

EL EFECTO DEL FUEGO EN LA RIQUEZA DE ESPECIES DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES ASOCIADA A PLANTAS DE MATORRAL XERÓFILO EN EL PARQUE ECOLÓGICO "CUBITOS"

Eduardo Chimal-Sánchez^{1,2a}, Maria Luisa Araiza-Jacinto^{1b},
y Víctor Joel Román-Cárdenas^{1c}

¹Unidad de Investigación en Ecología Vegetal, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Batalla del 5 de Mayo esq. Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Deleg. Iztapalapa, C.P. 09230, México, D.F. ²Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apdo. Postal 55-535, C.P. 09340, México, D.F.
E-mails: ^achimalse31@gmail.com, ^baraluza_77@hotmail.com, ^cvictorjoelrc@hotmail.com

RESUMEN

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas, entre ellos, los áridos y semiáridos. Esta investigación evaluó el efecto del fuego sobre la riqueza de especies de HMA asociada a *Cylindropuntia imbricata*, *Mimosa biuncifera* y *Zaluziana augusta*. En el Parque Ecológico "Cubitos" de Pachuca, Hidalgo, se seleccionaron dos matorrales xerófilos: i) conservado y ii) perturbado por un incendio forestal. En cada matorral y de tres individuos de *C. imbricata*, *M. biuncifera*, *Z. augusta* y en áreas abiertas (AA) libres de plantas, se recolectaron muestras de suelo (1 kg) para la extracción de esporas y determinar la riqueza taxonómica de HMA por género y especie, así como la humedad y pH del suelo. Con un análisis de varianza, similitud y correspondencia se analizaron estas variables. La riqueza de HMA consistió de once morfo-especies distribuidas en seis familias. *M. biuncifera* en el sitio conservado presentó la mayor riqueza de HMA a nivel de género (6) y especie (6) y en el sitio perturbado fue *C. imbricata* con cuatro géneros y seis especies. El fuego redujo la riqueza de especies de HMA en un 50, 25 y 50% en *M. biuncifera*, *Z. augusta* y en las AA, respectivamente; mientras que, en *C. imbricata* se incrementó en un 34 %. La familia Gigasporaceae sólo estuvo asociada a *M. biuncifera* y *Z. augusta* en la condición conservada. El análisis de correspondencia sugiere que la identidad de la especie vegetal afecta la composición de especies de HMA. **Palabras Clave:** biología del suelo, *Cylindropuntia imbricata*, ecosistemas semiáridos, islas de recursos, *Mimosa biuncifera*, simbiosis micorrízica, *Zaluziana augusta*.

Fire effect on arbuscular mycorrhizal fungi species richness associated with plants of desert scrubland in the Eco Park "Cubitos"

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are essential for the functioning of ecosystems, including arid and semiarid. This research evaluated fire effect on AMF species richness associated with *Cylindropuntia imbricata*, *Mimosa biuncifera* and *Zaluziana augusta*. In the Eco Park "Cubitos" in Pachuca, Hidalgo, two xeric shrublands were selected: i) conserved and ii) disturbed by wildfire. At each site and in three individuals of *C. imbricata*, *M. biuncifera*, *Z. augusta* and open areas (OA, no plants), soil samples (1 kg) were collected to determine the taxonomic richness of AMF by genus and specie, as well as soil humidity and pH. These variables were analyzed with a variance, similarity and correspondence analysis. The AMF richness consisted of eleven species grouped in six families. *M. biuncifera* in the preserved site had the highest richness of AMF to genus (6) and species (6), whereas in the disturbed site was *C. imbricata* with four genus and six species. Wildfire reduced the AMF species richness 50, 25 and 50% in *M. biuncifera*, *Z. augusta* and OA, respectively; while in *C. imbricata* increased 34%. Gigasporaceae family was only associated with *M. biuncifera* and *Z. augusta* in the preserved condition. Correspondence analysis suggests that the identity of the plant specie affects species composition of AMF. **Key Words:** soil biology, *Cylindropuntia imbricata*, semi-arid ecosystems, resource islands, *Mimosa biuncifera*, mycorrhizal symbiosis, *Zaluziana augusta*.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas áridos y semiáridos de México ocupan casi el 60% del territorio y desde un punto de vista ecológico, son importantes porque mantienen alta diversidad florística estimada en 6,000 especies de plantas, de las cuales, aproximadamente el 50% son endémicas¹⁻³. En estos ecosistemas las plantas enfrentan diversos factores de estrés, entre ellos altas temperaturas y baja disponibilidad de agua y nutrientes como el nitrógeno y fósforo que limitan su crecimiento^{4,5}. Ante estas condiciones, las especies vegetales han establecido una asociación simbiótica mutualista con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), en esta simbiosis micorrícica arbuscular (MA), los HMA favorecen la absorción de nutrientes de baja movilidad en el suelo como el fósforo, e incrementan la tolerancia del hospedero al estrés hídrico^{6,7} y a organismos patógenos⁸, aspectos que pueden ser decisivos para la sobrevivencia de las plantas en estos ambientes estresantes.

Los HMA son un componente microbiano constante e importante en la rizósfera y en las raíces de las plantas de ecosistemas áridos y semiáridos, se estima que más del 80% de las especies vegetales en estos ambientes establecen la simbiosis MA^{9,10}, entre ellas grupos emblemáticos como las cactáceas¹¹, gramíneas¹² y leguminosas del género *Prosopis* L. y *Mimosa* L.; en particular, estas leguminosas son elementos importantes en la estructura de los matorrales xerófilos^{13,14}, al actuar como reservorios de propágulos micorrícicos¹⁵ y contribuir a la fertilidad del suelo con materia orgánica, nitrógeno y fósforo al formar islas de recursos (IR)¹⁴⁻¹⁷ que favorecen el establecimiento y supervivencia de otras especies vegetales bajo su copa¹⁷ como las cactáceas¹⁸.

Se ha reconocido la importancia de los HMA para las plantas de matorral xerófilo, en especial para aquellas especies vegetales que forman IR, ya que tienen implicaciones en su funcionamiento^{11,15}, por ejemplo, los HMA al formar redes de micelio pueden contribuir a la agregación y estabilidad del suelo en las IR¹⁹. A pesar del papel clave de los HMA en la estructura del suelo¹⁹, así como en la diversidad florística en los ecosistemas²⁰, sólo se cuenta con información de la condición micorrícica y de la riqueza de especies de HMA (39 de 101 especies registradas a nivel nacional^{3,21}) para el 7% de la flora presente en los ecosistemas áridos y semiáridos de México³.

La riqueza de especies de HMA es un componente biótico importante para los ecosistemas porque determinan la productividad vegetal y ésta, puede variar dependiendo de la composición de especies de HMA²⁰. La influencia de los HMA sobre las plantas es recíproca, ya que también se ha reportado que la composición vegetal^{22,23} e identidad de la planta hospedera²⁴ determinan la riqueza y la composición de especies de HMA asociados.

Por otro lado, también se reconoce que las condiciones climáticas (precipitación y temperatura), el tipo de suelo y sus propiedades

físicas (e. g. pH) y químicas (e. g. materia orgánica, fósforo disponible), ejercen influencia en las comunidades de HMA afectando la abundancia de esporas o la riqueza de especies²⁵⁻²⁶. Estas propiedades del suelo suelen modificarse por factores de perturbación como el cambio de uso de suelo²⁵ o los incendios forestales que provocan alteraciones en la cobertura vegetal, en la humedad del suelo²⁷ y en el contenido de materia orgánica, que al quemarse y depositarse en forma de cenizas en el suelo, también modifican el pH²⁸; esto en conjunto, tiene implicaciones indirectas en las comunidades de HMA, mientras que de forma directa, se ha demostrado que los incendios también reducen la concentración de glomalina²⁷, el número y la viabilidad de los propágulos micorrícicos arbusculares en el suelo²⁹.

Este trabajo analizó el efecto de un incendio forestal sobre las propiedades del suelo (pH y humedad) y en la riqueza de especies de HMA asociadas a la rizósfera de las especies de matorral xerófilo: *Cylindropuntia imbricata* (Haworth) F.M. Knuth (Cactaceae), *Mimosa biuncifera* Benth. (Mimosaceae) y *Zaluziana augusta* (Lag.) Sch. Bip. (Asteraceae). Las hipótesis de trabajo fueron **H1**: Si la identidad de la planta hospedera tiene influencia en los HMA entonces la riqueza de especies de HMA en *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* será diferente; y **H2**: Si el fuego reduce la cantidad de propágulos micorrícicos en el suelo entonces la riqueza de especies de HMA en *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* disminuirá pero dependerá de la identidad de la especie vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en El Parque Ecológico “Cubitos”, un área natural protegida en la categoría de parque estatal. Se ubica en Pachuca, Hidalgo (20° 06' 33" Longitud Oeste y 98° 44' 60" Latitud Norte) a una altitud entre 2,245 y 2,495 msnm, presenta un clima cálido seco con temperaturas promedio mínimas de 10°C y máximas de 22.7°C. La estación de lluvias ocurre de mayo a octubre, mientras que, de noviembre a abril es la estación seca. El matorral crasicaule, micrófilo y espinoso son los principales tipos de vegetación en la zona³⁰.

Dentro del Parque Ecológico “Cubitos”, en agosto de 2013 se seleccionaron dos sitios de estudio (S). El S1 consistió de un matorral xerófilo conservado y el S2 fue un matorral xerófilo perturbado por el efecto de un incendio forestal que ocurrió el 5 de marzo del 2013 y que no son frecuentes en la zona, de acuerdo a los responsables del área natural protegida se desconocen las causas y no se cuenta con información de la intensidad y efectos sobre la vegetación. Al S1 se le consideró conservado porque no fue afectado por el incendio forestal. En ambos sitios se realizó un transecto para establecer tres puntos de muestreo cada 300 m, en cada punto se seleccionó un individuo de *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* separados entre ellos mínimo 5 m, estas especies se seleccionaron por su abundancia y por estar presentes en ambos sitios. Alrededor del

tronco y en los cuatro puntos cardinales, se tomó una muestra compuesta de suelo (1 Kg) de la rizósfera a una profundidad de 0 a 20 cm. Adicionalmente, en cada punto de muestreo se eligió una área sin plantas presentes de forma natural en ecosistemas áridos y semiáridos, que consideramos como áreas abiertas (AA). De estas AA se tomó una muestra de suelo como control, en la misma cantidad y profundidad como se mencionó anteriormente. Cada muestra de suelo fue colocada en una bolsa de plástico y se guardaron en una hielera para su transporte al laboratorio de Zonas Áridas de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.

Para evaluar la riqueza de especies de HMA en cada planta, se realizó la extracción de las esporas mediante el método propuesto por Gerdemann y Nicolson³¹ y Brundrett *et al.*³² que consistió en: **a)** pesar 120 g de suelo, **b)** agregar la muestra en un vaso de 750 mL de capacidad, **c)** adicionar 500 mL de agua corriente, **d)** realizar una agitación mecánica durante 5 minutos para romper los agregados y las raíces, y de esta manera, mantener en suspensión las esporas, **e)** filtrar la suspensión en tamices de apertura de malla de 1,000 y 44 μm , **f)** centrifugar, durante 5 minutos a 2,500 rpm, la muestra retenida en el tamiz de 44 μm para eliminar la materia orgánica suspendida; **g)** transferir la muestra de suelo centrifugada a otro tubo que contenía una solución de sacarosa al 60% (peso/vol.), **h)** centrifugar durante 3 minutos a 1000 rpm, **i)** filtrar el sobrenadante en el tamiz de 44 μm y **j)** recuperar la muestra en una caja de Petri para su revisión en un microscopio de disección.

De cada caja Petri se recuperaron las esporas de HMA y se elaboraron preparaciones permanentes con alcohol polivinílico en lactoglicerol (PVLG) y PVLG + Melzer como reactivos de conservación, el Melzer se usó para ver las posibles reacciones y cambios de coloración de las capas que componen la pared de las esporas de HMA³². Estas preparaciones se observaron en detalle en un microscopio compuesto equipado con luz polarizada para hacer un registro de las características morfológicas de las esporas: tamaño, color, tipo de hifas, capas que componen su pared, reacción al reactivo de Melzer, ornamentaciones y escudos de germinación³²⁻³³. Estos caracteres morfológicos fueron la base para la determinación taxonómica de las especies de HMA, considerando las descripciones especializadas de las especies reportadas a nivel mundial³⁴ y disponibles en el sitio web <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>; así como las descritas en el manual de Schenck y Pérez³⁵, en la International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi³³ y en la colección de Glomeromycota de Janusz Blaszowski, Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland³⁶. Para los nombres científicos de los HMA listados en esta investigación se siguió la nomenclatura de Schüßler y Walker³⁴.

También se evaluaron dos variables del suelo, para determinar variaciones entre plantas y los sitios de estudio. El porcentaje de

humedad se determinó por el método gravimétrico que consistió en pesar 15 g de suelo en charolas de aluminio (estimando previamente su peso); después el suelo + la charola se colocaron en un horno a 105°C para secarlas hasta que mantuvieron un peso constante. El pH activo se determinó en una suspensión de suelo y agua destilada (proporción 1:2 peso/volumen) con un potenciómetro equipado con un electrodo (Corning)³⁷.

Análisis estadístico Para la riqueza de géneros y especies de HMA, humedad y pH se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). A las variables al cumplir con los supuestos se les aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores: **a) microambiente**, especie de planta o AA, **b) condición**, conservado o perturbado. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), la comparación de las medias se realizó mediante una prueba de diferencia mínima significativa de Fisher. Con los datos de riqueza de especies de HMA se elaboró una matriz de presencias/ausencias (filas microambientes y columnas especies de hongos) para realizar un análisis de similitud (índice de Jaccard) y uno de correspondencia para explorar de forma gráfica la relación entre la composición de especies de HMA y los microambientes en ambas condiciones³⁸⁻⁴⁰.

RESULTADOS

En ambos sitios de estudio del Parque Ecológico “Cubitos” *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* presentaron hongos formadores de la micorriza arbuscular asociados a su rizósfera. La riqueza total de HMA consistió de once morfo-especies, nueve determinadas a nivel de especies y dos a nivel de género (Tabla I), distribuidas dentro de las familias Ambisporaceae, Claroideoglomeraceae, Diversisporaceae, Entrophosporaceae, Gigasporaceae y Glomeraceae.

La riqueza de géneros de HMA en el suelo asociado a *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* estuvo en función de la especie vegetal (microambiente) y la condición ($F=17.5$, $P=0.0001$, g. l. 3/16); de modo que en el S1 conservado, *M. biuncifera* fue la planta con la mayor riqueza de géneros (6), mientras que en el S2 perturbado por el fuego fue *C. imbricata* (4), en ambos casos se presentaron diferencias con respecto a las AA que tuvieron la menor riqueza (1 género). El fuego afectó la riqueza de géneros de HMA, mientras que en *M. biuncifera* se redujo en un 50 % en *C. imbricata* se incrementó un 33 % (Tabla II).

La variable riqueza de especies de HMA presentó una interacción significativa entre la especie vegetal y la condición ($F=25.5$, $P=0.0001$, g. l. 3/16), de esta forma, *M. biuncifera* en la condición conservada registró la mayor riqueza de especies de HMA (6 spp), mientras que en la condición perturbada fue *C. imbricata* (6 spp.); en ambos casos hubo diferencias con las AA que presentaron el menor número de especies de HMA (2 y 1 spp. respectivamente). En todos los microambientes, el

Especie de HMA	Especie vegetal/Condición							
	<i>C. imbricata</i>		<i>M. biuncifera</i>		<i>Z. augusta</i>		AA	
	C	P	C	P	C	P	C	P
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Siev. y Schenck) C. Walker				*				
<i>Claroideoglomus etunicatum</i> (Becker y Gerd.) Walker y Schuessler		*		*	*	*		*
<i>Diversispora</i> sp.			*					
<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) Ames y Schneid	*	*	*		*	*		
<i>Funneliformis constrictum</i> (Trappe) Walker y Schüßler	*	*					*	
<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson y Gerd.) Walker y Schuessler	*	*	*		*	*	*	
<i>Gigaspora margarita</i> W.N. Becker y I.R. Hall			*					
<i>Glomus aggregatum</i> N.C. Schenck y G.S. Sm.	*	*						
<i>Glomus</i> sp.			*	*				
<i>Glomus tortuosum</i> N.C. Schenck y G.S. Sm.		*						
<i>Scutellospora pellucida</i> (Nicolson y Schenck) Walker y F.E. Sanders			*		*			

Tabla I. Composición de especies de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en tres especies vegetales y de áreas abiertas (AA) de un matorral xerófilo conservado (C) y uno perturbado (P) por un incendio forestal en el Parque Ecológico "Cubitos", Pachuca, Hidalgo.

Microambiente	Condición	Riqueza de HMA		Humedad (%)	pH
		Géneros	Especies		
<i>Cylindropuntia imbricata</i>	Conservado	3 c	4 b	7.76 a	7.80 a
	Perturbado	4 b	6 a	8.03 a	7.84 a
<i>Mimosa biuncifera</i>	Conservado	6 a	6 a	8.23 a	7.10 b
	Perturbado	3 c	3 c	6.08 a	6.68 b
<i>Zaluziana augusta</i>	Conservado	4 b	4 b	4.63 a	7.09 b
	Perturbado	3 c	3 c	4.62 a	6.75 b
Áreas abiertas	Conservado	1 d	2 c	5.47 a	7.77 a
	Perturbado	1 d	1 d	1.84 a	7.26 a

Letras distintas dentro de cada columna (variable) indican diferencias significativas de acuerdo al ANOVA y prueba de Fisher ($P \leq 0.05$). HMA= Hongos micorrizógenos arbusculares.

Tabla II. Propiedades del suelo asociadas a la rizósfera de tres especies vegetales en un matorral xerófilo conservado y un matorral xerófilo perturbado por un incendio forestal en el Parque Ecológico "Cubitos", Pachuca, Hidalgo.

fuego afectó la riqueza de especies de HMA, en *M. biuncifera*, *Z. augusta* y AA se redujo en un 50, 25 y 50 % la riqueza, respectivamente; mientras que en *C. imbricata* se incrementó en un 34 % (Tabla II).

El análisis de similitud generó tres grupos principales, el primero constituido por *Z. augusta* (condición conservada y perturbada) y *M. biuncifera* (condición conservada), el segundo con *C. imbricata* de ambas condiciones y las AA de la condición conservada, y por último, el tercer grupo lo conformaron *M. biuncifera* y las AA, ambas de la condición perturbada (Figura 1).

El ordenamiento dimensional de la riqueza de especies de HMA en los microambientes y condiciones evaluadas se explicó por dos principales ejes (62.7% de inercia) de acuerdo al análisis de correspondencia. En el primer cuadrante (I) *Gi. margarita* y *S. pellucida* se asociaron a condiciones conservadas en *M. biuncifera* y *Z. augusta*; en el segundo cuadrante (II) *Claroideoglossum etunicatum* y *Ambispora appendicula* se agruparon a condiciones afectadas por el fuego con *M. biuncifera* y las AA; mientras que, en el tercer cuadrante los HMA *Funneliformis constrictum*, *Glomus aggregatum* y *Glomus tortuosum* se asociaron a condiciones conservadas y afectadas por el fuego con *C. imbricata* (Figura 2).

Los porcentajes de humedad en el suelo asociado a *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* no difirieron entre ellos ni con respecto a las AA ($F=2.09$, $P=0.1415$, g.l. 3/16). Asimismo, el incendio forestal no tuvo efectos en la humedad del suelo en ninguno de los microambientes evaluados ($F=0.97$, $P=0.3405$, g. l. 1/16; Tabla II).

El pH en el suelo asociado a *M. biuncifera* y *Z. augusta* tuvo valores cercanos a la neutralidad y fueron más bajos en comparación al pH medianamente alcalino que se registró en el suelo de *C. imbricata* y de las AA ($F=6.82$, $P=0.0036$, g. l. 3/16). Entre los sitios conservado y perturbado por el incendio no se registraron diferencias en los valores de pH en el suelo ($F=3.12$, $P=0.0964$, g.l. 1/16; Tabla II).

DISCUSIÓN

La presencia de HMA en la rizósfera de *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* (Tabla I) sugieren que estos microorganismos simbióticos son un componente fúngico constante e importante para las plantas de este matorral xerófilo, como se ha sugerido para grupos vegetales como gramíneas¹², leguminosas^{9,15} y cactáceas⁹ en distintos ecosistemas áridos y semiáridos. En este tipo de ambientes, también se ha indicado que las comunidades de HMA asociadas a la vegetación están constituidas en gran medida por hongos que pertenecen al

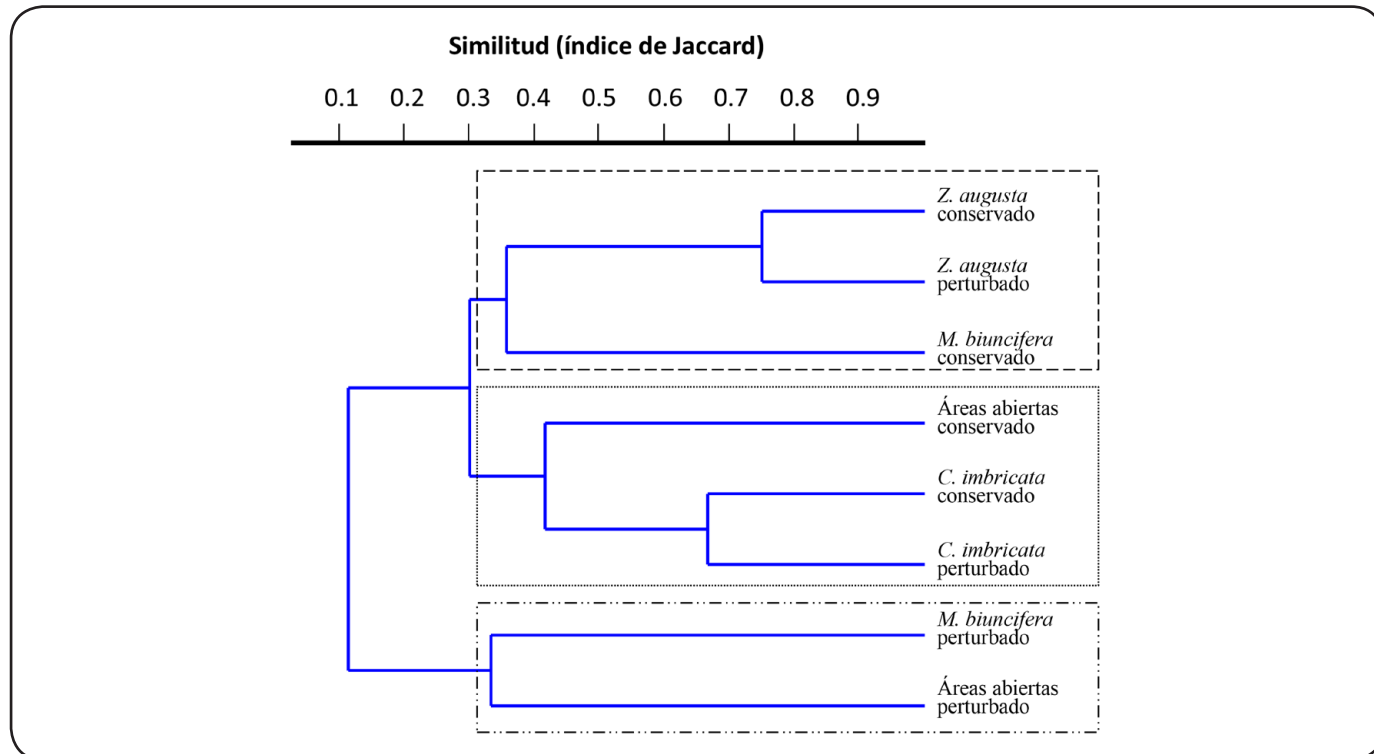


Figura 1. Análisis de similitud de la riqueza de especies de hongos micorrizógenos arbusculares de tres especies de matorral xerófilo bajo dos condiciones (conservado y perturbado por un incendio forestal) en el Parque Ecológico "Cubitos", Pachuca, Hidalgo.

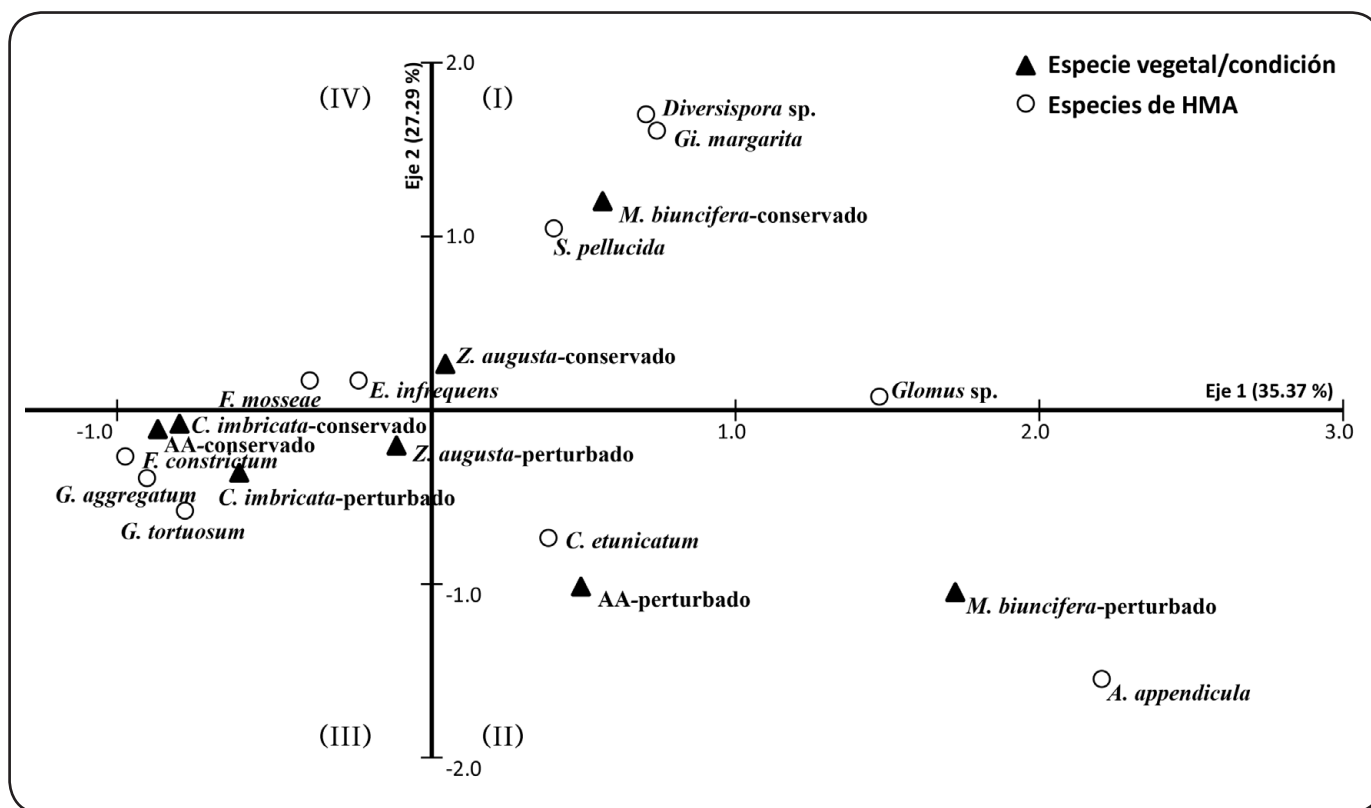


Figura 2. Análisis de correspondencia entre la composición de especies de HMA asociada a tres especies de matorral xerófilo y dos condiciones (conservado y perturbado por un incendio) en el Parque Ecológico "Cubitos", Pachuca, Hidalgo.

orden Glomerales⁴¹, lo cual es consistente con lo reportado en el matorral xerófilo del Parque Ecológico "Cubitos", ya que la riqueza de HMA estuvo constituida en un 54.5% con especies que pertenecen a los géneros *Claroideoglomus*, *Funnelformis* y *Glomus* (Glomerales).

La riqueza de especies de HMA asociada a las tres especies vegetales evaluadas en el matorral xerófilo del Parque Ecológico "Cubitos" (Tabla I) presentó valores similares a los reportados en matorrales dominados por leguminosas que forman IR del género *Prosopis* L. en los Desiertos de Chihuahua (14 spp. de HMA) y Sonora (15 spp.), así como en diversos matorrales y plantas del Desierto de Namibia (13 spp.)⁴¹. De estas regiones áridas y semiáridas se han reportado con frecuencia a *C. etunicatum*, *Entrophospora infrequens* y *Funnelformis mosseae*^{12, 41}, HMA que también fueron frecuentes en la rizósfera de *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* en la zona de estudio (Tabla I). En matorrales de la región semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, García-Sánchez⁴² reportó a estas tres especies de HMA, así como a *A. appendicula*, *G. aggregatum*, *G. tortuosum* y *Scutellospora pellucida* en IR de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. Ex Willd) y *M. biuncifera*, estos HMA también han sido reportados de otros ambientes xéricos de México³.

El análisis de correspondencia sugiere que *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* tuvieron influencia sobre la riqueza de especies de HMA, debido a que cada especie vegetal presentó su propia comunidad fúngica, aunque hay algunas especies de HMA como *C. etunicatum*, *E. infrequens* y *F. mosseae* que son comunes en la rizósfera de las tres especies de plantas evaluadas; otras como *A. appendicula*, *Diversispora* sp. y *Gigaspora margarita* sólo se registraron en *M. biuncifera*, mientras que *F. constrictum*, *G. aggregatum* y *G. tortuosum* sólo en *C. imbricata* (Tabla I; Figura 2).

Similar a lo reportado en esta investigación, en ambientes semiáridos de España Alguacil *et al.*⁴³ al evaluar la composición de HMA asociados a las especies de plantas *Gypsophila struthium* L. (Caryophyllaceae), *Teucrium libanitis* Schreber (Lamiaceae), *Ononis tridentata* L. (Leguminosae) y *Helianthemum squamatum* (L.) Dum. Cours (Cistaceae) y Torrecillas *et al.*⁴⁴ en *Hieracium vulgare* Tausch (Asteraceae), *Anagallis arvensis* L. (Primulaceae), *Stipa capensis* Thunb (Poaceae), *Carduus tenuiflorus* Curtis (Asteraceae), *Avena barbata* Brot. (Poaceae) y *Brachypodium retusum* (Pers.) P. Beauv. (Poaceae) reportaron diferencias en la composición de especies de HMA asociados a la rizósfera de estas especies vegetales que coexisten en los matorrales xerófilos, de esta

manera, proponen que la identidad de la especie vegetal es clave en la determinación de la riqueza de especies de HMA en su rizósfera.

La identidad de la planta, así como su capacidad de formar IR como *M. biuncifera*^{14,42} afectan la composición de HMA, pero también se ha reportado en distintos matorrales de ecosistemas semiáridos, que variables ambientales como la temperatura promedio anual y edáficas como la conductividad eléctrica, el fósforo disponible y el pH son importantes predictores de la riqueza de HMA²⁶, en el caso del Parque Ecológico “Cubitos” se registró que las comunidades de HMA entre *M. biuncifera* y *Z. augusta* con un pH del suelo cercano a la neutralidad tuvieron mayor similitud entre ellas y menor similitud con *C. imbricata* y las AA que tuvieron un pH ligeramente alcalino (Figura 1). Aunque estos resultados no son concluyentes, sugieren que las condiciones y recursos del suelo pueden tener implicaciones en la riqueza, por lo que es necesario que futuras investigaciones consideren otras propiedades del suelo como el porcentaje de agregados estables al agua y las concentraciones de carbono, nitrógeno y fósforo para evaluar de forma conjunta la relación e influencia sobre los HMA, ello debido a que se considera que la estequiometría en la relación C:N:P determina la eficiencia y el funcionamiento de la simbiosis micorrícica⁴⁵.

Con respecto al incendio forestal, la alta similitud en la composición de especies de HMA entre la condición conservada y perturbada en *Z. augusta* (75%) y *C. imbricata* (66%) (Figura 1) sugieren que el fuego provocó menores cambios en la riqueza de HMA. De manera contrastante, *M. biuncifera* tuvo un 11% de similitud en la composición de HMA entre ambas condiciones, indicando que en esta especie vegetal, los HMA se afectaron en mayor medida por el incendio. Es conocido que la cantidad de propágulos micorrícicos y su viabilidad se reduce después de un incendio forestal²⁹, pero con base en los resultados de este estudio, indicarían que la riqueza de especies de HMA presentes en el ecosistema se modifica también dependiendo de la especie vegetal, como lo indicó la interacción estadística entre el microambiente y la condición.

Las especies de HMA que pertenecen a la familia Gigasporaceae se han reportado como las más susceptibles a diversos factores de perturbación como cambio de uso de suelo, prácticas agrícolas y uso de agroquímicos⁴⁶, la ausencia de los HMA *Gi. margarita* y *S. pellucida* (Gigasporaceae) en la rizósfera de *M. biuncifera* y *Z. augusta* sustentan que también son susceptibles a otros factores de perturbación como los incendios forestales. Al respecto, también se han reportado cambios en las propiedades del suelo²⁸, sin embargo, en este estudio la humedad y el pH del suelo no difirieron entre la condición conservada y perturbada. Aunque hay que mencionar, que la ausencia de especies de la familia Gigasporaceae puede también estar relacionada con cambios estequiométricos en otras propiedades del suelo que

no se evaluaron como carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P), ya que es importante evaluar la relación C:N:P, porque cambios en esta relación pueden afectar la función de la simbiosis micorrícica⁴⁵ lo que podría explicar en parte cambios en la riqueza de HMA.

A manera de conclusión, evaluar la riqueza de HMA en plantas de matorral xerófilo en el Parque Ecológico “Cubitos” y en especial en aquellas especies que forman IR como *M. biuncifera*^{14,42} es importante desde varios puntos de vista. Como área natural protegida en la categoría de parque estatal, es necesario contar no sólo con un inventario de la riqueza de la flora y la fauna, sino también de la diversidad microbiana del suelo; sobre todo para el manejo y conservación *in situ*⁴⁶ de la riqueza de estos microorganismos simbióticos, importantes para la diversidad florística y la productividad de los ecosistemas²⁰ y por último, el conocimiento de la interacción planta-HMA permitiría su uso potencial en prácticas de restauración ambiental⁴⁷, lo cual requiere comprender que las especies de matorral xerófilo como *C. imbricata*, *M. biuncifera* y *Z. augusta* posiblemente necesiten de una composición de HMA particular, por lo que debe de considerarse al momento de la elaboración y uso de un inoculante micorrícico.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Esther M. García Amador y al grupo de maestros que conformaron el diplomado “Restauración ecológica de zonas semiáridas” de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. Un agradecimiento especial a Luis Fernando Garduño Cabrera por su apoyo en la recolecta de muestras de suelo en campo y análisis en el laboratorio. A los revisores quienes contribuyeron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

1. Rzedowski, J. La vegetación de México. (Limusa, México, D. F. 1978).
2. Rzedowski, J. In: Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. (Eds. Ramamoorthy, T.P., Bye, R., Lot, A. & Fa, J.) 129-144. (Oxford University Press, New York, 1993).
3. Montaña, N.M. *et al.* Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: an historical synthesis and future prospects. *Symbiosis* **57**, 111-126 (2012).
4. Valentín, C., Herbes, J.M. & Poesen, J. Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena* **37**, 1-24 (1999).
5. Montaña, N.M., Camargo-Ricalde, S.L., García-Sánchez, R. & Monroy, A. Micorizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. (Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México, 2008).
6. González-Chávez, M.C.A., Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. En: Micorizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. (Eds. Montaña, N.M., Camargo-Ricalde, S.L., García-Sánchez, R. & Monroy, A.) 97-108 (Mundi-Prensa S.A. de C.V., Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, 2008).

7. Smith, E.S., Facelli, E., Pope, S. & Smith, F.A. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil* **326**, 3-20 (2010).
8. Wehner, J., Antunes, P.M., Powell, J.R., Mazukatow, J. & Rillig, C.M. Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity? *Pedobiologia* **53**, 197-201 (2010).
9. Camargo-Ricalde, S.L., Dhillon, S.S. & Jiménez-González, C. Mycorrhizal perennials of the "matorral xerófilo" and the "selva baja caducifolia" communities in the semiarid Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* **13**, 77-83 (2003).
10. Brundrett, C.M. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil* **320**, 37-77 (2009).
11. Bethlenfayvay, J.G., Bashan, Y., Carrillo-García, A. & Stutz, J.C.. En: Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. (Eds. Montaña, N.M., Camargo-Ricalde, S.L., García-Sánchez, R. & Monroy, A). 97-108 (Mundi-Prensa S.A. de C.V., Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, 2008).
12. Pezzani, F., Montaña, C. & Guevara, R. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza* **16**, 285-295 (2006).
13. Camargo-Ricalde, S.L., Dhillon, S.S. & Grether, R. Community structure of endemic *Mimosa* species and environmental heterogeneity in a semi-arid Mexican Valley. *Journal of Vegetation Science* **13**, 697-704 (2002).
14. García-Sánchez, R. *et al.* *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 (2012).
15. Camargo-Ricalde, S.L. & Dhillon, S.S. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal "resource islands" within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* **13**, 129-136 (2003).
16. Ruiz, G.T., Zaragoza, S.R. & Cerrato, F. R. Fertility islands around *Prosopis laevigata* and *Pachycereus hollianus* in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. *Journal of Arid Environments* **72**, 1202-1212 (2008).
17. Perroni-Ventura, Y., Montaña, C. & García-Oliva, F. Relationship between soil nutrient availability and plant species richness in a tropical semiarid environment. *Journal of Vegetation Science* **17**, 719-728 (2006).
18. Valiente-Banuet, A. & Ezcurra, E. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ecology* **79**, 961-971 (1991).
19. Chaudhary, B.V. *et al.* Untangling the biological contributions to soil stability in semiarid shrublands. *Ecological Applications* **19**, 110-122 (2009).
20. Van Der Heijden, A.G.M. *et al.* Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**, 69-72 (1998).
21. Méndez-Cortés, H., Marmolejo, M.J.G., Olalde-Portugal, V., Cantú, A.C.M. & Varela, F.L. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Micología* **36**, 49-56 (2012).
22. Read, J.D. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* **47**, 376-391 (1991).
23. Johnson, D. *et al.* Plant communities affect arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. *New Phytologist* **161**, 503-515 (2003).
24. Alguacil, M.M., Torres, M.P., Torrecillas, E., Díaz, G. & Roldán, A. Plant type differently promote the arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity in the rhizosphere after revegetation of a degraded, semiarid land. *Soil Biology and Biochemistry* **43**, 167-173 (2011).
25. Oehl, F. *et al.* Soil type and land use intensity determines the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry* **42**, 724-738 (2010).
26. Chaudhary, B.V., O'Dell, T.E., Rillig, M.C. & Johnson, N.C. Multiscale patterns of arbuscular mycorrhizal fungal abundance and diversity in semiarid shrublands. *Fungal Ecology* **12**, 32-43 (2014).
27. O'Dea, E.M. Fungal mitigation of soil erosion following burning in a semi-arid Arizona savanna. *Geoderma* **138**, 79-85 (2007).
28. Badia, D. & Martí, C. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Research and Management* **17**, 23-41 (2003).
29. Rashid, A., Ahmed, T., Ayub, N. & Khan, A.G. Effect of forest fire on number, viability and post-fire re-establishment of arbuscular mycorrhizae. *Mycorrhiza* **7**, 217-220 (1997).
30. Pérez-Cruz, J. & Rodríguez-González, R.K. Caracterización del hábitat y de atributos ecológicos de especies herbáceas y leñosas nativas de matorral xerófilo. Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D.F. 88 pp (2010).
31. Gerdemann, J.W. & Nicolson, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* **46**, 235-244 (1963).
32. Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove T. & Malajczuk, N. Working with mycorrhizal in forestry and agriculture. (Australian Centre for International Agricultural Research, Monograph, Canberra, 1996).
33. INVAM-International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. West Virginia University. <<http://invam.caf.wvu.edu/>> ; última consulta: 15.05.2014.
34. Schüßler, A. & Walker, C. Glomeromycota species list. <http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/>; Última consulta: 20.05.2014.
35. Schenck, C.N. & Pérez, Y. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. (Synergistic Publications. Gainesville. USA 1990).
36. Blaszkowski, J. Taxonomy of Arbuscular Fungi: Species descriptions and illustrations. <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Taxonomy.html>; última consulta 20-05-2014.
37. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. (Norlex Internacional S.A. de C.V. Edición electrónica de leyes, 2000).
38. Quinn, P.G. & Keough, M.J. Experimental design and data analysis for biologists. (Cambridge University Press. New York. 2010).
39. Di Rienzo, J.A. *et al.* InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

40. Hammer, O., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología electrónica* 4, 1-9 (2001) software disponible en <http://nhm2.uio.no/norlex/past/download.html>
41. Stutz, J.C., Copeman, R., Martin, C.A. & Morton, B.J. 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 (2000).
42. García-Sánchez, R. Diversidad funcional de los hongos micorrizógenos arbusculares de islas de recursos del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, Departamento de Botánica, Estado de México, 112 pp (2011).
43. Alguacil, M.M., Roldán, A. & Torres, M.P. Assessing the diversity of AM fungi in arid gypsophilous plant communities. *Environmental Microbiology* **11**, 2649-2659 (2009).
44. Torrecillas, E., Alguacil, M.M. & Roldán, A. Host preferences of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing annual herbaceous plant species in semiarid Mediterranean prairies. *Applied and Environmental Microbiology* **78**, 6180-6186 (2012).
45. Johnson, C.N. Resource stoichiometry elucidates the structure and function of arbuscular mycorrhizas across scales. *New Phytologist* **185**, 631-647 (2010).
46. Turrini, A. & Giovannetti, M. Arbuscular mycorrhizal fungi in national parks, nature reserves and protected areas worldwide: a strategic perspective for their *in situ* conservation. *Mycorrhiza* **22**, 81-97 (2012).
47. Barea, J.M. *et al.* Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. *Journal of Arid Environments* **75**, 1292-1301 (2011).