GAVITO ME & L VARELA (1995) Response of 'criollo' maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 176: 101-105.
- GERDEMANN JW & TH NICOLSON (1963) Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ MC & R FERRERA-CERRATO (1996) Influencia de la endomicorriza vesículo-arbuscular en cuatro variedades de café. En: Pérez-Moreno J & R Ferrera-Cerrato (eds) Avances de investigación área de microbiología



- de suelos: 101-112. PROEDAF, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de Mexico.
- HODGE A, D ROBINSON & AH FITTER (2000) An arbuscular mycorrhizal inoculum enhances root proliferation in, but not nitrogen capture from nutrient-rich patches in soil. *New Phytologist* 145: 575-584.
- INVAM (2004) International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. URL: <http://invam.caf.wvu.edu/> (accedido Septiembre, 2004).
- JAKOBSEN I (1994) Research approaches to study the functioning of vesicular-arbuscular mycorrhizas in the field. *Plant Soil* 159: 141-147.
- JAKOBSEN I, LK ABBOTT & AD ROBSON (1992) External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist* 120: 371-380.
- JAKOBSEN I, C GAZEY & LK ABBOTT (2001) Phosphate transport by communities of arbuscular mycorrhizal fungi in intact soil cores. *New Phytologist* 149: 95-103.
- KLIRONOMOS JN, J MCCUNE, M HART & J NEVILLE (2000) The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters* 3: 137-141.
- LOVELOCK CE, K ANDERSEN & JB MORTON (2003) Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia* 135: 268-279.
- MATHIMARAN N, R RUH, B JAMA, L VERCHOT, E FROSSARD & J JANSÁ (2007) Impact of agricultural management on arbuscular mycorrhizal fungal communities in Kenyan ferrasol. *Agriculture Ecosystems and Environment* 119: 22-32.
- MATTHEWS JW & K CLAY (2001) Influence of fungal endophyte infection on plant-soil feedback and community interactions. *Ecology* 82: 500-509.
- MELGAREJO P, A DE CAL, T SALTO, ML MARTÍNEZ-BERINGOLA, A MARTÍNEZ-TRECEÑO et al. (2001) El problema de la prohibición del bromuro de metilo como fumigante de suelos agrícolas. *Terralia* 20: 20-29.
- MUNRO RC, J WILSON, J JEFWA & KW MBUTHIA (1999) A low-cost method of mycorrhizal inoculation improves growth of *Acacia tortilis* seedlings in the nursery. *Forest Ecology and Management* 113: 51-56.
- MUSCHLER RG (2006) Manejo de sombra para cafetales sostenibles. En: Pohlen J, L Soto & J Barrera (eds) *El cafetal del futuro, realidades y visiones*: 39-62. Shaker Verlag, Aachen, Alemania.
- OEHL F, E SIEVERDING, K INEICHEN, P MADER, A WIEMKEN & T BOLLER (2009) Distinct sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities from different agroecosystems in long-term microcosms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 134: 257-268.
- OLSSON PA, I THINGSTRUP, I JAKOBSEN & DF BAATH (1999) Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1879-1887.
- PHILLIPS JM & DS HAYMAN (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- PURIN S, O KLAUBERG & SL STÜRMER (2006) Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 1831-1839.
- ROBSON AD, LK ABBOTT & N MALAJCZUK (1994) Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry (Developments on plant and soil sciences). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston.
- SCHWEIGER PF, NH SPLIID & I JAKOBSEN (2001) Fungicide application and phosphorus uptake by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi into field-grown peas. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1231-1237.
- SIEVERDING E (1991) Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Alemania.
- SIQUEIRA JO, OJ SAGGIN-JUNIOR, WW FLORES-AYLAS & PTG GUIMARAES (1998) Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza* 7: 293-300.
- SMITH SE & DJ READ (1997) *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego, CA.
- SOUZA CAS & JO SIQUEIRA (1991) Development and nutrient levels of coffee seedlings inoculated with mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 26: 1989-2005.
- SYLVIA DM (1992) Quantification of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Methods in Microbiology* 24: 54-65.
- UIBOPUU A, M MOORA, U SAKS, T DANIELL, M ZOBEL & M OPIK (2009) Differential effect of arbuscular mycorrhizal fungal communities from ecosystems along management gradient on the growth of forest understorey plant species. *Soil Biology and Biochemistry* 41: 2141-2146.
- VAAST P, RJ ZASOSKI & CS BLEDSOE (1997) Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica* L.). *Mycorrhiza* 6: 493-497.
- VAN DER HEIJDDEN MGA, JN KLIRONOMOS, M URSIC, P MOUTOGLIS, R STREITWOLF-ENGEL, T BOLLER, A WIEMKEN, & IR SANDERS (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.
- VAN DER PUTTEN WH & BAM PETERS (1997) How soil-borne pathogens may affect plant competition. *Ecology* 78: 1785-1795.
- VÁZQUEZ AA & AN BAUTISTA (1993) Guía para interpretar el análisis químico del suelo y agua. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Chapingo, México.

