

Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en monocultivo de trigo en Michoacán, México

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in wheat monoculture in Michoacan, Mexico

Juan Mendoza-Churape ¹, Patricio Apáez-Barrios ², Yurixhi Atenea Raya-Montaño ³, Martha Elena Pedraza-Santos ⁴, Salvador Aguirre-Paleo ³, Margarita Vargas-Sandoval ⁵, Ma. Blanca Nieves Lara-Chávez ³

¹ Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fitopatología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas s/n, esq. Berlín, Colonia Viveros, C.P. 60190, Uruapan, Michoacán, México. ² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Prolongación de la calle Mariano Jiménez s/n, Col. El Varillero, C.P. 60670, Apatzingán, Michoacán, México. ³ Laboratorio de Fitopatología, ⁴ Laboratorio de Cultivo de Tejidos, Facultad de Agrobiología 'Presidente Juárez', Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas s/n, esq. Berlín, Colonia Viveros, C.P. 60190, Uruapan, Michoacán, México. ⁵ Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. General Francisco J. Múgica s/n A-1, Felicitas de Río, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

RESUMEN

Antecedentes: En México el trigo es considerado un grano básico, en 2019 se sembraron 526,449 ha, con producción de 3,121,601 t de grano. Las prácticas agrícolas como labranza, fertilización y falta de rotación de cultivos afectan la composición de la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA).

Objetivo: Determinar la diversidad e identificar taxonómicamente las especies de HMA en monocultivo de trigo con altas dosis de fertilización inorgánica.

Métodos: El estudio se ubicó en José Sixto Verduzco, Michoacán, México. Las muestras de suelo se recolectaron del horizonte superior (0-15 cm de profundidad) en cultivos de trigo de invierno durante marzo 2018. Las esporas se aislaron de muestras de 30 g y se identificaron morfológicamente. La diversidad se calculó usando el índice de Shannon-Wiener.

Resultados y Conclusiones: Se encontraron nueve especies, ocho de ellas fueron identificadas a nivel de especie: *Claroideoglossum etunicatum*, *Diversispora spurca*, *Entrophospora infrequens*, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis sinuosa*, *Septoglossum constrictum* y *Sieverdingia tortuosa*. *Funneliformis mosseae* exhibió la mayor abundancia relativa (50 %). Las muestras de suelo agrícola con monocultivo de trigo presentaron baja diversidad de HMA (1.59) y alta frecuencia de una sola especie, limitando así los efectos ventajosos que estos microorganismos ejercen sobre los cultivos.

Palabras clave: micorriza arbuscular, esporas, monocultivo, trigo

ABSTRACT

Background: In Mexico, wheat serves as a staple grain. In 2019, wheat was planted in 526,449 ha of area, and 3,121,601 t of grain was produced. The agricultural practices, such as tillage, fertilization, and lack of crop rotation, have been shown to affect the community composition of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in wheat.

Objective: To determine the diversity and to taxonomically identify AMF in wheat monoculture handled with high doses of inorganic fertilizers.

Methods: The study was conducted in José Sixto Verduzco, Michoacán, Mexico. The soil samples were collected from the upper horizon (0-15 cm depth) of the winter wheat crops during March, 2018. The spores were isolated from 30 g samples and identified morphologically. The diversity was evaluated using the Shannon-Wiener index.

Results and Conclusions: Nine species were found, eight of them were identified at the species level: *Claroideoglossum etunicatum*, *Diversispora spurca*, *Entrophospora infrequens*, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Sclerocystis sinuosa*, *Septoglossum constrictum* and *Sieverdingia tortuosa*. *Funneliformis mosseae* exhibited the highest relative abundance (50 %). The agricultural soil samples with wheat monoculture exhibited low AMF diversity (1.59) and high frequency of a single species, thereby limiting the advantageous effects exerted by these microorganisms on crops.

Keywords: arbuscular mycorrhiza, spores, wheat, monoculture

ARTICLE HISTORY

Received 04 August 2020 / Accepted 11 July 2021

Published on line: 16 July 2021

CORRESPONDING AUTHOR

✉ Ma. Blanca Nieves Lara Chávez, blanca.lara@umich.mx

ORCID: 0000-0003-3776-4410

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se cuenta con tecnologías agrícolas sustentables que permiten reducir el impacto ambiental causado por el uso de fertilizantes químicos y además aumentan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, entre estas tecnologías destacan los biofertilizantes formulados con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Los HMA son simbioses obligados de las plantas con capacidad de conferirles resistencia a distintos tipos de estrés biótico y abiótico (Salmerón-Santiago et al., 2015).

Un número importante de plantas cultivadas y no cultivadas captan sus nutrimentos por medio de interacciones con los HMA (Gosling et al., 2006; Mahmood y Rizvi, 2010). Estos hongos incrementan el índice de clorofila, el contenido foliar de elementos químicos (Díaz et al., 2016), confieren tolerancia a la salinidad (Medina-García, 2016) e incluso, favorecen la tolerancia a la sequía mediante la alteración de los perfiles hormonales de las plantas (Ruiz-Lozano et al., 2016). Hay evidencias que indican que los HMA favorecen el crecimiento radical y mejoran la producción de biomasa; lo que resulta en plantas más vigorosas y tolerantes a los daños causados por plagas (Cruz et al., 1998; Mahmood y Rizvi, 2010; Gañán et al., 2011).

En ecosistemas agrícolas, se ha descrito ampliamente que la micorriza arbuscular favorece el crecimiento vegetal; la colonización micorrizica produce cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos en las raíces que mejoran el estado general de las plantas y contribuyen a aliviar el estrés abiótico (metales pesados, salinidad, etc.) y bióticos (daños por fitopatógenos, cambios microbianos en la rizósfera, etc.). Varios estudios han demostrado que la inoculación con HMA mejora el crecimiento de las plantas bajo estrés salino, esto puede ser atribuido al incremento en la adquisición de nutrientes minerales como fósforo (P), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y otros. También existen indicios que los HMA protegen el metabolismo de las hojas de la toxicidad por sodio (Cruz et al., 1998; Medina-García, 2016). Sin embargo, las prácticas agrícolas son los principales factores de perturbación que cambian la microbiota y reducen negativamente la riqueza de HMA, cuya importancia ecológica es clave para reducir la dependencia de los cultivos a la fertilización química (Chimal-Sánchez et al., 2015).

La identificación de HMA en agroecosistemas es escasa, por lo que es necesario realizar estudios sobre diversidad en cultivos con manejo agronómico intensivo (Schalamuk et al., 2003; Palenzuela et al., 2011; Pérez-Luna et al., 2012; Oehl et al., 2015). El conocimiento preciso de la diversidad de HMA en un suelo agrícola puede contribuir a generar estrategias adecuadas para su conservación y manejo (Chimal-Sánchez et al., 2016). La determinación de especies de HMA es mediante características morfológicas de las esporas (estructura subcelular, hifa de sostén, forma de germinación de la espora, color, tamaño) (Oehl et al., 2008; Schüßler y Walker, 2010; Redecker et al., 2013; Rivera et al., 2016). Este método es fundamental para la determinación a nivel de especie; sin embargo, las herramientas moleculares han sido un aporte importante en su identificación (Estrada et al., 2011; Oehl et al., 2011, 2015; Pereira et al., 2016).

En las regiones de México donde se cultiva el trigo son pocos los estudios sobre la identificación de especies de HMA y la mayoría están enfocados al uso de HMA como biofertilizantes (Borie et al., 1998; Portilla et al., 1998; Montaña et al., 2001; Covacevich et al., 2005). Además, el manejo intensivo de los suelos en este cereal podría ocasionar la pérdida de microorganismos benéficos. Por esto, en esta investigación se planteó como objetivo determinar la diversidad e identificar taxonómicamente las especies de HMA en terrenos con monocultivo de trigo manejado con dosis altas de fertilización inorgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en diez parcelas colindantes (Potrero de Ramos, Potrero la Abundancia, San Carlos, El Charco, El Cuervo, Las Víboras, La Cruz, El Cazcorvo, El Calicanto y El Cisne) pertenecientes a la localidad de La Calera (Nacimientos) del municipio José Sixto Verduzco, localizado al norte del estado de Michoacán, México, entre los paralelos 20° 09' y 20° 20' de LN y 101° 26' y 101° 40' de LO y altitud entre 1,700 y 2,100 msnm.

El clima es templado con lluvias de verano, precipitación pluvial de 799.4 mm anuales, la temperatura oscila entre 2.5 y 36 °C. El tipo de suelo predominante es el Vertisol en 93 % (INEGI, 2021). Todos los suelos presentan textura arcillosa: arena (17.6 %), limo (30 %) y arcilla (52.4 %).

En esta localidad tradicionalmente se ha sembrado trigo en invierno y en el ciclo agrícola primavera-verano se ha establecido el cultivo de camote (*Ipomoea* sp.), este sistema ha permanecido alrededor de 10 años. Sin embargo, cuando las lluvias de verano han sido escasas, no se siembra el camote y se deja descansar la parcela. La preparación del terreno para la siembra del cultivo de trigo se efectúa de manera mecanizada, con arados de discos de vertedera para voltear la capa de suelo, entre 8 y 10 días después se realizan dos pasos de rastra con un arado de subsuelo. Posteriormente, se preparan surcos, de 70 a 80 cm de ancho y de 15 a 30 cm de altura, con dos o tres hileras bien definidas. El cultivo se fertiliza durante la siembra con la fórmula química 194-40-00, que corresponde a la aplicación de 300 kg de nitrato de amonio más 87 kg de superfosfato de calcio triple y al primer riego de auxilio con 220 kg de urea. No se aplica materia orgánica.

Recolección de muestras y análisis químico de los suelos

Durante marzo de 2018 (estación seca) en cada parcela se tomaron al azar cinco muestras de suelo (cada una de 1 kg) del horizonte superior (0-15 cm de profundidad). Las muestras se mezclaron y homogenizaron para formar una muestra compuesta de 5 kg de suelo por parcela.

De cada parcela se tomó una submuestra de suelo de 1 kg que fue tamizada (≤ 2 mm) y se midió el pH (1:2 agua), nitrógeno (Microkjendhal), fósforo (Bray) y materia orgánica (Walkey-Black). Las determinaciones se realizaron de acuerdo con las metodologías presentadas en la Norma Oficial Mexicana (2002).

Extracción de esporas

Para separar las esporas se tomaron cinco submuestras de 30 g de la muestra compuesta de cada parcela (5 kg). La extracción se efectuó por la técnica de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguido de centrifugación (900 g) en sacarosa al 60 % (p/v). Finalmente la sacarosa se decantó y las esporas se lavaron con agua para eliminar la sacarosa. Las esporas obtenidas en cada submuestra se agruparon en morfoespecies y se colocaron en portaobjetos para elaborar preparaciones permanentes con alcohol polivinílico-lacto-glicerol y alcohol polivinílico-lactoglicerol más reactivo de Melzer en proporción 1:1 (INVAM, 2017).

La determinación taxonómica de los HMA se efectuó mediante el análisis de las características morfológicas y subcelulares de las esporas como: color, tamaño, hifa de sostén, estructura de la pared, tipo de ornamentación y reacción de las capas de la pared al reactivo de Melzer (INVAM, 2017). Para la identificación de las especies, las características morfológicas se compararon con descripciones del listado de especies reportadas a nivel mundial para Glomeromycota conocidas y disponibles a través de enlaces en los sitios Web: <http://invam.caf.wvu.edu/> (INVAM, 2017), <http://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas> (Goto y Jobim, 2020) y <http://www.amf-phylogeny.com/species>. Los caracteres de las esporas se observaron con un microscopio óptico Nikon Eclipse H550L y se registraron en fotomicrografías. El tamaño de las esporas, diámetros de las hifas y grosor de las capas de la pared se obtuvieron con el programa G-Capture Pro-7, el software está integrado al microscopio. La diversidad se calculó mediante el índice de Shannon-Wiener (Magurran, 1988) de acuerdo a la siguiente fórmula: $H' = -\sum p_i \ln p_i$, donde p_i es el número de esporas de una especie, dividido entre el total de esporas aisladas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico mostró valores de pH de fuertemente ácido a moderadamente ácido, con contenido de materia orgánica muy bajo y concentración alta de fósforo y de media a alta de nitrógeno (Tabla 1).

Las esporas de HMA se encontraron en la rizósfera de plantas de trigo en todos los sitios de muestreo (Tabla 2). En total se registraron nueve morfoespecies, ocho se identificaron al nivel de especie, y una no fue identificada: seis se ubicaron en el Orden Glomerales y dos especies en el Orden Diversisporales, no se encontraron representantes de los Órdenes Archaeosporales y Paraglomerales. Del Orden Glomerales en la Familia Claroideoglomeraceae, se identificó a *Claroideoglossum etunicatum* (W.N. Becker & Gerd) C. Walker & A. Schüßler; en la familia Glomeraceae, se encontró a *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd) C. Walker & A. Schüßler; *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl; *Sclerocystis sinuosa* Gerd. & B.K. Bakshi, y *Septoglomus constrictum* (Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl. Del Orden Diversisporales, en la familia Diversisporaceae se identificó a *Diversispora spurca* (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss)

Tabla 1. Características del suelo en las parcelas muestreadas

Parcelas	N mg Kg ⁻¹	P mg Kg ⁻¹	pH	MO %
Potrero de Ramos	30.19	40	4.02	3.47
Potrero la Abundancia	29.96	39	5.7	2.21
San Carlos	32.01	30	5.5	3.65
El Charco	30.28	40	5.01	3.18
El Cuervo	32.86	39	5.06	2.74
Las Víboras	29.01	39	4.7	2.01
La Cruz	30.01	42	5.01	2.21
El Cazcorvo	31.18	40	5.0	2.41
El Calicanto	30.21	41	4.9	2.33
El Cisne	29.12	42	5.07	2.14

Tabla 2. Presencia y ausencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) identificados en la rizósfera de monocultivos de trigo, en diez parcelas del municipio de Sixto Verduzco, Michoacán, México

Sitios de Colecta	Especies de HMA identificadas							
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Sieverdingia tortuosa</i>	<i>Septoglomus constrictum</i>	<i>Funneliformis mosseae</i>	<i>Rhizophagus intraradices</i>	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	<i>Entrophospora infrequens</i>	<i>Diversispora spurca</i>
Potrero de Ramos	X	-	-	X	-	-	-	X
Potrero la Abundancia	X	-	-	-	X	-	X	X
San Carlos	-	-	X	X	X	X	-	X
El Charco	-	-	-	X	X	-	-	X
El Cuervo	-	-	-	X	-	-	-	-
Las Víboras	-	-	-	X	-	-	-	-
La Cruz	-	-	-	X	-	-	-	-
El Cazcorvo	-	-	-	X	-	-	-	-
El Calicanto	-	X	X	X	X	-	-	-
El Cisne	-	-	-	-	-	-	X	X

(X) = Presencia de esporas. (-) = Ausencia de esporas

C. Walker & A. Schüßler y *Sieverdingia tortuosa* Blaszk. Niezgoda, B.T.Goto; con Orden y familia inciertos se identificó a *Entrophospora infrequens* (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid (Figura 1).

Estos resultados confirman la presencia de otras siete especies de HMA asociadas al trigo, ya que en este cultivo sólo se han reportado a las especies *Glomus mosseae* (*Funneliformis mosseae*), *Scutellospora pellucida* y *Scutellospora heterogama* (Menéndez et al., 2001) y a los géneros *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora* (Menéndez et al., 2001; Schalamuk et al., 2006).

Contrario a lo encontrado en monocultivos de trigo, en maíz (*Zea mays* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y café (*Coffea arabica* L.) se ha registrado el mayor número de especies de HMA quizá porque son agroecosistemas más estudiados con relación a estos microorganismos (Arias et al., 2012; González-Cortés et al., 2012; Lara-Chávez et al., 2013; Hernando-Posada et al., 2016; Raya et al., 2019; Bertolini et al., 2020). También se ha documentado que la labranza y el monocultivo de cereales afectan negativamente la diversidad de especies de HMA. Al respecto, se encontró mayor riqueza y abundancia de HMA en campos de pastizales

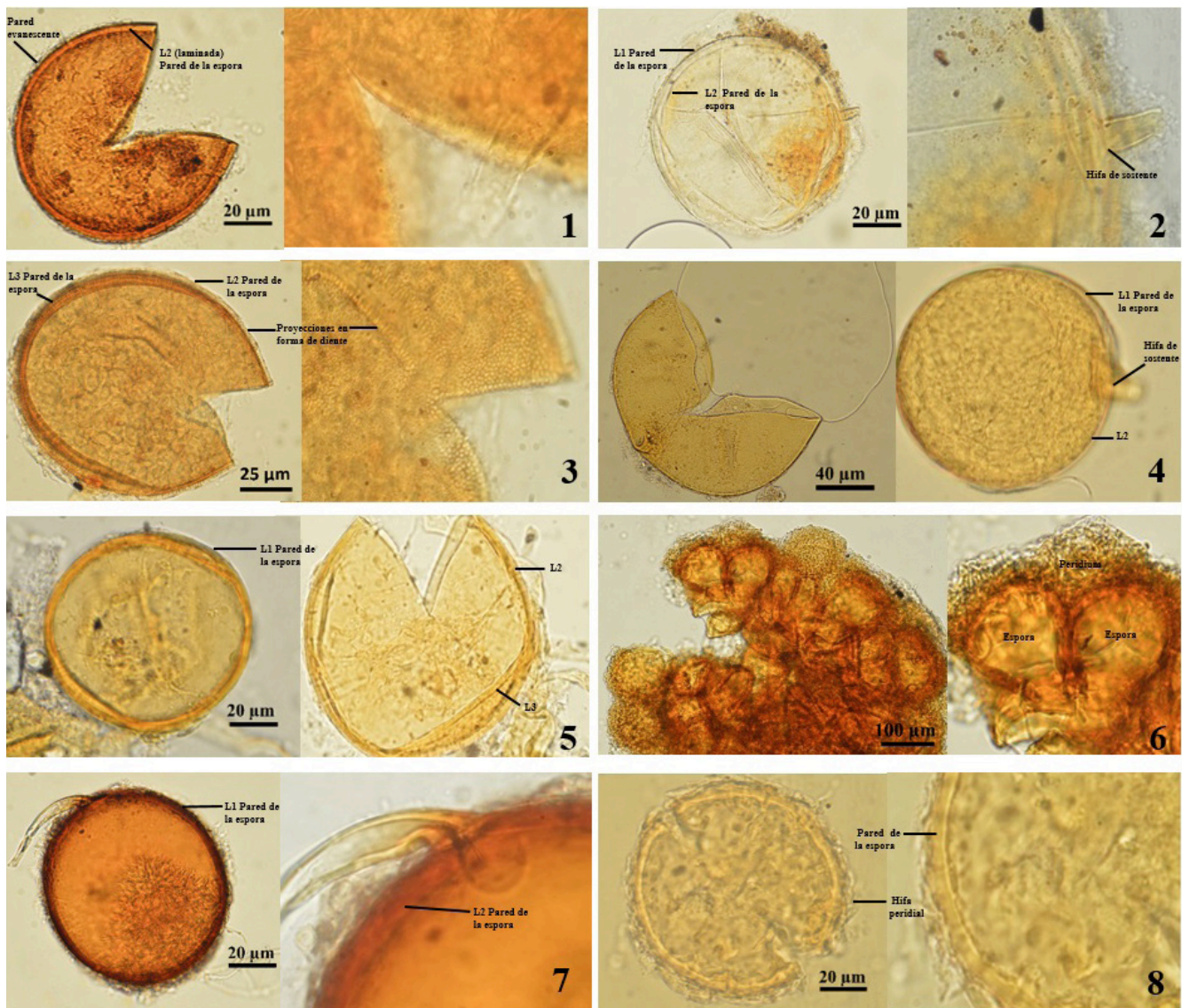


Figura 1. Especies de HMA identificadas en monocultivos de trigo en parcelas del municipio de Sixto Verduzco, Michoacán, México. 1: *Claroideoglossum etunicatum*. 2: *Diversispora spurca*. 3: *Entrophospora infrequens*. 4: *Funnelformis mosseae*. 5: *Rhizophagus intraradices*. 6: *Sclerocystis sinuosa*. 7: *Septoglossum constrictum*. 8: *Sieverdingia tortuosa*.

y trébol rojo en comparación con parcelas cultivadas con cebada y trigo (Menéndez *et al.*, 2001; Schalamuk *et al.*, 2007). Ohel *et al.* (2003) reportan entre seis y ocho especies de HMA en suelos con labranza convencional sembrados continuamente con monocultivo de maíz, más de un ciclo de cultivo por año y con aplicación de grandes cantidades de insumos de producción como los fertilizantes.

Si bien se ha reportado que la composición de especies de HMA es fuertemente afectada por las labores de cultivo a diferencia de la labranza cero, Hendrix *et al.* (1990) y Schalamuk *et al.* (2006), indican que la ausencia de labranza no promueve una riqueza especifi-

ca mayor o equidad en la distribución de las especies de HMA. McGonigle *et al.* (1990) demostraron que la labranza o la perturbación manual mediante pulverización mecánica del suelo no afectó la micorrización en maíz ni alfalfa en condiciones de macetas ni de campo, respectivamente. Estas observaciones comprueban que la pérdida de micorrización es atribuida a otros factores, como la fertilización inorgánica, principalmente de fósforo, ya que estos autores, a partir del suministro de 50 kg ha⁻¹ de P registraron reducción en la colonización de HMA que fueron aún mayores a las dosis de 200 y 400 kg ha⁻¹ de P. En nuestro estudio en el monocultivo de trigo se aplicó la dosis de fertilización

Tabla 3. Diversidad de especies de HMA en los ejidos muestreados con monocultivo de trigo

Especies	Número de esporas/30 g de suelo	Abundancia relativa (%)
<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	4	5.00
<i>Diversispora spurca</i>	11	13.75
<i>Entrophospora infrequens</i>	4	5.00
<i>Funneliformis mosseae</i>	40	13.75
<i>Rhizophagus intraradices</i>	11	50.00
<i>Sclerocystis sinuosa</i>	1	1.25
<i>Septoglossum constrictum</i>	1	1.25
<i>Sieverdingia tortuosa</i>	1	1.25
No Identificadas	7	8.75

inorgánica de 194-40 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, por lo que ésta pudo limitar también la diversidad y abundancia de HMA.

Por otra parte, las especies *Claroideoglossum etunicatum*, *Funneliformis mosseae* y *Sieverdingia tortuosa* (antes denominadas *Glomus etunicatum*, *G. mosseae* y *G. tortuosum*, respectivamente) se han encontrado con frecuencia en otros cultivos (Galvez et al., 2001; Oehl et al., 2003; Schalamuk et al., 2007; Raya et al., 2019). Estos HMA se han identificado desde la tundra de Alaska hasta los desiertos de Namibia (INVAM, 2017) y en diversos agroecosistemas (Menéndez et al., 2001; Pérez-Luna et al., 2012; González-Cortés et al., 2012; Raya et al., 2019), por lo que son consideradas especies generalistas de Glomeromycota. Dichas especies también han sido reportadas en el cultivo de trigo (Schalamuk et al., 2007); sin embargo, en el presente trabajo fue muy baja la dominancia y frecuencia de *Claroideoglossum etunicatum* y de *Sieverdingia tortuosa*. La especie *Funneliformis mosseae* fue dominante bajo estas condiciones edáficas y de monocultivo presentando el mayor número de esporas (Tabla 3).

Las especies *Claroideoglossum etunicatum*, *Septoglossum constrictum*, *Funneliformis mosseae*, *Sclerocystis sinuosa*, *Entrophospora infrequens* y *Diversispora spurca* se han reportado en México en agroecosistemas de aguacate, maíz y café (Varela et al., 2019).

En el presente estudio se encontró que la riqueza de especies de HMA y el índice de diversidad de Shannon-Wiener (1.59) son bajos; aunque nuestros valores son ligeramente más altos que los reportados en el cultivo de maíz de 1.22, 0.78, 0.88 y 0.42 (Collins et al., 1991; Serralde y Ramírez, 2004; González-Cortés et al.,

2012;), pero inferiores a los encontrados en huertos de aguacate (3.192) (Raya et al., 2019). Estas variaciones en los índices de diversidad pueden estar influenciadas por la época del año en que se efectúan los muestreos de esporas, ya que el ciclo de reproducción de las especies de Glomeromycota es distinto, por lo que es importante considerar que las especies de HMA pueden esporular de manera tardía y tener mayor incidencia en los índices de biodiversidad al final del cultivo (Sieverding, 1991).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones edáficas del presente estudio, en los suelos agrícolas con monocultivo de trigo se encontró diversidad baja de hongos micorrizógenos arbusculares lo que puede limitar las ventajas que estos microorganismos ofrecen a los cultivos. De las nueve especies de HMA encontradas 50 % de la abundancia relativa correspondió a *Funneliformis mosseae*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Lucia Yolanda Varela Fregoso por el apoyo brindado en la identificación de especies de HMA, y a la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo financiero para realizar la presente investigación.

LITERATURA CITADA

Arias, R.M., G. Heredia-Abarca, V.L. Sosa, L.E. Fuentes-Ramírez, 2012. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 85: 179-193. Doi: 10.1007/s10457-011-9414-3

- Bertolini, V., N.M. Montaña, B.L. Salazar-Ortuño, E. Chimal-Sánchez, L. Varela, 2020. Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacaná, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 127: 1-16. Doi: 10.21829/abm127.2020.1602
- Borie, B.F., H.R. Rubio, O.C. Schalchli, 1998. Micorrizas arbusculares y actividad fosfatásica de diez cultivares de trigo. *Agricultura Técnica* 58: 47-55.
- Chimal-Sánchez, E., R. García-Sánchez, L.V. Hernández-Cuevas, 2015. Gran riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Micología* 41: 15-26.
- Chimal-Sánchez, E., N.M. Montaña, S.L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez, L.V. Hernández-Cuevas, 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 242-247. Doi: 10.1016/j.rmb.2016.01.024
- Collins, N., F. Pflieger, R. Crookston, S. Simmons, P. Copeland, 1991. Vesicular-Arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytologist* 117: 657-663. Doi: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00970.x
- Covacevich, F., R.H.R. Sainz, P.A. Barbieri, H.E. Echeverría, 2005. Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 23: 39-45.
- Cruz, I.P., G.E. Molina, G. Cruz-Flores, M.I. Ortiz, G.G.B. Manske, 1998. Colonización micorrizica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un Andisol. *Terra Latinoamericana* 16: 55-61.
- Díaz, F.A., C.M. Alvarado, F.A. Allende, C.F.E. Ortiz, 2016. Crecimiento, nutrición y rendimiento de la calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32: 445-456. Doi: 10.20937/RICA.2016.32.04.08
- Estrada, B., J. Palenzuela, J.M. Barea, J.M. Ruíz-Lozano, G. Alves da Silva, F. Oehl, 2011. *Diversispora clara* (Glomeromycetes) a new species from saline dunes in the Natural Park Cabo de Gata (Spain). *Mycotaxon* 118: 73-81. Doi: 10.5248/118.73
- Galvez, L., D.D. Douds, L.E. Drinkwater, P. Wagoner, 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. *Plant and Soil* 228: 299-308. Doi: 10.1023/A:1004810116854
- Gañán, L., M.M. Bolaños-Benavides, N. Asakawa, 2011. Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas de plátano con y sin presencia de nematodos fitoparásitos. *Acta Agronómica* 60: 297-305.
- Gerdemann, J.W., H.T. Nicolson, 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244. Doi: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0
- González-Cortés, J.C., M. Vega-Fraga, L. Varela-Fregoso, M. Martínez-Trujillo, Y. Carreón-Abud, M.E. Gavito, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. *Fungal Ecology* 5: 16-23. Doi: 10.1016/j.funco.2011.09.002
- Gosling, P., A. Hodge, G. Goodlass, G.D. Bending, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 17-35. Doi: 10.1016/j.agee.2005.09.009
- Goto, B.T., K. Jobim, 2020. Laboratorio de Biología de Micorrizas. Disponible en: <http://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas> [consultado 14-7-2020]
- Hendrix, P.F., D.A. Crossley, Jr. J.M. Blair, D.C. Coleman, 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In: Edwards, C.A., R. Lai, P. Madden, R.H. Miller, G. House (eds.), *Sustainable agricultural systems*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny. Pp. 637-654.
- Hernando-Posada, R., P.M. Sánchez, G. Heredia-Abarca, E. Sieverding, 2016. Effects of soil physical and chemical parameters, and farm management practices on arbuscular mycorrhizal fungi communities and diversities in coffee plantations in Colombia and Mexico. *Agroforestry Systems* 92: 555-574. Doi: 10.1007/s10457-016-0030-0
- INEGI, 2021. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafo-logia/#Mapa> [consultado 21-8-2021].
- INVAM (International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi), 2017. Species descriptions from reference cultures. West Virginia University, Morgantown. Disponible en: <http://fungi.invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions.html> [consultado 30-03-2020].
- Lara-Chávez, B.N., T.C. Ávila-Val, S. Aguirre-Paleo, M. Vargas-Sandoval, 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi identification in avocado trees infected with *Phytophthora cinnamomi* Rands under bio-control. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 16: 415-421.
- Magurran, A., 1988. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Mahmood, I., R. Rizvi, 2010. Mycorrhiza and organic farming. *Asian Journal of Plant Sciences* 9: 241-248. Doi: 10.3923/ajps.2010.241.248
- McGonigle, T.P., D.G. Evans, M.H. Millers, 1990. Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytologist* 116: 629-636. Doi: 10.1111/j.1469-8137.1990.tb00548.x
- Medina-García, L.R., 2016. La agricultura, la sanidad y los hongos micorrizicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales* 37: 42-49. Doi: 10.13140/RG.2.1.1117.9765
- Menéndez, B.A., M.J. Scervino, M.A. Godeas, 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils* 33: 373-381. Doi: 10.1007/s003740000336
- Montaña Arias, N.M., G.V. Quiroz, G. Cruz-Flores, 2001. Colonización micorrizica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol. *Terra Latinoamericana* 19: 337-344.
- Norma Oficial Mexicana, 2002. NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002, México, D.F.
- Oehl, F., E. Sieverding, K. Ineichen, P. Mäder, T. Boller, A. Wiemken, 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of ar-

- buscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 2816-2824. Doi: 10.1128/AEM.69.5.2816-2824.2003
- Oehl, F., F.A. Souza, E. Sieverding, 2008. Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhizal-forming *Glomeromycetes*. *Mycotaxon* 106: 311-360.
- Oehl, F., E. Sieverding, J. Palenzuela, K. Ineichen, G.A. da Silva, 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2: 191-199. Doi: 10.5598/imafungus.2011.02.02.10
- Oehl, F., I. Sánchez-Castro, J. Palenzuela, G.A da Silva, 2015. *Palaeospora spainii*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Swiss agricultural soils. *Nova Hedwigia* 101: 89-102. Doi: 10.1127/nova_hedwigia/2014/0229
- Palenzuela, J., J.M. Barea, N. Ferrol, F. Oehl, 2011. *Ambispora granatensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus, associated with *Asparagus officinalis* in Andalucía (Spain). *Mycologia* 103: 333-340. Doi: 10.3852/09-146
- Pereira, M.R.C., L.C. Maia, I. Sánchez-Castro, J. Palenzuela, D.K.A. Silva, R. Sudová, Z. Sýkorová, J. Rydlová, M. Čtvrtlíková, B.T. Goto, G.A. da Silva, F. Oehl, 2016. *Acaulospora papillosa*, a new mycorrhizal fungus from NE Brazil, and *Acaulospora rugosa* from Norway. *Phytotaxa* 260: 014-024. Doi: 10.11646/phytotaxa.260.1.2
- Pérez-Luna, Y.C., J.D. Álvarez-Solís, J. Mendoza-Vega, J.M. Pat-Fernández, R. Gómez-Álvarez, L. Cuevas, 2012. Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Botánica* 69: 46-56. Doi: 10.4067/S0717-66432012000100006
- Portilla, C.I., G.E. Gayosso, G. Cruz-Flores, M.I. Ortiz, G.G.B Manske, 1998. Colonización micorrizica arbuscular, actividad fosfatásica y longitud radical como respuesta a estrés de fósforo en trigo y triticale cultivados en un Andisol. *Terra Latinoamericana* 16: 55-61.
- Raya, M.Y.A., P. Apáez- Barrios, S. Aguirre-Paleo, M. Vargas-Sandoval, R. Paz-Da Silva, M.B.N. Lara-Chávez, 2019. Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate en Uruapan, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 23: 267-274. Doi: 10.29312/remexca.v0i23.2026
- Redecker, D., A. Schüßler, H. Stockinger, S.L. Stürmer, J.B. Morton, C. Walker, 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza* 23: 515-531. Doi: 10.1007/s00572-013-0486-y
- Rivera, P.F.A., V. González-Salazar, J.G. González-Acosta, P.A. Osa-López, 2016. Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrizica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Mill) en Caldas, Colombia. *Acta Agronómica* 65: 398-405. Doi:10.15446/acag.v65n4.51714
- Ruiz-Lozano, J.M., R. Aroca, A.M. Zamarreño, S. Molina, B. Andreo-Jiménez, R. Porcel, J.M. García-Mina, C. Ruyter-Spira, J.A López-Ráez, 2016. Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant, Cell & Environment* 39: 441-452. Doi: 10.1111/pce.12631
- Salmerón-Santiago, I.A., M.E. Pedraza-Santos, L.S. Mendoza-Oviedo, T.A. Chávez-Bárceñas, 2015. Cronología de la taxonomía y cladística de los glomeromicetos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 153-163.
- Schalamuk, S., S. Velázquez, H. Chidichimo, M. Cabello, 2003. Efecto de la labranza directa y labranza convencional sobre la colonización micorrizica y esporulación en trigo. *Boletín Micológico* 18: 15-19.
- Schalamuk, S., S. Velázquez, H. Chidichimo, M. Cabello, 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia* 98: 16-22. Doi: 10.3852/mycologia.98.1.16
- Schalamuk, S., H. Chidichimo, M. Cabello, 2007. Variaciones en la composición de especies de Glomeromycota (Fungi) en un cultivo de trigo bajo distintos sistemas de labranza. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42: 45-53.
- Schüßler, A., C. Walker, 2010. The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. *Royal Botanic Garden Edinburgh, Gloucester*.
- Serralde, O.A.M., M.M.G. Ramírez, 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica* 5: 31-40.
- Sieverding, E., 1991. Vesicular-Arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ No 224, Eschborn*.
- Varela, L., L.V. Hernández-Cuevas, E. Chimal-Sánchez, N.M. Montaña, 2019. Diversidad taxonómica de hongos micorrizógenos arbusculares citados en México. In: Álvarez-Sánchez, F.J., P. Rodríguez-Guzmán, A. Alarcón (eds.), *Biodiversidad de microorganismos en México. Importancia, aplicación y conservación*. Editorial UNAM, Facultad de Ciencias, Ciudad de México. Pp. 104-155.