**Revista Mexicana de Micología** vol. **41**: 15-26 **2015**

# Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México

## Great richness of arbuscular mycorrhizal fungi at the Mezquital Valley, Hidalgo, Mexico

Eduardo Chimal-Sánchez[1], Rosalva García-Sánchez[1], Laura Verónica Hernández-Cuevas[2]

1. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo s/n, colonia Ejército de Oriente, Iztapalapa. C.P. 09230, México D.F. 2. Centro de Investigación en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Micorrizas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, km 10.5 carretera Texmelucan-Tlaxcala, Ixtacuixtla, 90120, Tlaxcala México

## Resumen

El Valle del Mezquital, Hidalgo, es un ecosistema semiárido de México con gran diversidad florística; sin embargo, no se ha estudiado su riqueza de hongos simbióticos mutualistas. El objetivo de este estudio fue evaluar la riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Para ello se establecieron cuatro puntos de muestreo: i) tres en matorrales espinosos y ii) uno en matorral subinerme. En cada sitio se recolectó suelo (1 kg) de la rizósfera en tres plantas de las especies más representativas para la extracción de esporas de HMA. La identidad taxonómica de las especies de HMA se determinó con base en criterios morfológicos. Se registraron 29 morfo-especies de HMA en el Valle del Mezquital, distribuidas en 12 géneros y siete familias. Glomeraceae y Gigasporaceae aportaron el 62 % de las especies, mientras que Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Claroideoglomeraceae, Entrophosporaceae y Pacisporaceae el 38 % restante. *Glomus caesaris* se registra para México y el Neotrópico por primera vez. El Valle del Mezquital alberga una gran riqueza de especies de HMA con respecto a otras regiones áridas de México.

Palabras clave: micorriza arbuscular, Glomeromycota, *Glomus caesaris*, ecosistemas áridos, riqueza.

## Abstract

The Mezquital Valley, Hidalgo, Mexico, is a semi-arid ecosystem with high floristic diversity; however, the symbiotic fungi richness has been poorly studied. The aim of this work was to evaluate the arbuscular mycorrhizae fungi (AMF) species richness. Four sampling points were set: i) three in thorny scrubs and ii) one in thornless scrub. In each sampling point, soil was collected (1kg) from the rhizosphere of three plants of the five most representative species to isolate AMF spores. The species were identified using the morphological approach. Twenty-nine morpho-species of AMF were found, included in 12 genera and seven families. The 62 % of the species belonged to Glomeraceae and Gigasporaceae; whereas, the remaining 38 % were grouped into Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Claroideoglomeraceae, Entrophosporaceae, and Pacisporaceae. This is the first time that *Glomus caesaris* is reported in Mexico and in the Neotropic. The Mezquital Valley has a great richness of AMF comparing with other arid regions of Mexico.

Keywords: Arbuscular mycorrhizae, Glomeromycota, *Glomus caesaris*, arid ecosystem, richness.

Recibido / Received: **10/08/2014**
Aceptado / Accepted: **15/04/2015**

Autor para correspondencia / Corresponding author:
**Rosalva García Sánchez**
**rosalvags@unam.mx**

## Introducción

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), que actualmente se agrupan en el Phylum Glomeromycota (Schüβler *et al.*, 2001), son microorganismos del suelo que interaccionan con las raíces de las plantas al formar simbiosis mutualista con más del 80 % de ellas, por lo que contribuyen de forma sustancial en la nutrición de sus hospederos (Smith *et al.*, 2010). Las especies de

HMA son un componente biológico importante para los ecosistemas, debido a su influencia en la diversidad de plantas y en la productividad (van der Heijden *et al*., 1998).

La riqueza y diversidad de HMA se han estudiado en distintos países del mundo y en una amplia variedad de ecosistemas (Turrini y Giovannetti, 2012). En México, se cuenta con registros de la riqueza de especies de HMA en ecosistemas naturales como bosques mesófilos de montaña (Violi *et al*., 2008; Arias *et al*., 2012), bosques templados (Olivera-Morales *et al*., 2011; González-Cortés *et al*., 2012), selvas bajas caducifolias (Guadarrama-Chávez *et al*., 2007; Gavito *et al*., 2008; Aguilar-Fernández *et al*., 2009), selvas tropicales húmedas (Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Varela *et al*., 2008), dunas costeras (Sigüenza *et al*., 1996) y en matorrales áridos y semiáridos (Pezzani *et al*., 2006; Bashan *et al*., 2007; Aguilera-Gómez *et al*., 2008; García-Sánchez *et al*., 2008).

En ecosistemas semiáridos de México, Camargo-Ricalde *et al*. (2003) analizaron el estatus micorrizógeno de 50 especies de plantas de géneros como *Acacia*, *Agave*, *Ferocactus*, *Mammillaria*, *Mimosa*, *Myrtillocactus* y *Opuntia*, entre otros, en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y observaron que el 90 % de las especies estaban colonizadas por los HMA. Asimismo, el 81 % de las especies de plantas en matorrales xerófilos del Valle del Mezquital presentaron colonización micorrizógena arbuscular, entre ellas, especies de *Bouteloua*, *Flourensia*, *Prosopis*, así como de los géneros mencionados con anterioridad (García-Sánchez *et al*., 2008). No obstante, en ambos estudios no se estimó la riqueza de especies de HMA asociada.

Camargo-Ricalde *et al*. (2003) y García-Sánchez *et al*. (2008) indicaron que los HMA son un componente microbiano importante para las plantas de ambientes estresantes como los áridos y semiáridos, en donde la baja disponibilidad de agua en el suelo limita la asimilación de nutrimentos, en especial, los de baja movilidad como el fósforo (Barea *et al*., 2011). Al respecto, González-Chávez *et al*. (2008) sugirieron que en este tipo de ecosistemas, las plantas requieren asociarse con los HMA, como una estrategia ecológica para solventar la demanda de nutrimentos esenciales, incidiendo de forma favorable en las probabilidades de éxito en el establecimiento y sobrevivencia de las plantas ante condiciones adversas (Roldán-Fajardo, 1994).

Dada la importancia funcional de los HMA, es fundamental conocer la riqueza de especies en los ecosistemas áridos y semiáridos de México, los cuales, cubren aproximadamente el 60 % del territorio (Rzedowski, 1978; Valiente-Banuet, 1996), y en donde el conocimiento de la riqueza de los Glomeromycota requiere de mayores esfuerzos de exploración (Montaño *et al*., 2012). Por ejemplo, en las zonas semiáridas del centro de México, como el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla-Oaxaca (Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003) y el Valle del Mezquital, Hidalgo (García-Sánchez *et al*., 2008), solo se cuenta con información de la riqueza de géneros de HMA. Mientras que para las regiones áridas del norte del país, Stutz *et al*. (2000) y Aguilera-Gómez *et al*. (2008) registraron siete y nueve morfo-especies de HMA, respectivamente, en matorrales xerófilos del Desierto de Sonora, y Pezzani *et al*. (2006) 24 para el Desierto de Chihuahua. En estos tres casos las especies son, en su mayoría, representantes de *Glomus* y *Acaulospora*.

En los matorrales xerófilos del Valle del Mezquital, García-Sánchez *et al*. (2008) observaron una riqueza considerable de géneros de HMA, entre ellos *Acaulospora*, *Glomus sensu lato*, *Gigaspora* y *Scutellospora*; lo cual sugiere, que dichos matorrales podrían albergar una gran cantidad de especies de HMA. Bajo esta premisa se planteó este estudio, cuyo objetivo fue estimar la riqueza de HMA asociada a esta región semiárida de México.

## Materiales y métodos

El Valle del Mezquital se ubica en Hidalgo, en la parte central de México (20° 11´a 20° 40´ latitud Norte y 98° 50´a 99° 20´ longitud Oeste; Figura 1) y pertenece a la Región Xerofítica Mexicana del Reino Neotropical (Rzedowski, 1978). Al Valle del Mezquital, junto con la Barranca de Metztitlán, el Valle de Actopan en Hidalgo, el río Extórax en Querétaro y pequeñas porciones de los estados de Guanajuato y San Luis Potosí se les considera como una subregión meridional del Desierto Chihuahuense, pero también se les reconoce como el Desierto Queretano-Hidalguense (Granados-Sánchez *et al*., 2011). El Valle del Mezquital está enclavado entre la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana. El clima es seco con lluvias en verano "BS1kw" (García, 1973), con una temperatura y precipitación promedio anual de 24 °C y 550 mm, respectivamente; la

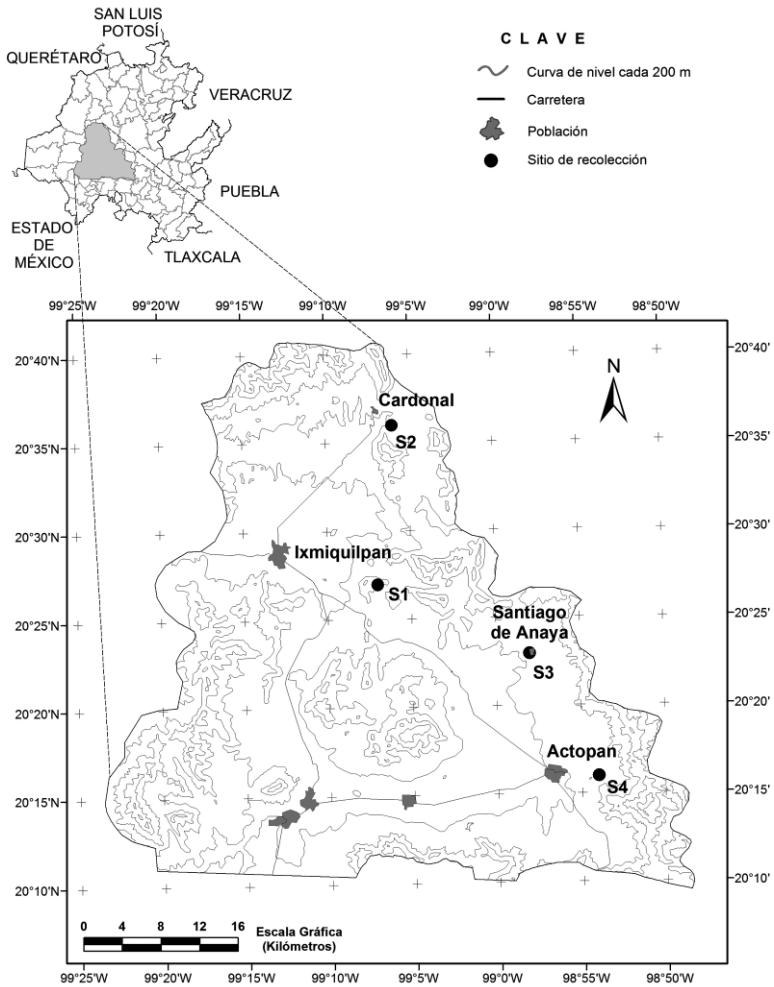


Figura 1. Localización del Valle del Mezquital en Hidalgo y de los sitios de recolecta de muestras de suelo. Ixmiquilpan (S1), Cardonal (S2), Santiago de Anaya (S3) y Actopan (S4).

estación de lluvias ocurre de mayo a octubre y de noviembre a abril es la temporada seca. La elevación varía de 1,300 a 3,000 m s.n.m. y los suelos son Leptosoles y Feozemes (INEGI, 2010). De acuerdo con García-Sánchez *et al.* (2008, 2012), el suelo de los matorrales xerófilos estudiados tiene valores de pH de ligeramente ácido (5.5) a medianamente alcalino (8.4), altos en materia orgánica (6.11 %) y fósforo disponible (11.5 mg $kg^{-1}$). La vegetación del valle corresponde a un matorral xerófilo donde Agavaceae, Asteraceae, Cactaceae y Leguminosae son las familias de plantas mejor representadas (Rzedowski, 1978; Montaño *et al.*, 2006; García-Sánchez *et al.*, 2012).

Se establecieron cuatro sitios de muestreo (S) en el Valle del Mezquital (Figura 1), en los municipios de Ixmiquilpan (S1), Cardonal (S2), Santiago de Anaya (S3) y Actopan (S4), donde se ubicaron matorrales xerófilos con la vegetación nativa y sin influencia de zonas de cultivo. En los sitios S2, S3 y S4 se seleccionaron matorrales espinosos con presencia del mezquite, *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd. ) M.C. Johnst, y/o *Mimosa biuncifera* Benth.; mientras que en el S1 se encuentra un matorral subinerme caracterizado por *Flourensia resinosa* S.F. Blake. En el año 2009, entre la temporada de lluvias y secas (octubre-noviembre) se recolectaron muestras de suelo de 1 kg de la rizósfera de tres individuos tomados al azar de cinco especies vegetales representativas del sitio. Las plantas que se eligieron fueron *Agave lechuguilla* Torr., *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., *Condalia mexicana* Schltdl., *Echinocactus pla-*

*tyacanthus* Link & Otto, *Echinocereus cinerascens* (DC.) H.P. Kelsey & Dayton., *Hechtia podantha* Mez., *Mammillaria magnimamma* Haw., *Mimosa biuncifera*, *M. depauperata* Benth., *Myrtillocactus geometrizans* Console y *P. laevigata* en los matorrales espinosos, y *E. platyacanthus*, *F. resinosa*, *H. podantha*, *Karwinskia humboldtiana* (Schult.) Zucc. y *Turnera diffusa* Willd. en el matorral subinerme.

En el laboratorio de la Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (FES-Z, UNAM), se realizó la extracción de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) mediante el método de tamizado en solución acuosa (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguido por una extracción en sacarosa al 50 %. Se hizo un recuento de las esporas de HMA en cada muestra para determinar la abundancia promedio en 100 g de suelo seco. Con ayuda de un microscopio de disección (Stemi SV6 marca Zeiss®) se agruparon las esporas de acuerdo con sus características morfológicas como color, forma, tamaño y presencia/ausencia de hifas, y se elaboraron preparaciones permanentes con alcohol polivinílico en lactoglicerol (PVLG) y PVLG + reactivo de Melzer como medios de montaje (INVAM, 2013).

Las preparaciones permanentes con esporas de HMA se observaron a detalle en un microscopio óptico Zeiss® modelo Axioscop II Plus, equipado con luz polarizada y contraste de interferencia de Nomarski. Se registraron características morfológicas con y sin el reactivo de Melzer de las capas que componen la pared de las esporas. Se elaboró un listado de las especies de HMA y un acervo fotográfico disponible en el invernadero de la FES-Z, UNAM. La determinación taxonómica de los HMA se realizó con base en la comparación de las características observadas con los datos provistos en las descripciones especializadas de las especies que se reportan a nivel mundial, disponibles a través de ligas en el portal http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/ y en la International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2013). Para la nomenclatura y clasificación de las especies de HMA se siguió la propuesta de Schüβler y Walker (2010). Las preparaciones permanentes con las esporas de HMA se encuentran depositadas en el Herbario TLXM de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (Holmgren *et al.*, 1990), con duplicados en el invernadero de la carrera de Biología de la FES-Z, UNAM.

Se establecieron macetas para la propagación de los HMA en el invernadero de la FES-Z, UNAM. Cada maceta se preparó con 500 g de suelo de la muestra correspondiente como fuente de inóculo y con 500 g de suelo de la zona esterilizado durante tres días consecutivos, por un periodo de 1.5 h diarias en autoclave a una temperatura de 120 °C y presión de 1.0 kg/cm$^2$. Se sembraron semillas de maíz (*Zea mays* L., Poaceae), pasto inglés (*Lolium perenne* L., Poaceae) y jitomate (*Lycopersicum esculentum* P. Mill., Solanaceae), las cuales se eligieron como plantas trampa por su capacidad de establecer la simbiosis micorrizógena arbuscular (González-Chávez *et al.*, 1998). Al finalizar dos ciclos de cultivo de cuatro meses cada uno (Stutz y Morton, 1996), el suelo de cada maceta se recolectó y se realizó la extracción de esporas de HMA; se elaboraron preparaciones permanentes y se observaron para la determinación taxonómica de las especies. La propagación se realizó para detectar especies de HMA que no se encontraron en las muestras de campo y así complementar el registro de especies, como propusieron Stutz y Morton (1996).

## Resultados

En promedio se registró una abundancia de 216.4 (±96.6) esporas de HMA (100 g de suelo seco) en los matorrales del Valle del Mezquital. Se encontraron 29 morfo-tipos de HMA, de los cuales, 26 se determinaron a especie y tres a nivel de género. En la Figura 2 se ilustran algunos. Las especies de HMA se distribuyeron en siete familias y 12 géneros (Tabla 1). El 62 % de las especies de HMA son miembros de Glomeraceae (37.9 %) y Gigasporaceae (24.1 %); mientras que el 38 % restante pertenecen a Acaulosporaceae (13.8 %), Ambisporaceae (6.9 %), Claroideoglomeraceae (6.9 %), Entrophosporaceae (3.5 %) y Pacisporaceae (6.9 %).

De los 29 morfo-tipos de HMA reportados en esta investigación para el Valle del Mezquital, el 24.14 % se registraron en todos los puntos de muestreo (S1 a S4) tanto de matorral espinoso como subinerme y corresponden a: *Ambispora appendicula* (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker, *Entrophospora infrequens* (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid, *Funneliformis geosporum* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüβler, *Gigaspora ramisporophora* Spain, Sieverd. & N.C. Schenck, *Scutellospora scutata* C. Walker & Dieder. y *Acaulospora* aff. *mellea*. El 48.27 % de las especies se restringieron a

puntos de muestreo donde hay matorrales espinosos; un 24.14 % de las especies estuvieron ausentes en S2 (matorral espinoso) y solo *S. nodosa* Blaszk. (3.45 % de las especies) fue exclusiva del matorral subinerme (S1). Se reporta por primera vez para México y el Neotrópico a *Glomus caesaris* Sieverd. & Oehl (Tabla 1 y Figura 2g).

Las plantas de maíz, pasto y jitomate que se usaron para propagar a los HMA bajo condiciones de invernadero resultaron adecuadas solo para el 27.6 % de las especies. De las macetas de propagación, se recuperaron esporas de reciente formación de *Acaulospora laevis* Gerd. & Trappe, *Claroideoglomus etunicatum* (W.N. Becker & Gerd.) Walker y Schüβler, *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) Walker & A. Schüβler, *Gigaspora gigantea* (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe, *G. ramisporophora*, *Glomus tortuosum* N.C. Schenck & G.S. Sm., *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüβler y *Pacispora* sp.1; mientras que el 72.4 % restante no se propagaron en el invernadero y solamente se aislaron de las muestras de campo.

## Discusión

Determinar la riqueza y diversidad de los HMA en función de las esporas resulta ser un método práctico que se ha empleado con éxito en distintos ecosistemas (Violi *et al*., 2008; Stürmer y Siqueira, 2011; González-Cortés *et al*., 2012; Carballar-Hernández *et al*., 2013) como una aproximación al conocimiento de la integración y funcionalidad de las comunidades de HMA. Lo anterior es gracias a que las esporas son las unidades fundamentales de dispersión y persistencia de estos hongos y, en algunos géneros, son los únicos propágulos a partir de los cuales se puede establecer o restablecer la simbiosis micorrizógena con los fitobiontes (Gazey *et al*., 1993).

En el Valle del Mezquital se registró, en promedio, una abundancia de esporas de HMA similar a la que se reportó para otras regiones áridas y semiáridas de México. Camargo-Ricalde y Dhillion (2003) registraron en promedio 196 esporas de HMA en el suelo bajo la copa de leguminosas del género *Mimosa*, en matorrales espinosos de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán; Pezzani *et al*. (2006) encontraron 202 esporas al estudiar las asociaciones de HMA con gramíneas en la Reserva de la Biósfera de Mapimí y Carballar-Hernández *et al*. (2013) de 20 a 192 esporas en poblaciones silvestres de *Agave potatorum* Zucc. en la zona semiárida de Oaxaca.

Por otro lado, los resultados de esta investigación, aun cuando están restringidos a una temporada del año y proceden de pocas especies vegetales, indican que existe una gran riqueza de especies de HMA asociada a la vegetación en los matorrales xerófilos del Valle del Mezquital (Figura 2), riqueza que puede incrementarse si se exploran otros matorrales con distinta composición de plantas en varias temporadas del año. No obstante que los resultados de esta investigación son puntuales, muestran que esta región semiárida mantiene aproximadamente el 11.3 % (26 especies de 230) de la riqueza de especies de Glomeromycota descritas mundialmente (Oehl *et al*., 2011) y el 24 % (26 especies de 108) del país, de acuerdo con las especies de HMA presentes en distintos ecosistemas de México (Estrada-Torres *et al*., 1992; Sigüenza *et al*., 1996; Ramírez-Gerardo *et al*., 1997; Chamizo *et al*., 1998; Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Pimienta-Barrios *et al*., 2002; Hernández-Cuevas *et al*., 2003; Allen *et al*., 2005; Pezzani *et al*., 2006; Bárcenas *et al*., 2007; Bashan *et al*., 2007; Franco-Ramírez *et al*., 2007; Guadarrama-Chávez *et al*., 2007; Ortega-Larrocea *et al*., 2007; Aguilera-Gómez *et al*., 2008; García-Sánchez *et al*., 2008; Gavito *et al*., 2008; Varela *et al*., 2008; Violi *et al*., 2008; Vieyra-Hernández *et al*., 2010; Olivera-Morales *et al*., 2011; Trejo *et al*., 2011; Arias *et al*., 2012; González-Cortés *et al*., 2012; Méndez-Cortés *et al*., 2012; Carballar-Hernández *et al*., 2013).

La riqueza de especies de HMA en los matorrales xerófilos del Valle del Mezquital resultó alta (29 morfo-especies) en comparación con lo que se registró en comunidades áridas del desierto de Sonora (Bashan *et al*., 2007; Aguilera-Gómez *et al*., 2008) y de Chihuahua (Pezzani *et al*., 2006) en México. Además, se detectaron especies de HMA como *Claroideoglomus etunicatum*, *Funneliformis geosporum*, *F. mosseae*, *Glomus microaggregatum* Koske, Gemma & P.D. Olexia y *Rhizophagus intraradices*, las cuales se reportan con frecuencia asociadas con la vegetación de ecosistemas áridos y semiáridos de Estados Unidos de Norteamérica (Stutz *et al*., 2000), África (Uhlmann *et al*., 2006) y México (Pezzani *et al*., 2006; Bashan *et al*., 2007; Aguilera-Gómez *et al*., 2008; Montaño *et al*., 2012). También resultó relevante que el 26.9 % de las especies de HMA del Valle

Tabla 1. Riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares del ecosistema semiárido en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México

| *Familia*<br>*Especie de HMA* | *Registro de herbario* | *Ecosistema de México de donde se ha registrado* |
|---|---|---|
| Acaulosporaceae | | |
| *Acaulospora* aff. *denticulata* | | A(11,26) BT(26) BMDM(20) MX(10) P(19,20) SBC(27) ST(9) |
| *Acaulospora laevis* Gerd. & Trappe | TLXM 4501 | A(1,14,20,25,26) BT(23,26) BMDM(20) MS(14) MX (8) SC (13) |
| *Acaulospora* aff. *mellea* | | A(1,14,19,20,24,25) BMDM(20) BT (23) MS(14) MX(8) P(19) SBC(14) ST(19) |
| *Acaulospora spinosa* C. Walker & Trappe | | A(3,11,19,20,24,25,26) BMDM(20,25) BT(23,26) MX(8) P(19) SBC(27) ST(5,9,19) |
| Ambisporaceae | | |
| *Ambispora appendicula* (Spain, Sieverd. & N.C Schenck) C. Walker | TLXM 4502 | A(6) MS(14,18) MX(8) P(18,19) SBC(18) |
| *Ambispora* sp.1 | | |
| Claroideoglomeraceae | | |
| *Claroideoglomus claroideum* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4504 | A(1,4,14,25) BMDM(20) MS(14) MX(8,10,12) SBC(14,27) |
| *Claroideoglomus etunicatum* (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4503 | A(1,25) MX(10,12,17) |
| Entrophosporaceae | | |
| *Entrophospora infrequens* (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid. | TLXM 4505 | A(14,19,20,25,26) BT(26) MS(14) MX(8,10,12) P(19) SBC(14,27) ST(19) |
| Gigasporaceae | | |
| *Gigaspora gigantea* (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe | TLXM 4506 | A(1,11,20,24) BMDM(20) MS(14,18) MX(7,8) SBC(14,18) ST(9) |
| *Gigaspora ramisporophora* Spain, Sieverd. & N.C. Schenck | TLXM 4507 | A(19) MS(18) P(18,19,21) SBC(18,21) ST(19) |
| *Racocetra gregaria* (N.C. Schenck & T.H. Nicolson) Oehl, F.A. Souza & Sieverd. | TLXM 4508 | A(11,26) BT(26) MX(16,17) |
| *Scutellospora calospora* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders | TLXM 4509 | A(6,11,20) BMDM(20) MX(16) P(21) SBC(7,21) ST(9) |
| *Scutellospora nodosa* Blaszk. | TLXM 4511 | A(19) P(19) |
| *Scutellospora pellucida* (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & F.E. Sanders | TLXM 4510 | A(1,20) BMDM(20) MS(14) MX(8,12,17) P(19) SBC(14,22,27) |

concluye Tabla 1

| *Familia*<br>*Especie de HMA* | *Registro de herbario* | *Ecosistema de México de donde se ha registrado* |
|---|---|---|
| *Scutellospora scutata* C.Walker & Dieder. | TLXM 4512 | A(11,19,26) BMDM(20) BT(26) ST(19) |
| Glomeraceae | | |
| *Funneliformis caledonium* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4513 | MS(22) SBC(7,22) |
| *Funneliformis geosporum* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4514 | A(3,11,14,19,24,26) BT(26) DC (2) MS(14,18) MX (8,10,16,17) P(18,19) SBC(14,18,27) ST(19) |
| *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4515 | A(1,15,20,25,26) BMDM(20) BT(23,26) DC (2) MS(22) MX (10,12) SBC(22,27) ST(9) |
| *Glomus aggregatum* N.C. Schenck & G.S.Sm. | | A(15,24) DC (2) MS(14) MX(8,16,17) |
| ***Glomus caesaris*** Sieverd. & Oehl | TLXM 4516 | Primer registro para México y el Neotrópico |
| *Glomus globiferum* Koske & C. Walker | TLXM 4517 | DC(6) |
| *Glomus microaggregatum* Koske, Gemma & P.D. Olexia | TLXM 4518 | A(6,25,26) BT(23,26) MS(14,22) MX(8,10,12,16) P(18) SBC(18,22,27) |
| *Glomus tortuosum* N.C. Schenck & G.S. Sm. | TLXM 4519 | A(11) BMDM(20) BT(26) MS(18) SBC(7,18) |
| *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler | TLXM 4520 | A(24,25) BMDM(25) MS(22) MX(8,12) P(18) SBC(22,27) |
| *Sclerocystis rubiformis* Gerd. & Trappe | TLXM 4521 | A(1,11,19,20,25,26) BMDM(20,25) P(19) ST(9,19) |
| *Sclerocystis sinuosa* Gerd. & B.K. Bakshi | TLXM 4522 | A(1,11,15,19,20,24,26) BMDM(20) MS (14,18,22) MX(16) P(21) SBC(18,21,22) SC(13) ST(5) |
| Pacisporaceae | | |
| *Pacispora* sp. 1 | TLXM 4523 | |
| *Pacispora* sp. 2 | TLXM 4524 | |
| **Riqueza de HMA: 29** | | |

A: Agroecosistemas. BMDM: Bosque mesófilo de montaña. BT: Bosque templado. DC: Dunas costeras. MS: Matorral secundario. MX: Matorral xerófilo. P: Pastizal inducido. SBC: Selva baja caducifolia. ST: Selva tropical. SC: Suelo contaminado con hidrocarburos. Los números entre paréntesis indican las referencias bibliográficas: 1. Estrada-Torres *et al.*, 1992, 2. Sigüenza *et al.*, 1996, 3. Ramírez-Gerardo *et al.*, 1997, 4. Chamizo *et al.*, 1998, 5. Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999, 6. Varela y Trejo, 2001, 7. Pimienta-Barrios *et al.*, 2002, 8. Hernández-Cuevas *et al.*, 2003, 9. Allen *et al.*, 2005, 10. Pezzani *et al.*, 2006, 11. Bárcenas *et al.*, 2007, 12. Bashan *et al.*, 2007, 13. Franco-Ramírez *et al.*, 2007, 14. Guadarrama-Chávez *et al.*, 2007, 15. Ortega-Larrocea *et al.*, 2007, 16. Aguilera-Gómez *et al.*, 2008, 17. García-Sánchez *et al.*, 2008, 18. Gavito *et al.*, 2008, 19. Varela *et al.*, 2008, 20. Violi *et al.*, 2008, 21. Aguilar-Fernández *et al.*, 2009, 22. Vieyra-Hernández *et al.*, 2010, 23. Olivera-Morales *et al.*, 2011, 24. Trejo *et al.*, 2011, 25. Arias *et al.*, 2012, 26. González-Cortés *et al.*, 2012, 27. Carballar-Hernández *et al.*, 2013.

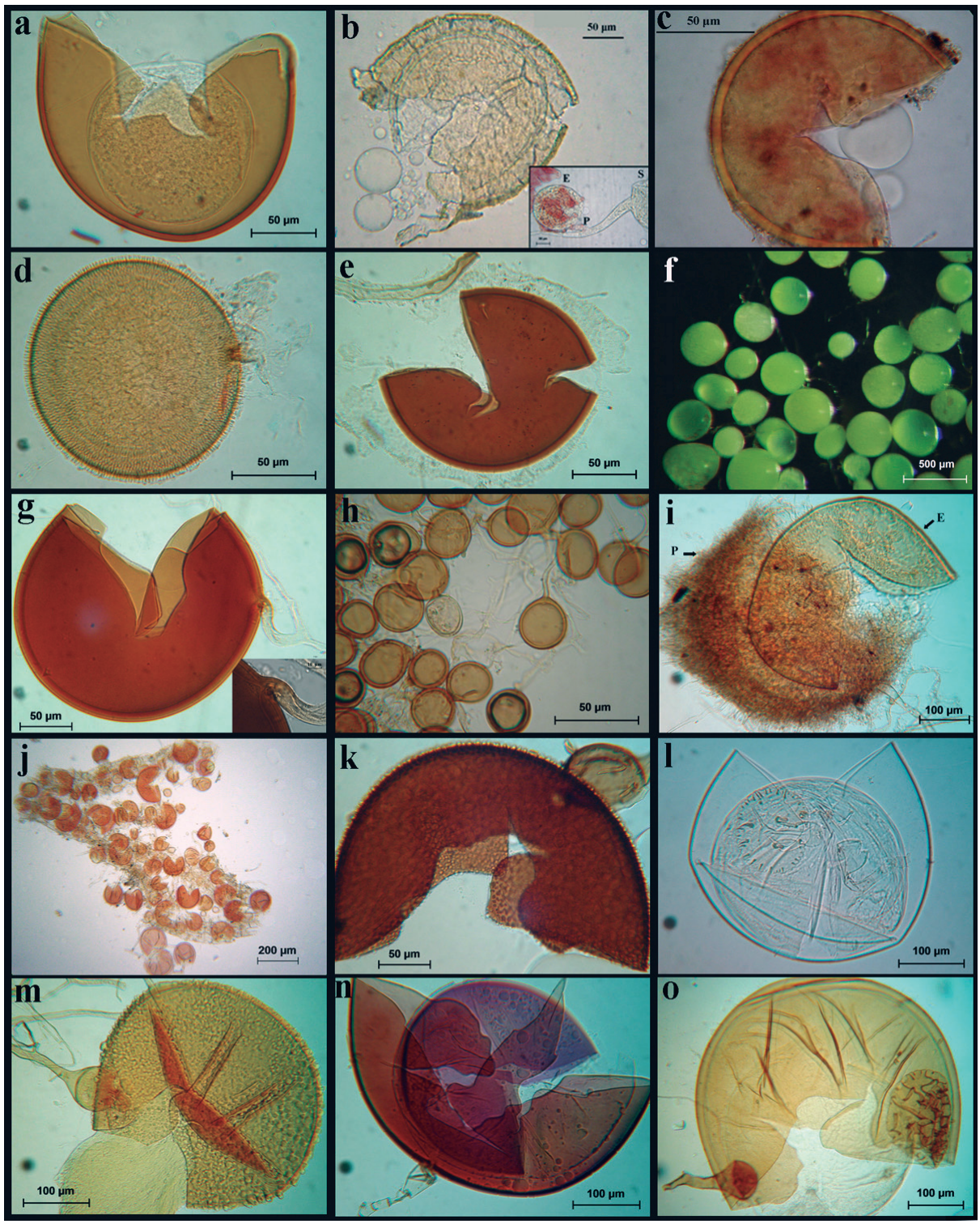


Figura 2. Algunas especies de hongos micorrizógenos arbusculares asociadas a la vegetación xerófila en el Valle del Mezquital, Hidalgo. a. *Acaulospora laevis*. b. *Ambispora appendicula*, recuadro: Espora (E) en desarrollo donde se observa el pedicelo (P) unido al sáculo (S). c. *Claroideoglomus etunicatum*. d. *Entrophospora infrequens*. e. *Funneliformis caledonium*. f. *Gigaspora gigantea*. g. *Glomus caesaris*, recuadro: detalle de la hifa. h. *G. microaggregatum*. i. *G. tortuosum*, espora (E) cubierta de un peridio micelial (P). j. *Rhizophagus intraradices*. k. *Racocetra gregaria*. l. *Scutellospora calospora*. m. *S. nodosa*. n. *S. pellucida*. o. *S. scutata*.

del Mezquital, no contaba con registros en este tipo de ambientes en el país, entre ellas, *F. caledonium* (T.H. Nicolson & Gerd.) Walker & Schüβler, *Gigaspora ramisporophora*, *Glomus tortuosum*, *G. globiferum* Koske & C. Walker, *Scutellospora scutata* y *S. nodosa*, y solo se conocen de muy pocos ecosistemas de México (Véase Tabla 1).

El Valle del Mezquital, además de presentar matorrales xerófilos diversos en plantas (García-Sánchez *et al*., 2012), representa un reservorio importante de HMA, cuya composición con una gran proporción de especies de HMA de la familia Gigasporaceae, lo hace diferente de otros ecosistemas áridos y semiáridos de México, en los cuales, la riqueza de especies, en su mayoría, está constituida por miembros de Acaulosporaceae y Glomeraceae (Stutz *et al*., 2000; Pezzani *et al*., 2006; Aguilera-Gómez *et al*., 2008). Estas diferencias pueden estar relacionadas con las propiedades fisico-químicas del suelo y la composición vegetal (Johnson *et al*., 2003; Barea *et al*., 2011); por ejemplo, la riqueza de HMA que registraron Pezzani *et al*. (2006) estuvo asociada a gramíneas y a un suelo con un pH ligeramente alcalino (8.4) y bajos contenidos de materia orgánica (1.2 %) y fósforo disponible (4.1mg $kg^{-1}$), mientras que en la zona de estudio, fueron diversos grupos de plantas y en suelos con un pH que va de ligeramente ácido (5.5) a medianamente alcalino (8.4), así como valores de materia orgánica (6.11 %) y fósforo disponible (11.5 mg $kg^{-1}$) altos (García-Sánchez *et al*., 2008; 2012).

Johnson *et al*. (2003) indicaron que la composición de plantas ejerce una influencia sobre la riqueza y la composición de las comunidades de HMA. Quizás esto explique en parte, la gran proporción de especies de HMA (48 %), como *A. laevis*, *C. etunicatum*, *F. caledonium*, *Gigaspora gigantea*, *Glomus caledonium* y *G. tortuosum*, restringidas a puntos de muestreo con matorral espinoso, en comparación, con el matorral subinerme que solo tuvo a *S. nodosa* como exclusiva. Lo anterior sugiere que futuras investigaciones en el Valle del Mezquital se deberían enfocar a determinar de manera más precisa la influencia de las propiedades del suelo y de la diversidad de plantas sobre la riqueza de especies de HMA en distintos matorrales xerófilos.

La comparación de la riqueza de géneros de HMA de la zona de estudio con otras comunidades xerófilas (Figura 3), muestra mayor o igual riqueza que la reportada por Stutz *et al*. (2000) y Pezzani *et al*. (2006) para el Desierto Chihuahuense; Stutz *et al*. (2000), Bashan *et al*. (2007) y Aguilera-Gómez *et al*. (2008) para el Desierto Sonorense; Stutz *et al*. (2000) y Uhlmann *et al*. (2006) para el desierto de Namibia, y por Camargo-Ricalde y Dhillion (2003) para el desierto de Tehuacán-Cuicatlán. No obstante, se destaca que en la mayoría de estos trabajos, las especies de HMA pertenecen principalmente a los géneros *Glomus sensu lato* y *Acaulospora*; mientras que en el Valle del Mezquital, además se registraron a *Gigaspora*, *Racocetra* y *Scutellospora*, los cuales se han asociado al buen estado de conservación del ecosistema con presencia de la vegetación nativa (Allen *et al*., 2003).

En el Valle del Mezquital las prácticas agropecuarias son los principales factores de perturbación que cambian negativamente la estructura de la vegetación en los matorrales xerófilos (Montaño *et al*., 2006; García-Sánchez *et al*., 2008). Por lo cual, es necesario desarrollar estrategias de conservación, no sólo de la diversidad de plantas, sino también, de la gran riqueza de HMA que existe en el valle, cuya importancia ecológica es clave en la interacción planta-micorriza-suelo.

Aunque se logró propagar en el invernadero con plantas de dos familias botánicas (Poaceae y Solanaceae) a un bajo número de las especies de HMA que se recolectaron en el Valle del Mezquital, dicha técnica fue una herramienta útil para incrementar la riqueza (Stutz y Morton, 1996), y permitió registrar a *F. mosseae*, *G. tortuosum*, *R. intraradices* y *Pacispora* sp.1, las cuales, no se detectaron en las muestras de campo. Cabe la posibilidad de que al emplear especies vegetales silvestres del mismo valle se obtenga un mayor número de especies de HMA; no obstante, es importante considerar que las especies silvestres son difíciles de manejar como plantas trampa.

Concluimos que el Valle del Mezquital es un ecosistema semiárido de México que resguarda una gran riqueza genérica y específica de HMA; incluso algunas especies contaban con escasos registros en ecosistemas de México, como *S. nodosa* citada solo de un pastizal inducido y una zona agroforestal -cafetal de sombra- de clima tropical húmedo en Veracruz (Varela *et al*., 2008) y *G. caesaris* que es poco común en el mundo (Oehl *et al*., 2002), no se conocía previamente en el Neotrópico y es escasa en el Valle del Mezquital. Las especies de HMA, distribuidas en diversos géneros y familias, constituyen una evidencia indirecta de la amplitud y diversidad de funciones benéficas que estos sim-

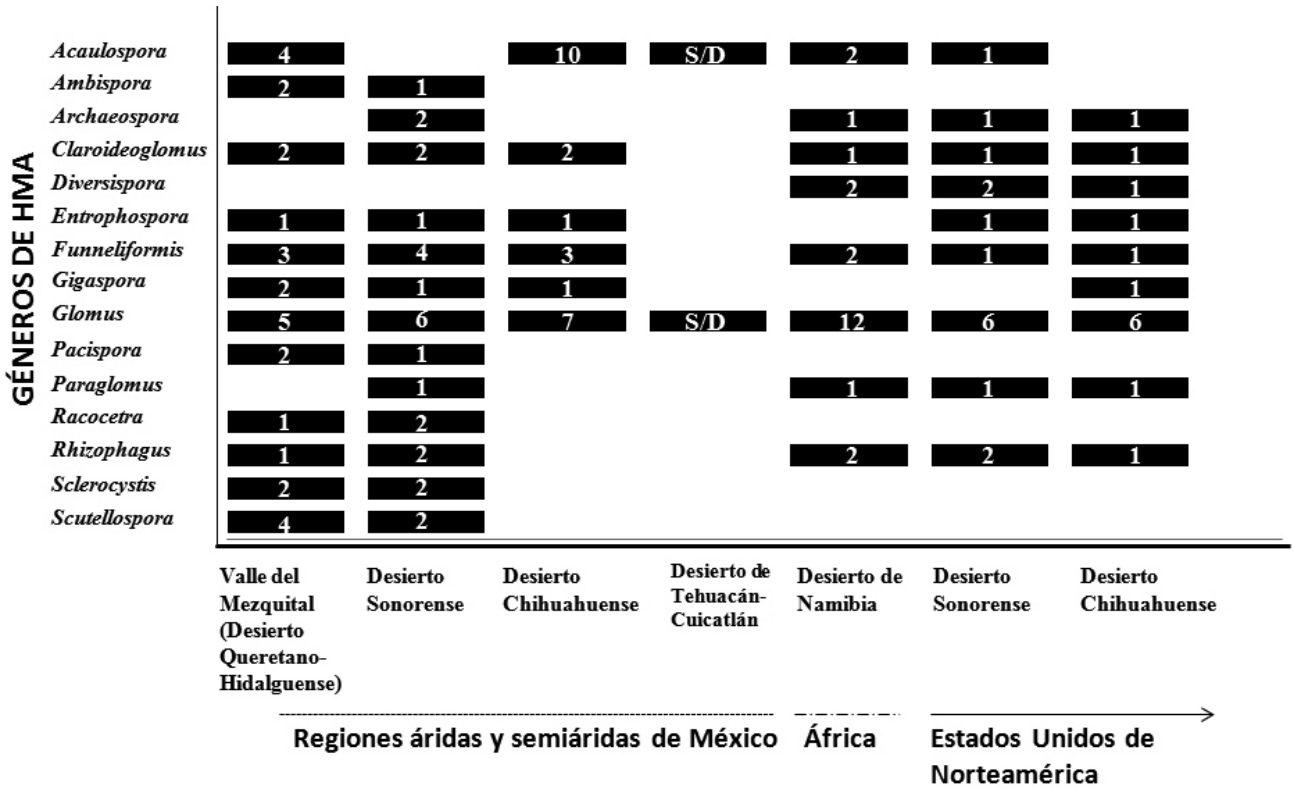


Figura 3. Comparación de la riqueza de géneros de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) reportados para el Valle del Mezquital, Hidalgo, con otras comunidades áridas y semiáridas de México, África y Estados Unidos de Norteamérica. Los números en las barras indican la cantidad de morfoespecies de cada género.

biontes pueden ejercer sobre sus plantas hospederas. Y por último, con el método de propagación empleado se detectaron especies de HMA susceptibles de propagarse bajo condiciones de invernadero y que pueden ser candidatas idóneas en la elaboración de inóculo micorrizógeno para estudios básicos o aplicados hacia las prácticas de restauración ambiental.

## Agradecimientos

A los Biólogos Jessica Miguel De la Cruz y Cristian Rafael Cervantes Salcedo por su apoyo en las actividades de campo y en el trabajo de invernadero para la propagación de los HMA, al Biólogo Víctor Águila Flores por la elaboración del mapa del Valle del Mezquital, así como a los revisores anónimos y editores por sus comentarios y sugerencias para enriquecer el artículo. Parte de esta investigación fue financiada por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, DGAPA, UNAM, Clave IN-216610.

## Literatura citada

Aguilar-Fernández, M., V.J. Jaramillo, L. Varela-Fregoso, M.E. Gavito, 2009. Short-term consequences of slash-and-burn practices on the arbuscular mycorrhizal fungi of a tropical dry forest. Mycorrhiza 19: 179-186.

Aguilera-Gómez, L.I., I.V. Rivas-Manzano, O. Ocampo-Jiménez, V. Olalde-Portugal, 2008. Los Glomales de las planicies del Desierto de Sonora. In: Montaño, N.M., S.L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez, A. Monroy-Ata (eds.), Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM. México, D.F. pp. 85-95.

Allen, B.E., M.F. Allen, L. Egerton-Warburton, L. Corkidi, A. Gómez-Pompa, 2003. Impacts of early- and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, Mexico. Ecological Applications 13: 1701-1717.

Allen, F.M., E.B. Allen, A. Gómez-Pompa, 2005. Effects of mycorrhizae and non-target organisms on restoration of a seasonal tropical forest in Quintana Roo, Mexico: Factors limiting tree establishment. Restoration Ecology 13: 325-333.

Arias, R.M., G. Heredia-Abarca, V.L. Sosa, L.E. Fuentes-Ramírez, 2012. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. Agroforestry Systems 85: 179-193.

Bárcenas, A., C. Almaraz, L. Reyes, L. Varela, B. Lara, A. Guillén, Y. Carreón, S. Aguirre, A. Chávez, 2007. Diversity of arbuscular

mycorrhizal fungi in avocado orchards from Michoacán. Proceedings VI World Avocado Congress. Viña del Mar, Chile.

Barea, J.M., J. Palenzuela, P. Cornejo, I. Sánchez-Castro, C. Navarro, A. López-García, B. Estrada, R. Azcón, N. Ferrol, C. Azcón-Aguilar, 2011. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. Journal of Arid Environments 75: 1292-1301.

Bashan, Y., T. Khaosaad, B.G. Salazar, J.A. Ocampo, A. Wiemken, F. Oehl, H. Vierheilig, 2007. Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. Trees Structure and Function 21: 329-335

Camargo-Ricalde, S.L., S.S. Dhillion, 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. Mycorrhiza 13: 129-136.

Camargo-Ricalde, S.L., S.S. Dhillion, C. Jiménez-González, 2003. Mycorrhizal perennials of the "matorral xerófilo" and the "selva baja caducifolia" communities in the semiarid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. Mycorrhiza 13: 77-83.

Carballar-Hernández, S., F.J. Palma-Cruz, L.V. Hernández-Cuevas, C. Robles, 2013. Arbuscular mycorrhizal potential and mycorrhizal fungi diversity associated with *Agave potatorum* Zucc. in Oaxaca, Mexico. Ecological Research 28: 217-226.

Chamizo, A., R. Ferrera-Cerrato, L. Varela, 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. Revista Mexicana de Micología 14: 37-40.

Estrada-Torres, A., L. Varela, L. Hernández-Cuevas, M.E. Gavito, 1992. Algunos hongos micorrízicos arbusculares del Estado de Tlaxcala, México. Revista Mexicana de Micología 8: 85-110.

Franco-Ramírez, A., R. Ferrera, L. Varela, J. Pérez-Moreno, A. Alarcón, 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi in chronically petroleum-contaminated soils in Mexico and the effects of petroleum hydrocarbons on spore germination. Journal of Basic Microbiology 47: 378-383.

García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM, México, D.F.

García-Sánchez, R., A. Monroy-Ata, E. Chimal-Sánchez, 2008. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. In: Montaño, N.M., S.L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez, A. Monroy-Ata (eds.), Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología - SEMARNAT, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM, México, D.F. pp. 123-136.

García-Sánchez, R., S.L. Camargo-Ricalde, E. García-Moya, M. Luna-Cavazos, A. Romero-Manzanares, N.M. Montaño, 2012. *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae) jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. Revista de Biología Tropical 60: 87-103.

Gavito, M., D. Pérez-Castillo, C.F. González-Monterrubio, T. Vieyra-Hernández, M. Martínez-Trujillo, 2008. High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedlings of different land use types in a tropical dry ecosystem. Mycorrhiza 19: 47-60.

Gazey, C., L.K. Abbott, A.D. Robson, 1993. VA mycorrhizal spores from three species of *Acaulospora*: germination, longevity and hyphal growth. Mycological Research 97: 785-790.

Gerdemann, J.W., T.H. 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, M.C., R. Ferrera-Cerrato, J. Pérez-Moreno, 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México.

González-Chávez, M.C., A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato, 2008. Biodiversidad funcional de los hongos micorrícicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas. In: Montaño, N.M., S.L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez, A. Monroy-Ata (eds.), Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores-Zaragoza, UNAM, México, D.F. pp. 11-24.

González-Cortés, J.C., M. Vega-Fraga, L. Varela, M. Martínez-Trujillo, Y. Carreón-Abud, M.E. Gavito, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. Fungal Ecology 5: 16-23.

Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R.L. Granados-Victorino, A. Borja de la Rosa, 2011. Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. Ciencias Forestales y del Ambiente 17, edición especial: 111-130.

Guadarrama, P., F.J. Álvarez-Sánchez, 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. Mycorrhiza 8: 267-270.

Guadarrama-Chávez, P., S.L. Camargo-Ricalde, L. Hernández-Cuevas, S. Castillo-Argüero, 2007. Los hongos micorrizógenos arbusculares de la región de Nizanda, Oaxaca, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 81: 131-137.

Hernández-Cuevas, L., S.A. Castillo, P. Guadarrama-Chávez, Y.O. Martínez, M.A.R. Romero, I. Sánchez-Gallén, 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Las Prensas de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Holmgren, P.K., N.H. Holmgren, L.C. Barnett, 1990. Index herbariorum. Part I. The herbaria of the world. 8ª Ed. International Association for Plant Taxonomy and New York Botanical Garden, Nueva York.

INEGI, 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en: www.inegi.org.mx.

International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM), 2013. West Virginia University. Disponible en: http://invam.caf.wvu.edu/

Johnson, D., P.J. Vandenkoornhuyse, J.R. Leake, L. Gilbert, R.E. Booth, J.P.Grime, J.P.W Young, D.J. Read, 2003. Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. New Phytologist 161: 503-515.

Méndez-Cortés, H., J.G. Marmolejo-Monsivais, V. Olalde-Portugal, C.M. Cantú-Ayala, L. Varela-Fregoso, 2012. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. Revista Mexicana de Micología 36: 49-56.

Montaño, A.N.M., R. García-Sánchez, G. Ochoa-de la Rosa, A. Monroy-Ata, 2006. Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido de México. Terra Latinoamericana 24: 193-205.

Montaño, A.N.M., A. Alarcón, S.L. Camargo-Ricalde, L.V. Hernández-Cuevas, J. Álvarez-Sánchez, M.C. González-Chávez, M. Gavito, I. Sánchez-Gallen, J. Ramos-Zapata, P. Guadarrama, I.E. Maldonado-Mendoza, S. Castillo, R. García-Sánchez, D. Trejo, R. Ferrera-Cerrato, 2012. Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: an historical synthesis and future prospects. Symbiosis 57: 111-126.

Oehl, F., A. Wiemken, E. Sieverding, 2002. *Glomus caesaris*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the Kaiserstuhl in Germany. Mycotaxon 84: 379-385.

Oehl, F., E. Sieverding, J. Palenzuela, K. Ineichen, A.S. Gladstone, 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. International Mycological Association Fungus 2: 191-199.

Olivera-Morales, D., S. Castillo-Argüero, P. Guadarrama, J. Ramos-Zapata, J. Álvarez-Sánchez, L. Hernández-Cuevas, 2011. Establecimiento de plántulas de *Quercus rugosa* Neé inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque templado de México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 89: 115-121.

Ortega-Larrocea, M.P., C. Siebe, A. Estrada, R. Webster, 2007. Mycorrhizal inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi in soils irrigated with wastewater for various lengths of time, as affected by heavy metals and available P. Applied Soil Ecology 37: 129-138.

Pezzani, F., C. Montaña, R. Guevara, 2006. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. Mycorrhiza 16: 285-295.

Pimienta-Barrios, E., E. Pimienta-Barrios, M.E. Salas-Galván, J. Zañudo-Hernández, P.S. Nobel, 2002. Growth and reproductive characteristics of the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis* and their relationships with environmental factors and colonization by arbuscular mycorrhizae. Tree Physiology 22: 667-674.

Ramírez-Gerardo, M., J. Álvarez-Sánchez, P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallén, 1997. Estudio de hongos micorrizógenos arbusculares bajo árboles remanentes en un pastizal tropical. Boletín de la Sociedad Botánica de México 61: 15-20.

Roldán-Fajardo, B.E., 1994. Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal endophytes on the development of six wild plants colonizing a semi-arid area in south-east Spain. New Phytologist 127: 115-121.

Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D.F.

Schüßler, A., D. Schwarzott, C. Walker, 2001. A new phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological Research 105: 1413-1421.

Schüßler, A., C. Walker, 2010. Glomeromycota: a species list with new families and new genera. Disponible en: http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/

Sigüenza, C., I. Espejel, E.B. Allen, 1996. Seasonality of mycorrhizae in coastal sand dunes of Baja California. Mycorrhiza 6: 151-157.

Smith, E.S., E. Facelli, S. Pope, F.A. Smith, 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326: 3-20.

Stürmer, S.L., J.O. Siqueira, 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. Mycorrhiza 21: 255-267.

Stutz, J.C., J.B. Morton, 1996. Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. Canadian Journal of Botany 74: 1883-1889.

Stutz, J.C., R. Copeman, C.A. Martin, J.B. Morton, 2000. Patterns of species composition and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in arid regions of southwestern North America and Namibia, Africa. Canadian Journal of Botany 78: 237-245.

Trejo, D., R. Ferrera-Cerrato, R. García, L. Varela, L. Lara, A. Alarcón, 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. Revista Chilena de Historia Natural 84: 23-31.

Turrini, A., M. Giovannetti, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi in national parks, nature reserves and protected areas worldwide: a strategic perspective for their *in situ* conservation. Mycorrhiza 22: 81-97.

Uhlmann, E., C. Görke, A. Petersen, F. Oberwinkler, 2006. Arbuscular mycorrhizae from arid parts of Namibia. Journal of Arid Environments 64: 221-237.

Valiente-Banuet, A., 1996. La conservación de los desiertos: un desafío. Ocelot-Revista Mexicana de la Conservación PRONATURA 4: 34-37.

van der Heijden, A.M.G., J.N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken, I. R. Sanders, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69-72.

Varela, L., D. Trejo, 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. Acta Zoológica Mexicana Núm. especial 1: 39-51.

Varela, L., A. Estrada-Torres, I. Sánchez-Gallén, F.J. Álvarez-Sánchez, 2008. Catálogo ilustrado de hongos micorrizógenos arbusculares de la Reserva de la Biósfera de Los Tuxtlas. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. CD-ROM.

Vieyra-Hernández, M.T., M.E. Gavito-Pardo, M. Martínez-Trujillo, 2010. Caracterización de las comunidades de los hongos micorrízicos arbusculares de un bosque tropical seco caducifolio. Ciencia Nicolaita Núm. Especial: 1-7.

Violi, A.H., A.F. Barrientos-Priego, S.F. Wright, E. Escamilla-Prado, J.B. Morton, J.A. Menge, C.J. Lovatt, 2008. Disturbance changes arbuscular mycorrhizal fungal phenology and soil glomalin concentrations but not fungal spore composition in montane rainforests in Veracruz and Chiapas, México. Forest Ecology and Management 254: 276-290.