



VARIACION EN EL ESTATUS MICORRIZICO DE LEGUMINOSAS DEL DESIERTO SONORENSE

MYCORRHIZIC STATUS AND ITS VARIATION ON LEGUMES OF THE SONORAN DESERT

Ana Dolores Armenta Calderón^{1,3}, Eduardo Furrázola Gómez², Sergio Francisco Moreno Salazar³, Gloria Irma Ayala Astorga¹, Andrés Ochoa Meza^{3*}

¹ Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales; C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México.

² Instituto de Ecología y Sistemática, Carretera Varona 11835 e/Oriente y Lindero, La Habana 19, CP 11900, Calabazar, Boyeros, La Habana, Cuba

³ Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Carr. a Bahía Kino km 21. Hermosillo, Sonora, México.

RESUMEN

Las leguminosas arbóreas del desierto Sonorense tienen un papel importante como nodrizas de otras especies como cactáceas y arbustivas. Se muestreó la rizósfera de tres leguminosas representativas (*Olneya tesota*, *Prosopis juliflora* y *Parkinsonia microphylla*) durante las cuatro estaciones del año, para evaluar la relación con sus hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados. Los valores más bajos de colonización micorrízica se encontraron en *O. tesota* (1.2%) y los más altos los presentó *P. microphylla* con 57%, estos durante la primavera y otoño, respectivamente. La densidad de esporas varió desde 2,130 a 22,530 esporas/dm³ en *P. microphylla* y *P. juliflora*, respectivamente. La biomasa de micelio fue similar en los suelos de las plantas estudiadas, variando desde 27 hasta 414 mg/dm³, registrándose los valores más bajos durante el invierno y alcanzando el valor más alto en otoño. La respuesta estacional de la micorriza mostró diferencias a lo largo del año, siendo la estacionalidad más relevante que la identidad vegetal para explicar la interacción planta-HMA, lo que indica que la asociación micorrízica en estas plantas está definida por una fuerte interacción entre los factores climáticos, edafológicos y biológicos.

Palabras clave: Leguminales, micorriza arbuscular, simbiosis, variación estacional

ABSTRACT

Leguminous trees of the Sonoran desert, plays a key role as nurse plants for some cactus and shrubs. The rhizospheres of three representative legumes (*Olneya tesota*, *Prosopis juliflora*, and *Parkinsonia microphylla*) were sampled during four seasons, to evaluate the relationship with their associated arbuscular mycorrhizal fungi. The lower values of mycorrhizal colonization were founded in *O. tesota* (1.2%) and the highest in *P. microphylla* with 57% in spring and autumn respectively. Spores density ranged from 2,130 to 22,530 spores/dm³ in *P. microphylla* and *P. juliflora* respectively. Mycelium biomass in soil was similar among the plants studied, ranging from 27-414 mg/dm³, showing the lowest values on winter and gradually increasing in the following seasons, reaching the highest value in autumn. The seasonal behavior of mycorrhizae showed differences throughout the

year, seasonality was the most significant factor to explain the plant-AMF interaction, suggesting that mycorrhizal association in these plants is defined by a strong interaction between climate, soil and biological factors.

Keywords: Leguminales, arbuscular mycorrhiza, symbiosis, seasonal variation

INTRODUCCIÓN

Se considera que los desiertos cubren aproximadamente un 20 % de la superficie terrestre (Arora et al., 2010). Las regiones áridas de Norteamérica están distribuidas en los desiertos de Chihuahua, del Gran Cañon, de Mojave y de Sonora. Las características que describen la composición vegetal de estos desiertos, incluyen la estructura de la comunidad, la composición florística y la fisiognomía. De acuerdo con Shreve y Wiggins (1964), el Desierto de Sonora es el más rico en número de formas de vida y en la variedad de las comunidades que se desarrollan, reconociéndose 25 formas de vida distintas, que van desde las efímeras hasta numerosas especies perennes. Asimismo, se considera un desierto subtropical, debido a que el número de especies de plantas y animales en algunas áreas es mucho mayor que en los lugares templados; además, posee una gran diversidad de formas y tamaños en su cobertura vegetal (Sánchez-Escalante, 2007).

Independientemente de la forma de vida, la variación anual de lluvias y la disponibilidad total de agua influyen en la productividad primaria neta de cualquier especie y como la disponibilidad de agua y nutrientes está a su vez fuertemente influenciada por la vegetación, la distribución espacial de recursos en el desierto es muy variable (Titus et al., 2002). En el desierto, las masas mixtas de vegetación presentan condiciones mejores de humedad que los árboles aislados, por lo que el crecimiento de las plantas individuales y el aumento de individuos en la población, es muy lento. Este es el caso de especies perennes bien establecidas como *Olneya*, *Prosopis* y *Parkinsonia*. Estas especies proporcionan áreas sombreadas y pequeñas donde las condiciones son ligeramente más favorables; registrándose sensación térmica menor y retención de humedad mayor en el suelo. Además, el área bajo su sombra está cubierta de hojarasca propia del árbol y hierbas muertas de años anteriores. Carrillo-García et al. (1999) reconocen que estas plantas del desierto forman

*Autor para correspondencia: Andrés Ochoa Meza
Correo electrónico: aochoa@guayacan.uson.mx

Recibido: 09 de diciembre de 2015

Aceptado: 08 de febrero de 2016

“islas de recursos”, que les permite fungir con mayor o menor éxito, como plantas nodriza en el establecimiento de otras especies, principalmente arbustivas y cactáceas.

Se sabe que los límites de los desiertos cambian constantemente debido a factores climáticos y humanos, sometiendo a las comunidades vegetales a distintos grados de disturbio (Arora *et al.*, 2010; Warren *et al.* 1996), por lo que es indispensable comprender los mecanismos que controlan este fenómeno para realizar acciones efectivas de restauración o estabilización del ecosistema (Grover y Musick, 1990; Agnew y Warren, 1996). Algunos factores que contribuyen a la fragilidad de los ecosistemas, por ejemplo la limitación de agua, las condiciones de temperatura y la fertilidad baja de los suelos, se han estudiado (Vinton y Burke, 1995). Sin embargo, otros como la influencia de los microorganismos del suelo aún es poco conocida (Herrera *et al.*, 1993; Francis y Read, 1995; Herman *et al.*, 1995) a pesar que se reconoce su impacto en la formación del suelo, así como en el establecimiento y sobrevivencia de plantas (Carrillo-García *et al.*, 1999; Bashan *et al.*, 2007) y en la estructura de la comunidad vegetal (Van der Heijden y Sanders, 2002).

De los microorganismos del suelo, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) destacan debido a su capacidad para reducir el estrés hídrico en ambientes difíciles y limitantes; que se atribuye principalmente a que sus hifas exploran un gran volumen de suelo (hasta de 40 veces el volumen de suelo) interconectando los sistemas radicales de plantas adyacentes y facilitando el intercambio de nutrientes entre ellas (Giovannetti y Avio, 2002; Smith y Read, 2008) contribuyendo así al crecimiento de la planta. Los HMA se consideran los organismos más importantes del suelo y particularmente como un componente esencial de los sistemas planta-suelo en el desierto (Requena *et al.*, 1996; Stutz *et al.*, 2000; O'Connor *et al.*, 2001), y de acuerdo con van der Heijden y Sanders (2002) la asociación micorrízica permite a la planta establecerse y sobrevivir en estos ambientes, ejerciendo influencia sobre la diversidad vegetal del área.

Entre los factores múltiples que afectan el establecimiento y desarrollo de esta simbiosis, así como la producción de esporas, se encuentran el grado de disturbio en el ecosistema, la asociación con un hongo de crecimiento predominantemente vegetativo (Stürmer y Siqueira, 2011) y las condiciones físico-químicas del suelo (Lingfei *et al.*, 2005; Verma *et al.*, 2008; Ochoa-Meza *et al.*, 2009). De la misma manera es importante la estacionalidad ambiental, es decir, las temporadas de sequía y lluvia (Lugo y Cabello, 2002; Lugo *et al.*, 2003; González-Chávez *et al.*, 2008). La disponibilidad de agua en el suelo y el estrés hídrico, así como la naturaleza de la planta y el hongo, están entre los principales factores que determinan la intensidad de la colonización radicular y la esporulación del hongo en un ecosistema (Zangaro *et al.*, 2013; Braunberger *et al.*, 1994). Así, la producción de esporas y la colonización radicular se asocia con las temporadas de mayor incidencia de luz, temperatura, la cantidad de agua en el suelo y la alta actividad metabólica de la planta (Cuenca y Lovera, 2010; Becerra *et al.*, 2011; Zangaro *et al.*, 2013).

Diversos estudios relacionan un patrón estacional con la colonización micorrízica y la producción de esporas en ecosistemas áridos y semiáridos (Apple *et al.*, 2005; Lingfei *et al.*, 2005). Ochoa-Meza *et al.* (2009) analizaron la asociación micorrízica en *Agave angustifolia* Haw y observaron un aumento en la esporulación durante el verano y un incremento del micelio extra radical en el otoño. Otros estudios indican una disminución en la colonización radicular por HMA en raíces de *L. tridentata* en la época de sequía en el Desierto de Mojave (Clark *et al.*, 2009). Durante la época de crecimiento radicular (julio-octubre) un nivel de colonización mayor de las plantas existentes se observó en pastizales de zonas áridas en el suroeste de China, respuesta que se correlacionó con los factores climáticos y edáficos (Lingfei *et al.*, 2005). Otros autores reportan una respuesta estacional en el desarrollo de la asociación micorrízica, la cual se asocia principalmente al patrón de disponibilidad de agua en el ecosistema y/o al desarrollo de nuevas raíces susceptibles de ser micorrizadas (Apple *et al.*, 2005).

Esta investigación tiene como finalidad analizar la variación estacional de la interacción entre los hongos micorrízicos arbusculares y leguminosas típicas del Desierto Sonorense, así como las correlaciones entre los distintos factores que participan en esta relación simbiótica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la Costa de Hermosillo, sobre la carretera Hermosillo-Bahía de Kino, localizada en las coordenadas 29°00'57"N y 111°12'25"O. Se compone de vegetación tipo matorral sarcocaulé por especies de los géneros, *Acacia*, *Cercidium*, *Prosopis*, *Larrea*, *Olneya* y *Celtis*; en algunos sitios se encuentran especies de *Jatropha* y *Bursera* (INEGI, 2005). El suelo dominante es del tipo litosol eútrico (INEGI, 1981) que se caracteriza por ser somero, de textura arenosa y con un contenido bajo de materia orgánica. La precipitación promedio del área es de 125 mm anuales, concentrados en el periodo de junio a septiembre, con una temperatura promedio anual de 24°C (Shreve y Wiggins, 1964).

Tamaño y toma de muestra

Se tomaron muestras de la rizósfera de plantas adultas de *Olneya tesota* A. Gray, *Parkinsonia microphylla* Torr, y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., especies representativas de la vegetación del lugar. Las muestras de suelo se colectaron en cada estación del año iniciando en invierno de 2012, para ello, se dividió en cuadrantes el área bajo el dosel y se muestreó un cuadrante en cada estación del año. La muestra se tomó desde 0.1 m de la base del tronco, hasta la mitad del radio de la cobertura de la planta, colectándose suelo y raíces a una profundidad de 0.01 a 0.20 m. Las muestras se secaron a temperatura ambiente durante 2 días y posteriormente se tamizaron con malla de 2 mm, separando las raicillas menores de 1 mm para la determinación de variables de micorrización.

Análisis físico-químico del suelo

Se caracterizó el suelo de acuerdo a los siguientes parámetros, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), pH, contenido de materia orgánica, porcentaje de saturación y contenido de N-NO₃, P (Bray P1), K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, de acuerdo con las metodologías propuestas por Pansu y Gautheyrou (2006) y Castellanos et al. (2000).

Variabes de micorrización

Las variables de micorrización se determinaron por triplicado, analizando porcentaje de colonización micorrízica (CM), densidad visual (DV), porcentaje de pelos radicales (PR), micelio en el suelo o extra radical (MER) y cantidad de esporas en 100 mL de suelo. Se utilizaron como base las metodologías propuestas por Gerdemann y Nicolson (1963); Phillips y Hayman (1970) y Herrera-Peraza et al. (2004). Para determinar la colonización micorrízica, las raíces se blanquearon con KOH al 10% a temperatura ambiente por 18 horas; se acidificaron y posteriormente se tiñeron las estructuras fúngicas con azul de tripano al 0.05% en lactoglicerol. El porcentaje de colonización, la densidad visual y la presencia de pelos radicales se calcularon utilizando una caja de petri con base reticulada a 1 cm donde se dispersó aleatoriamente la muestra de raicillas para contabilizar el número de raicillas sobre cada línea de la retícula, con presencia de HMA y al mismo tiempo categorizando de manera visual el porcentaje de ocupación de la corteza radical por hifas o estructuras de HMA; La estimación de la presencia de pelos radicales se realizó en la misma muestra de raíces, contabilizando la presencia y densidad de pelos radicales en cada raíz que intersectó las líneas de la cuadrícula. El micelio extra radical y la cantidad de esporas se contabilizaron en dos fracciones de suelo retenidas después de un tamizado en húmedo, en las mallas de 125 µm y 44 µm. De cada una se tomó una alícuota de 35 a 40 mg y se distribuyó en una gota de glicerol sobre un portaobjetos, que se cubrió con un cubreobjetos (22 x 22 mm) para contabilizar los fragmentos de micelio en las intersecciones de cuatro líneas imaginarias en el microscopio compuesto a 100X (Herrera-Peraza et al., 2004). Para la extracción de esporas se centrifugó una alícuota de cada fracción de suelo (5 minutos a 1600 x g) en un gradiente de agua:sacarosa 2M donde la interfase se extrajo y se lavó para eliminar el exceso de sacarosa, contando la cantidad de esporas al microscopio estereoscópico (10 a 80X) usando una placa Doncaster.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) para cada variable con el paquete estadístico NCSS 2000. Para ajustar los datos a una distribución normal, las variables expresadas en porcentaje se transformaron utilizando lo siguiente: a) colonización micorrízica, con Arcoseno (CM); b) micelio extraradical, con Log (MER) y c) número de esporas con Log (x), como recomiendan Herrera-Peraza et al. (2004). Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación entre las variables de micorrización y las propiedades químicas del suelo.

RESULTADOS

Análisis del suelo

No se encontraron diferencias significativas entre las especies evaluadas en las variables del suelo. Sin embargo, el análisis edafológico mostró que los suelos tienen una textura franco-arenosa, pH que varía de ligeramente ácido a ligeramente alcalino (5.9 a 7.6); fertilidad de baja a moderada (capacidad de intercambio de cationes entre 7 y 16 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹), sin problemas de salinidad (conductividad eléctrica menor de 0.6 dS m⁻¹) y un contenido de materia orgánica muy bajo (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del suelo en la rizósfera de plantas estudiadas.

Table 1. Physical and chemical properties of soil in the rizosphere of studied plants.

Parámetro*	Planta		
	<i>Parkinsonia microphylla</i>	<i>Olneya tesota</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
pH	7.6±0.1	7.6±0.1	5.9±0.1
CE (dS m ⁻¹)	0.43±0.08	0.61±0.14	0.29±0.16
% Saturación	21.6±1.3	22.4±4.5	20.9±2.0
CIC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	11.7±5.1	16.1±8.2	9.7±1.5
Materia Orgánica (%)	0.48±0.28	0.99±0.97	1.01±0.53

*Los valores representan el promedio de 6 repeticiones ± el error estándar

Interacciones micorriza-suelo-planta

Las especies estudiadas presentaron diferentes grados de asociación micorrízica, mostrando una variación a lo largo del año en CM, DV, MER, PR y densidad de esporas en suelo. No se encontraron diferencias significativas entre la interacción especie vegetal y época del año en ninguna de las variables mencionadas. Los porcentajes más altos de CM se encontraron en *P. microphylla*, con promedios anuales de 47.9%. *Prosopis juliflora* mantuvo una CM mayor al 15% durante todo el año, mostrando su máximo (22%) en verano. En el caso de *O. tesota*, la CM se incrementó a partir del verano y el máximo (22.7%) lo alcanzó en otoño, disminuyendo drásticamente en el invierno y la primavera. El análisis estadístico mostró diferencia significativa en la CM entre especies, siendo *P. juliflora* y *P. microphylla* iguales entre sí, pero diferentes a *O. tesota* (Figura 1).

De la misma manera *P. microphylla* presentó los valores más altos de densidad visual (DV) durante el verano (1.5 %) disminuyendo en la época seca de la primavera (0.8%). *Olneya tesota* presentó valores menores de DV (0.13%) en primavera, con un ligero aumento (0.4%) en verano y otoño. Para *P. juliflora*, el porcentaje de DV mayor (0.32%) se registró en invierno y el más bajo (0.19 %) en otoño. El ANOVA mostró diferencias significativas entre especies para DV, siendo iguales *P. microphylla* y *P. juliflora*, pero diferentes de *O. tesota* (Figura 2).

Todas las especies presentaron la misma tendencia sin mostrar diferencias significativas para MER. Independientemente de la especie, no se encontraron diferencias significativas entre las variables del suelo.

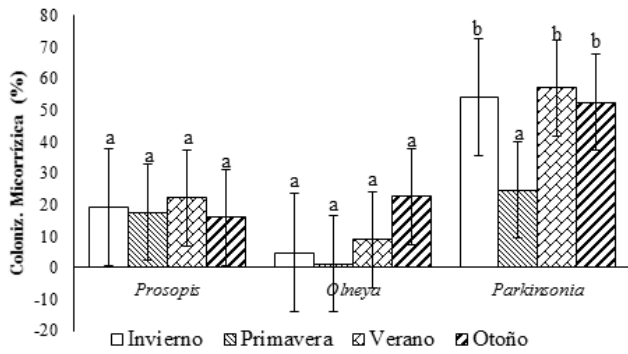


Figura 1. Variación estacional en la Colonización Micorrizica (CM) de leguminosas típicas del Desierto Sonorense.

Figure 1. Seasonal variation on mycorrhizal colonization (CM) for typical legumes of Sonoran Desert.

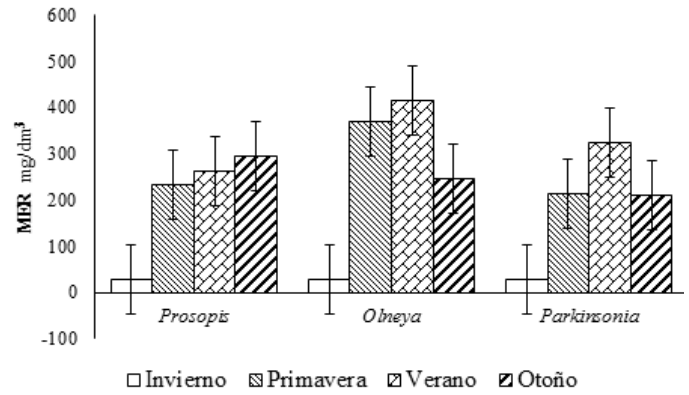


Figura 3. Variación estacional del micelio extraradical (MER) en leguminosas típicas del desierto Sonorense.

Figure 3. Seasonal variation on extraradical mycelium (MER) for typical legumes of Sonoran desert.

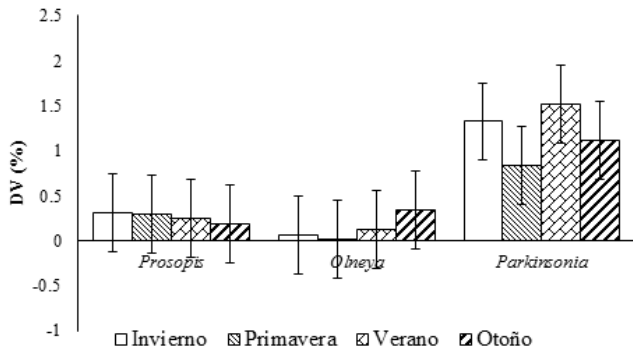


Figura 2. Variación estacional de la Densidad Visual (DV) en la ocupación de la corteza radical de leguminosas típicas del desierto Sonorense.

Figure 2. Seasonal variation of Visual Density (VD) for root cortex occupation in typical legumes of Sonoran desert.

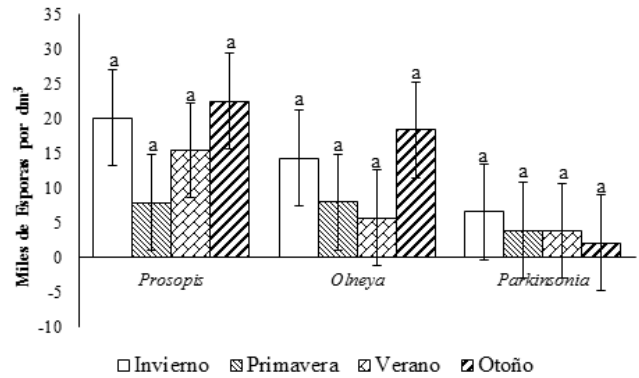


Figura 4. Variación estacional en la cuenta de esporas de hongos micorrizicos asociados con leguminosas típicas del desierto Sonorense.

Figure 4. Seasonal variation on mycorrhizal spores number associated to typical legumes of Sonoran desert.

dientemente de la especie asociada, el MER varió entre las estaciones. De acuerdo con los datos obtenidos se asume que el desarrollo de hifas explorativas en el suelo, buscando nutrientes y agua, inicia en primavera, simultáneamente con el desarrollo de raíces nuevas. El desarrollo mayor de hifas se presentó durante el verano, con las lluvias de la temporada; en esa estación el contenido de MER osciló entre 263 a 413 mg/dm³ de suelo, contrastando con los niveles bajos de 26 a 28 mg/dm³ alcanzados en invierno. El ANOVA mostró diferencias significativas entre muestreos, pero no entre especies (Figura 3).

El contenido de esporas en el suelo mostró diferencias significativas entre especies pero no entre estaciones del año (Figura 4). La cantidad mayor de esporas se encontró en suelos de *J. cuneata*, observándose valores más elevados en primavera y otoño. Para *P. juliflora* y *O. tesota*, la densidad más alta de esporas ocurrió en invierno y otoño. *Parkinsonia microphylla* y *L. tridentata* registraron valores mayores durante invierno, primavera y otoño.

La variable presencia de pelos radicales tampoco mostró diferencias significativas entre especies. Sin embargo

si hubo diferencias significativas entre las estaciones del año. En todos los casos, los valores más altos de PR ocurrieron en verano, disminuyendo progresivamente en otoño, invierno y primavera (Figura 5).

Análisis de correlación

El análisis de correlación mostró un coeficiente de correlación significativo y positivo entre la CM y la DV. Asimismo, un coeficiente de correlación significativo y positivo entre la CM y las variables de micorrización evaluadas, así como con el pH del suelo y la materia orgánica. Se observó un coeficiente de correlación significativo pero negativo entre los contenidos de N, P y K. El mismo tipo de correlaciones positivas se determinaron para la DV, con la diferencia de una correlación negativa con el contenido de MER. La densidad de esporas/dm³ presentó correlación positiva con todas las variables de micorrización y la mayoría de las propiedades químicas del suelo, con la diferencia de una correlación negativa con el pH del mismo. El MER mostró correlación positiva con esporas, CM, PR, N, P y materia orgánica y una correlación negativa con DV, K y pH. La presencia de PR presenta, al igual

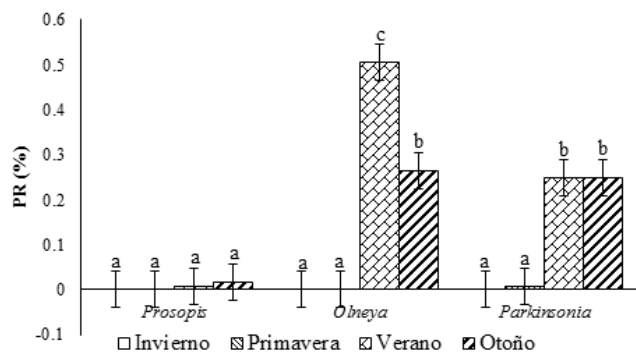


Figura 5. Variación estacional de la presencia de pelos radicales (PR) en leguminosas típicas del desierto Sonorense.

Figure 5. Seasonal variation on hairy roots (PR) presence for typical legumes of Sonoran desert.

que el contenido de esporas, una correlación positiva con todos las variables, excepto con P.

DISCUSIÓN

Los resultados del análisis indican que la fertilidad corresponde a la de suelos de zonas áridas, donde aun cuando los niveles de algunos nutrientes son suficientes, éstos se encuentran en forma insoluble (Castellanos et al., 2000). Por su parte, esta característica es la que describe mejor las condiciones requeridas para una colonización exitosa de los HMA. El contenido de materia orgánica reducido indica una productividad baja del ecosistema, lo que se observa en regiones con tasa fotosintética atenuada y se caracteriza por la existencia de plantas con una ocupación micorrízica reducida de la raíz y un incremento de micelio extra radical (MER; Herrera-Peraza et al., 2004).

Todas las especies estudiadas presentaron asociación micorrízica. Las variables de micorrización se modificaron respecto a las estaciones del año. De acuerdo con Titus et al. (2002) y Apple (2010) en regiones áridas y semiáridas, esta simbiosis es fundamental para el establecimiento y sobrevi-

vencia de plantas en ambientes extremos como el desértico, donde existe una disponibilidad reducida de nutrientes, debido principalmente a la movilidad baja de los mismos por la escasez de agua (García-Sánchez et al., 2008). Aunque no se determinó la contribución de la micorriza en la absorción de nutrientes, se acepta que los HMA favorecen la asimilación de elementos insolubles, por ejemplo fósforo y zinc (Bucher, 2007). Asimismo, Carrillo-García et al. (1999) señalan que todas las especies perennes en áreas con disturbio son micorrizadas y en gran medida, la CM depende de la madurez de la planta y su rol en el proceso de sucesión en el ecosistema.

Los valores de CM reportados en este estudio para todas las especies vegetales, no alcanzaron el 60%, contrastando con lo establecido por Carrillo-García et al. (1999) que reportaron valores de CM mayores a 70% en *J. cuneata*, *O. tesota*, *P. articulata* y *L. tridentata*, esta diferencia se atribuye a que estas plantas estaban ubicadas en islas de recursos. *Cercidium praecox* (= *Parkinsonia praecox*) en Baja California Sur (México), presentó porcentajes de colonización medianamente altos, entre 40 y 70%, lo cual coincide con los valores reportados en esta investigación para *P. microphylla*, que únicamente en la primavera presentó valores menores al 30%.

Pocos son los estudios enfocados al conocimiento del estatus micorrízico que presenta *Prosopis* en el medio nativo. Entre estos se encuentra el de Verma et al. (2008) que analizaron la asociación micorrízica de *P. cineraria* en 19 sitios de la zona árida de Rajasthan (India), determinando entre otras variables, una CM entre 49-89%. Estos autores atribuyen las variaciones de las variables de colonización micorrízica, principalmente a las condiciones climáticas de los sitios y a las propiedades físico-químicas del suelo. Por su parte, Carrillo-García et al. (1999) reportaron que *P. articulata* presenta una CM mayor al 70%, debido a la particularidad de los mezquites de formar islas de recursos o fertilidad en Baja California Sur (México). En la presente investigación, las plantas de *P. juliflora* mostraron una CM que no rebasó el 25% durante el año, probablemente debido a las condiciones edáficas del sitio y a la adaptabilidad de los HMA a los suelos donde se desarro-

Tabla 2. Valores del coeficiente de correlación y su probabilidad entre las variables micorrízicas y del suelo.

Table 2. Correlation matrix and probability values between soil and mycorrhizal variables.

	PR	Mat. Org	P	K	Mg	Fe	Zn	Cu
MER	0.411	-0.088	0.074	0.007	-0.023	0.036	0.076	-0.014
	0.001	0.505	0.576	0.956	0.862	0.782	0.578	0.916
Esporas	-0.115	0.560	0.609	0.486	0.460	0.582	-0.593	0.628
	0.383	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CM	0.382	0.380	0.144	0.071	0.311	0.038	-0.165	0.066
	0.003	0.003	0.271	0.590	0.015	0.771	0.223	0.628
DV	0.373	0.422	0.174	0.116	0.321	0.072	-0.199	0.112
	0.003	0.001	0.185	0.376	0.012	0.586	0.141	0.411

En negrita se resaltan los valores de correlación altamente significativos. MER=Micelio Extraradical; CM=Colonización Micorrízica; DV= Densidad Visual; PR=Pelos radicales; MatOrg= Materia Orgánica.

Significant correlation values are highlighted in bold

MER=Extraradical mycelium; CM=Mycorrhizal colonization; DV= Visual Density; PR= Hairy Roots; MatOrg= Soil Organic Matter.

llan estos individuos, acorde con la conclusión de Verma *et al.* (2008). Lo anterior se debe a que las concentraciones de fósforo en el suelo del área muestreada resultaron muy altos y en condiciones de pH ácido (Tabla 1).

Algunos autores como Lutgen *et al.* (2003), Pringle y Bever (2002) y Morton *et al.* (1993) señalan que la producción de esporas en los HMA varía entre especies y que la cantidad de estos propágulos en las diferentes épocas del año, depende más de la fisiología del hongo que de los factores ambientales. Sin embargo, influyen tanto la naturaleza de la comunidad de plantas hospederas, como su época de crecimiento y las características físico-químicas del suelo (Sivakumar, 2013; Ujwala y Gyananath, 2013). La carga de esporas encontradas en este trabajo fue mayor que la reportada por Verma *et al.* (2008) y Carrillo-García *et al.* (1999) aun cuando los porcentajes de colonización fueron menores. Verma *et al.* (2008) registraron densidades entre 1,550 y 3,400 esporas/dm³; mientras que Carrillo-García *et al.* (1999) solo contabilizaron entre 24 y 31 esporas por dm³, aunque atribuyen sus resultados a una pérdida de esporas en el proceso de tamizado en húmedo, debido al tamaño de las esporas menor a 45 µm. En el presente trabajo la concentración mayor de esporas en la rizósfera de *P. juliflora* (8,000-22,500 esporas/dm³ de suelo), se atribuye principalmente a la interacción de factores como la identidad del hospedero, la afinidad en la asociación hongo-planta, las características físico-químicas del suelo, las condiciones climáticas y particularmente al contenido bajo de humedad del suelo por las precipitaciones escasas en el área, de manera similar a lo reportado por Ochoa-Meza *et al.* (2009) y Sivakumar (2013).

CONCLUSIONES

Las leguminosas de zonas semiáridas como la Costa de Hermosillo, presentan asociación micorrízica durante todo el año, a pesar de la cantidad reducida de agua y la disponibilidad elevada de fósforo en el suelo. En este sentido, las estaciones con porcentaje mayor de CM y producción de esporas, fueron verano y otoño. Los resultados en la CM y la densidad de esporas entre las especies, indican que estas variables están poco influenciadas por la época de muestreo. Por otra parte, no fue posible establecer que alguna variable físico-química del suelo, la naturaleza del hongo micorrízico o las características intrínsecas a la planta hospedera, de manera individual pudieran ser determinantes para el establecimiento y funcionalidad de la asociación micorrízica. Por el contrario, es la interacción de todos estos factores la que determina la relación simbiótica planta-hongo micorrízico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del M.C. Francisco Pacheco Ayala en los análisis físico-químicos del suelo. ADAC agradece el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para estudios de posgrado. El financiamiento para este trabajo lo otorgó el Fondo Sectorial SEP-CONACYT de Ciencia Básica, proyecto 129828.

REFERENCIAS

- Agnew, C., y Warren, A. 1996. A framework for tackling drought and land degradation. *Journal of Arid Environments* 33:309-320.
- Apple, M.E. 2010. Aspects of mycorrhizae in desert plants. *En: Ramawat, K.G. Desert Plants, biology and biotechnology.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/978-3-642-02550-1.
- Apple, M.E., Thee, C.I., Smith-Longozo, V.L., Cogar, C.R., Wells, C.E. y Nowak, R.S. 2005. Arbuscular mycorrhizal colonization of *Larrea tridentata* and *Ambrosia dumosa* roots varies with precipitation and season in the Mojave Desert. *Symbiosis* 39:131-136.
- Arora, J., Goyal S. y Gopal-Ramawat K. 2010. Biodiversity, biology and conservation of medicinal plants of the Thar Desert. *En: Ramawat, K.G. Desert Plants, biology and biotechnology.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Bashan, Y., Khaosaad, E T., Salazar, B. G., Ocampo, J. A., Wiemken, A., Oehl, F. y Vierheilig, H. 2007. Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees* 21:329-335
- Becerra, A.G., Cabello, M.N. y Bartoloni, N.J. 2011. Native arbuscular mycorrhizal fungi in the Yungas forests, Argentina. *Mycologia* 103(2): 273-279.
- Braunberger, P.G.; Abbott, L.K.; Robson, A.D. 1994. The effect of rain in the dry-season on the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas in the growing season of annual clover-based pastures. *New Phytologist*. 114, 457-468.
- Bucher, M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytologist* 173:11-26.
- Carrillo-García A., León de la Luz, J.L., Bashan Y. y Bethlenfalavay, G.J. 1999. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology*. 7(4):321-335.
- Castellanos, J., Uvalle-Bueno, J.X. y Aguilar-Santelises A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. INCAPA. Guanajuato, México. 156 p.
- Clark, N.M., Rillig, M.C. y Nowak, R.S. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungal abundance in the Mojave Desert: Seasonal dynamics and impacts of elevated CO₂. *Journal of Arid Environments*. 73:834-843.
- Cuenca, G. y Lovera, M. 2010. Seasonal variation and distribution at different soil depths of arbuscular mycorrhizal fungi spores in a tropical Sclerophyllous shrubland. *Botany* 88: 54-64.
- Francis, R., y Read, D. J. 1995. Mutualism and antagonism in the mycorrhizal symbiosis, with special reference to impacts on plant community structure. *Canadian Journal of Botany* 73: 1301-1310.
- García-Sánchez, R., Monroy-Ata, A. y Chimal-Sánchez, E. 2008. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *En: Montaño-Arias, N.M., Camargo-Ricalde, S.L., García-Sánchez R. y Monroy-Ata A., Eds. Micorizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos.* Mundi Prensa México, S.A. de C.V. Pp. 123-136.
- Gerdemann, J.W. y Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of The British Mycological Society*. 46:235-244.

- Giovannetti, M. y Avio, L. 2002. Biotechnology of arbuscular mycorrhizas. *En: Khachatourians, G.G., Arora, D.K. (eds.): Applied Mycology and Biotechnology, Vol. 2. Agriculture and Food Production. Elsevier, Amsterdam, pp. 275-310.*
- González-Chávez, M.C.A., Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. 2008. Biodiversidad funcional de los hongos micorrízicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas. *En: Montaño-Arias, N.M., Camargo-Ricalde, S.L., García-Sánchez, R. y Monroy-Ata A., Eds. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi Prensa México, S.A. de C.V. Pp. 11-24.*
- Grover, H. D. y Musick, H. B. 1990. Mexico, U.S.A.: an analysis of desertification processes in the American southwest. *Climatic Change 17:305-330.* Herman, R. P., Provencio, K. R., Herrera-Matos, J., y Torrez R. J. 1995. Resource islands predict the distribution of heterotrophic bacteria in Chihuahuan Desert soils. *Applied Environmental Microbiology 61:1816-1821.*
- Herrera, M. A., Salamanca, C. P., y Barea, J. M. 1993. Inoculation of woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified Mediterranean ecosystems. *Applied Environmental Microbiology 59:129-133.*
- Herrera-Peraza, R.A., Furrázola, E., Ferrer, R.L., Fernández-Valle, R. y Torres-Arias T. 2004. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas. 35:113-123.*
- INEGI, 1981. Carta edafológica 1:250,000. Hermosillo. Hoja H12-8.
- INEGI, 2005. Guía para la interpretación de la cartografía uso de suelo y vegetación. 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. Mexico.
- Lingfei, L., Anna, Y. y Zhiwei, Z. 2005. Seasonality of arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes in a grassland site in southwest China. *FEMS Microbiol Ecology 54, 367-373*
- Lugo, M.A. y Cabello, M.N. 2002. Native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from mountain grassland (Córdoba, Argentina) I. Seasonal variation of fungal spore diversity. *Mycologia 94(4): 579-586.*
- Lugo, M.A., González-Maza, M.E. y Cabello, M.N. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi in a mountain grassland II: Seasonal variation of colonization studied, along with its relation to grazing and metabolic host type. *Mycologia 95: 407-415.*
- Lutgen, E.R., Muir-Clairmont, D., Graham, J. y Rillig M.C. 2003. Plant seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant and Soil 257:71-83.*
- Morton, J.B., Bentivenga, S.P. y Wheeler, W.W. 1993. Germplasm in the International Collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon 48:491-528.*
- Ochoa-Meza, A., Esqueda, M., Fernández-Valle, R. y Herrera-Peraza, R. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. en la Sierra Sonorense, México. *Revista Fitotecnia Mexicana. 32:189-199.*
- O'Connor, P.J., Smith, S.E. y Smith, F.A. 2001. Arbuscular mycorrhizal associations in the Simpson Desert. *Australian Journal of Botany 49: 493-499.*
- Pansu, M. y Gautheyrou, J. 2006. Handbook of soil analysis; mineralogical, organic and inorganic methods. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Phillips, J.M. y Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society 55:158-161.*
- Pringle, A. y Bever, J.D. 2002. Divergent phenologies may facilitate the coexistence of arbuscular mycorrhizal fungi in a North Carolina grassland. *Journal of Botany 89:1439-1446.*
- Requena, N., Jeffries P., y Barea J. M. 1996. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. *Applied Environmental Microbiology 62:842-847.*
- Sánchez-Escalante, J.J. 2007. Plantas nativas de Sonora: las plantas del desierto sonorense. *Revista Universidad de Sonora. Octubre-Diciembre. 19:20-22*
- Shreve, F. y Wiggins, L.I. 1964. *Vegetation of the Sonoran Desert.* Stanford University Press. Stanford, California.
- Sivakumar, N. 2013. Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields. *Ann Microbiol 63:151-160*
- Smith, S.E. y Read, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis.* 3rd ed. Academic Press.
- Stürmer, S.L. y Siqueira, J.O. 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., Copeman, R., Martin, C.A. y Morton, J.B. 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.*
- Titus, J.H., Titus, P.J., Nowak, R.S., y Smith, S.D. 2002. Arbuscular mycorrhizae of Mojave Desert plants. *Western North American Naturalist. 62(3):327-334.*
- Ujwala, D.S., y Gyananath, G. 2013. Seasonal variation of spore density and root colonisation of arbuscular mycorrhizae in crop plants in relation to soil edaphic factors. *En: Sabu A. y Augustine A. (eds.), Prospects in Bioscience: Addressing the Issues.* Springer India.
- van der Heijden, M.G.A. y Sanders, I.R. 2002. *Mycorrhizal ecology.* Springer. Berlin.
- Verma, N., Tarafdar, J.C., Srivastava, K.K. y Panwar, J. 2008. Arbuscular mycorrhizal (AM) diversity in *Prosopis cineraria* (L.) Druce under arid agroecosystems. *Agricultural Sciences in China. 7(6):754-761.*
- Vinton, M. A., y Burke, I. C. 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology 76:1116-1133.*
- Warren, A., Sud Y. C., y Rozanov B. 1996. The future of deserts. *Journal of Arid Environments 32:75-89.*
- Zangaro, W., Rostrirola L.V., Bochi de Souza P., De Almeida Alves R., Luiz Eduardo Azevedo L.E., Lírio Rondina A.B. Nogueira M.A. y Carrenho R. 2013. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza 23:221-233.*