

Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (*Persea americana* Mill) y selección de plantas trampa para su propagación

Carreón-Abud Yazmín^{1✉}, Gómez-Dorantes Nuria², Beltrán-Nambo Ma de los Ángeles¹, Alvarado-Herrejón Mónica¹, Varela-Fregoso Lucía³

¹ Laboratorio de Genética y Microbiología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.

³ UAM. Iztapalapa. Departamento/Facultad: CBS - Biología. D. F., México.

Resumen

El propósito de este trabajo fue determinar la diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) presentes en la rizósfera de plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.) de suelos provenientes de dos parcelas, del Municipio de Jucacato, en la región aguacatera del Estado de Michoacán, México así como establecer cultivos trampa con diferentes plantas hospederas en condiciones de invernadero para la propagación más adecuada. Los resultados de la identificación de especies de HMA de suelo directo mostraron la presencia de 16 especies de HMA. *Scutellospora cerradensis* y *S. hawaiiensis* se registraron por primera vez en la región aguacatera de Michoacán. En los cultivos trampa se utilizaron las siguientes especies vegetales: maíz (*Zea mays* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), poro (*Allium porrum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), pastos y trébol (*Trifolium repens* L.). Los resultados de la colonización micorrícica mostraron que las raíces de plantas de tabaco y pastos obtuvieron un 81% y 88.9% de colonización total, respectivamente. Las esporas identificadas en los cultivos trampa correspondieron a 32 taxa. La especie *Glomus rubiforme* se detectó en los suelos de todas las plantas trampa que fueron utilizadas como hospederas, así como también en el suelo directo. Las plantas que generaron mayor densidad de esporas fueron el Poro (223 esporas/100 g de suelo); seguidas por Maíz (192) y Aguacate (160). En cuanto a la riqueza de especies, se obtuvieron valores más altos en plantas hospederas de poro y tabaco.

Palabras clave: Diversidad micorrícica, aguacate, plantas hospederas, colonización micorrícica.

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi from avocado rhizosphere (*Persea americana* Mill) and selection of trap plants for propagation

Abstract

The objective of this work was to determine the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the rhizosphere of avocado plants (*Persea americana* Mill.) in soils from two plots, from the Municipality of Jucacato, in the avocado-growing region of the State of Michoacan, Mexico, and establish trap cultures with different hosts under greenhouse conditions, to determine which is the plant most adequate for the propagate of these fungi. The results from the identification of AMF species from direct soil showed the presence of 16 AMF species. *Scutellospora cerradensis* and *S. hawaiiensis* were registered for the first time in the avocado-growing region of Michoacan. The following plant species were used as trap culture: maize (*Zea mays* L.), tobacco (*Nicotiana tabacum* L.), leek (*Allium porrum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), avocado (*Persea americana* Mill.) and grass and clover (*Trifolium repens* L.). The results of the mycorrhizal colonization showed that tobacco and grass had a total root colonization of 81% and 88.9%, respectively. The spores identified in the trap cultures belonged to 32 taxa. The species *Glomus rubiforme* was detected in the soils of all the trap culture that were used as hosts, as well as in the direct soil. The plants that generated the highest spore density were leek (223 spores/100 g of soil); followed by maize (192) and avocado (160). With respect to species richness, higher values were obtained in leek and tobacco host plants.

Key words: Mycorrhizal diversity, avocado, trap cultures, mycorrhizal colonization.

Introducción

México es el principal productor, exportador y consumidor de aguacate en el mundo, siendo Michoacán uno de los estados más importantes en su cultivo. En este Estado, el aguacate se encuentra establecido en una franja que abarca 30 municipios, los cuales se localizan entre los 1600 y 2100 msnm, en los que se cultivan más de 90 mil hectáreas de aguacate de la variedad 'Hass'.

La simbiosis micorrícica es una asociación planta-hongo que se desarrolla en casi todas las plantas cultivadas y silvestres. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) desarrollan hifas extraradicales subterráneas, las cuales son fundamentales para la captación de fosfato inorgánico y otros nutrimentos poco móviles del suelo, lo que permite su translocación a la planta hospedera (Smith y Read,

2008). Los (HMA) habitan en varios tipos de ecosistemas con un amplio rango de especies de plantas hospederas. Sin embargo, como éstos son simbiosiontes obligados, las plantas hospederas juegan un papel muy importante en el desarrollo de la micorriza, formación de esporas y distribución de este tipo de organismos. La mayoría de las plantas en los ecosistemas naturales dependen de diversas especies de hongos micorrícicos para la absorción de fósforo (P), nitrógeno (N) y otros nutrientes. Por consiguiente, los HMA se consideran de gran interés para la restauración de tierras degradadas y la conservación de ecosistemas naturales. Algunos de los beneficios de la micorriza arbuscular (MA) para las plantas son: aumento de la biomasa (Pagano *et al.*, 2008), aumento de la tolerancia al estrés hídrico (Mathur y Vyas, 2000) estabilización de la estructura del suelo (Rillig y Mummey, 2006) y la reducción de las enfermedades de las plantas (Wehner *et al.*, 2010), son de especial importancia. Los HMA son diversos, tanto sistemática como funcionalmente, con diferenciación

✉ Dra. Yazmín Carreón Abud, ycabud@gmail.com, ycabud@umich.mx
Laboratorio de Genética y Microbiología. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Francisco J. Múgica s/n, Col. Felicitas del Río. Tel: (443) 3 22 35 00 Ext. 4224, Fax: (443) 3 04 08 09.

ecológica y especialización tanto en sus ambientes bióticos como abióticos (Fitter *et al.*, 2004; Thonar *et al.* 2011). Por tales motivos, la comunidad de las especies de HMA en la rizósfera puede variar con las especies hospederas (McGonigle y Fitter, 1990). Esto depende de las condiciones ambientales como son luz, CO₂, temperatura, abastecimiento de agua, nutrimentos, etc. En las parcelas agrícolas, en cambio, el uso de herbicidas y métodos mecánicos de control de malezas reducen significativamente las opciones de plantas con las que los HMA pueden asociarse y el uso excesivo de fertilizantes reduce la formación de esta simbiosis. Rodríguez (2012), encontró que el manejo agronómico de las huertas influye en la riqueza de las especies y que aun cuando tanto el manejo convencional como el orgánico son de altos insumos, las prácticas del manejo orgánico ayudan a mantener una mayor riqueza de HMA en las huertas.

Aparentemente, no existe especificidad taxonómica en la formación de la simbiosis micorrízica, por lo que cualquier planta hospedera puede establecer la simbiosis con cualquiera de las más de 200 especies de HMA descritas hasta el presente. Sin embargo, existen evidencias que indican que las plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA con base en sus efectos diferenciales sobre el crecimiento vegetal y la condición de micotrofia de la planta hospedera (Vandenkoornhuyse *et al.*, 2002) debido a las diferentes funciones que tienen los HMA en la planta.

Las huertas de aguacate no solo conservan una gran riqueza de especies de HMA sino que mantienen una composición de especies más parecida a la de los bosques que la que existe en parcelas cultivadas con maíz (Vega 2011; González-Cortés *et al.*, 2012). Esto se debe probablemente a la gran cantidad de especies herbáceas que se permite que cubran el suelo entre los árboles de aguacate y que brindan muchas plantas hospederas potenciales para alimentar a estos hongos además del mismo aguacate. Dado que esta es una simbiosis entre plantas y hongos, es de esperarse que la biodiversidad de ambas esté muy relacionada.

El aislamiento directo de las esporas de HMA de los suelos de campo tiene desventajas, ya que no siempre hay suficientes cantidades de estas estructuras para obtener una buena identificación, debido a que la esporulación no se presenta de manera regular, de manera que los cultivos trampa pueden revelar especies de HMA que esporulan y que no son observadas directamente en el suelo (Stutz y Morton, 1996). Las esporas presentes en los suelos pueden fallar en su germinación si no son viables o están parasitadas (Lee y Koske, 1994). En hábitats naturales, los HMA presentan también redes hifales y fragmentos viejos de raíces que funcionan también como propágulos (Brundrett, 1991) por lo tanto, los métodos de cultivo trampa son una alternativa, ya que generalmente producen más esporas sanas que en los suelos directos y de estos cultivos se pueden obtener mezclas de especies con subsecuentes generaciones de cultivos (Morton *et al.*, 1993).

La finalidad de este trabajo fue determinar la diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares presentes en

suelos de la rizosfera de aguacate y la selección de plantas hospederas eficientes para el cultivo trampa, mediante la evaluación de la colonización y la abundancia y diversidad de esporas. Con lo anterior se pretende sugerir algunas especies de plantas hospederas en donde se puedan propagar los HMA nativos de una manera eficiente, para la elaboración de biofertilizantes capaces de mejorar las condiciones en el cultivo de aguacate de la región y así disminuir el uso de fertilizantes y pesticidas químicos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio consistió de dos parcelas, de media ha, correspondientes a una huerta denominada "Las Parrillas", ubicada en la localidad de Jujacato, en el municipio de Salvador Escalante, Michoacán (101° 49' 5.0" W, 19° 24' 52.6" N) (INEGI, 1999), localidad en la cual el cultivo del aguacate es la principal actividad económica. Se trató de parcelas con características similares, con árboles de una edad aproximada de 7 años y una altura que oscila entre los 6 m, con riego por micro aspersión y con manejo tradicional que incluyeron la aplicación de agroquímicos y herbicidas al menos dos veces al año. El suelo de la huerta consistió de clase textural migajón-arenosa, con clara pérdida de arcillas y limos, con un bajo porcentaje de materia orgánica. La humedad del suelo se mantuvo alta (46.54%) debido a la condición de riego del huerto, los valores de fósforo aprovechable presentes fueron calificados como altos (>11 ppm), el pH fue ácido 6.1-6.4, manteniendo una temperatura de 17 °C.

Muestreo de suelo

En cada una de las parcelas, se establecieron 10 puntos al azar y se colectaron muestras del suelo (1 kg aprox.), tomando de manera directa muestras de la rizósfera de los árboles con una profundidad de entre 10-30 cm; se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 4 °C para su posterior procesamiento y revisión.

Aislamiento y cuantificación de esporas

A partir de las muestras obtenidas en el suelo directo de cada una de las parcelas de aguacate, se separaron las esporas por el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963). Se utilizaron tamices con apertura de malla de 1 mm, 400 µm, y 44 µm para aislar esporas de diversos tamaños. Posteriormente se utilizó un gradiente de sacarosa al 60%, para purificar las esporas.

Cultivos trampa

Simultáneamente a la identificación de esporas de suelo directo, se establecieron cultivos trampa, utilizando diferentes plantas hospederas, para lo cual se utilizaron semillas de seis especies vegetales distintas: maíz (*Zea mays* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), poro (*Allium porrum* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y pastos, correspondiente a la vegetación

secundaria de las mismas parcelas de aguatero (*Trifolium repens* L.). Las semillas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 4% durante 5 minutos, se colocaron en macetas previamente esterilizadas con sustrato a base de arena blanca estéril y suelo no esterilizado, tal y como proviene de las parcelas de aguacate, en proporción 3:1. Las macetas trampa fueron colocadas en bloques al azar en el invernadero y regadas cada dos días. Se adicionó una solución nutritiva Hogland carente de fósforo, cada tres semanas. Se suspendió el riego para las macetas a los noventa días después de la inoculación, con la finalidad de estimular la esporulación de los HMA (Carreón, 2013). Después las plantas fueron extraídas y se separaron y lavaron las raíces del suelo. Se evaluó la colonización al interior de las raíces (Phillips y Hayman, 1970) y se aislaron esporas del suelo para determinar los géneros y posibles especies de HMA

Colonización Micorrícica

Se empleó el método de tinción propuesto por Phillips y Hayman (1970). Se cuantificó el porcentaje de colonización micorrícica total (hifas + vesículas + arbuscúlos), colonización por vesículas y colonización por arbuscúlos de acuerdo al método de intersección propuesto por Mc Gonigle y Fitter (1990).

Identificación taxonómica de los HMA

Las esporas aisladas tanto de suelo directo como de cultivos trampa se separaron en grupos, tomando como principal referencia las características morfológicas, tales como: tamaño, color, hifa de sostén y ornamentaciones. Con las esporas obtenidas se elaboraron preparaciones permanentes. Se colocaron 5 esporas en promedio con un

mínimo de agua en el centro del portaobjetos y en cada uno de los grupos de esporas se adicionó una gota de líquido de montaje PVLG (Alcohol Polivinílico Glicerol con Reactivo de Melzer y sin él).

La identificación de especies se realizó con ayuda del Manual para la Identificación de Hongos Micorrizógenos Arbusculares "Manual for the identification of VA Mycorrhizal Fungi" (Shenck y Pérez 1990), literatura especializada que incluye las descripciones originales y la información de las bases de datos del INVAM (2008) y de Glomeromycota Phylogeny (2008). Se utilizó un microscopio compuesto Carl Zeiss, Axiostar Plus 1169-149, empleando los aumentos de 400X y 1000X para la observación. Se realizó la toma de fotografías una cámara digital SONY Cybershot® DSC-S75 de 3.3. Mega pixeles adaptada al lente del microscopio.

Resultados

Identificación de especies y morfotipos del suelo directo

De las muestras aisladas de suelo directo se identificaron 16 especies que corresponden a 5 géneros de los 14 que actualmente se reportan para el Phylum Glomeromycota (Tabla 1, Figura 1). *Scutellospora* y *Acaulospora* fueron los géneros más ampliamente representados con 6 y 5 especies, respectivamente. *Gigaspora* y *Pacispora* únicamente se encontraron con una especie cada uno. *Glomus* estuvo representado con 3 especies, aunque muy abundantes. El género *Entrophospora* no fue encontrado aun cuando fue reportado en un estudio previo en la misma localidad (González, 2005).

Tabla 1. Especies de HMA aisladas a partir del suelo directo de la huerta de aguacate.

Especie	Autores	Familia	Orden
<i>Scutellospora cerradensis</i>	Spain & J. Miranda (1996)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora gregaria</i>	(N. C. Schenck & T.H. Nicolson) C. Walker & F.E. Sanders (1986)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora hawaiiensis</i>	Koske & Gemma (1995)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora callospora</i>	(T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders (1986)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora pellucida</i>	(T.H. Nicolson & N. C. Schenck) C. Walker & F.E. Sanders (1986)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora aff scutata</i>	C. Walker & Dieder. (1989)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora laevis</i>	Gerd. & Trappe (1974)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora spinosa</i>	C. Walker & Trappe (1981)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	Trappe (1977)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora mellea</i>	Spain & N.C. Schenck (1984)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora sp</i>	Gerdemann & Trappe, (1974)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora aff decipiens</i>	I.R. Hall & L.K. Abbott (1984)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Glomus rubiforme</i>	(Gerd. & Trappe) R.T. Almeida & N.C. Schenck (1990)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus sp.</i>	L.R. Tulasne & C. Tulasne, (1844)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus geosporum</i>	(T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker (1982)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Pacispora sp</i>	E. Sieverding & F. Oehl, in F. Oehl & E. Sieverding, (2004)	Pacisporaceae	Diversisporales

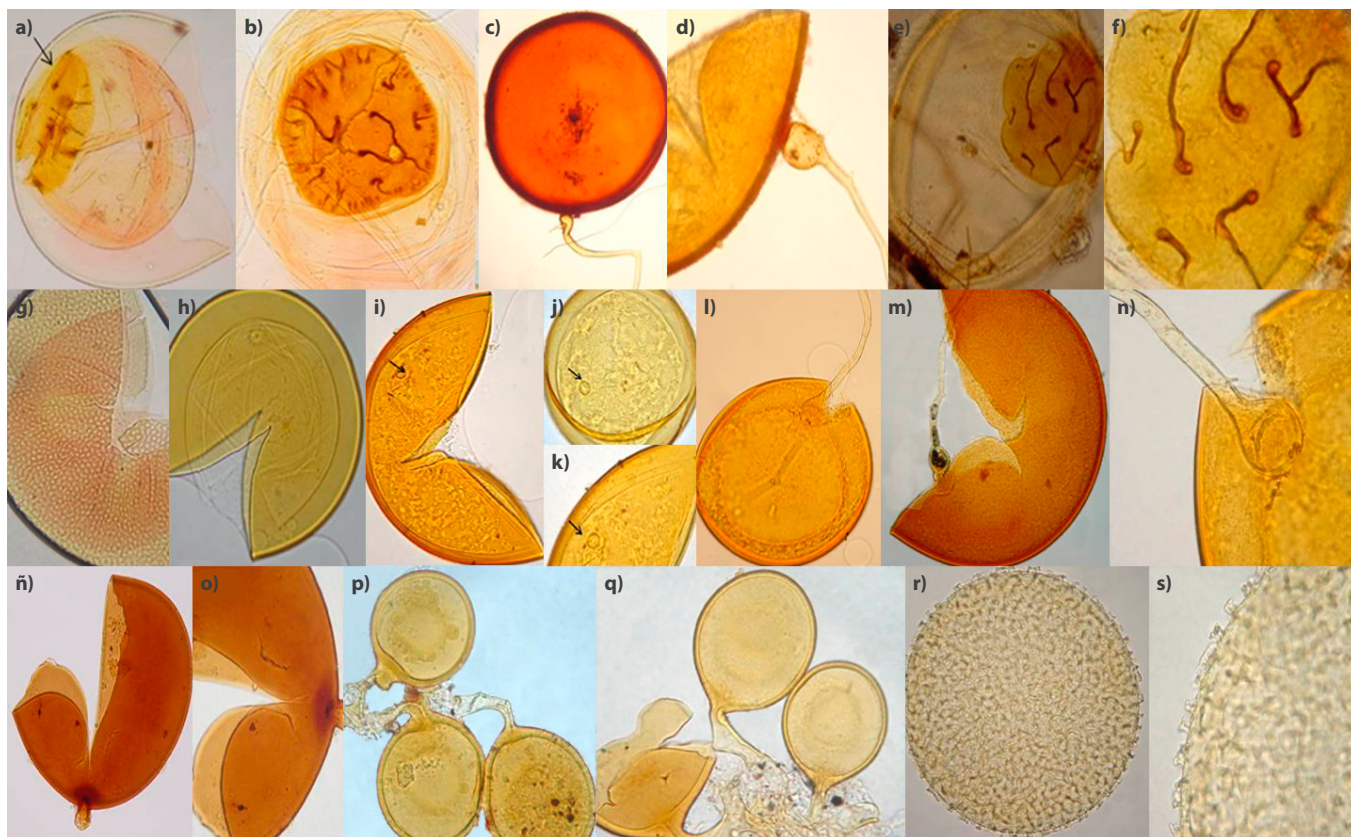


Figura 1. Esporas de especies de HMA identificadas en suelo directo de las parcelas de aguacate. a) y b) *Scutellospora cerradensis* mostrando el escudo 40X; c) *Scutellospora gregaria* 40X, d) hifa de sostén 100X; e) *Scutellospora scutata* 40X, f) escudo de germinación 100X; g) *Acaulospora scrobiculata* tinción en Melzer 40X; h) *Acaulospora mellea* 40X; i) *Acaulospora laevis* 40X, j) mostrando cicatriz 40X y k) detalle de la pared 100X; l) *Gigaspora aff. decipiens* 20X, m) reacción al Melzer 40X y n) hifa de sostén 100X; ñ) *Glomus geosporum* detalle de la pared e hifa de sostén 40X y o) 100X; p) y q) *Glomus rubiforme* en esporocarpio 40X; r) *Pacispora* sp 40X, detalle de ornamentación 100X.

Colonización por HMA

El mayor porcentaje de colonización total se obtuvo en las plantas de pastos (88.9%) y tabaco (81%), seguido por las plantas de maíz (78.4%), las cuales se han reportado como hospederos eficientes para los HMA. Los porcentajes menores de colonización total se obtuvieron en plantas de alfalfa (53.4%). El porcentaje de colonización en plantas de aguacate fue de 75.8% hubo producción de vesículas en plantas de tabaco y de maíz (21.3% y 13.4%, respectivamente) y de arbuscúlos (1.5% y 3.8%, respectivamente) (Figura 2). En una correlación de Pearson, se obtuvo un valor de -0.098, lo que demostró que no hay una correlación lineal y por lo tanto se deduce que el porcentaje de colonización no está relacionado con el número de esporas presentes en el suelo.

Identificación de HMA en plantas trampa

De los suelos estudiados con las diferentes plantas hospederas, se identificaron un total de 32 taxa de HMA, de los cuales 3 especies pertenecen al género *Acaulospora*, 4 especies al género *Gigaspora*, 5 especies al género *Glomus*, 3 especies al género *Pacispora* y 3 especies al género *Scutellospora* (Tabla 2). La especie *Glomus rubiforme* se aisló de todas las plantas trampa que fueron utilizadas como hospederas. *Pacispora robigina* fue común en todas

las plantas hospederas, con excepción de los pastos. Se encontraron también especies exclusivas de plantas hospederas, como fue el caso de *Acaulospora denticulata* (pastos); *Gigaspora* sp3 (maíz); *Glomus aff. geosporum* (alfalfa); *Glomus* sp3 (poro); Morfotipo 1, 2 y 3 (alfalfa); Morfotipo 4, 5, 6, 7 y 8 (tabaco); Morfotipo 9 (aguacate); Morfotipo 14 (aguacate); *Pacispora* sp1 (Pastos); *Scutellospora callospora* (tabaco); (*Scutellospora dipurpurescens* (pastos); *Scutellospora pellucida* (pastos) (Tabla 3, Figura 3).

Las plantas con mayor número en cuanto los valores de densidad de esporas fueron las plantas de poro (223 esporas/100 g de suelo); seguidas por maíz (192 esporas/100 g) y aguacate (160 esporas/100 g). En cuanto a la riqueza de especies, se reportaron valores más altos en plantas hospederas de poro y tabaco. Esto coincide con los valores obtenidos en una alta densidad de esporas reportadas para plantas de poro, no así para tabaco. (Tabla 4).

Discusión

Estudio directo de los HMA del suelo

Los resultados encontrados en este trabajo en el estudio directo en el suelo concuerdan con los reportados por

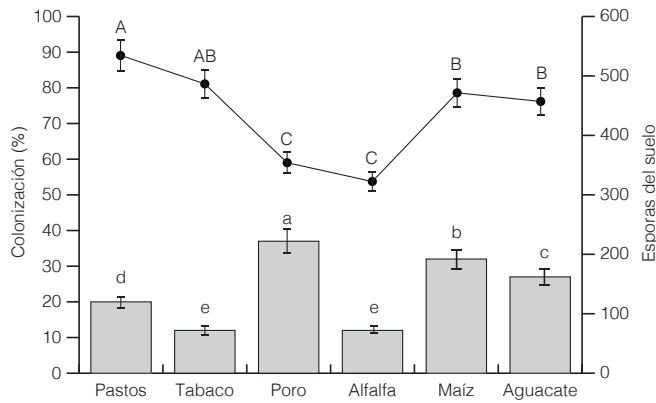


Figura 2. Porcentajes de colonización radical y número de esporas determinados en los diferentes cultivos trampa. Se indican los intervalos de confianza para $\alpha=0.05$; las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey-Kramer ($p<0.05$, $n=20$ para colonización, $n=3$ para esporas del suelo)

diversos autores citados por Brundrett (1991), que en condiciones de cultivos en campo han encontrado entre 3 y 15 especies nativas de HMA. Sin embargo, no coinciden con lo reportado por Haas y Menge (1990), ya que ellos reportan para cultivos de aguacate de California e Israel 9 y 6 especies, respectivamente. La presencia y ausencia de algunas de estas especies puede estar relacionada principalmente con el ciclo de vida de los diferentes HMA, que en ocasiones pueden estar presentes en el suelo sin esporular, así como a las condiciones del suelo generadas por el manejo de las parcelas e incluso la historia del suelo del sitio, el cual antes de ser transformado a huerta de aguacate estaba constituido por una comunidad vegetal de pino y pino-

encino (González, 2012). Por lo anterior, la utilización de macetas trampa para propagación permite complementar los estudios de diversidad, ya que en ellas a menudo se desarrollan otras especies que no pueden ser observadas en el suelo directo del sitio debido a que las condiciones de las macetas pueden ofrecer condiciones más favorables para el establecimiento de diversas especies de HMA, sobre todo en el caso que se empleen diversas plantas trampa altamente micotróficas (Trejo, 2013).

Las especies *Acaulospora laevis*, *Acaulospora scrobiculata* y *Glomus geosporum* coinciden con los reportes realizados por Lara (2004), que encontró estas especies de HMA en suelos de huertas de Aguacate del Municipio de Salvador Escalante.

Glomus geosporum, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora spinosa* y *Glomus rubiforme*, fueron reportadas por Bárcenas et al. (2007) en huertos de aguacate de 4 municipios de esta región del Estado de Michoacán, siendo *Glomus geosporum* la especie más abundante en todos los casos.

Las especies *Acaulospora laevis* y *Glomus geosporum* encontradas en este trabajo han sido reportadas en huertos de aguacate en Israel, y *Acaulospora scrobiculata* se encontró en huertos de aguacate en California (Haas y Menge, 1990). Para Israel y California se reportaron 11 especies de 2 familias y 3 géneros, mientras que para este trabajo como se mencionó anteriormente se registraron 16 especies, pertenecientes a 4 familias y 5 géneros.

Las especies *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *G. geosporum* y *G. rubiforme* pueden ser empleadas en futuros estudios acerca de pruebas para seleccionar inoculantes específicos del cultivo de aguacate, ya que estas especies se han encontrado

Tabla 2. Especies de HMA encontradas a partir de cultivos trampa.

Especie	Autores	Familia	Orden
<i>Acaulospora denticulata</i>	Sieverd. & S. Toro (1987)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	Trappe (1977)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Acaulospora</i> sp.	Gerdemann & Trappe (1974)	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora albida</i>	N.C. Schenck & G.S. Sm. (1982)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora</i> sp.1	Gerdemann & Trappe (1974)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora</i> sp.2	Gerdemann & Trappe (1974)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora</i> sp.3	Gerdemann & Trappe (1974)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Glomus</i> aff. <i>geosporum</i>	(T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker (1982)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus rubiforme</i>	(Gerd. & Trappe) R.T. Almeida & N.C. Schenck (1990)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp1	L.R. Tulasne & C. Tulasne, (1844)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp2	L.R. Tulasne & C. Tulasne, (1844)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp3	L.R. Tulasne & C. Tulasne, (1844)	Glomeraceae	Glomerales
<i>Pacispora robigina</i>	E. Sieverding & F. Oehl, in F. Oehl & E. Sieverding (2004)	Pacisporaceae	Diversisporales
<i>Pacispora</i> sp1	E. Sieverding & F. Oehl, in F. Oehl & E. Sieverding (2004)	Pacisporaceae	Diversisporales
<i>Pacispora</i> sp2	E. Sieverding & F. Oehl, in F. Oehl & E. Sieverding (2004)	Pacisporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora calospora</i>	(T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders (1986)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora dipurpurescens</i>	J.B. Morton & Koske (1988)	Gigasporaceae	Diversisporales
<i>Scutellospora pellucida</i>	(T.H. Nicolson & N. C. Schenck) C. Walker & F.E. Sanders (1986)	Gigasporaceae	Diversisporales

Tabla 3. Taxa y Morfotipos de HMA encontradas en los distintos cultivos trampa. PA, pastos; T, tabaco; PO, poro; AL, alfalfa; M, maíz; AG, aguacate.

Especie	Planta					
	PA	T	PO	AL	M	A
1. <i>Acaulospora denticulata</i>	X					
2. <i>Acaulospora scrobiculata</i>	X	X				
3. <i>Acaulospora</i> sp.			X		X	
4. <i>Gigaspora albida</i>	X		X		X	
5. <i>Gigaspora</i> sp.1*	X			X		
6. <i>Gigaspora</i> sp.2*				X	X	
7. <i>Gigaspora</i> sp. 3*					X	
8. <i>Glomus</i> afn. <i>geosporum</i> **				X		
9. <i>Glomus rubiforme</i>	X	X	X	X	X	
10. <i>Glomus</i> sp. 1	X	X	X			
11. <i>Glomus</i> sp. 2			X			X
12. <i>Glomus</i> sp 3			X			
13. Morfotipo 1				X		
14. Morfotipo 2				X		
15. Morfotipo 3				X		
16. Morfotipo 4		X				
17. Morfotipo 5		X				
18. Morfotipo 6		X				
19. Morfotipo 7		X				
20. Morfotipo 8		X				
21. Morfotipo 9						X
22. Morfotipo 10			X			X
23. Morfotipo 11			X			
24. Morfotipo 12			X			
25. Morfotipo 13			X			
26. Morfotipo 14						X
27. <i>Pacispora robigina</i>		X	X		X	X
28. <i>Pacispora</i> sp. 1	X					
29. <i>Pacispora</i> sp. 2					X	X
30. <i>Scutellospora calospora</i>		X				
31. <i>Scutellospora dipurpurens</i>	X					
32. <i>Scutellospora pellucida</i>	X					
TOTAL	9	10	11	7	7	6

* Especies afines a *Gigaspora*, ** Especie afín a *Glomus geosporum*

en otros estudios realizados en huertas de aguacate (Haas y Menge, 1990; González, 2005; Bárcenas et al., 2007), destacando la abundancia de *G. geosporum*. Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) señalan que es preferible emplear los HMA que presentan mayor afinidad a una planta hospedera en particular, ya que es conocido que algunos hongos de la rizósfera nativos de plantaciones específicas promueven mejores efectos que aquellos que provienen del aislamiento de otros ecosistemas.

Tabla 4. Riqueza de especies en las diferentes plantas trampa

Plantas	No. de especies (riqueza)	Taxa o morfotipo de HMA
Pastos	9	1, 2, 4, 5, 9, 10, 28, 31, 32
Tabaco	10	2, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 27, 30
Poro	11	3, 4, 9, 10, 11, 12, 22, 23, 24, 25, 27
Alfalfa	7	5, 6, 8, 9, 13, 14, 15
Maíz	7	3, 4, 6, 7, 9, 27, 29
Aguacate	6	11, 21, 22, 26, 27, 29

Se puede destacar que en este estudio se encontraron especies de HMA en el suelo, las cuales aún no estaban registradas en cultivos de aguacate de la región, tales como *S. hawaiiensis* y *A. cerradensis* (Varela, com. pers.) y las cuales no aparecen en los cultivos trampa. Esto permite sugerir que se trata de especies con mayor afinidad hacia el aguacate.

Estudio de los HMA mediante cultivos trampa

En este trabajo, todas las especies encontradas en el suelo proveniente de la rizósfera del aguacate, fueron recuperadas en la mayoría de los cultivos trampa. Sin embargo, Brundrett et al. (1999) consideraron que el número de especies aisladas de los cultivos trampa (especialmente del género *Glomus*), excedieron en número de especies a las identificadas en el campo, sugiriendo una producción errática de esporas que explica la razón de que algunas esporas encontradas en las plantas trampa, no se encuentran generalmente en el suelo. Por lo tanto, para estudios más finos de diversidad se requieren otros métodos de identificación tales como los patrones de colonización, características morfológicas (Brundrett et al., 1996), y técnicas moleculares (Smith y Read, 2008).

En estudios de ecosistemas y experimentos de invernadero, las plantas hospederas y los factores del suelo pueden influir sobre la diversidad y sobre todos los niveles de formación micorrícica y la esporulación (Brundrett, 1991; Brundrett et al., 1999). Por ejemplo, los altos niveles de fósforo en el suelo y en la planta son capaces de inhibir la formación de la micorriza e influir sobre la diversidad de los HMA en el suelo (Lovera y Cuenca, 2007). Debido a condiciones favorables del suelo del agroecosistema de aguacate (e.g. materia orgánica (7.71%); porcentaje de Humedad (45%); fósforo (73.54 ppm); pH (5.52); y temperatura de suelo (16.98) (González, 2005) y a la solución que se adicionó carente de fósforo, se estimuló la formación micorrícica con las plantas hospederas.

La variación de la producción de esporas no puede explicarse solamente por el porcentaje de la colonización micorrícica (Brundrett et al., 1999); tampoco se correlaciona con el número de especies producido en la misma planta, ni el número de esporas presentes en el suelo (Gazey et al., 1992). La esporulación puede estar mayormente influenciada por la presencia de otras especies o por las diferentes características del suelo. Esto puede explicar la falta de correlación entre el porcentaje de colonización

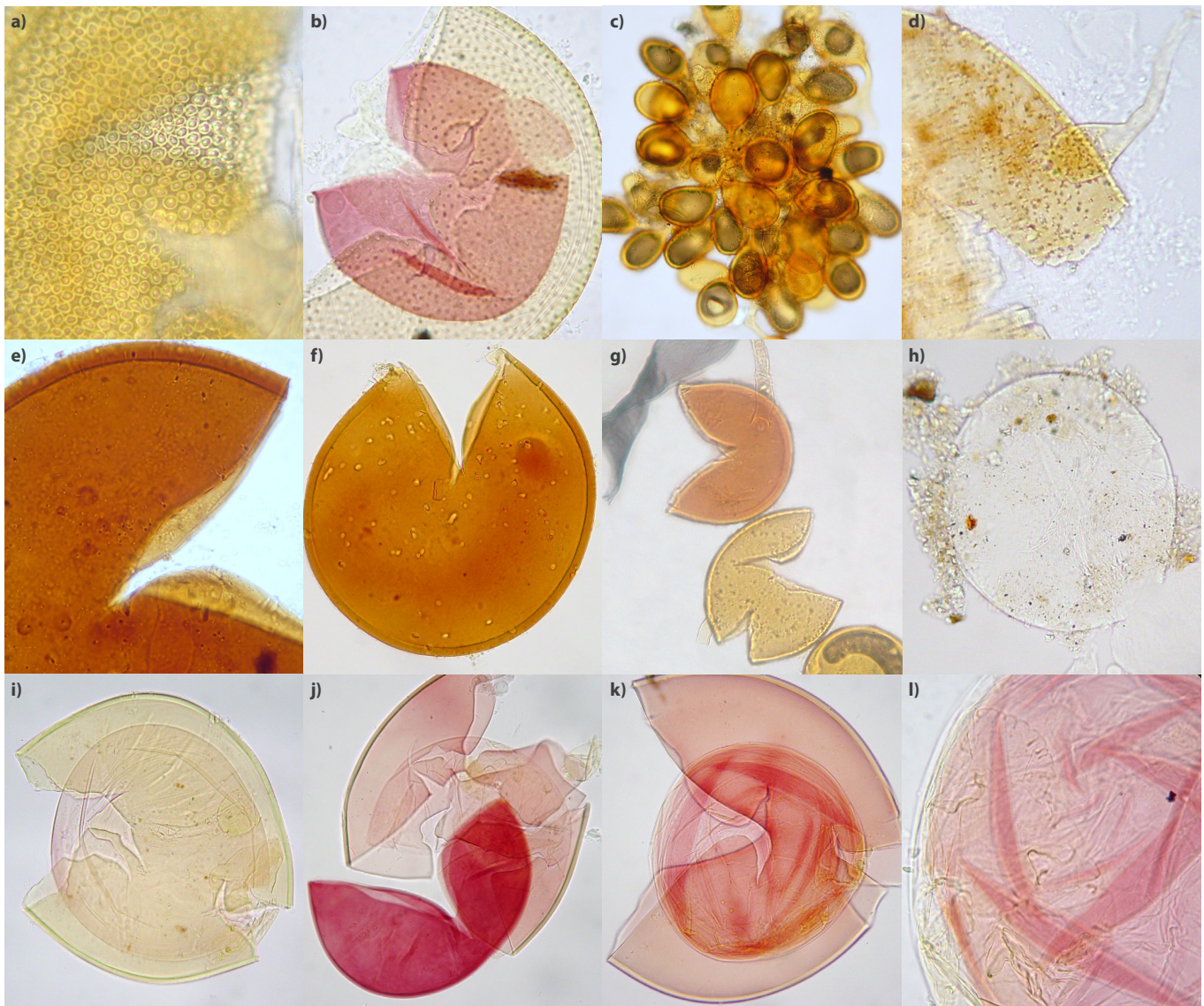


Figura 3. Esporas de especies de HMA identificadas en los diferentes cultivos trampa. a) *Acaulospora denticulata*, 400X PVLG; b) *Acaulospora scrobiculata*, 1000X Melzer; c) *Glomus rubiforme*, 400X PVLG; d) *Gigaspora albida*, 100X PVLG; e) *Gigaspora* sp., 100X PVLG; f) *Glomus* aff. *geosporum*, 400X PVLG; g) *Pacispora robigna*, 1000X Melzer; h) *Pacispora* sp., 1000X PVLG; i) *Scutellospora calospora* 400X Melzer; j) *Scutellospora dipurpureus*, 400X Melzer; k) *Scutellospora pellucida*, 400X Melzer; l) *S. pellucida*, 1000X mostrando el escudo.

de las raíces y el número de esporas. Las diferencias en el número de esporas y diversidad de especies, producidas en las diferentes plantas trampa pueden estar relacionadas a la variación en el tipo de raíz de la planta hospedera, grado de micotrofia, disponibilidad de nutrientes y nivel hormonal endógeno de la planta hospedera.

Perspectivas

Existe un incrementado interés en la importancia de la diversidad en el funcionamiento de la micorriza y las comunidades de plantas. Algunos experimentos han demostrado que la diversidad micorrízica juega un papel importante en el origen, evolución, distribución, sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plantas. Van der Heijden *et al.* (1998) concluyó que la diversidad

fúngica micorrízica determina la biodiversidad de plantas, la variabilidad en los ecosistemas y la productividad, al mismo tiempo sugiere que por otro lado, la diversidad micorrízica puede depender de la diversidad de plantas en los ecosistemas naturales (Wang y Liu, 2001).

De los cultivos trampa utilizados con maíz, tabaco, poro, alfalfa, pastos y aguacate, la planta más adecuada para ser utilizada en la producción de inóculo es el poro, ya que fue la que presentó la mayor diversidad, 11 taxa y abundancia de esporas de 223 esporas/100 g de suelo. Asimismo, las plantas de maíz registraron valores relativamente altos en su diversidad de esporas, y abundancia relativa de especies y aunado por ser altamente micotróficas, pueden ser consideradas como plantas candidatas para propagar inóculos micorrízicos de este tipo de suelos.

Agradecimientos

Trabajo financiado por Proyecto REDES - PROMEP 2015-2016 SEP; y PROYECTO CIC de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Referencias

- Alarcón A, Ferrera-Cerrato R** (1999) Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana* 17: 179-191.
- Bárceñas A, Almaraz C, Reyes L, Varela L, Lara B, Guillén A, Carreón Y, Aguirre S, Chávez A** (2007) *Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Michoacán*. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007. Viña Del Mar, Chile. 12-16 Nov.
- Brundrett M** (1991) Mycorrhizas in natural ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 21: 171-313.
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Groove T, Malajczuk N** (1996) *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australia: ACIAR. Monograph.
- Brundrett MC, Abbott LK, Jasper DA** (1999) Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia I. Comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. *Mycorrhiza* 8: 305-314.
- Carreón-Abud Y, Jerónimo-Treviño E, Beltrán-Nambo MA, Martínez-Trujillo M, Trejo Aguilar D, Gavito ME** (2013) Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrizicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotróf. *Rev. Mex. Mic.* 37: 29-39.
- Fitter AH, Heinemeyer A, Husband R, Olsen E, Ridgway KP, Staddon PL** (2004) Global environmental change and the biology of arbuscular mycorrhizas: gaps and challenges. *Can. J. Bot.* 82: 1133-1139.
- Gazey C, Abbott LK, Robson AD** (1992) The rate of development of mycorrhizas affects the onset of sporulation and production of external hyphae by two species of *Acaulospora*. *Mycol. Res.* 96: 643-650.
- Gerdemann JW, Nicolson TH** (1963) Spores of Mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- Glomeromycota, Phylogeny** (2008) *Glomeromycota*. Recuperado de www.amf-phylogeny.com (Octubre, 2008).
- González JC** (2005) Diversidad de Hongos Micorrizicos Arbusculares en un agroecosistema de aguacate (*Persea americana* Mill.) comparado con un bosque natural. *Tesis de Maestría*. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- González JC, Vega M, Varela L, Martínez M, Carreón A, Gavito ME** (2012) Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. *Fungal Ecol.* 5: 16-23.
- Haas HJ, Menge J** (1990) VA-micorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea americana* Mill) orchard soils. *Plant Soil.* 127: 207-212.
- INEGI** (1999) *Carta topográfica E14A31*. Taretán, Escala 1: 50 000. Color.
- INVAM** (2008) *Internacional Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Recuperado de <http://invam.caf.wvu.edu> (Octubre de 2008).
- Lara BN** (2004) Exploración de hongos vesículo-arbusculares en el cultivo de aguacate de Estado de Michoacán. En MC González-Chávez, J Pérez-Moreno, R Ferrera-Cerrato, MP Ortega-Larrocea, Y Carreón-Abud, E Valencia-Cantero (compiladores), *Resúmenes Del Simposium Nacional y II Simposium Iberoamericano de la Simbiosis Micorrizica*. Morelia, Michoacán, México.
- Lee PJ, Koske RE** (1994) *Gigaspora gigantea*: parasitism of spores by fungi and actinomycetes. *Mycol. Res.* 98: 458-466.
- Lovera M, Cuenca G** (2007) Diversidad de hongos micorrizico arbusculares (HMA) y potencial micorrizico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia* 32: 108-114.
- Mathur N, Vyas A** (2000) Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production, nutrient uptake and physiological changes in *Ziziphus mauritana* Lam. under water stress. *J. Arid Environ.* 45: 191-195.
- McGonigle TP, Fitter AH** (1990) Ecological specificity of vesicular arbuscular mycorrhizal associations. *Mycol. Res.* 94: 120-122.
- Morton JB, Bentivenga SP, Wheeler WW** (1993) Germplasm in the international collection of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48: 491-528.
- Pagano MC, Cabello MN, Bellote AF, Sa NM, Scotti MR** (2008) Intercropping system of tropical leguminous species and *Eucalyptus camaldulensis* inoculated with rhizobia and/or mycorrhizal fungi in semiarid Brazil. *Agroforest Syst.* 74: 231-242.
- Phillips JM, Hayman DS** (1970) Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Rillig MC, Mummey DL** (2006) Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171: 41-53.
- Rodríguez GP** (2012) Cultivos mono específicos y potencial micorrizico de Hongos Micorrizicos Arbusculares provenientes de Parcelas de Maíz con fines de ser utilizados como bioinoculantes. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. 79 p.
- Schenk NC, Pérez Y** (1990) *Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi*. FL. USA: Synergistic Publications, Gainesville.
- Smith SE, Read DJ** (2008) *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd ed. London, England: Academic Press Ltd.
- Stutz JC, Morton JB** (1996) Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in arid ecosystems. *Can. J. Bot.* 74: 1883-1889.
- Trejo-Aguilar D, Lara-Capistrán L, Maldonado-Mendoza I.E, Zulueta-Rodríguez R, Sangabriel-Conde W, Mancera-López ME, Barois I** (2013) Loss of arbuscular mycorrhizal fungal diversity in trap cultures during long-term subculturing. *IMA fungus.* 4: 161-167.
- Thonar C, Schnepf A, Frossard E, Roose T, Jansa J** (2011) Traits related to differences in function among three arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil.* 339: 231-245.
- Vandenkoornhuyse P, Husband R, Daniell TJ, Watson IJ, Duck JM, Fitter AH, Young JPW** (2002) Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a

grassland ecosystem. *Mol. Ecol.* 11: 1555-1564.

Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders IR (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.

Vega FM (2011) Diversidad de Hongos Micorrizógenos Arbusculares y Potencial Micorrízico de dos Agroecosistemas y una Zona Natural del Estado de Michoacán. *Tesis Maestría en*

Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. 77 p.

Wang FY, Liu RJ (2001) A preliminary survey of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soil of Yellow River Delta (in Chinese). *Biodivers. Sci.* 9: 389-392.

Wehner J, Antunes PM, Powell JR, Mazukato J, Rillig MC (2010) Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: a role for fungal diversity? *Pedobiologia*. 53: 197-201.