

"Inflorescencia y raíz micorrizada *Jatropha gossypifolia*"

Imagen de Víctor Abraham Vargas Vázquez

Riqueza de especies de hongos micorrízicos asociados a plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México

Species richness of mycorrhizal fungi associated with plants from the Euphorbiaceae family in the Altas Cumbres Protected Area, Tamaulipas, Mexico

Víctor Abraham Vargas-Vázquez¹, Ninfa Isabel Sanchez-Rangel^{1,2}, Laura Verónica Hernández-Cuevas³, Gonzalo Guevara-Guerrero^{4*}

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son importantes para el desarrollo y supervivencia de las plantas. Esto ha motivado el análisis del uso de algunas especies de HMA de uso comercial como biofertilizantes de cultivos a nivel nacional. En Tamaulipas, el conocimiento acerca de la diversidad de HMA es escaso. El objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia e identidad taxonómica de hongos micorrízicos arbusculares asociados a la familia Euphorbiaceae (*sensu lato*) en el Área Natural Protegida Altas Cumbres. Las esporas fueron obtenidas a través de propágulos extraídos de plantas trampa de diferentes especies, cultivadas en suelo y raíces de la zona de estudio. El estatus micorrízico se determinó mediante la técnica de tinción de Phillips y Hayman y la identificación de HMA, a través de la extracción de esporas por el método de tamizado húmedo con centrifugación con sacarosa, y su caracterización morfológica. Todas las raíces mostraron estructuras típicas de los HMA, evidenciando la presencia de esta asociación en los 74 taxones de euforbiáceas. Se registró una riqueza de 9 especies de HMA ubicadas dentro de 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes, siendo *Glomus* (Familia Glomeraceae) el género con mayor riqueza específica. Se detectó la presencia de los géneros *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* por primera vez en Tamaulipas. Los resultados denotan lo ampliamente distribuidos que se encuentran los HMA en las plantas de la familia Euphorbiaceae en el Área Natural Protegida Altas Cumbres y la necesidad e importancia de continuar con investigaciones sobre las micorrizas arbusculares.

PALABRAS CLAVE: endomicorrizas, riqueza de especies, Glomeromycota, Euphorbiaceae.

ABSTRACT

The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important for the development and survival of plants. This has motivated the analysis of the use of some AMF species with commercial use as crop biofertilizers at the national level. In Tamaulipas, knowledge of AMF diversity is scarce. The objective of this work was to determine the presence and taxonomic identity of AMF associated with the Euphorbiaceae family (*sensu lato*) in the Altas Cumbres Protected Area. The spores were obtained through propagules extracted from trap plants of different species grown in the soil and roots of the area under study. The mycorrhizal status was determined by the Phillips and Hayman staining technique and the identification of AMF through the extraction of spores by the wet sieving method with sucrose centrifugation and their morphological characterization. All the roots showed typical AMF structures, evidencing the presence of this association in the 74 euphorbiaceae taxa. A richness of 9 AMF species located within 6 genera, 4 families and 3 orders were recorded, with *Glomus* (Glomeraceae family) being the genus with the highest specific richness. The presence of the genera *Entrophospora*, *Funneliformis* and *Rhizophagus* was detected for the first time in Tamaulipas. The results denote how widely distributed AMF are found in plants of the Euphorbiaceae family in the Altas Cumbres Protected Area, highlighting the need to continue with investigations on arbuscular mycorrhizae.

KEYWORDS: endomycorrhizal, species richness, Glomeromycota, Euphorbiaceae.

*Correspondencia: guevaragg@hotmail.com/ Fecha de recepción: 20 de enero de 2021/ Fecha de aceptación: 23 de abril de 2021/ Fecha de publicación: 27 de julio de 2021.

¹ Ecological Research Azcatl, Tampico, Tamaulipas, México. ² Centro Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicio 024, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. ³ Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Laboratorio de Biología Molecular, Tlaxcala, Tlaxcala, México. ⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, División de Estudios de Posgrado e Investigación, boulevard Emilio Portes Gil núm. 1301, col. Enrique Cárdenas González, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87010.

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son uno de los grupos de microorganismos más importantes para el desarrollo y sobrevivencia de las plantas (Ferlian y col., 2018). Esta asociación es la principal vía de obtención de nutrientes del suelo, como nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio, fósforo y agua. Asimismo, actúan como una barrera física que impide la pérdida de agua y el ingreso de patógenos (Noda, 2009). Las micorrizas se clasifican en 7 diferentes tipos, sin embargo, las endomicorrizas o micorrizas arbusculares son las más frecuentes y abundantes en algunos ecosistemas (Kumar y col., 2015; Barman y col., 2016; Brundrett y Tedersoo, 2018). Los HMA se caracterizan por el desarrollo de estructuras fúngicas al interior de las células del córtex de la raíz denominadas arbusculos, especializadas en el intercambio de nutrientes y en la formación de estructuras de almacenamiento conocidas como vesículas en algunas especies de HMA (Oehl y col., 2011). Los HMA pertenecen exclusivamente al phylum Glomeromycota (Schüßler y col., 2001; Oehl y col., 2011), el cual se caracteriza por su micelio cenocítico (carente de septos), ausencia de reproducción sexual (Schüßler y col., 2001) y distribución cosmopolita (Sturmer y col., 2018), además de ser simbioses obligados de organismos fotosintéticos (Schüßler y col., 2001). La mayoría de las especies de plantas, exceptuando las acuáticas estrictas y algunas familias de plantas terrestres (Chimal-Sánchez y col., 2016), han sido documentadas como formadoras de HMA. Debido a su importancia ecológica (Ferlian y col., 2018) y sus múltiples aplicaciones en el sector agropecuario (Rodríguez y Sanders, 2014; Oliveira y col., 2016) desde hace varias décadas los HMA han generado gran interés en la investigación científica.

El phylum Glomeromycota se ha mantenido con pocas variaciones evolutivas desde su origen en el periodo Ordovícico debido a la eficiencia en sus adaptaciones (Davison y col., 2015). Por ello, posiblemente la diversidad de especies a nivel mundial es menor que la de otros grupos de hongos (Davison y col., 2015),

limitándose aproximadamente a poco más de 300 especies (Crossay y col., 2017; Álvarez-Lopezello y col., 2018) repartidas en 29 géneros, 14 familias, 5 órdenes y 3 clases (Oehl y col., 2011). En México se han registrado 105 especies de HMA, principalmente en zonas áridas, semiáridas y tropicales (Chimal-Sánchez y col., 2016; Álvarez-Lopezello y col., 2018; 2019), sin embargo, la representatividad geográfica de ecosistemas y de grupos de plantas aún es escasa, considerando la gran diversidad biológica del país (Chimal-Sánchez y col., 2016; Álvarez-Lopezello y col., 2019). Por ello, los trabajos relacionados con la diversidad de HMA son indispensables en México, principalmente en los grupos de plantas más diversos y dominantes en los ecosistemas, como es el caso de la familia Euphorbiaceae, la cual se aprecia como la sexta más diversa de Angiospermas a nivel mundial, después de Orchidaceae, Asteraceae, Fabaceae, Poaceae y Rubiaceae (Steinmann, 2002; Villaseñor, 2016). Su riqueza específica va desde las 6 600 especies en *sensu stricto* (ThePlantList, 2020), hasta las 8 700 en *sensu lato* (Webster, 1994; Steinmann y Ramírez-Amezcuca, 2016).

En la actualidad, Euphorbiaceae *sensu lato* (Webster, 1994) es considerada como 5 familias distintas (Euphorbiaceae *sensu stricto*, Phyllanthaceae, Pandaceae, Picrodendraceae y Putranjivaceae) englobadas dentro del orden Malpighiales (Steinmann y Ramírez-Amezcuca, 2016). Este grupo de plantas, bajo ambos criterios de clasificación, posee una gran variedad de formas de vida y una distribución cosmopolita tanto geográfica como a nivel de ecosistemas, siendo con frecuencia al menos una especie de dicha familia co-dominante dentro de las comunidades (Steinmann, 2002). Además, Euphorbiaceae es sumamente importante a nivel económico, ya que muchas especies se cultivan para su uso medicinal, industrial, alimenticio y ornamental (Steinmann, 2002). Por todo ello, a nivel mundial la familia Euphorbiaceae ha sido utilizada como modelo biológico en el estudio de las micorrizas tanto con fines ecológicos como económicos (Ramanankierana y col., 2007; Callejas-Ruiz y col., 2009; Díaz-Her-

nández y col., 2013). Partiendo de que esta familia representa uno de los principales componentes de los ecosistemas por su diversidad y abundancia, así como la derrama económica que genera en algunas regiones (Steinmann, 2002), precisar las asociaciones que determinan su resiliencia, como las micorrizas, es indispensable para su conservación (Liu y col., 2010). Sin embargo, las asociaciones micorrízicas de dicha familia en el estado de Tamaulipas se desconocen por completo, ya que las especies regionales no han sido objeto de estudio.

El conocimiento de las micorrizas en Tamaulipas se limitó por mucho tiempo a la diversidad e inoculación de macromicetos ectomicorrízicos (García-Jiménez y col., 2014), muchos de ellos de hábitos hipogeos (Guevara y col., 2013). Actualmente las observaciones sobre las micorrizas han girado su atención a la aplicación de los HMA comerciales para favorecer el crecimiento, fructificación y resistencia a las sequías en los principales cultivos del estado, como la col (Díaz-Franco y col., 2017), el sorgo (Díaz-Franco y col., 2016a; Díaz-Franco y col., 2016b; Díaz-Franco y col., 2019), el maíz, la soya y el algodón (Díaz-Franco y col., 2019), aunque han ignorado la diversidad de especies de HMA nativos. Por otra parte, existen pequeñas contribuciones sobre diferentes HMA asociados al maguey tequilero (Almaguer-Sierra y col., 2004) y algunas especies de cactáceas del altiplano tamaulipeco (Guevara-Guerrero y col., 2011). Así mismo, se han desarrollado algunas tesis respecto al tema, si bien aún no han sido publicadas (Guevara-Guerrero y col., 2011; 2014). La gama de especies de HMA de Tamaulipas se desconoce en un gran porcentaje, incluyendo a los sitios prioritarios de conservación como lo es el Área Natural Protegida Altas Cumbres (ANPAC), localizada en la zona centro de Tamaulipas en una sección de la Sierra Madre Oriental, caracterizada por una alta diversidad de plantas vasculares (1 164 especies), ecosistemas y ambientes (García-Morales y col., 2014). Esas características hacen del ANPAC un sitio óptimo para la exploración de los HMA, siendo el presente análisis el primero al grupo Glome-

romycota en la región de la Sierra Madre Oriental tamaulipeco.

El objetivo de este trabajo fue identificar en el Área Natural Protegida Altas Cumbres el estatus micorrízico, el tipo de micorriza y las especies de hongos micorrízicos arbusculares asociados a las raíces y al área rizosférica de plantas de la familia Euphorbiaceae (*sensu lato*).

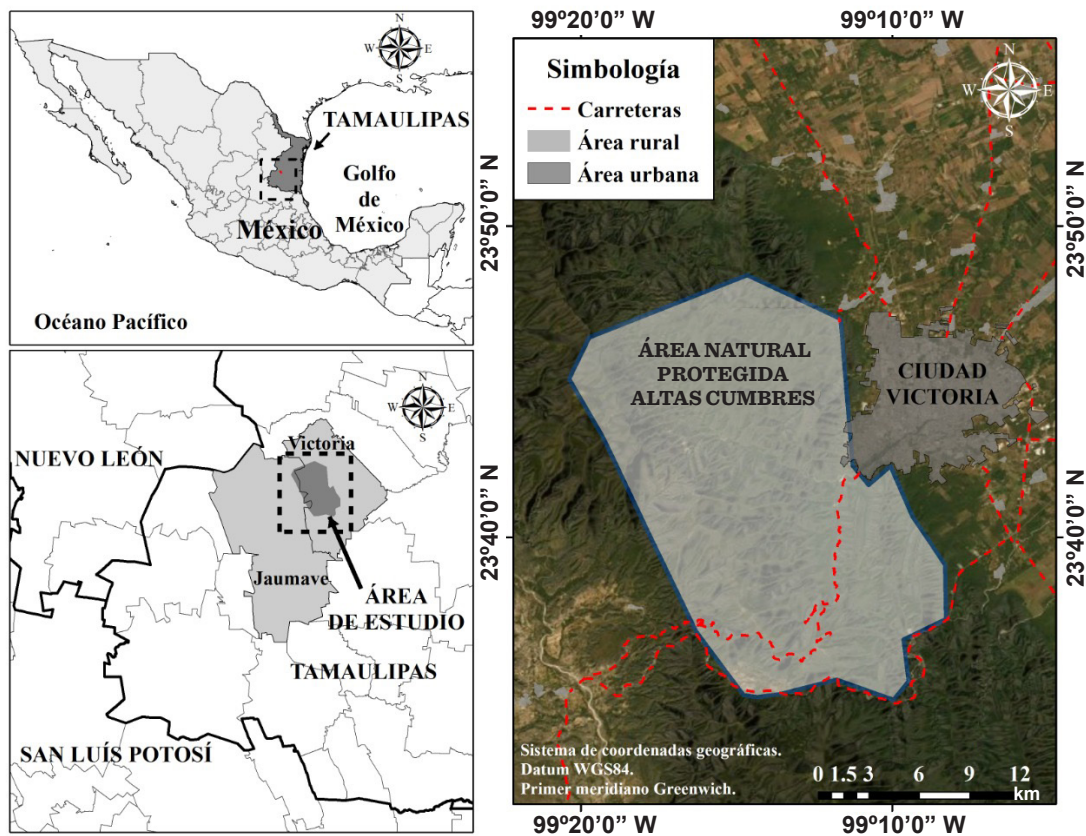
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ANPAC, decretada como tal el 19 de noviembre de 1997, con una superficie total de 31 251.23 ha, se localiza en los municipios de Jaumave y Victoria (Figura 1) dentro de la región de la Sierra Madre Oriental de la zona centro del estado de Tamaulipas, noreste de México, de acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020). Su topografía es diversa debido a la presencia de la Sierra Madre Oriental, y va desde zonas de lomas y lomeríos hasta altas montañas y profundos cañones, con un rango de elevación de 350 msnm a 2 200 msnm, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013). De igual manera, sus suelos son variados, siendo los principales: litosoles, vertisoles pélicos salinos, regosoles éutricos, así como rendzinas petrocálcica y pedregosa (Batjes y col., 2020). Los climas son semicálido templado subhúmedo ((A)C(w1) y (A)C(w0)), cálido subhúmedo (Aw1) y semiárido templado (BS1hw) (Cuervo-Robayo y col., 2019). Los tipos de vegetación donde se realizaron los muestreos abarcan matorral submontano, matorral desértico micrófilo, matorral espinoso tamaulipeco, selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, vegetación secundaria, bosque de pino, bosque ripario y áreas de cultivo (García-Morales y col., 2014).

Muestreo

Se realizó previamente un inventario florístico de las especies de plantas pertenecientes a la familia Euphorbiaceae considerando un muestreo aleatorio estratificado. Para ello, primeramente se generaron sobre un mapa temático



■ **Figura 1.** Ubicación del área de estudio (Área Natural Protegida Altas Cumbres).
Figure 1. Study area location (Altas Cumbres Protected Area).

puntos al azar dentro del área de estudio, seleccionando los cuatro con mayor acceso para cada combinación de variables, con base en los estratos elevacionales (cada 200 msnm, desde los 350 msnm hasta los 2 200 msnm) y los 11 tipos de vegetación (INEGI, 2013; García-Morales y col., 2014). Este proceso fue realizado con el *software* de sistema de información geográfica (ArcGIS, por sus siglas en inglés: arc geographic information system) versión 10.6 (ESRI®, 2018). Las visitas se efectuaron en el periodo comprendido de septiembre de 2012 a octubre de 2013, con un total de 24 salidas y 200 puntos de colecta, donde los individuos de las especies de euforbiáceas fueron ubicados en un radio de 5 m, obteniendo una muestra de material botánico, raíces y suelo del área rizosférica de un ejemplar de cada especie. Se hizo presencia en los sitios una vez en cada estación del año, durante el periodo de evaluación, con la finalidad considerar el efec-

to de la estacionalidad en la composición florística y con ello asegurar la representatividad de todas las especies locales de euforbiáceas. Para cada especie encontrada se seleccionó un único individuo, del cual solo se tomó una única muestra por parcela circular, independientemente de que se hayan encontrado la misma especie en otras parcelas. Esto último considerando tener repeticiones, ya que no es completamente probable encontrar micorrizas en todas las raíces, por ello, deben revisarse la mayor cantidad de raíces posibles para poder aceptar o descartar la presencia de micorrizas en una especie. En la mayoría de estas parcelas solo se encontró una especie (y por eso solo se tomó una porción de un ejemplar), aunque en algunas parcelas llegaron a encontrarse hasta un máximo de 5 especies (y por ende se tomaron 5 porciones). Por la naturaleza de estas especies, el número de individuos analizados para cada especie fue muy con-

trastante entre ellas. Un ejemplo de especies encontradas en diversas parcelas estudiadas fueron *Croton ciliatoglandulifer* (la más abundante, frecuente y ampliamente distribuida) con 31 muestras, *Croton cortesianus* con 24, *Euphorbia hirta* con 15, *Euphorbia graminea* con 13, *Phyllanthus carolinensis* y *Cnidioscolus multilobus* con 10 cada una y *Euphorbia dentata* con 7 muestras. Estas 7 especies representaron 110 muestras, es decir el 27.5 % del total. En contraste, *Euphorbia subpeltata* y *Euphorbia macropus* fueron algunas de las especies de las cuales en todo el estudio (incluso hasta la fecha) solo se lograron encontrar un solo ejemplar.

El suelo utilizado en los análisis fue extraído del cepellón formado por las raíces con apoyo de una cuchara para jardín GTS-SH (Truper®, México, D.F.), cuidando de tomar solo el perteneciente a la rizósfera, considerando un radio de 15 cm a partir del centro de la raíz y una profundidad también de 15 cm. Las raíces se tomaron directamente de la planta con tijeras y una pala, evitando que se mezclaran con raíces de otras plantas. Ambas muestras se depositaron en bolsas de papel estraza. El material botánico fue procesado y conservado a través del método clásico de prensado y herborizado (Lot y Chiang, 1986), para su posterior identificación y corroboración taxonómica. Enseguida fue depositado en el herbario del Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT).

Estatus micorrízico

La determinación del estatus micorrízico se efectuó mediante la búsqueda de estructuras fúngicas (micelio cenocítico, vesículas y arbusculos) en el córtex de las raíces, teñidas por el método de Phillips y Hayman (1970). Para ello se utilizaron las raíces finas (de aproximadamente 2 mm de diámetro), revisando un total de 400 muestras, las cuales se limpiaron con agua corriente, se colocaron en cápsulas de tinción de tejidos, se aclararon (10 % de KOH y 5 % de H₂O₂, en baño María por 1 h) y se acidificaron con 1 % de HCl por 30 min. Posteriormente se tiñeron con azul tripano

(0.05 %) (Brundrett y col., 1996). Con esta técnica, las células de la raíz se aclaran, coloreando de azul intenso las células de los HMA (Castillo-Agüero y col., 2003). Las raíces teñidas fueron montadas en laminillas, en fragmentos de 2 cm de longitud, y analizadas a través de un microscopio modelo Stemi 2000-C (Carl Zeiss®, Gottingen, Alemania) y una cámara modelo PowerShot G5 (Canon®, Tokio, Japón). Este proceso se realizó en cada una de las muestras en el laboratorio inmediatamente después de cada visita a campo para evitar daños al material biológico.

Propagación, aislamiento e identificación de esporas

Las muestras de suelo y las de raíces restantes del proceso de tinción se mantuvieron en refrigeración a 4 °C, para preservarlas durante el muestreo en campo. Al culminar la fase de campo, tanto el suelo como las raíces secundarias mencionadas fueron utilizadas para propagar las esporas a través de cultivos con plantas trampa mixtas. Las propagaciones se hicieron en recipientes de unicel de 1 L, utilizando como sustrato un compuesto de arena, grava delgada, tierra para maceta comercial y tezontle pulverizado en proporción 1: 1: 1: 1, el cual fue esterilizado previamente a la inoculación para evitar la contaminación por microorganismos antagonistas. Se le agregaron, para cada especie de euforbiácea, 50 g de la muestra de suelo y algunas raíces secundarias. Las especies trampa fueron sorgo (*Sorghum vulgare*), guajillo (*Leucaena pulverulenta*), hierba de la golondrina (*E. hirta*), lecheroncilla (*E. graminea*), catalina (*E. heterophylla*) y polocote (*Helianthus annuus*), seleccionadas por ser micotróficas. Los cultivos se mantuvieron en el invernadero del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Victoria, con un riego de aproximadamente 350 mL cada 72 h durante 10 meses

Después de 10 meses de desarrollo de las plantas trampa, las muestras fueron procesadas mediante decantación (tamices de 1 mm, 100 µm y 44 µm de apertura) y centrifugado en una solución de sacarosa al 44 % y un lavado con apo-

yo de una membrana filtro de 22 μm . Las esporas fueron aisladas del material procesado de manera manual utilizando una pipeta Pasteur modificada y un microscopio estereoscópico modelo SMZ-2b (Nikon®, Tokio, Japón), y posteriormente montadas en un portaobjetos con 0.1 mL de reactivo de PVLG-Melzer (1:1) (Castillo-Agüero y col., 2003; Hernández-Cuevas y col., 2003; Martínez y col., 2009; Álvarez-Lopezello y col., 2019).

La identidad taxonómica de las especies se realizó con base en bibliografía taxonómica especializada en Glomeromycota (Schenck y Pérez, 1990; Hernández-Cuevas y col., 2003), por comparación y contrastación de las características morfológicas de las esporas, observadas con un microscopio óptico con contraste de interferencia de Nomarski modelo Optiphot-2 (Nikon®, Tokio, Japón). Las esporas identificadas fueron fotografiadas con una cámara Toupcam modelo UCMOS02000KPB y el *software* ToupView x86 (ToupTek®, Hangzhou, China) adaptada a un microscopio óptico modelo IRO-NC-58 (Iroscope®, Ciudad de México, México). Las preparaciones permanentes se depositaron en la colección del Herbario Micológico “José Castillo Tovar” del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Victoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los muestreos florísticos permitieron registrar 400 individuos pertenecientes a 74 taxones, dentro de 17 géneros y 62 especies, además de una subespecie y 11 morfotipos sin identificar (Tabla 1), los cuales representan el 45 % de las especies de la familia, estimadas para el estado de Tamaulipas (Villaseñor, 2016). Las raíces de todos los ejemplares presentaron micelio cenocítico al interior de las células del córtex. También se observaron algunas células con arbusculos y con menor frecuencia, vesículas (Figura 2). Estos indicios demuestran que las especies de euforbiáceas del ANPAC presentan HMA, los cuales han sido registrados anteriormente entre las especies de euforbiáceas sudamericanas de los géneros *Acalypha* (Urcelay y Battistella, 2007), *Adelia*, *Croton* (Ramos-Montaña y col., 2010), *Ricinus* (Zhang y

col., 2018; Beltrame y col., 2019), *Ditaxis*, *Drypetes*, *Euphorbia*, *Jatropha*, *Manihot* y *Phyllanthus* (Wang y Qiu, 2006; Santhoshkumar y col., 2018; Su-Kyi y Tin, 2019).

En México se han explorado las relaciones micorrízicas en plantas de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima*) debido a su importancia ornamental (Callejas-Ruiz y col., 2009). En específico, algunas de las euforbiáceas encontradas en esta investigación han sido reportadas con presencia de HMA en otras regiones geográficas. En los matorrales xerófilos y selvas bajas del Valle de México y el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se han localizado HMA asociados a *C. ciliatoglandulifer*, *E. dentata* y *R. communis* (Carmargo-Ricalde y col., 2003; Castillo-Agüero y col., 2003; Wang y Qiu, 2006). Esta última especie también cuenta con registros de micorrización en cultivos de Israel y China (Zhang y col., 2018; Beltrame y col., 2019). Mientras que en las sabanas del sureste de China se han identificado asociadas con HMA a las especies *E. heterophylla* y *E. hirta* (Tao y col., 2003). En el caso específico de *E. hirta*, su asociación con los HMA ha sido documentada en cultivos de suelo arenoso de Senegal (Thoen, 1986), en ambientes antropizados de China (Muthukumar y col., 2003) y entre vegetación secundaria y dentro de instalaciones nucleares de la India (Ganesan y col., 1991; Thangaswamy y col., 2004). Por su parte, *Phyllanthus niruri* ha sido ubicada como una especie asociada a los HMA en algunos cultivos de Israel (Thangaswamy y col., 2004) y en condiciones antropizadas de regiones aledañas a una central nuclear de la India (Wang y Qiu, 2006). También se destaca la presencia de HMA asociados a *Euphorbia hypericifolia*, ambos como colonizadores primarios, en rocas volcánicas en islas de Hawaii (Gemma y Koske, 1990). Aunque la familia Euphorbiaceae se encuentra asociada con mayor frecuencia a HMA, también pueden presentarse otros tipos de micorrizas en este grupo. Tal es el caso de la especie africana *Uapaca bojeri*, que desarrolla ectomicorrizas con especies de macromicetos de la división Basidiomycota, de los géneros *Amanita*, *Boletus*, *Cantharellus*, *Lactarius* y *Leccinum* (Ramanankierana y col., 2007).

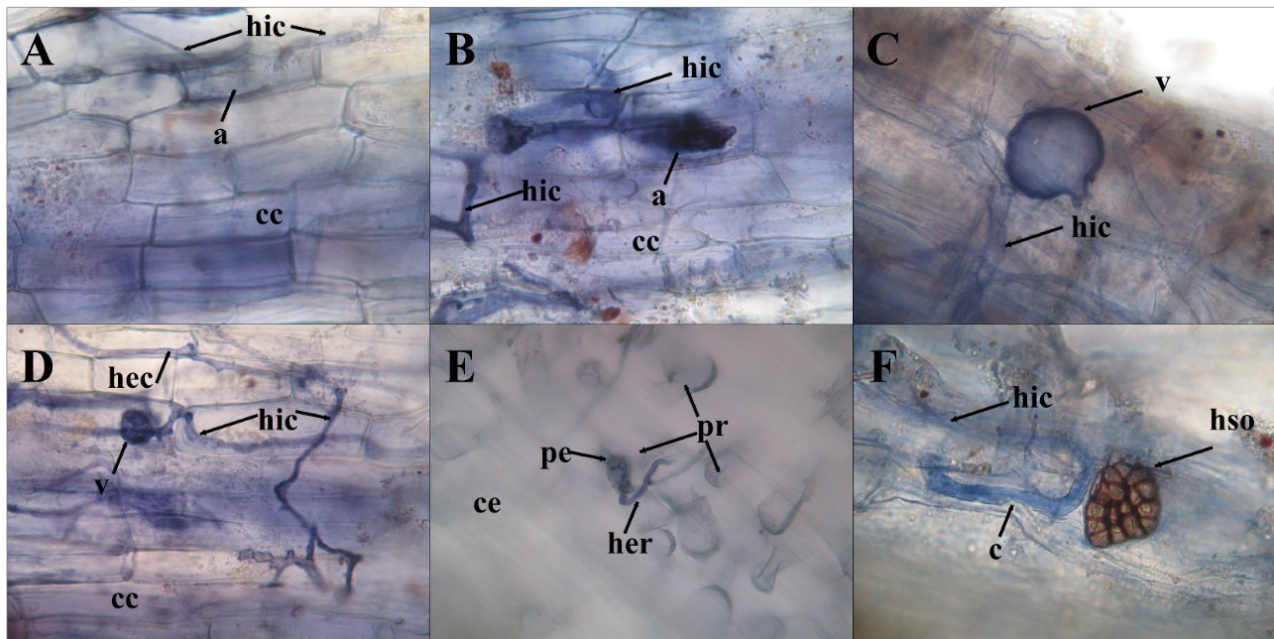
■ Tabla 1. Especies y estatus micorrízico (EM) de la familia Euphorbiaceae *sensu lato* (incluyendo la familia en la que se ubican en la clasificación actual) del Área Natural Protegida Altas Cumbres. Table 1. Species and mycorrhizal status (EM) of the Euphorbiaceae family *sensu lato* (including the family in which they are located in the current classification) from the Altas Cumbres Protected Area.

Espece	Familia	Estatus micorrízico
<i>Acalypha lindheimeri</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha monostachya</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha ostryifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha polystachya</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha schiedeana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 1	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 2	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 3	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 4	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 5	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 6	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 7	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 8	Euphorbiaceae	V
<i>Acalypha</i> sp. 9	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia barbinervis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia oaxacana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Adelia vaseyi</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Bernardia mexicana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Bernardia myricifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Cnidoscolus multilobus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Cnidoscolus rotundifolius</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton argenteus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton capitatus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton ciliatoglandulifer</i>	Euphorbiaceae	W; CR
<i>Croton cortesianus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton humilis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton hypoleucus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton incanus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton lobatus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton niveus</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton pottsii</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Croton</i> sp. 1	Euphorbiaceae	V
<i>Croton</i> sp. 2	Euphorbiaceae	V
<i>Dalechampia scandens</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Ditaxis humilis</i>	Euphorbiaceae	V

Continúa...

<i>Euphorbia antisiphilitica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia berteriana</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia colletioides</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia cuphosperma</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia cyatophora</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia dentata</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia furcillata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia graminea</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Euphorbiaceae	W
<i>Euphorbia hirta</i>	Euphorbiaceae	T, W, C
<i>Euphorbia hormorrhiza</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia hypericifolia</i>	Euphorbiaceae	W
<i>Euphorbia hyssopifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia indivisa</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia macropus</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia nutans</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia ophthalmica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia serpens</i>	Euphorbiaceae	C
<i>Euphorbia subpeltata</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia velleriflora</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia villifera</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Euphorbia villifera</i> var. <i>nuda</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Jatropha dioica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Jatropha gossypifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Manihot pringlei</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	W, C
<i>Sebastiania pavonia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia brevispica</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia glanduligera</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia nepetifolia</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia ramosa</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Tragia volubilis</i>	Euphorbiaceae	V
<i>Andrachne phyllanthoides</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Astrocasia neurocarpa</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Phyllanthus carolinensis</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Phyllanthus niruri</i>	Phyllanthaceae	W
<i>Phyllanthus polygonoides</i>	Phyllanthaceae	V
<i>Drypetes laeterifolia</i>	Putranjivaceae	V

Estatus micorrízico: V = Reportado solo en este trabajo; T = Thoen (1986); CR = Camargo-Ricalde y col. (2003); C = Castillo-Argüero y col. (2003); W = Wang y Qiu (2006).



■ Figura 2. Imágenes (40x) de algunas de las raíces micorrizadas de euforbiáceas. A) *Euphorbia cyathophora*; B) *Croton ciliatoglandulifer*; C) *E. heterophylla*; D) *E. hirta*; E) *Ricinus communis*; F) *Phyllanthus niruri*. a = arbúsculo; hic = hifa intracelular; cc = célula del córtex; v = vesícula; hec = hifa extracelular; ce = célula epidérmica; pe = poro epidérmico; pr = pelo radicular; her = hifa extrarradical; c = codón; hso = hongo septado oscuro.

Figure 2. Images (40x) of some Euphorbiaceae mycorrhizal roots. A) *Euphorbia cyathophora*; B) *Croton ciliatoglandulifer*; C) *E. heterophylla*; D) *E. hirta*; E) *Ricinus communis*; F) *Phyllanthus niruri*. a = arbuscule; hic = intracellular hypha; cc = cortex cell; v = vesicle; hec = extracellular hypha; ce = epidermal cell; ep = epidermal pore; pr = root hair; her = extraradical hypha; c = codon; hso = dark septate fungi.

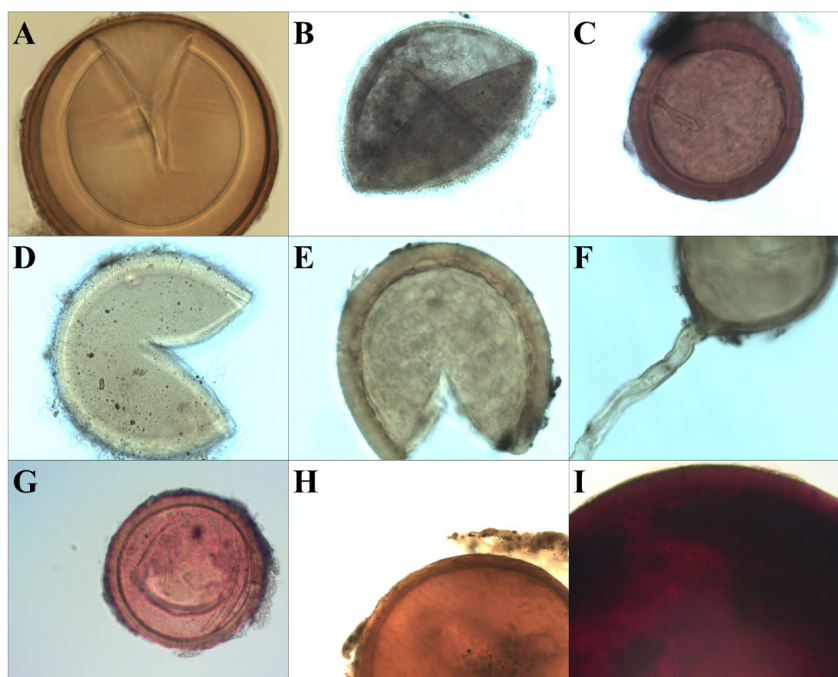
De igual manera, las asociaciones ectomicorrizógenas han sido localizadas en otras 4 especies del género *Uapaca*, así como en *Ampelea xiphoclada* (Wang y Qiu, 2006). Sin embargo, en el presente estudio no se registraron características externas representativas de las ectomicorrizas, como la formación de un manto en las raicillas o la red de Harting, lo que sugiere que, al menos en los sitios de muestreo, en las especies estudiadas, la asociación MA tiene una mayor representatividad que las ectomicorrizas.

Entre las esporas extraídas de las muestras de suelo rizosférico se detectaron 9 taxones, distribuidos en 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes (Tabla 2). Sin embargo, las condiciones de deterioro de algunas esporas durante la realización del análisis microscópico fueron des-

favorables, por ello 4 taxones únicamente pudieron ser determinados hasta nivel de género (Figura 3). El género con mayor riqueza específica fue *Glomus*, con 4 especies; el resto (*Acaulospora*, *Entrophospora*, *Funneliformis*, *Rhizophagus* y *Gigaspora*) estuvieron representados por solo 1 especie. Los géneros *Glomus* y *Gigaspora* habían sido situados como especies asociadas a la familia Euphorbiaceae en México (Callejas-Ruiz y col., 2009) y en Senegal (Thoen, 1986), destacando esta última localidad debido a que coincide con el registro micorrizico para *E. hirta*. Mientras que *Entrophospora infrequens* y *Funneliformis geosporus* han sido reportadas en la Reserva del Pedregal de San Ángel, asociadas a plantas xerófilas. Para México, *E. infrequens* también se ha localizado asociada a otras especies de plantas, como aguacate (Raya-Montaña y col., 2019), ca-

■ Tabla 2. Especies de hongos micorrízicos arbusculares encontrados en la rizósfera de las especies de plantas de la familia Euphorbiaceae del Área Natural Protegida Altas Cumbres.
Table 2. Arbuscular mycorrhizal fungi species found in the rhizosphere of the plant species of the Euphorbiaceae family from the Altas Cumbres Protected Area.

Espece	Familia	Orden
<i>Acaulospora</i> sp.	Acaulosporaceae	Diversisporales
<i>Gigaspora</i> aff. <i>decipiens</i>	Gigasporaceae	Gigasporales
<i>Entrophospora infrequens</i>	Entrophosporaceae	Glomerales
<i>Funneliformis geosporus</i>	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus spinuliferum</i>	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 1	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 2	Glomeraceae	Glomerales
<i>Glomus</i> sp. 3	Glomeraceae	Glomerales
<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	Glomeraceae	Glomerales



■ Figura 3. Riqueza de especies de hongos micorrízicos arbusculares encontradas en el estudio: a) *Acaulospora* sp.; b) *Entrophospora infrequens*; c) *Funneliformis geosporus*; d) *Glomus spinuliferum*; e) *Glomus* sp. 1; f) *Glomus* sp. 2; g) *Glomus* sp. 3; h) *Rhizophagus fasciculatus*; i) *Gigaspora* aff. *decipiens* (20x).

Figure 3. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi found in this study: a) *Acaulospora* sp.; b) *Entrophospora infrequens*; c) *Funneliformis geosporus*; d) *Glomus spinuliferum*; e) *Glomus* sp. 1; f) *Glomus* sp. 2; g) *Glomus* sp. 3; h) *Rhizophagus fasciculatus*; i) *Gigaspora* aff. *decipiens* (20x).

fé (Bertolini y col., 2020) y maguey mezcalero (Trinidad-Cruz y col., 2017). Para Tamaulipas, los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora*

han sido reconocidos como presentes de manera natural en cultivos de *Agave tequilana* (Almaguer-Sierra y col., 2004) y de cítricos (Gar-

za-Ocañas y col., 2005). Por otra parte, los géneros *Glomus*, *Scutellospora* y *Sclerocystis* fueron anteriormente ubicados en Tamaulipas asociados naturalmente a especies de cactáceas nativas de la región del altiplano tamaulipeco (Guevara-Guerrero y col., 2011). Cabe mencionar que los HMA de Tamaulipas reportados previamente se detectaron a nivel de género. Esta es la primera investigación donde se lograron identificaciones a nivel de especie. Aunque los géneros *Scutellospora* y *Sclerocystis* no fueron encontrados en este trabajo, la presencia de *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* se registra por primera vez en Tamaulipas, dando así una riqueza total de 8 géneros para el estado hasta el momento.

Por su adaptación a las condiciones climatológicas, las especies de HMA nativas documentadas en la presente investigación tienen un uso potencial como biofertilizantes. El desarrollo en los cultivos de maguey mezcalero, cítricos y maíz ha sido estimulado experimentalmente a través de la síntesis micorrízica con especies de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus* (Almaguer-Sierra y col., 2004; Garza-Ocañas y col., 2005; Hoang-Yen y col., 2018) y *Entrophospora* (Trinidad-Cruz y col., 2017). Esta última también ha demostrado ser una opción para los cultivos de aguacate (Raya-Montaño y col., 2019) y café (Bertolini y col., 2020). Por otra parte, *F. geosporus* es una especie cuyo efecto positivo en el desarrollo de los cultivos de trigo ha sido comprobado (Abu-Elsaoud y col., 2017). Finalmente, el uso de *Rhizophagus fasciculatus* podría ser explorado, dado que otra especie del mismo género, *R. intraradices*, ha sido utilizada favorablemente para estimular el desarrollo de plantas de soya (Díaz-Franco y col., 2015), sorgo (Díaz-Franco y col., 2016b) y de col (Díaz-Franco y col., 2017) en cultivos experimentales de Tamaulipas. Estas posibles aplicaciones denotan la importancia del conocimiento de la composición y de la riqueza específica local como plataformas para el desarrollo de futuras investigaciones.

El método de cultivo trampa, utilizado en este estudio, tuvo resultados desfavorables debido a

la baja densidad y diversidad de esporas encontradas. Quizás el aislamiento de esporas directamente del suelo de la rizósfera sea una mejor opción, puesto que requiere menor inversión de tiempo y registra mejores resultados (Castillo-Agüero y col., 2003; Hernández-Cuevas y col., 2003; 2008). Por ello, se recomienda que en nuevas investigaciones en la región se utilice el método de aislamiento directo, considerando el tiempo máximo de almacenamiento que pueden tener las muestras (Hernández-Cuevas y col., 2003).

Los resultados del presente trabajo exponen una panorámica de los HMA en condiciones naturales, así como de la diversidad de la división Glomeromycota en una de las familias vegetales mejor representadas en el estado de Tamaulipas. Sin embargo, aún falta profundizar en el conocimiento del papel ecológico y el potencial biotecnológico de las especies nativas tamaulipecas. Por ello, el incremento de estudios similares a éste resulta necesario.

CONCLUSIONES

Los 74 taxones de la familia Euphorbiaceae *sensu lato* analizados presentaron micorrizas arbusculares, lo que indica que esta familia tiene una estrecha asociación con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), al menos dentro del Área Natural Protegida Altas Cumbres (ANPAC). Las especies de hongos identificadas pertenecen a nueve taxones del grupo phylum Glomeromycota, distribuidos en 6 géneros, 4 familias y 3 órdenes. De estos, la presencia de los géneros *Entrophospora*, *Funneliformis* y *Rhizophagus* se reporta por primera vez para el estado de Tamaulipas. La información obtenida podía ser útil en la elaboración de biofertilizantes para los cultivos de la región noreste de México. Esta aportación remarca la necesidad de continuar con estudios sobre micorrizas en general y en particular con las especies de HMA, las cuales se encuentran ampliamente distribuidas en las plantas de la familia Euphorbiaceae del ANPAC, tal y como se comprobó en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Abu-Elsaoud, A. M., Nafady, N. A., and Abdel-Azeem, A. M. (2017). Arbuscular mycorrhizal strategy for zinc mycoremediation and diminished translocation to shoots and grains in wheat. *Plos One*. 12(11): e0188220.
- Almaguer-Sierra, P., Garza-Ocañas, F., Guevara-Guerrero, G. y López-Mendoza, F. J. (2004). Estatus micorrícico de *Agave tequilana* Weber (Agave tequilero). *Tecnointelecto*. 1(1): 16-18.
- Álvarez-Lopezello, J., del-Castillo, R. F., Robles, C., and Hernández-Cuevas, L. V. (2019). Spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in human-modified neotropical ecosystems. *Ecological Research*. 34(3): 394-405.
- Álvarez-Lopezello, J., Hernández-Cuevas, L. V., Del-Castillo, R. F., and Robles, C. (2018). Second world record of *Glomus trufe-mii* (Glomeromycota: Fungi), an arbuscular mycorrhizal fungus from a Mexican savanna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89(1): 298-300.
- Barman, J., Samanta, A., Saha, B., Datta, S., and Vidyaniketan, B. (2016). Mycorrhiza The Oldest Association Between Plant and Fungi. *Resonance Journal of Science Education*. 21(1): 1093-1104.
- Batjes, N. H., Ribeiro, E., and van-Oostrum, A. (2020). Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019), Wageningen, The Netherlands, in *International Soil Reference and Information Centre: world soil information*. [En línea]. Disponible en: <https://www.soilgrids.org/index.html>. Fecha de consulta: 25 de diciembre de 2020.
- Beltrame, S. R., Cruz, R. M., Lourenço, E., and Alberton, O. (2019). Meta-analysis of ‘Lamiaceae’ and ‘Euphorbiaceae’ medicinal plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi. *Australian Journal of Crop Science*. 13(4): 588-598.
- Bertolini, V., Montano, N. M., Salazar-Ortuño, B. L., Chimal-Sánchez, E. y Várela, L. (2020). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacana, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*. 127: e1602.
- Brundrett, M., Beegher, N., Dell, B., Groove, T., and Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Canberra: Australian Center for International Agricultural Research. 374 Pp.
- Brundrett, M. C. and Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytol*. 220(4): 1108-1115.
- Callejas-Ruiz, B. A., Castillo-González, A. M., Colinas-León, M. T., González-Chávez, M. D. C., Pineda-Pineda, J. y Valdez-Aguilar, L. A. (2009). Sustratos y hongos micorrícicos arbusculares en la producción de nochebuena. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 15(1): 57-66.
- Camargo-Ricalde, S. L., Dhillion, S. S., and Jimenez-Gonzalez, C. (2003). Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semiarid Tehuacan-Cuicatlan Valley, Mexico. *Mycorrhiza*. 13(2): 77-83.
- Castillo-Agüero, S., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. y Hernández-Cuevas, L. V. (2003). Ecología de los hongos micorrizógenos arbusculares de un matorral xerófilo sobre sustrato volcánico en el Valle de México. En F. J. Álvarez-Sánchez (Ed.), *Ecología de Micorrizas Arbusculares y Restauración del Ecosistema* (pp. 73-101). México, D. F.: Facultad de Ciencias, UNAM.
- Chimal-Sánchez, E., Montano, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., García-Sánchez, R. y Hernández-Cuevas, L. V. (2016). Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(1): 242-247.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2020). Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México 2020, en *Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta: 25 de diciembre de 2020.
- Crossay, T., Antheaume, C., Redecker, D., Bon, L., Chedri, N., Richert, C., ..., and Amir, H. (2017). New method for the identification of arbuscular mycorrhizal fungi by proteomic-based biotyping of spores using MALDI-TOF-MS. *Scientific Reports*. 7(1): 1-16.
- Cuervo-Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez-Albores, M. A., Meneses-Mosquera, A. K., Téllez-Valdés, O. y Martínez-Meyer, E. (2019). Bioclimas, periodo: 2000 (1980-2009). [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2020.
- Davison, J., Moora, M., Öpik, M., Adholeya, A., Ainsaar, L., Bâ, A., ..., and Zobel, M. (2015). Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. *Science*. 349(6251): 970-973.
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., and Ortiz-Cháirez, F. E. (2017). Use of organic fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi in the production of cabbage. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*. XVI(1): 15-21.
- Díaz-Franco, A., Castillo-Tovar, H., Ortiz-Cháirez, F. E. y Espinosa-Ramírez, M. (2019). Tratamiento químico combinado de semilla y su influencia en el crecimiento de plántulas de sorgo, maíz, soya y algodón. *Acta Universitaria*. 29(2): e2026.
- Díaz-Franco, A., Ortiz-Cháirez, F. E., and Espinosa-Ramírez, M. (2016a). Mycorrhizal symbiosis and growth of sorghum plants irrigated with saline water. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*. XV(1): 55-65.
- Díaz-Franco, A., Espinosa-Ramírez, M. y Ortiz-Cháirez, F. E. (2016b). Promoción de biomasa y contenido de azúcares en sorgo dulce mediante abonos orgánicos y micorriza arbuscular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 32(3): 353-360.

Díaz-Franco, A., Magallanes-Estala, A., Aguado-Santacruz, A. y Hernández-Mendoza, J. L. (2015). Respuesta de la soya a inoculantes microbianos en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(2): 227-238.

Díaz-Hernández, B. G., Aguirre-Medina, J. F. y Díaz-Fuentes, V. H. (2013). Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(4): 599-610.

ESRI, Environmental System Research Institute (2018). n'Query® Advisor Copyright (Versión 10.6) [Software de computo]. West Redlands, California, Estados Unidos: Environmental System Research Institute.

Ferlian, O., Biere, A., Bonfante, P., Buscot, F., Eisenhauer, N., Fernandez, I., ..., and Martinez-Medina, A. (2018). Growing Research Networks on Mycorrhizae for Mutual Benefits. *Trends in Plant Science*. 23(11): 975-984.

Ganesan, V., Ragupathy, S. Parthipan, B., Rajini-Rani, D. B., and Mahadevan, A. (1991). Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coal, lignite, and calcite mine spoils of India. *Biology and Fertility of Soils*. 12(2): 131-136.

García-Jiménez, J., Valenzuela, R., Raymundo, T., García-Morales, L. J., Guevara-Guerrero, G., Garza-Ocañas, F., ... y Ruiz-Cancino, E. (2014). Macrohongos asociados a encinares (*Quercus* spp.) en algunas localidades del estado de Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 103-140). Cd. Victoria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

García-Morales, L. J., Estrada-Castillón, Á. E., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Cantú-Ayala, C., Jurado-Ybarra, E. y Vargas-Vázquez, V. A. (2014). Florística y Vegetación del Área Natural Protegida Altas Cumbres, Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 15-74). Cd. Victoria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

Garza-Ocañas, F., Guevara-Guerrero, G., Hernández-Jasso, R. E. y Zúñiga-Medina, A. G. (2005). Hongos micorrizógenos asociados a cítricos. *Tecnointelecto*. 2(1): 8-10.

Gemma, J. N. and Koske, R. E. (1990). Mycorrhizae in recent volcanic substrates in Hawaii. *American Journal of Botany*. 77(9): 1193-1200.

Guevara, G., Bonito, G. y Cázares, E. (2013). Revisión del género Tuber (Tuberaceae: Pezizales) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 39-49.

Guevara-Guerrero, G., Cázares-González, E., Bonito, G., Healy, R. A., García-Jiménez, J., Garza-Ocañas, F., ... y Trappe, J. (2014). Hongos hipogeos de Tamaulipas, México. En A. Correa-Sandoval, J. V. Horta-Vega, J. García-Jiménez y L. Barrientos-Lozano (Eds.), *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 2* (pp. 87-102). Cd. Victo-

ria, México: Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

Guevara-Guerrero, G., García-Jiménez, J., Almaguer-Sierra, P. y Martínez-Ávalos, J. G. (2011). Determinación del estatus micorrizógeno de once especies de cactáceas del municipio de Tula, Tamaulipas, México. *Tecnointelecto*. 8(1): 10-15.

Hernández-Cuevas, L. V., Castillo-Agüero, S., Guadarrama-Chávez, P., Martínez-Orea, Y., Romero-Romero, M. A. y Sánchez-Gallén, I. (2003). *Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel*. México, D. F.: Facultad de Ciencias, UNAM. 84 Pp.

Hernández-Cuevas, L. V., Guadarrama-Chávez, P., Sánchez-Gallén, I. y Ramos-Zapata, J. A. (2008). Micorriza Arbuscular: Colonización intrarradical y extracción de esporas del suelo. En F. J. Álvarez-Sánchez y A. Monroy-Ata (Eds.), *Técnicas de Estudio de las Asociaciones Micorrizicas y sus Implicaciones en la Restauración* (pp. 1-16). México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Hoang-Yen, L. T., Hong-Anh, L., Dam-Linh, M. T., and Van-Hop, D. (2018). Isolation of mycorrhizal fungi from maize cultivation soil and the production of biofertilizer from these fungi. *Tap Chi khoa Hoc*. 34(3): 1-9.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0), México, D. F., en *Continuo de Elevaciones Mexicano*. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2019.

Kumar, A., Dames, J. F., Gupta, A., Sharma, A., Gilbert, J. A., and Ahmad, P. (2015). Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: a biotechnological perspective. *Critical Reviews in Biotechnology*. 35(4): 461-474.

Liu, H., Luo, Y., and Liu, H. (2010). Studies of mycorrhizal fungi of Chinese Orchids and their role in orchid conservation in China—A review. *The Botanical Review*. 76(2): 241-262.

Lot, A. y Chiang, F. (1986). *Manual de herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos*. México, D. F.: Consejo Nacional de Flora de México A. C. 342 Pp.

Martínez, J. L., Hernández-Cuevas, L. V., Santiago-Martínez, M. G., Guerra-De-La-Cruz, V. y Legorreta-Padilla, F. D. J. (2009). *Manual para la propagación y micorrización de plantas arbustivas silvestres para la restauración de suelos degradados*. Tlaxcala, México: Universidad Autónoma de Tlaxcala. 23 Pp.

Muthukumar, T., Sha, L., Yang, X., Cao, M., Tang, J., and Zheng, Z. (2003). Mycorrhiza of plants in different vegetation types in tropical ecosystems of Xishuangbanna, southwest China. *Mycorrhiza*. 13(6): 289-297.

Noda, Y. (2009). Las micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*. 32(2): 1-10.

- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., and Alves-Da-Silva, G. (2011). Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA fungus*. 2(2): 191-199.
- Oliveira, R. S., Ma, Y., Rocha, I., Carvalho, M. F., Vosátka, M., and Freitas, H. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi are an alternative to the application of chemical fertilizer in the production of the medicinal and aromatic plant *Coriandrum sativum* L. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 79(7): 320-328.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. (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(1): 158-161.
- Ramanankierana, N., Ducouso, M., Rakotoarimanga, N., Prin, Y., Thioulouse, J., Randrianjohany, E., ..., and Duponnois, R. (2007). Arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas of *Uapaca bojeri* L. (Euphorbiaceae): sporophore diversity, patterns of root colonization, and effects on seedling growth and soil microbial catalytic diversity. *Mycorrhiza*. 17(3): 195-208.
- Ramos-Montaña, C., Posada-Almanza, R. H., Ronderos-Figueroa, M. A. y Penagos-Cañón, G. A. (2010). Relación entre asociación micorrícica con el estado fitosanitario en el arbolado urbano de Bogotá D. C., Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 15(1): 245-258.
- Raya-Montaña, Y. A., Apáez-Barrios, P., Aguirre-Paleo, S., Vargas-Sandoval, M., Paz-Da Silva, R. y Lara-Chávez, M. B. N. (2019). Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(23): 267-276.
- Rodríguez, A. and Sanders, I. R. (2014). The role of community and population ecology in applying mycorrhizal fungi for improved food security. *The ISME Journal*. 9(5): 1053-1061.
- Santhoshkumar, S., Nagarajan, N., and Santhoshkumar, S. (2018). Studies on the arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in the plant species of Kondranghi hills, Dindugul district, Tamil Nadu, India. *Kongunadu Research Journal*. 5(2): 34-40.
- Schenck, N. C. y Pérez, Y. (1990). *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. Gainesville, USA: Synergistic Publications. 286 Pp.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., and Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*. 105(12): 1413-1421.
- Steinmann, V. W. (2002). Diversidad y endemismo de la familia Euphorbiaceae en México. *Acta Botánica Mexicana*. 61(1): 61-93.
- Steinmann, V. W. y Ramírez-Amezcuca, Y. (2016). Euforbiáceas (Euphorbiaceae). En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *La Biodiversidad en Colima. Estudio de Estado* (pp. 238-243). México, D. F.: CONABIO.
- Sturmer, S. L., Bever, J. D., and Morton, J. B. (2018). Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza*. 28(7): 587-603.
- Su-Kyi, H. and Tin, K. (2019). Multiplication of mycorrhiza inoculum from five weed plants and its effect on *Lactuca sativa* L. *Journal of the Myanmar Academy of Arts and Science*. 17(4): 675-688.
- Tao, L., Jianping, L., and Zhiwei, Z. (2003). Arbuscular mycorrhizas in a valley-type savanna in southwest China. *Mycorrhiza*. 14(5): 323-327.
- Thangaswamy, S., Padmanabhan, C., Yu-Jin, J., and Kim, H. (2004). Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi and their effect on plant growth in endangered vegetations. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 14(4): 885-890.
- Theplantlist, Royal Botanic Gardens Kew, Missouri Botanical Garden (2020). The Plant List V1.1, Reino Unido, en *The Plant List*. [En línea]. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/>. Fecha de consulta: 21 de diciembre de 2020.
- Thoen, D. (1986). First observations on the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in hydrophytes, hygrophites, halophytes and xerophytes in the region of lake Retba (Cap-Vert, Senegal) during the dry season. *Mémoires de la Société Royale de Botanique de Belgique*. 9(1): 60-66.
- Trinidad-Cruz, J. R., Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández-Cuevas, L. V., López-Pérez, L. y Rincón-Enríquez, G. (2017). Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Micología*. 45: 13-25.
- Urcelay, C. y Battistella, R. (2007). Colonización micorrícica en distintos tipos funcionales de plantas herbáceas del centro de Argentina. *Ecología Austral*. 17(2): 179-188.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3): 559-902.
- Wang, B. and Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*. 16(5): 299-363.
- Webster, G. L. (1994). Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 81(1): 3-32.
- Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C., and Guo, J. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*. 117: 13-19.