



Terra Latinoamericana

ISSN: 0187-5779

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

Quiñónez Martínez, Miroslava; Enríquez Anchondo, Irma Delia; Flores Margez, Juan Pedro; Palacios Ramírez, Karla Yamel; Olivas Sánchez, Martha Patricia; Garza Ocañas, Fortunato; Lebgue Keleng, Toutcha; Nájera Medellín, Jesús Alejandro  
Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos  
Terra Latinoamericana, vol. 36, núm. 4, 2018, Octubre-Diciembre, pp. 381-391  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.401>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57359463008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

# Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos

## Plant communities in soil of semiarid ecosystem and their relationship with mycorrhizal fungi

Miroslava Quiñónez Martínez<sup>1</sup>, Irma Delia Enríquez Anchondo<sup>1</sup>, Juan Pedro Flores Margez<sup>1‡</sup>,  
Karla Yamel Palacios Ramírez<sup>1</sup>, Martha Patricia Olivas Sánchez<sup>1</sup>, Fortunato Garza Ocañas<sup>2</sup>,  
Toutcha Lebgue Keleng<sup>3</sup> y Jesús Alejandro Nájera Medellin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Plutarco Elías Calles 1020, Fovissste Chamizal. 32310 Cd. Juárez, Chih., México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (juflores@uacj.mx)

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional No. 85 km 145. 67700 Linares, Nuevo León, México.

<sup>3</sup> Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1, Zootecnia. 33820 Chihuahua, Chih., México.

## RESUMEN

Las comunidades vegetales micrófilas y xerófilas en el norte de Chihuahua se desarrollan en condiciones de estrés climático y ambiental. Se considera que esta resistencia puede estar relacionada con la presencia de hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA). El objetivo de este trabajo fue relacionar el tipo de suelo con la presencia de HMVA en la rizósfera de las plantas de matorrales desérticos, como una posible respuesta a la resistencia de las plantas bajo condiciones ambientales extremas en las comunidades vegetales del área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, Juárez, Chihuahua. Durante los meses de marzo a octubre de 2016, se realizaron dos muestreos dirigidos seleccionando cuatro puntos de muestreo con base en el tipo de comunidad vegetal registrada en campo. Los transectos fueron de 100 m, se generaron diez parcelas de  $20 \times 25 \text{ m}^2$  en cada zona y para cada parcela se registró el número de individuos por especie vegetal. Los índices de Shannon, Simpson, Pielou y Morisita fueron utilizados para el estudio de las comunidades. Se tomaron submuestras de suelo de 500 g a una profundidad de 0 a 30 cm en cada sitio de muestreo. Los análisis físicos y químicos de suelo fueron pH, textura, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, nitrógeno mineral y fósforo extractable. La extracción y conteo de esporas de HMVA se realizó por medio de tamizado húmedo, decantación y centrifugación en

solución sacarosa al 70%. Se determinaron tres tipos de comunidad vegetal: matorral inerme parvifolio, matorral mediano subinerme y matorral de médanos. La especie con mayor presencia y dominancia fue *Larrea tridentata*. Los suelos del área estudiada resultaron ser arenosos, alcalinos, con baja salinidad y contenido de nitrógeno y altos de fósforo. Los géneros de HMVA encontrados fueron: *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* y *Paraglomus*. El análisis de correlación de Pearson indicó que no existe relación estadística significativa entre la cantidad de nitrógeno inorgánico con la densidad de las esporas de HMVA ( $r = 0.585$ ), mientras que para el fósforo se detectó una significativa relación entre su concentración y la densidad de esporas ( $r = 0.987$ ). La relación entre la cantidad de esporas y concentración de nutrientes del suelo demuestra que entre más bajo en nutrientes es menor el número de esporas, sin embargo, no se puede determinar directamente la resistencia de las plantas con la presencia de los HMVA.

**Palabras clave:** micorrizas arbusculares, rizósfera, matorrales desérticos.

## SUMMARY

The microphilous and xerophilous plant communities in northern Chihuahua develop under environmental stress. Resistance to this stress may be related to the presence of vesicular arbuscular

### Cita recomendada:

Quiñónez Martínez, M., I. D. Enríquez Anchondo, J. P. Flores Margez, K. Y. Palacios Ramírez, M. P. Olivas Sánchez, F. Garza Ocañas, T. Lebgue Keleng y J. A. Nájera Medellin. 2018. Comunidades vegetales en suelo de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos. *Terra Latinoamericana* 36: 381-391.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.401>

Recibido: abril de 2018. Aceptado: agosto de 2018.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 36: 381-391.

mycorrhizal fungi (HMVA). The objective of this study was to relate the type of soil and the presence of HMVA in the rhizosphere of desert scrubs, as a possible response to the resistance of plants under extreme environmental conditions, in the plant community of ANP Medanos de Samalayuca, Juárez, Chihuahua. During the months of March to October 2016, two directed samplings were carried out, selecting four sampling points based on the type of plant community registered in the field. At each sampling point, transects of 100 m were launched, generating ten  $20 \times 25 \text{ m}^2$  plots in each zone. For each plot, the number of individuals per plant species was registered. The Shannon, Simpson, Pielou and Morisita indexes were used. A total of 500 g subsamples of soil was taken at a depth of 0 to 30 cm at each sampling site. Each sample was processed and subjected to physical and chemical analyses such as pH, texture, electrical conductivity, moisture percentage, inorganic nitrogen and extractable phosphorus. Spores were extracted and counted by wet sieving, decantation and centrifugation in 70% sucrose solution. Three types of plant community were determined: matorral inerme parvifolio, matorral mediano subinerme and matorral de medanos. In general, the most common and dominant species was *Larrea tridentata*. The soils were sandy, alkaline, low soil salinity, low in inorganic nitrogen and high in extractable phosphorus. The HMVA genera found were *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Glomus* and *Paraglomus*. The Pearson correlation analysis indicated that there is no statistically significant relationship between the amount of inorganic nitrogen and the density of HMVA spores ( $r = 0.585$ ). Regarding phosphorus, a meaningful relationship was found between its concentration and spore density ( $r = 0.987$ ). The relationship between the number of spores and nutrient concentrations shows that the poorer in nutrients the smaller number of spores; however, resistance of the plants cannot be directly determined by the presence of the HMVA.

**Index words:** *arbuscular mycorrhiza, rhizosphere, desert scrubs.*

## INTRODUCCIÓN

En el norte de Chihuahua se encuentra un ecosistema desértico caracterizado por comunidades vegetales micrófilas y xerófilas, creciendo dentro de un variado mosaico de asociaciones vegetales (Granados-Sánchez *et al.*, 2011). Estas comunidades se desarrollan

en suelos pobres en nutrientes, escasa precipitación y días de intensa luz solar. Respecto a su clasificación, SEMARNAT (2013) reconoce tres tipos de matorral en la vegetación desértica: matorral desértico micrófilo de suelos de aluvión, matorral mediano subinerme en rocas calizas y matorral desértico crasicaule ligado a rocas y suelos de naturaleza ígnea. En los ecosistemas áridos y semiáridos, las plantas soportan condiciones climáticas y ambientales muy estresantes como largos períodos de sequía, temperaturas extremas, suelos de baja fertilidad y altos grados de erosión. Se considera que esta resistencia puede estar relacionada con la presencia de hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA) (Monroy-Ata *et al.*, 2007; Montaño *et al.*, 2007; Martínez-García, 2011). Las micorrizas son una simbiosis mutualista de hifas de hongos y raíces de plantas vasculares, en la que se presenta un beneficio mutuo, debido al intercambio bidireccional. Esta asociación favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas que crecen en condiciones limitantes, principalmente en el desarrollo del sistema radical por estimulación, la formación de nuevas raíces y, por lo tanto, plantas más tolerantes al estrés ambiental y eficientes en el aprovechamiento de nutrientes y agua del suelo. Esto es debido a la extensión del hongo fuera de la raíz y entre las raíces secundarias, incrementando el volumen de suelo explorado, permitiendo capturar nutrientes más allá de la zona de alcance de la raíz y transportarlos a la planta. Los HMVA han incrementado su importancia en diversas ramas de la ciencia y la tecnología, como es el caso de la comprensión de la dinámica vegetal y de la sucesión ecológica, restauración ambiental y obtención de biofertilizantes no contaminantes (Montaño *et al.*, 2007). Los estudios realizados en zonas áridas son escasos, y la mayoría trata sobre la restauración de zonas deterioradas mediante el uso de micorrizas vesículo arbusculares en matorral xerófilo (Uhlmann *et al.*, 2004; Caballero-Mellado *et al.*, 2007; Monroy-Ata *et al.*, 2007; Ochoa-Meza *et al.*, 2009; Martínez-García, 2011). Debido a que en México los ecosistemas áridos y semiáridos ocupan aproximadamente un 60% del territorio nacional, y en el norte de Chihuahua domina el ecosistema desértico cuya riqueza vegetal se caracteriza por presentar un elevado grado de endemismo, es de suma importancia realizar análisis ecológicos de los diferentes tipos de comunidades vegetales, tipo de suelo que las caracterizan y su relación con la presencia de HMVA, los cuales han incrementado su importancia en

diversas ramas de la ciencia y la tecnología (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). El objetivo de este trabajo fue relacionar el tipo de suelo con la presencia de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares (HMVA) en la rizósfera de las plantas de matorrales desérticos, como una posible respuesta a la resistencia de las plantas bajo condiciones ambientales extremas en tres comunidades vegetales en el área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, municipio de Juárez, Chihuahua, dada la gran importancia que tiene esta área por ser una de las de mayor diversidad de flora y fauna, alta en endemismos y reconocido por su sistema complejo único de dunas de arena.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se localizó en el ejido Villa luz, dentro del área natural protegida (ANP) médanos de Samalayuca, localizada entre las coordenadas extremas  $31^{\circ} 39' 36''$  y  $29^{\circ} 25' 12''$  N y las coordenadas  $109^{\circ} 02' 24''$  y  $107^{\circ} 14' 24''$  O, en el municipio de Juárez del estado de Chihuahua, México. Su clima se caracteriza por ser árido y extremoso, cuya clasificación hecha por Köppen corresponde a Bwkw(x') clasificado como un clima muy seco templado con lluvias en verano. La temperatura máxima ha sido de  $41.2^{\circ}\text{C}$  y la mínima de  $-16^{\circ}\text{C}$ . Las precipitaciones más altas se presentan en los meses de julio a septiembre, representando el 58.9% de la precipitación media anual (SEMARNAT, 2013). De acuerdo con la clasificación de la COTECOCA (1978) en la región de Samalayuca se determinaron tres comunidades vegetales: 1) Por adaptación climática: matorral inerme parvifolio y matorral mediano subinerme, representadas por especies arbustivas dominantes como la gobernadora (*Larrea tridentata*) y el mezquite (*Prosopis juliflora* var. *glandulosa*); junto con otras especies de menor abundancia como son el chamizo (*Atriplex canescens*), ocotillo (*Fouquieria splendens*), hojasén (*Flourensia cernua*) y palma (*Yucca* spp.); 2) Por su tipo de suelo, el matorral de médanos se encuentra rodeando el cuerpo de dunas móviles con escasa vegetación. Se caracteriza por la presencia de especies arbustivas, principalmente: *P. juliflora* var. *glandulosa*, *A. canescens*, *Poliomintha incana*, *Artemisia filifolia* y algunas cactáceas como

*Opuntia violacea* var. *macrocentra*, *O. engelmannii* y *O. Leptocaulis* (Enríquez, 2003; Álvarez, 2013<sup>1</sup>).

### Muestreo

Durante los meses de marzo a octubre de 2016, se realizaron dos muestreos de tipo preferencial, seleccionando cuatro puntos de muestreo con base en el tipo de comunidad vegetal registrada en campo. En cada uno de ellos, se lanzaron transectos de 100 m, para generar diez parcelas de  $20 \times 25 \text{ m}^2$  en cada zona seleccionada. En cada parcela se registró el número de individuos por especie vegetal para obtener la abundancia relativa para cada especie por comunidad vegetal (Krebs, 1998).

### Análisis de la Vegetación

Para determinar la diversidad por comunidad vegetal se utilizó el Índice de Shannon Winner, el cual estima la diversidad con base en una muestra extraída al azar; dominancia de Simpson que mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una población de N individuos, provengan de la misma especie, y equitatividad de Pielou que mide el grado de repartición de los individuos en las especies presentes para estimar el índice de diversidad y uniformidad de las comunidades vegetales muestreadas, utilizando el programa Estimate S versión 9.1.0 (Colwell, 2016). Así mismo, se utilizó el Índice de Morisita para evaluar la similitud de comunidades por afinidad de especies y abundancia de las mismas, utilizando el programa PAST versión 2.09 (Moreno, 2000). Se tomaron submuestras de suelo de 500 g a una profundidad de 0 a 30 cm, las cuales fueron mezcladas para obtener muestras compuestas de cada sitio de muestreo, con cuatro repeticiones por zona de muestreo. Así mismo, se obtuvieron muestras de suelo adherido a raíz de las especies vegetales presentes en las parcelas muestreadas para el registro de HMVA.

**Características del suelo.** Cada muestra de suelo fue secada a temperatura ambiente y tamizada; se les realizaron análisis físicos y químicos como: pH, textura, conductividad eléctrica, nitrógeno mineral y fósforo extractable. El pH se midió con un potenciómetro HANNA modelo HI 207 la conductividad eléctrica con conductímetro YSI Modelo 85/10 FT, la textura de

<sup>1</sup> Álvarez-Calhorra, A. A. 2013. Cactáceas del área de protección de flora y fauna Médanos de Samalayuca. Tesis de Licenciatura. Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Cd. Juárez, Chihuahua, México.

suelo por el método de Bouyoucos, el nitrógeno mineral se determinó por el método micro-Kjeldahl y el fósforo por el método Olsen (NOM-021-RECNAT-2000, 2002; Keeney y Nelson, 1982; Olsen y Sommers, 1982).

**Extracción e identificación de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares (HMVA).** La extracción y conteo de esporas se realizó mediante tamizado húmedo, y decantación, seguido de una centrifugación en una solución de sacarosa al 70% (Trejo Aguilar *et al.*, 2008). Para ello se tomaron de 100 a 250 g de suelo pegado a la raíz de algunas plantas características de cada comunidad vegetal; se colocó la muestra en un recipiente de cristal de 1000 mL aforado con agua; en donde fueron mezcladas por cinco minutos y filtradas en un conjunto de tamices de diferente luz de malla (1 mm, 500  $\mu\text{m}$  y 20  $\mu\text{m}$ ). Se recuperaron los residuos que quedaban en los tamices con ayuda de una pipeta; las muestras fueron depositadas en tubos de 50 mL para su centrifugación, una primera con agua durante cinco minutos a 3000 rpm, y otra con sacarosa al 70%. La centrifugación fue de un minuto a 3000 rpm. Finalmente, lo recuperado fue depositado en cajas Petri, para su observación en estereoscopio y su separación, de tal forma que se pudieron realizar preparaciones permanentes de las esporas con alcohol polivinílico y lugol (Hernández-Cuevas *et al.*, 2003). Posteriormente se observaron las esporas con microscopio óptico Motic Serie B1-220 y se registraron los datos de frecuencia por suelo y tipo de comunidad. Para la identificación a nivel de género se consideraron las descripciones especializadas de Morton *et al.* (2004).

**Ánálisis estadístico.** Para determinar diferencias significativas entre los diferentes tipos de suelo y las comunidades vegetales estudiadas, se realizó un análisis

de varianza, usando el programa SPSS Statistics 23.0, y una prueba de comparación múltiple de promedios Tukey para estimar los resultados de mayor o menor nivel ( $P \leq 0.05$ ). Asimismo, un análisis de correlación Pearson se llevó a cabo para evaluar las asociaciones entre las variables de suelo, con la frecuencia de esporas de hongos vesículo arbusculares (HMVA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Abundancia Vegetal Relativa por Zona

Se registraron los siguientes tipos de comunidad vegetal: Matorral inerme parvifolio (MIP) (28 spp.) donde *Larrea tridentata* representó el 38% del total de individuos presentes en el área (Figura 1). Matorral mediano subinerme (MMS) en esta zona se registraron 32 especies, de las cuales 25 contaban con menos del 3% de la abundancia total, destacando *Fouquieria splendens* y *Yucca elata*, por lo que se decidió agruparlas, representando así el 24% de los individuos registrados; *L. tridentata* representó el 23% de los individuos de la zona y *Bahia absinthifolia* presentó un 19% de individuos (Figura 2). Matorral de médanos (MDM), *Gutierrezia sarothrae* representó al 37% de los individuos de la comunidad vegetal, mientras que ocho especies con menos del 4% de abundancia individual, representaron el 23% de los individuos, en este grupo se ubican las Asteráceas; *Y. elata* presentó una alta abundancia con el 19% del total de los individuos, mientras que *Prosopis juliflora* solo representó el 7% (Figura 3). Sin embargo, la cobertura de *P. juliflora* var. *glandulosa* fue la más representativa como especie clave, al servir como hábitat y alimento de especies

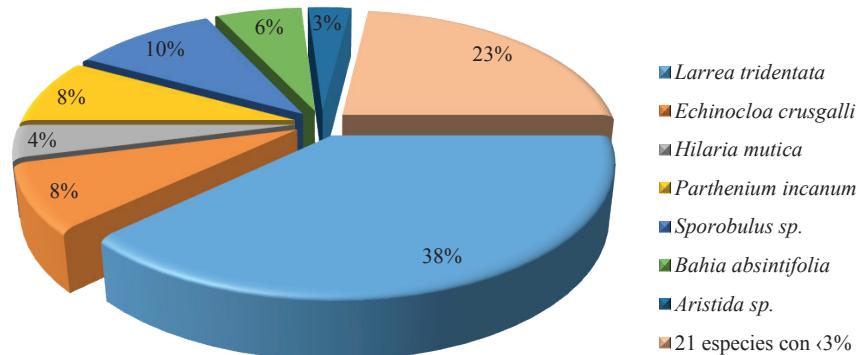


Figura 1. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral inerme parvifolio de gobernadora.

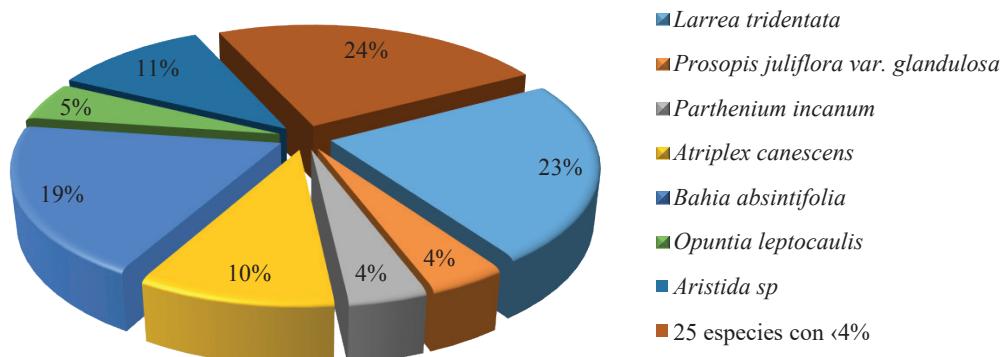


Figura 2. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral mediano subinerme.

animales en este tipo de comunidad. La abundancia concuerda con lo mencionado por Enríquez (2003) y Sosa *et al.* (2006), quienes determinaron los tipos de vegetación existente en zonas áridas de Chihuahua y encontraron los mismos tipos de vegetación y abundancias similares a las registradas en este estudio, principalmente matorral micrófilo y asociaciones de especies arbustivas, principalmente *Larrea-Prosopis-Yucca-Flourenzia cernua*. La especie con mayor presencia fue *L. tridentata*, se encontró en las tres comunidades vegetales, y en dos de ellas era una de las especies de mayor abundancia. Estos resultados concuerdan con los presentados por González y Sosa (2003) y Sosa *et al.* (2006); al hacer una clasificación de comunidades vegetales en regiones áridas del desierto chihuahuense, y en ambos estudios encontraron que las especies presentes en más del 50% del área de estudio fueron *L. tridentata* y *P. juliflora* var. *glandulosa*.

### Análisis de Diversidad Vegetal

Se encontró que el matorral parvifolio (MIP) presentó la más alta frecuencia, se registraron 2734 individuos, no obstante, el índice de diversidad no es muy elevado ( $H' = 1.78$ ). En este caso, el índice de dominancia de Simpson resultó elevado ( $D = 0.71$ ), la baja diversidad se debe a la alta dominancia de algunas de estas especies, principalmente *L. tridentata* como la más abundante, lo cual coincide con el bajo resultado de equitatividad ( $J' = 0.39$ ). El matorral mediano subinerme (MMS) representó la comunidad vegetal con mayor riqueza (32 spp.), no obstante que la frecuencia es baja comparada con el MIP, ya que solo se registraron 701 individuos, la distribución de la abundancia es mucho mayor ( $J' = 0.69$ ) y esto queda de manifiesto al ver los resultados de diversidad ( $H' = 2.36$ ). MDM es el sitio de menor riqueza (13

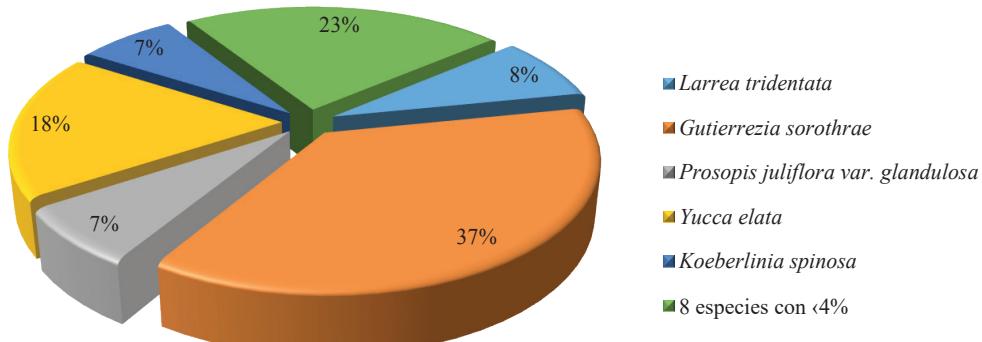


Figura 3. Abundancia relativa de las especies vegetales en la zona de matorral de médanos.

spp.) y frecuencia, esta comunidad vegetal es la que presentó menor dominancia ( $D = 0.22$ ); a su vez presentó una diversidad más elevada ( $H' = 2.45$ ); debido principalmente a que las especies se distribuyen de una forma más regular en esta zona, por lo que se registró la mayor equitatividad ( $J' = 0.86$ ), (Cuadro 1). Estos resultados se relacionan con las abundancias relativas por zona, en este caso la comunidad con mayor dominancia resultó ser la que presentó una alta abundancia de una sola especie (*L. tridentata*); así mismo la zona con menor dominancia de especies es la que presentó una distribución en cuanto abundancias de las especies más homogénea. En general, la riqueza y distribución florística fue menor a la registrada en otros estudios con vegetación similar (Encina-Domínguez *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2015). Sin embargo, los datos coinciden con respecto a las familias mejor representadas como Cactaceae, Fabaceae y Asteraceae, las cuales son asociadas a comunidades de matorrales desérticos del norte de México (Estrada-Castillón *et al.*, 2005; González-Rodríguez *et al.*, 2010). Carmona Lara *et al.* (2008) mencionan que las cactáceas se distribuyen de manera más uniforme, lo que concuerda con lo encontrado en la comunidad MMS que se caracteriza por una riqueza de cactáceas representativas, tales como: *Opuntia engelmannii*, *O. violacea*, *O. ficus-indica*, *Echinocactus coccineus*, entre otras, cuyos valores reflejan una baja dominancia, pero una alta equitatividad, lo que indica una distribución muy cercana a la homogeneidad.

### Similitud entre Comunidades Vegetales

Las comunidades vegetales similares fueron MIP y MMS, ya que comparten el 76.64% de las especies vegetales, mientras que las zonas menos similares entre

sí fueron MMS y MDM, ya que solo el 21.21% de las especies se presentaron en ambas zonas (Cuadro 2).

Se formaron tres grupos: las zonas de MIP-MMS (76% similitud), MIP-MDM (31% similitud) y el tercer grupo formado por MDM-MMS (22% similitud) (Cuadro 2). La alta similitud evidente entre MMS y MIP es debido a que en ambas comunidades hay una alta abundancia de *L. tridentata*; de modo que la comunidad donde menos se presenta esta especie es la que menor similitud comparte con el resto. Algunos estudios con resultados similares, como los de González *et al.* (2013), muestran que el 86 % de la cobertura total proviene de *Larrea tridentata* (48 %) y *Flourensia cernua* (38 %). Por otra parte, los valores de los índices se asemejan a los presentados por González-Delgado *et al.* (2016), en el cual caracterizaron la composición florística de dos sitios del matorral micrófilo en Nuevo León, presentando igualmente dominancia por *L. tridentata* y *F. cernua*, los índices de similitud entre estas se vieron afectados de la misma manera que en nuestro estudio por la ausencia-presencia de la especie dominante

### Caracterización del Suelo por Comunidad Vegetal

La textura del suelo en MIP fue arenosa franca, con pH medianamente alcalino, sin problemas de salinidad. La concentración de nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) del suelo fue bajo, mientras que el contenido de fósforo se presentó en un nivel alto (Cuadro 3). La textura del suelo para MMS fue arenosa franca, pH medianamente alcalino, con un contenido de nitrógeno bajo, y al igual que la anterior comunidad los niveles de fósforo fueron altos, siendo en este sitio el suelo en el cual se presentó la mayor concentración, así mismo presentó diferencias estadísticas significativas

**Cuadro 1. Parámetros ecológicos de las comunidades vegetales estudiadas.**

Parámetros ecológicos	MIP	MMS	MDM
Riqueza (S)	28	32	13
Frecuencia (N)	2734	701	394
Diversidad de Shannon ( $H'$ )	1.78	2.36	2.45
Equitatividad de Pielou ( $J'$ )	0.39	0.69	0.86
Dominancia de Simpson ( $D$ )	0.71	0.38	0.22

MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MM = matorral de médanos.

**Cuadro 2. Resultados del índice de similitud de Morisita.**

	MIP	MMS	MDM	%	
				-	
MIP	†	76.64	30.90		
MMS	76.64		21.21		
MDM	30.90	21.21			

† Diagonal superior e inferior: porcentaje de similitud de especies.

MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MDM = matorral de médanos.

( $P < 0.05$ ) en cuanto a conductividad eléctrica, ya que contó con la concentración mayor de sales solubles entre las comunidades vegetales evaluadas. Finalmente, en MDM la textura del suelo fue arenosa, con pH medianamente alcalino, con baja salinidad de acuerdo a la concentración eléctrica. El nitrógeno inorgánico se encontraba en niveles muy bajos y la cantidad de fósforo fue similar a la presentada en el MIP. Las características químicas del suelo son muy importantes para la oclusión del fósforo soluble, ya que este elemento se encuentra preferentemente en suelos alcalinos, aunque es común encontrarlo unido a iones de calcio y magnesio (Cross y Schlesinger 2001; Buckingham *et al.*, 2010). Es de esperarse que en suelos calcáreos como los encontrados en los matorrales de dunas (MM), el fósforo asimilable se encuentre reducido o poco disponible para las plantas.

Wilson y Thompson (2005) mencionan que la principal fuente de nitrógeno en estos paisajes está dada por las relaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los mezquites, además del aporte significativo que las hojas en descomposición pueden acarrear al suelo. En este estudio los valores bajos de nitrógeno y fósforo pueden estar relacionados con los valores altos del pH, dando como resultado una baja disponibilidad (Dragovic *et al.*, 2008); González-Rodríguez *et al.* (2013) reportaron valores similares en el pH del suelo en dos sitios de estudio en el Noroeste de México (Nuevo León y Coahuila), mencionan que esta variable tiende a limitar la solubilidad de macro y micro nutrientes en el suelo, siendo los macronutrientes nitrógeno y fósforo los más afectados.

En cuanto al contenido de fósforo extractable en el suelo, la comunidad vegetal del MMS presentó los mayores niveles de fósforo, mientras que el resto de las comunidades MM y MIP no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3). Esto puede deberse a la riqueza vegetal de especies arbustivas y densidad de esporas de hongos endomicorrízicos presentes en el suelo. Los residuos orgánicos de las plantas, animales y biomasa microbiana muerta contienen compuestos de fósforo orgánico que pueden ser hidrolizados y mineralizados por acción de enzimas (fosfomono-, fosfodi- y fosfotri-esterasas) de origen tanto microbiano, fúngico o vegetal (Cross y Schlesinger, 2001; Tapia-Torres y García-Oliva, 2013). Es importante recalcar que la zona MMS presentó la mayor riqueza tanto en géneros de especies vegetales como de HMVA. Los suelos de las diferentes zonas presentaron textura arenosa. El MDM presentó el mayor porcentaje de arena, mientras que MIP y MMS no presentaron diferencias significativas. La comparación del porcentaje de limo, el cual se comporta de manera inversa al porcentaje de arena, es decir, también presenta dos grupos, solo que en este caso MM, es el matorral con menor cantidad de limo, mientras que los matorrales MIP y MSM presentaron un porcentaje de limo similar (Cuadro 3).

### Identificación y Número de Esporas de HMVA

Se encontraron un total de 133 esporas en cuatro géneros: *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora* y *Paraglomus*, coincidiendo con los resultados obtenidos

**Cuadro 3. Medias de los parámetros del suelo analizados para cada comunidad.**

Parámetro	MIP	MMS	MM	$P < 0.05$
pH	7.808	7.99	7.988	0.465
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	1.059 b <sup>†</sup>	1.213 ab	1.481 a	0.000*
Temperatura (°C)	22.5 a	21.75 a	21.375 a	0.004*
Nitrógeno inorgánico (mg kg <sup>-1</sup> )	17.5675 a	17.7325 a	6.6875 b	0.015*
Fósforo asimilable (mg kg <sup>-1</sup> )	23.0625 b	72.5075 a	23.6425 b	0.004*
Arena (%)	88.7 b	88.24 b	98.2 a	0.000*
Limo (%)	13.28 a	13.2 a	3.78 b	0.000*
Arcilla (%)	1.98	1.44	1.98	0.224
Clasificación textural	Arenosa franca	Arenosa franca	Arenosa	

<sup>†</sup> Datos con diferente letra son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según Tukey. \* Datos que indican significancia. MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MDM = matorral de médanos. (Cuadro horizontal).

por Camargo *et al.* (2010); Lugo *et al.* (2008) y Sánchez Colín (2005), quienes reportaron la presencia de los géneros *Acaulospora*, *Glomus* y *Gigaspora* en vegetación xerófila del país. *Glomus* ha sido el principal género observado en zonas áridas y dunas (Beena *et al.*, 2000a y b). Algunas especies reportadas son: *Glomus mosseae*, *Glomus dimorphicum*, *Glomus fasciculatum*, aunque también pueden estar presentes los géneros *Gigaspora* (*Gigaspora gigantea*), *Acaulospora* (*Acaulospora taiwania*) y *Sclerocystis* (Ferrera y Lara, 1987; Beena *et al.*, 2000a y b). Mohan y Mishra (1998) reportaron que esporas de los géneros: *Glomus*, *Gigaspora* y *Sclerocystis* estuvieron colonizando suelos desérticos de la India. El MMS fue la comunidad con mayor número de HMVA ( $n = 106$  esporas) concentrados en su mayoría en el género *Glomus*. La zona MDM presentó el menor número de esporas y géneros de HMVA, seguido del MIP con 19 registros de esporas. Estos resultados coinciden con los que obtuvieron Chimal-Sánchez *et al.* (2016), reportando que la zona de mayor riqueza también fue un matorral mediano subinerme, considerado como una zona de transición entre las comunidades vegetales estudiadas; mientras que en las demás comunidades muestreadas cuya vegetación es más definida, la densidad de esporas fue mucho menor. La mayoría de los estudios de zonas áridas en México, coinciden que los suelos presentan una riqueza de esporas baja (Bashan *et al.*, 2007; Tapia-Goné *et al.*, 2008; Chimal-Sánchez *et al.*, 2016). Algunas especies se encontraron en más de una comunidad vegetal (Cuadro 4).

Existen otros factores que son importantes a considerar como respuesta a la presencia y densidad de esporas en las comunidades vegetales. Entre ellos se encuentra la identidad del hospedero, la afinidad entre hongo-planta, las características físico-químicas del

suelo, el clima y específicamente la humedad retenida en el suelo (Armenta *et al.*, 2016), algunas de ellas no consideradas en este estudio.

#### Comparación del Número de Esporas por Comunidad Vegetal en Relación a la Concentración de Nitrógeno Inorgánico y Fósforo Asimilable

El análisis de correlación de Pearson indicó que no existió relación estadística significativa entre la cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo presente en cada comunidad vegetal con el número de las esporas de HMVA (Figura 4); De acuerdo con Santos *et al.* (2006) existe una correlación negativa entre el nitrógeno y la presencia de HMVA; pero de acuerdo con otros investigadores (Pezzani *et al.*, 2006; Camargo y Dhillion, 2003), existe una relación positiva entre los niveles de nitrógeno en el suelo y la cantidad de esporas en el área; a pesar de que no se encontró dicha relación, se puede apreciar una tendencia, ya que el suelo de la comunidad con mayores valores de esporas coincide con ser el que presentó la mayor concentración de nitrógeno. García Sánchez *et al.* (2008) no encontraron relación entre los niveles de nitrógeno y la diversidad, densidad o presencia de HMVA. Sin embargo, respecto al fósforo, se identificó una significativa relación entre la concentración de este y la densidad de esporas ( $r = 0.987$ ), destacando en el MMS. Aguilera Gómez *et al.* (2008) encontraron que existía una relación

Cuadro 4. Riqueza y número de esporas por comunidad vegetal.

Género	MIP	MMS	MM
<i>Acaulospora</i>	13	11	6
<i>Glomus</i>	6	86	2
<i>Gigaspora</i>	-	5	-
<i>Paraglomus</i>	-	4	-
Número de esporas	19	106	8
Riqueza (géneros)	2	4	2

MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MM = matorral de médanos.

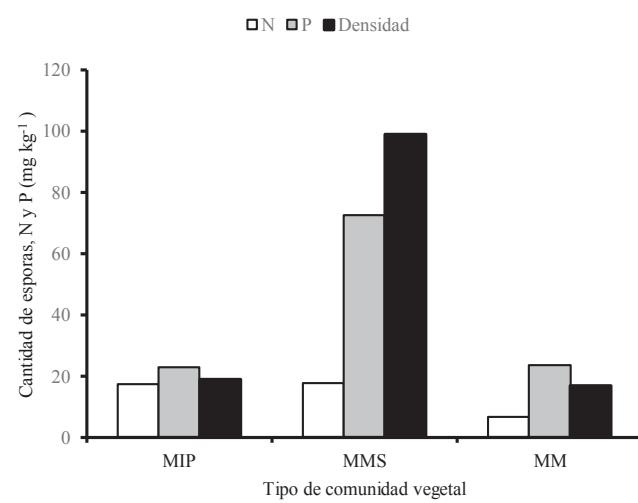


Figura 4. Cantidad de esporas, Nitrógeno y Fósforo en las tres áreas de estudio del ANP médanos de Samalayuca. MIP = matorral inerme parvifolio; MMS = matorral mediano subinerme; MM = matorral de médanos.

entre el número de esporas y la cantidad de fósforo presente en el suelo; al igual que Pezzani *et al.* (2006) y Valentine y Kleinert (2007), quienes encontraron que los lugares con mayor cantidad de fósforo coincidían con ser los de mayor cantidad, riqueza y colonización de HMVA. Las micorrizas arbusculares son consideradas como las asociaciones fúngicas que aportan el mayor y más importante flujo de carbono y nutrientes dentro de los ecosistemas desérticos (Montaño *et al.*, 2007; Brundrett, 2009). Sin embargo, las condiciones climáticas, principalmente la distribución y frecuencia de las lluvias, pueden influir en la abundancia de las mismas (Gutiérrez-Gutiérrez *et al.*, 2017). En algunos estudios realizados en México, particularmente en la sierra sonorense, se ha denotado que la variación de la capacidad de esporulación de los hongos, no sólo depende del hospedante al que los HMVA se encuentren asociados sino también, por la presencia de lluvia o períodos de sequía, principalmente en la rizósfera de plantas crassicaule del género *Agave*, la esporulación es más abundante en la estación lluviosa que en la época de sequía, además de mostrar una diversidad funcional entre los hongos MVA a lo largo del año. Mencionan también que la disponibilidad de elementos como sodio, potasio y magnesio son determinantes para establecer una relación micorrízica (Ochoa-Meza *et al.*, 2008). La variable precipitación en relación con la densidad de esporas no fue considerada en este estudio.

## CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de las esporas se lograron identificar los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora* y *Paraglomus* de los hongos micorrízicos de tipo vesículo arbusculares (HMVA) presentes en las tres zonas estudiadas dentro del ANP mediano de Samalayuca. En general las especies vegetales dominantes en todos los sitios fueron *Larrea tridentata* y *Prosopis juliflora* var. *glandulosa*, sin embargo, la comunidad vegetal de mayor riqueza de especies fue el matorral mediano subinerme con mayor vegetación característica de zona áridas, como *Atriplex canescens*, *Yucca elata* y *Fouquieria splendens*. Los suelos del área de estudio resultaron arenosos, alcalinos, sin problemas de salinidad, bajos en nitrógeno inorgánico y altos en fósforo extractable. La relación entre la cantidad de esporas y concentración de nutrientes demuestra que entre más pobre en nutrientes, principalmente en

fósforo menor número de esporas y viceversa, aunque no se pudo determinar directamente la resistencia de las plantas con la presencia de los HMVA. Sin embargo, se puede concluir que puede existir una relación de la riqueza de especies vegetales con la concentración de fósforo y la densidad de esporas de HMVA, debido a que la comunidad matorral mediano subinerme (MMS) presentó las tres características mencionadas en mayor número. Por ello, se recomienda continuar los estudios de identificación de especies de HMVA en la rizósfera de las principales especies vegetales más dominantes del matorral desértico y relacionarlo con la calidad del suelo, estacionalidad, clima y los atributos principales de dichas especies vegetales para encontrar una respuesta más directa del comportamiento de estas tres variables; suelo, hongo y planta.

## LITERATURA CITADA

- Aguilera-Gómez, L. I., I. V. Rivas-Manzano, O. Ocampo-Jiménez y V. Olalde-Portugal. 2008. Los Glomales de las planicies del Desierto de Sonora. pp.85-95. In: N. M. Montaño, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy-Ata (eds.). Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UNAM. México, D. F.
- Alanís-Rodríguez, E., A. Mora-Olivio, J. Jiménez-Pérez, M. A. González-Tagle, J. I. Yerena-Yamallel, J. G. Martínez-Ávalos y L. E. González-Rodríguez. 2015. Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Bot. Mex.* 110: 105-117.
- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra.* 17: 179-191.
- Armenta C., A. D., E. Furrazola, S. F. Moreno, G. I. Ayala y A. Ochoa. 2016. Variación en el estatus micorrízico de leguminosas del Desierto Sonorense. *Rev. Cienc. Biol. Salud* 18: 52-58.
- Bashan, Y., T. Khaosaad, B. G. Salazar, J. A. Ocampo, A. Wiemken, F. Oehl, and H. Vierheilig. 2007. Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris*, an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees* 21: 329-335. doi: 10.1007/s00468-007-0126-2.
- Beena, K. R., N. S. Raviraja, and K. R. Sridhar. 2000a. Seasonal variations of arbuscular mycorrhizal fungal association with *Ipomoeapes-caprae* of coastal sand dunes, Southern India. *J. Environ. Biol.* 21: 341-347.
- Beena K. R., N. S. Raviraja, A. B. Arun, and K. R. Sridhar. 2000b. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi on the coastal sand dunes of the west coast of India. *Current Sci.* 79: 1459-1466.
- Brundrett, M. C. 2009. 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 Soil* 320: 37-77. doi: 10.1007/s11104-008-9877-9.

- Buckingham, S. E., J. Ne, B. Titiz-Maybach, and R. L. Reynolds. 2010. Chemical and textural controls on phosphorus mobility in drylands of southeastern Utah. *Biogeochemistry* 100: 105-120. doi: 10.1007/s10533-010-9408-7.
- Caballero-Mellado, J., J. Onofre-Lemus, P. Estrada-de los Santos, and L. Martínez-Aguilar. 2007. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing *Burkholderia* species with capabilities of interest for agriculture and bioremediation. *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 5308-5319.
- Camargo-Ricalde, S. L., I. Reyes-Jaramillo, and N. M. Montaño. 2010. Forestry insularity effect of four *Mimosa* L. species (Leguminosae-Mimosoideae) on soil nutrients of a Mexican semiarid ecosystem. *Agrofor. Syst.* 80: 385-397. doi: 10.1007/s10457-010-9330-y.
- Camargo-Ricalde, S. L. and S. S. Dhillon. 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semiarid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza* 13: 129-136.
- Carmona-Lara, M. P., R. Foroughbakch, A. Flores-Váldez, M. A. Alvarado y M. Guzmán-Lucio. 2008. Flora cactológica y especies asociadas en el área natural protegida Sierra Corral de los Bandidos, Nuevo León, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 79: 307-323.
- Chimal-Sánchez, E., N. M. Montaño, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y L. V. Hernández-Cuevas. 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Rev. Mex. Biodiv.* 87: 242-247.
- Colwell, R. K. 2016. Programa EstimateS (Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples). Programa y guía de uso. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/> uso (consulta: marzo 15, 2018).
- COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero). 1978. Comisión técnica consultiva para la determinación regional de los coeficientes de agostadero. Chihuahua. Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Ganadería. Chihuahua, Chihuahua, México.
- Cross, A. F. and W. H. Schlesinger. 2001. Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils. *Biogeochemistry* 52: 155-172.
- Dragovic, S., N. Mihailovic, and B. Gajic. 2008. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere* 72: 491-495.
- Encina-Domínguez, J. A., J. A. Meave, and A. Zárate-Lupercio. 2013. Structure and woody species diversity of the *Dasyliirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila State, Mexico. *Bot. Sci.* 91: 335-347.
- Enríquez-Anchondo, I. D. 2003. Las cactáceas de Samalayuca. *Rev. Cienc. Tecnol. UACJ* 2: 55-62.
- Estrada-Castillón, E., J. A. Villarreal-Quintanilla y E. Jurado. 2005. Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Act. Bot. Mex.* 73: 1-18.
- Ferrera C., R. and V. Lara F. 1987. Effect of six vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a forage legume (*Dalea bicolor*) from Mexican arid and semiarid zones. *Nitrogen Fixing Tree Res. Rep.* 5: 37-38.
- García-Sánchez, R., A. Monroy-Ata y E. Chimal-Sánchez. 2008. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. pp. 123-136. In: N. M. Montaño, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy-Ata (eds.). *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiaridos*. Mundiprensa, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UNAM. México, D. F.
- González R., H., R. G. Ramírez, I. Cantú S., M. V. Gómez M., M. Cotera C., A. Carrillo P. y J. J. Marroquín C. 2013. Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el noreste de México. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 19: 249-262.
- González P., A. y M. Sosa C. 2003. Análisis de la vegetación del área de protección de flora y fauna Cañón de Santa Elena (desierto chihuahuense, México) utilizando Modelos Digitales de Elevación. *Ecosistemas* 2003/2. URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion1.htm> (Consulta: mayo 15, 2018).
- González-Delgado, M., R. Foroughbakch-Pournavab, L. Rocha-Domínguez, M. A. Guzmán-Lucio y R. González-Rodríguez. 2016. Composición florística y caracterización estructural del matorral desértico micrófilo en Galeana, Nuevo León. *Rev. Mex. Cienc. For.* 8: 83-98.
- González-Rodríguez, H., R. G. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, M. Cotera-Correa, A. Carrillo-Parra y J. J. Marroquín-Castillo. 2013. Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el Noreste de México. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* 19: 249-262.
- González-Rodríguez, H., R. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. Gómez-Meza y J. Uvalle-Sauceda. 2010. Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León. *Polibotánica* 29: 91-106.
- Granados-Sánchez, D., A. Sánchez-González, R. L. Granados-Victorino y A. Borja de la Rosa. 2011. Ecología de la vegetación Chihuahuense. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Amb.* Ed. Esp. 17: 111-130.
- Gutiérrez-Gutiérrez, M., M. Pando-Moreno, H. González-Rodríguez y D. Mendoza-Aguilar. 2017. Efecto del micrositio en la composición de costras biológicas del suelo en un área de matorral micrófilo del desierto chihuahuense, México. *Interciencia* 42: 212-214.
- Hernández-Cuevas, L., S. Castillo-Argüero, P. Guadarrama-Chávez, Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero e I. Sánchez-Gallén. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. *Las Prensas de Ciencias*, UNAM, México, D.F.
- Lugo, M. A., M. Ferrero, E. Menoyo, M. C. Estévez, F. Siñeriz, and A. Anton. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizoseric bacteria diversity along an altitudinal gradient in south american Puna grassland. *Microb. Ecol.* 55: 705-713.
- Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. pp. 643-698. In: A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Agronomy monograph 9, Part 2*. ASA, SSSA. Madison, WI, USA.
- Krebs, Ch. 1998. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Harla. México, D. F.
- Martínez-García, L. B. 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 3: 682-689.
- Mata, M., E. Treviño, A. Valdecantos, J. Jiménez, O. Aguirre, E. Alanís y E. Foroughbakch. 2014. Diversidad y composición vegetal de matorrales en el Valle de Santa Catarina, en el noreste de México. *Rev. Iberoamericana Cienc.* 1: 1-15.

- Mohan, V. and R. N. Mishra. 1998. Studies on VAM association in Marwar Teak (*Tecomella undulata* (Smith) Seeman) in desert soils of Rajasthan. *Mycorrhiza* 10: 16-18.
- Monroy-Ata, A., J. Estevez T., R. García-Sánchez y R. Ríos G. 2007. Establecimiento de plantas mediante el uso de micorrizas y de islas de recursos en un matorral xerófilo deteriorado. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 80: 49-57.
- Montaño, N. M., S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y A. Monroy Ata. 2007. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UAM-Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Mundi-Prensa. México, D. F.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T- Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España.
- Morton, J. B., R. E. Koske, S. L. Stürmer, and S. P. Bentivenga. 2004. Mutualistic arbuscular endomycorrhizal fungi. pp.317-336. In: G. M. Mueller, G. F. Bills, and M. S. Foster (eds.). *Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*. Smithsonian Institution Press. Washington, DC, USA.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana 2000). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Ochoa-Meza, A., M. Esqueda, R. Fernández-Valle y R. Herrera-Peraza. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. En la sierra sonorense, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 189-199.
- Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. *Phosphorus*. pp. 403-430. In: A. L. Page (ed.). *Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties*. Agronomy 9 part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Pezzani, F., C. Montaña, and R. Guevara. 2006. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza* 16: 285-295.
- Sánchez-Colín, M. J. 2005. Micorrizas. Aspectos generales. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D. F.
- Santos, J. C., R. D. Finlay, and A. Tehler. 2006. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a semi-natural grassland along a fertilisation gradient. *New Phytol.* 172: 159-168.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México, D. F.
- Sosa, M., J. L. Galarza, T. Lebgue, R. Soto y S. Puga. 2006. Clasificación de las comunidades vegetales en la región árida del estado de Chihuahua. *Ecol. Aplic.* 5: 53-59.
- Tapia-Goné, J., R. Ferrera-Cerrato, L. Varela-Fregoso, J. C. Rodriguez-Ortíz, J. Lara-Mireles, J. C. Soria-Colunga, H. Cuellar-Torres, M. A. Tiscareño-Irachaeta y R. Cisneros-Almazán. 2008. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Rev. Mex. Mic.* 26: 1-7.
- Tapia-Torres, Y. y Y. F. García-Oliva. 2013. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 31: 231-242.
- Trejo, D., R. Zulueta y L. Lara. 2008. Manual de prácticas para el estudio de la simbiosis micorrizógena arbuscular. Uversidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Uhlmann, E., C. Görke, A. Petersen, and F. Oberwinkler. 2004. Arbuscular mycorrhizae from semiarid regions of Namibia. *Can. J. Bot.* 82: 645-653. doi: 10.1139/b04-039.
- Valentine, A. J. and A. Kleinert. 2007. Respiratory responses of arbuscular mycorrhizal roots to short-term alleviation of P deficiency. *Mycorrhiza* 17: 137-143.
- Wilson, T. B. and T. L. Thompson. 2005. Soil nutrient distributions of mesquite-dominated desert grasslands: Change in time and space. *Geoderma* 126: 301-315. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.10.002.