



Terra Latinoamericana

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

Lara-Capistrán, Liliana; Zulueta-Rodríguez, Ramón; Reyes-Pérez, Juan José; Murillo-Amador, Bernardo; Ledea-Rodríguez, José Leonardo; Hernández-Montiel, Luis Guillermo

Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a calabaza italiana ( *Cucurbita pepo* L.) bajo acolchado plástico en campo

Terra Latinoamericana, vol. 39, e834, 2021, Enero-Diciembre

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.834>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57366066014>

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

UDEM  redalyc.org





Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) bajo acolchado plástico en campo

## Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with field-grown zucchini pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) using plastic padding

Liliana Lara-Capistrán<sup>1,2</sup> , Ramón Zulueta-Rodríguez<sup>2</sup> ,  
Juan José Reyes-Pérez<sup>3</sup> , Bernardo Murillo-Amador<sup>4</sup> ,  
José Leonardo Ledea-Rodríguez<sup>4</sup>  y Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>4‡</sup> 

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Atmosféricas y de Ecología, Universidad Popular Autónoma Veracruzana (UPAV). Av. Ignacio Zaragoza 28, Zona Centro. 91000 Xalapa, Veracruz, México.

<sup>2</sup> Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. km 1.5 Vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>4</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

‡ Autor para correspondencia (lhernandez@cibnor.mx)

### RESUMEN

Las comunidades microbianas tienen efectos sobre el crecimiento y productividad de los cultivos. Sin embargo, se pueden ver afectadas por diversas prácticas agrícolas. El objetivo de la investigación fue determinar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al cultivo de calabaza italiana establecido en campo bajo acolchado plástico. Se evaluó la colonización, riqueza, abundancia, e índice de diversidad micorrízica en ocho tratamientos: V (vermicomposta), APB (acolchado plástico blanco), APB+V; APR (acolchado plástico rojo), APR+V; APN (acolchado plástico negro), APN+V y C (control = sin vermicomposta y acolchado plástico), distribuidos en un diseño de bloques al azar de efectos aleatorios en arreglo factorial, y las interacciones vermicomposta (con y sin vermicomposta), acolchado (sin acolchar, con APR, APB, APN) y ciclo de cultivo invierno-primavera (I-P) y verano-otoño (V-O) con tres repeticiones. Para el análisis estadístico se utilizó el software Statística v. 12.0 para Windows. Tras comprobar la distribución normal de los datos y la homogeneidad de las varianzas, se realizaron análisis de varianza multifactorial y

las medias se compararon según el criterio de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Para colonización micorrízica y riqueza el ANOVA mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la vermicomposta, el acolchado plástico y el ciclo de cultivo. En la abundancia relativa de HMA, el número de esporas de *Acaulospora morrowiae* fue el más alto en el tratamiento APN (37.0%) del ciclo I-P, y la misma predisposición natural ocurrió en el ciclo V-O, donde *A. morrowiae* fue la morfoespecie predominante (50%) en el tratamiento APN. En índice de diversidad solo influyeron los factores vermicomposta y acolchado plástico. Se identificaron 21 morfoespecies en V-O y solo 12 en I-P, y se constató que el APN afectó a los HMA en todas las variables evaluadas.

**Palabras clave:** abundancia, colonización micorrízica, índice de Shannon-Weaver, riqueza.

### SUMMARY

Microbial communities have effects on crop growth and productivity. However, these communities can be affected by various agricultural practices. The aim of this work was to determine the diversity of

#### Cita recomendada:

Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Ledea-Rodríguez, J. L. y Hernández-Montiel, L. G. 2021. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) bajo acolchado plástico en campo. *Terra Latinoamericana* 39: 1-13. e834. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.834>

Recibido: 13 de julio de 2020. Aceptado: 19 de septiembre de 2020.  
Artículo. Volumen 39, febrero de 2021.

arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) associated with the cultivation of zucchini pumpkin established in the field under plastic padding. The abundance, richness and index of mycorrhizal diversity in the padded cultivation of zucchini pumpkin were evaluated under three colors (white, black and red) of padding plastic during the summer-fall (S-F) and winter-spring (W-S) cycles established with the following treatments: C (control), V (vermicompost), WPP (white plastic padding), WPP+V, RPP (red plastic padding), RPP+V, BPP (black plastic padding) and BPP+V. A randomized experimental block design with 10 replicates was used. The ANOVA showed significant differences ( $P \leq 0.05$ ) in mycorrhizal colonization, abundance and diversity index in both culture cycles. In addition, 21 morphospecies were identified in S-A and 12 in W-S. The BPP affected the AMF in all the variables evaluated. Seasonality conditioned mycorrhizal colonization, and the black padding affected the endophyte-host symbiosis, in addition to affecting the mycorrhization, abundance, richness and diversity index of AMF. Knowledge on the diversity of AMFs is important to select the morphospecies with potential as biofertilizers.

**Index words:** *abundance, mycorrhizal colonization, Shannon-Weaver index, wealth.*

## INTRODUCCIÓN

La micorriza arbuscular (MA) es la simbiosis mutualista que se establece entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) del phylum Glomeromycota y la raíz de la mayoría de plantas vasculares (Delavaux *et al.*, 2019). Al respecto, cabe matizar que algunos investigadores postulan que el establecimiento de dichas asociaciones incrementa en las plantas su capacidad de absorción de agua y nutrimentos del suelo, principalmente de fósforo (Le Pioufle *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020). Además, aumentan la resistencia a plagas y enfermedades (Ravnskov *et al.*, 2020), tolerancia al estrés abiótico (Begum *et al.*, 2019) e influyen sobre las propiedades físico-químicas del suelo (Frey, 2019).

La tendencia taxonómica actual de los HMA incluye la combinación de métodos convencionales de identificación basados en caracteres discretos de la estructura subcelular de las esporas (como tamaño, color e hifa de sostén, entre otras) (Calhim *et al.*, 2018),

así como por los análisis filogenético-moleculares (de la región SSU, LSU e ITS) conocidos como taxonomía polifásica (Kusakabe *et al.*, 2018; Sting *et al.*, 2019). Al respecto, Schüßler (2006), identificó 10 géneros y 193 especies de HMA, pero posteriormente Oehl *et al.* (2011) reportaron 29 géneros con 230 especies ordenadas en 14 familias. Sin embargo, la diversidad de HMA en ecosistemas naturales y agroecosistemas podría ser mayor que la estimada (Öpik *et al.*, 2008).

De manera particular, la abundancia, diversidad y funcionamiento de los HMA en los sistemas agrícolas hacia las plantas es influenciado por diversas prácticas agronómicas, incluyendo la labranza del suelo, barbecho, rastreo, rotación de cultivos, aplicación de agroquímicos o productos biológicos y prácticas culturales, entre otros (Chamkhi *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2019; Lehman *et al.*, 2019).

El acolchado plástico es una práctica común para mejorar la producción y sostenibilidad de los cultivos (Gao *et al.*, 2019), debido a su efecto sobre la relación suelo-agua-planta-atmósfera, sin embargo, puede afectar la abundancia y diversidad de los HMA al influir en el microclima del suelo (Dong *et al.*, 2017; Qin *et al.*, 2017).

En particular, existen estudios escasos acerca del efecto del color del acolchado plástico sobre las comunidades microbianas (Zhu *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2019), las cuales, son de importancia en la fertilidad del suelo (Okonji *et al.*, 2018), conservación de la humedad y en la mejora del crecimiento y potencial productivo de los cultivos (Zhu *et al.*, 2017). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la diversidad de HMA asociados al cultivo de calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.) cv. 'Grey Zucchini' establecido en campo utilizando acolchados plásticos de diferente color.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El presente estudio se realizó en un área agrícola donde se cultivó calabacita italiana (*C. pepo*) durante los ciclos verano-otoño (V-O 2017) e invierno-primavera (I-P 2017) localizado a 19° 29'-19° 36' N, los meridianos 96° 48'-96° 58' O y altitud de 1600 m, en Xalapa, Veracruz, México. Consideraciones climáticas reportadas por Soto y Gómez (1993) indican que la ciudad se encuentra ubicada en una zona de transición

entre clima templado C(fm)w”(i”)g y clima semicálido (A)C(fm)w”(i”)g con lluvia presente durante todo el año (máxime en verano) y una temperatura media anual comprendida entre 12 y 18 °C.

### Tratamientos y Manejo Agronómico del Cultivo

De acuerdo al sistema de producción establecido para *C. pepo*, se dispusieron ocho tratamientos: V (vermicomposta), APB (acolchado plástico blanco), APB+V; APR (acolchado plástico rojo), APR+V; APN (acolchado plástico negro), APN+V y C (control = sin vermicomposta y acolchado plástico). Dichos tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar de efectos aleatorios en arreglo factorial con tres repeticiones, y las interacciones vermicomposta (con y sin vermicomposta), acolchado (sin acolchar, con acolchado plástico rojo, blanco y negro) y ciclo de cultivo invierno-primavera (I-P) y verano-otoño (V-O). A los tratamientos con vermicomposta se les aplicaron 30 g de humus de lombriz al inicio del experimento.

Se obtuvo una muestra de suelo de los tratamientos al inicio y final de cada ciclo y se determinó; pH (1:2), N, P y K en mg·kg<sup>-1</sup>, materia orgánica (M.O., %) y textura en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Campus Xalapa y en el Laboratorio de Análisis de Suelos del INIFAP, Campus Cotaxtla, utilizando

los métodos estandarizados y especificaciones indicadas en la NOM-021-RECNAT-2000 expedida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales el día 31 de diciembre de 2002 (SEMARNAT, 2002) (Cuadros 1 y 2).

El manejo agronómico del cultivo en ambos ciclos se basó en un acolchado plástico InterGro, Inc. de color negro, rojo y blanco, calibre 90 de baja densidad (LDPE Monocapa o co-extrusión de polietileno, con una capa de aluminio) con protección contra UV, y saturación hídrica-media con aspersión manual. Se fertilizó con urea (CO[NH<sub>2</sub>]<sub>2</sub>), DAP (fosfato diamónico, NP 18-46) y triple 17 (NPK 17-17-17) a los siete y 35 días después del trasplante (DDT, 26 g·planta<sup>-1</sup>) y una aplicación del fertilizante foliar Bayfolan® (20 mL·20 L<sup>-1</sup>). Se aplicaron insecticidas naturales (extracto de neem y jabón potásico), además de fungicidas de contacto (oxicloruro de cobre) y de acción sistémica (Aliette® WDG) en dosis reducida (1 g·L<sup>-1</sup>).

### Obtención de las Muestras

Para la identificación taxonómica de las morfoespecies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se utilizó suelo rizosférico recolectado durante la aparición de botones florales (34 DDT) de *C. pepo*. Se colectó una muestra compuesta (formada por 15 submuestras) de cada tratamiento en cada ciclo del cultivo.

**Cuadro 1. Análisis físicos y químicos del suelo donde se cultivó calabacita italiana durante el ciclo invierno-primavera (I-P).**

**Table 1. Physical and chemical analyses of the soil where zucchini pumpkin was grown during the winter-spring (W-S) cycle.**

Parámetro	Tratamientos							
	C	V	APB	APB+V	APR	APR+V	APN	APN+V
pH (1:2)	6.2	5.7	5.1	4.8	4.8	5.8	4.8	5.8
Nitrógeno <sup>†</sup>	1.4	1.8	1.9	1.9	1.7	2.3	1.9	1.8
Fósforo <sup>†</sup>	571	598	652	721	589	617	637	719
Potasio <sup>†</sup>	461	487	517	572	433	497	521	489
M.O. (%)	1.2	1.7	1.5	1.8	1.9	2.1	1.7	1.7
Textura	Migajón-arenosa							

C = control sin vermicomposta y acolchado plástico; V = vermicomposta; APB = acolchado plástico blanco; APB+V = acolchado plástico blanco + vermicomposta; APR = acolchado plástico rojo; APR+V = acolchado plástico rojo + vermicomposta; APN = acolchado plástico negro; APN+V = acolchado plástico negro + vermicomposta. <sup>†</sup>Nutriente (mg·kg<sup>-1</sup>); M.O. = materia orgánica.

C = control without vermicompost and plastic padding; V = vermicompost; APB = white plastic padding; APB+V = white plastic padding + vermicompost; APR = red white plastic padding; APR+V = red white plastic padding + vermicompost; APN = black plastic padding; APN+V = black plastic padding + vermicompost.

<sup>†</sup>Nutrient (mg·kg<sup>-1</sup>); M.O. = organic matter.

**Cuadro 2. Análisis físicos y químicos del suelo donde se cultivó calabacita italiana durante el ciclo verano-otoño (V-O).**  
**Table 2. Physical and chemical analyses of the soil where zucchini pumpkin was grown during the summer-fall (S-F) cycle.**

Parámetro	Tratamientos							
	C	V	APB	APB+V	APR	APR+V	APN	APN+V
pH (1:2)	6.6	5.7	6.4	6.1	6	6.6	5.5	5.5
Nitrógeno <sup>†</sup>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fósforo <sup>†</sup>	ND <sup>‡</sup>	ND	ND	ND	ND	4.5	ND	4.6
Potasio <sup>†</sup>	0.4	0.6	2.2	0.6	0.2	0.8	0.3	0.8
M.O. (%)	6.8	11.4	0.4	11.4	7.8	11.4	6.9	11.4
Textura	Migajón-arenosa							

C = control sin vermicomposta y acolchado plástico; V = vermicomposta; APB = acolchado plástico blanco; APB+V = acolchado plástico blanco + vermicomposta; APR = acolchado plástico rojo; APR+V = acolchado plástico rojo + vermicomposta; APN = acolchado plástico negro; APN+V = acolchado plástico negro + vermicomposta. <sup>†</sup>Nutriente (mg·kg<sup>-1</sup>); M.O. = materia orgánica. <sup>‡</sup>ND = No disponible.

C = control without vermicompost and plastic padding; V = vermicompost; APB = white plastic padding; APB+V = white plastic padding + vermicompost; APR = red white plastic padding; APR+V = red white plastic padding + vermicompost; APN = black plastic padding; APN+V = black plastic padding + vermicompost.

<sup>†</sup>Nutrient (mg·kg<sup>-1</sup>); M.O. = organic matter. <sup>‡</sup>ND = Not available.

## Colonización Micorrízica

Las raíces de *C. pepo* fueron aclaradas con KOH y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, teñidas con azul tripano en lactoglicerol (Phillips y Hayman, 1970) y evaluadas con un microscopio compuesto (100x) en tres campos visuales equidistantes sobre cada fracción en la que se registró la presencia o ausencia de estructuras micorrízicas como hifas, vesículas, arbusculos y esporas (Giovannetti y Mosse, 1980).

## Aislamiento e Identificación de Especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)

De cada tratamiento se colectaron tres muestras de 50 g de suelo rizosférico de *C. pepo*, las cuales fueron procesadas mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación, complementada con una centrifugación en un gradiente de sacarosa (50% peso/volumen) (Gerdeemann y Nicolson, 1963). Las esporas fueron separadas bajo un microscopio estereoscópico y clasificadas en grupos adecuados de acuerdo a sus rasgos morfológicos utilizados en la taxonomía del filo Glomeromycota (hongos formadores de micorrizas arbusculares). Con una pipeta Pasteur, se colocaron grupos de 10 esporas sobre un portaobjetos con alcohol polivinílico y ácido láctico glicerol (PVLG) y PVLG mezclado con reactivo de Melzer 1:1 (v/v).

A continuación, cada laminilla fue observada bajo microscopio óptico (40x y 100x) y se tomaron medidas de cada espora con una reglilla micrométrica (mm) acoplada al ocular (Nikon Optiphot II, Nikon, Tokio, Japón).

La confirmación de géneros y especies se realizó a partir de las claves taxonómicas propuestas por Schenck y Pérez (1990), Schüßler *et al.* (2001), Schüßler y Walker (2010) e INVAM (2020).

## Estimación de la Riqueza, Abundancia e Índice de Diversidad de Shannon-Weaver

La riqueza se estimó con el número de especies encontradas en cada tratamiento, la abundancia relativa se calculó con el número de esporas de un morfotipo sobre el total de esporas aisladas multiplicado por 100, de acuerdo con Pérez-Luna *et al.* (2012); por su parte, el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949) se calculó con la fórmula siguiente:  $H' = - \sum p_i \ln p_i$ , donde  $p_i$  fue el número de esporas de un morfotipo dividido entre el total de esporas aisladas.

## Medición de la Temperatura y Humedad del Suelo

La temperatura del suelo se midió con un termómetro para tierra (Gesa-803-795) registrándose una media de 18 °C en suelos sin acolchar, 22-23 °C



con acolchado rojo, 20-21 °C con acolchado blanco y 23-24 °C con acolchado negro en el ciclo I-P, mientras que en el ciclo V-O se incrementaron en orden a 22 °C, 24-25 °C, 23-25 °C y 28-32 °C. También se monitoreó la humedad del suelo *in situ* con un Probador de Suelo 4-en-1 (AIZYR, modelo 694-770-606). En el ciclo I-P fue de 55% en tratamientos sin acolchar y 60-77% en los acolchados, y en el ciclo V-O estas fueron de 77% y entre 80-90%, respectivamente.

### Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software Statistica v. 12.0 para Windows. La distribución normal de los datos se comprobó según Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) y la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Bartlett (1937). Se realizaron análisis de varianza multifactorial y las medias se compararon según el criterio de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). El modelo matemático empleado en cada una de las ANOVAs fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + AC_j + PC_k + (F \times AC)_{ij} + (F \times PC)_{ik} + (AC \times PC)_{jk} + (F \times AC \times PC)_{ijk} + e_{ijk}$$

donde:  $Y_{ijk}$  = variable respuesta;  $\mu$  = constante común para todas las observaciones;  $F_i$  = efecto de la *i*-ésima vermicomposta ( $j=1, 2$ );  $AC_j$  = efecto del *j*-ésimo acolchado ( $k=1, \dots, 4$ );  $PC_k$  = efecto de *k*-ésimo ciclo de cultivo ( $l=1, 2$ );  $F \times AC_{ij}$  = efecto combinado de la *i*-ésima vermicomposta en el *j*-ésimo acolchado;  $F \times PC_{ik}$  = efecto combinado de *i*-ésima vermicomposta en el *k*-ésimo ciclo de cultivo;  $AC \times PC_{jk}$  = efecto combinado del *j*-ésimo acolchado en el *k*-ésimo ciclo de cultivo;  $F \times AC \times PC_{ijk}$  = efecto combinado de *i*-ésima vermicomposta en el *j*-ésimo acolchado durante el *k*-ésimo ciclo de cultivo;  $e_{ijk}$  = error aleatorio  $\sim N(0, \sigma^2_e)$ .

Para el índice de diversidad se utilizó el software estadístico F Diversity (Casanoves *et al.*, 2011) v. 10.0 para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Colonización Micorrízica en Raíces de *C. pepo*

Se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de colonización micorrízica en raíces de *C. pepo* cultivado en campo (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Los mayores niveles de colonización micorrízica fueron promovidos por efecto de la vermicomposta (V) en ambos periodos del cultivo (I-P y V-O) con 59.2 y 96.06%, respectivamente. Este factor influyó cuando el humus de lombriz se aplicó al suelo en los distintos tratamientos y ciclos de cultivo. El factor ciclo de cultivo tuvo efectos significativos en las plantas colonizadas por los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), siendo en el periodo V-O donde los porcentajes fueron mayores (Cuadro 3), respecto a I-P. En cuanto al factor acolchado plástico se refiere, los porcentajes menores de colonización se observaron en las plantas de los tratamientos con APN y APR sin distinción del ciclo de cultivo (Cuadro 3).

El uso de acolchado plástico influye sobre las poblaciones microbianas debido principalmente a su efecto sobre la humedad y temperatura del suelo (Liu *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2017; Zhu *et al.*, 2018). La cubierta plástica de color blanco refleja el 62% del espectro total de radiación visible en radiación fotosintéticamente activa comparada con los acolchados de color oscuro. Por lo anterior, los acolchados blancos contribuyen a la disminución del calentamiento del suelo e influyen positivamente sobre la colonización de las poblaciones microbianas en las plantas (Robledo-Torres *et al.*, 2010; Ferdous *et al.*, 2017) variable que en este trabajo confirma lo denotado puesto que las temperaturas promedio registradas en el APB fueron entre 20-21 °C en I-P y entre 23-25 °C en V-O.

Por otra parte, la aplicación de vermicomposta al parecer incrementó la colonización de los HMA en *C. pepo* debido al aporte de sustancias húmicas que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento de los microorganismos en la rizosfera del hospedero (Pathma y Sakthivel, 2012; Meyer *et al.*, 2015).

En relación a la riqueza de HMA, el ANOVA apuntó diferencias significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) por efecto de los factores evaluados (Cuadro 3). Así, la mayor riqueza se presentó en los tratamientos del ciclo I-P que contenían vermicomposta y la menor, por efecto del acolchado plástico, en APN.

El acolchado es un factor importante en la riqueza y abundancia de las comunidades microbianas debido a su efecto en la temperatura del suelo, la cual cambia de acuerdo al tipo de plástico y clima que prevalezca durante el ciclo del cultivo, influyendo sobre la respiración, metabolismo y capacidad de multiplicación de los microorganismos en el hospedero (Wetzel *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2019).

**Cuadro 3. Interacción del ciclo de cultivo, acolchado plástico y vermicomposta sobre la colonización y riqueza de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de *C. pepo* L.****Table 3. Interaction of the growing cycle, plastic padding and vermicompost on the colonization and richness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the cultivation of *C. pepo* L.**

Factor vermicomposta	Ciclos de cultivo								EE	P
	Invierno-Primavera				Verano-Otoño					
	Variante de acolchado plástico									
	C	APB	APR	APN	C	APB	APR	APN		
% Colonización										
C	45.33± 0.50 <sup>h</sup>	35.67± 0.85 <sup>i</sup>	25.63± 0.90 <sup>kl</sup>	25.67± 0.74 <sup>l</sup>	80.83± 1.82 <sup>b</sup>	56.57± 0.40 <sup>f</sup>	37.41± 2.83 <sup>i</sup>	28.83± 1.99 <sup>k</sup>	3.54	0.001
V	59.20± 0.75 <sup>e</sup>	43.10± 0.51 <sup>h</sup>	32.33± 0.39 <sup>j</sup>	27.93± 0.39 <sup>kl</sup>	96.07± 0.90 <sup>a</sup>	66.23± 1.17 <sup>d</sup>	77.70± 0.16 <sup>c</sup>	46.37± 0.87 <sup>s</sup>		
Riqueza de HMA										
C	21±0.0 <sup>a</sup> (5.10)	21±0.0 <sup>a</sup> (5.10)	18.33±0.58 <sup>b</sup> (4.83)	10±0.0 <sup>g</sup> (3.87)	12±0.0 <sup>c</sup> (4.12)	9±0.0 <sup>h</sup> (3.74)	10±0.0 <sup>g</sup> (3.87)	7±0.0 <sup>i</sup> (3.46)	0.008	0.001
V	21±0.0 <sup>a</sup> (5.10)	21±0.0 <sup>a</sup> (5.10)	16±0.0 <sup>c</sup> (4.58)	15±0.0 <sup>d</sup> (4.47)	11±0.0 <sup>f</sup> (4)	11±0.0 <sup>f</sup> (4)	10±0.0 <sup>g</sup> (3.87)	10±0.0 <sup>g</sup> (3.87)		

C = control; V = vermicomposta; APB = acolchado plástico blanco; APR = acolchado plástico rojo; APN = acolchado plástico negro. Valores entre paréntesis corresponden a promedios transformados según  $\text{Sqrt} = x+5$ . Superíndices con al menos una letra en común no se diferencian entre sí según Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

C = control; V = vermicompost; APB = white plastic padding; APR = red white plastic padding; APN = black plastic padding. Values in parentheses correspond to transformed averages according to  $\text{Sqrt} = x+5$ . Superscripts with at least one letter in common do not differ from each other according to Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Además de lo anterior, el color del plástico influye sobre las propiedades físico-químicas del suelo debido a la transmitancia de calor, emisividad proporcional y balance térmico que modifica las interacciones entre microorganismos-hospedero (Dong *et al.*, 2017; Bi *et al.*, 2018; Harris-Valle *et al.*, 2018). Así, los plásticos transparentes o de color claro pueden mantener una temperatura alta del suelo (Adhikari *et al.*, 2016) incrementando la tasa metabólica radical de los cultivos y con ello una alta producción de exudados radiculares, los cuales pueden jugar un papel importante en la abundancia y riqueza de los HMA (Jamiołkowska *et al.*, 2019; Jie *et al.*, 2019).

#### Abundancia de Hongos Micorrízicos Arbusculares por Morfoespecie

En el periodo de cultivo I-P se observaron diferencias en el número de especies de HMA asociadas a *C. pepo*. En dicho ciclo, el endófito con mayor presencia en las plantas con APN fue *Acaulospora morrowiae* (37%), seguida por *A. scrobiculata*

(26%) y *A. rehmanii* (22%) en el tratamiento de las plantas con APR+V, y *Rhizophagus sinuosus* (18.8%) en plantas con V. En esta época de siembra no se observaron estructuras de resistencia y propagación de *Claroideoglomus etunicatum*, *C. claroideum*, *Gl. hoi*, *Rhi. aggregatus* y *Septoglomus constrictum* en el tratamiento de las plantas con APN (Cuadro 4). Mientras tanto, en el ciclo V-O *A. morrowiae* fue el hongo MA con mayor presencia (50%) en las plantas con APN, seguida por *A. scrobiculata* (29%) en las plantas con APR+V y *Gl. microaggregatum* (24%) en plantas con APR. Por último, las plantas del tratamiento control (C) presentaron mayor abundancia de *A. morrowiae* y *A. scrobiculata* en ambos ciclos de cultivo (Cuadro 5).

Sin bien los géneros *Acaulospora* y *Glomus* fueron los de mayor frecuencia en los diversos tratamientos, debido a que son géneros prominentes por ser reconocidos como ubicuos (Chandra y Kehri, 2006) y estar formado por hongos MA considerados cosmopolitas (Lekberg *et al.*, 2008; Cesaro *et al.*, 2008).

**Cuadro 4. Géneros y especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) identificados en el suelo rizosférico de *Cucurbita pepo* L. cultivada en invierno-primavera.****Table 4. Genera and species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) identified in the rhizospheric soil of *Cucurbita pepo* L. cultivated in winter-spring.**

Morfoespecie	Abundancia de esporas (%/número de esporas)							
	C	V	APB	APB+V	APR	APR+V	APN	APN+V
Acaulosporaceae ( <i>Acaulospora</i> )								
<i>A. cavernata</i>	7.4 (369)	1.6 (59)	12 (369)	1.8 (68)	6.9 (162)	2.4 (68)	2.6 (32)	2.2 (68)
<i>A. mellea</i>	11.3 (564)	1.7 (62)	5.4 (166)	0.4 (16)	11 (266)	0.5 (16)	-----	0.5 (17)
<i>A. morrowiae</i>	14.1 (697)	1.7 (64)	9.6 (295)	11 (363)	12 (295)	9.6 (266)	37 (454)	20 (618)
<i>A. rehmi</i>	7.4 (368)	1.6 (61)	11 (367)	16 (607)	13 (305)	22 (607)	19 (364)	20 (607)
<i>A. rugosa</i>	5.9 (296)	1.7 (62)	9.6 (296)	10 (374)	12.6 (296)	13 (374)	13 (170)	12 (374)
<i>A. scrobiculata</i>	13.7 (680)	1.6 (60)	22 (680)	17 (625)	15.7 (367)	26 (731)	5.4 (67)	21 (627)
<i>A. aff. foveata</i>	0.7 (37)	0.8 (31)	1.2 (38)	0.7 (26)	1.5 (37)	0.8 (23)	0.6 (8)	0.8 (25)
Claroideoglomeraceae ( <i>Claroideoglossum</i> )								
<i>C. etunicatum</i>	0.06 (305)	0.99 (36)	1.6 (50)	0.9 (35)	2.1 (50)	-----	-----	-----
<i>C. claroideum</i>	3.1 (155)	0.8 (32)	0.4 (15)	1.8 (68)	7 (164)	-----	-----	-----
Entrophosporaceae ( <i>Entrophospora</i> )								
<i>E. infrequens</i>	0.3 (16)	0.3 (14)	0.5 (16)	0.1 (5)	-----	1.3 (36)	-----	-----
Gigasporaceae ( <i>Gigaspora</i> )								
<i>Gi. decipiens</i>	1.2 (62)	0.4 (17)	0.4 (15)	0.3 (14)	-----	0.5 (16)	-----	0.5 (15)
<i>Gi. rosea</i>	1.2 (62)	0.4 (17)	1 (31)	0.3 (13)	0.3 (8)	0.5 (14)	-----	0.5 (15)
Racocetraceae ( <i>Racocetra</i> )								
<i>R. fulgida</i>	3.1 (154)	0.4 (17)	5.5 (170)	0.4 (17)	1.5 (37)	0.7 (20)	-----	0.5 (16)
Glomeraceae ( <i>Funnelliformis</i> )								
<i>F. mosseae</i>	0.9 (45)	1.7 (63)	1.46 (45)	0.6 (23)	1.9 (45)	0.8 (24)	1.3 (16)	0.8 (24)
Glomeraceae ( <i>Glomus</i> )								
<i>Gl. clavisporum</i>	0.9 (46)	10 (373)	1.4 (44)	4.8 (176)	1.9 (45)	6.3 (175)	2.7 (34)	5.9 (175)
<i>Gl. coremioides</i>	0.9 (46)	18 (678)	1.3 (41)	5.5 (201)	1.9 (45)	7.3 (201)	2.8 (35)	6.8 (202)
<i>Gl. hoi</i>	1.2 (61)	0.4 (16)	0.4 (13)	1.8 (66)	1.7 (41)	-----	-----	-----
<i>Gl. microaggregatum</i>	12 (600)	18.5 (675)	8.6 (265)	18.5 (673)	2.4 (57)	0.32 (9)	-----	0.3 (9)
Glomeraceae ( <i>Rhizophagus</i> )								
<i>Rhi. aggregatus</i>	3.3 (164)	0.4 (15)	1.3 (41)	1.8 (67)	1.8 (44)	-----	-----	-----
<i>Rhi. sinuosus</i>	0.9 (45)	18.8 (683)	1.36 (42)	4.5 (165)	1.4 (35)	5.9 (164)	2.5 (31)	5.5 (165)
Glomeraceae ( <i>Septoglossum</i> )								
<i>Sep. constrictum</i>	3.7 (188)	16 (595)	2.1 (66)	0.7 (28)	1.6 (38)	-----	-----	-----

C = control sin vermicomposta y acolchado plástico; V = vermicomposta; APB = acolchado plástico blanco; APB+V = acolchado plástico blanco + vermicomposta; APR = acolchado plástico rojo; APR+V = acolchado plástico rojo + vermicomposta; APN = acolchado plástico negro; APN+V = acolchado plástico negro + vermicomposta.

C = control without vermicompost and plastic padding; V = vermicompost; APB = white plastic padding; APB+V = white plastic padding + vermicompost; APR = red white plastic padding; APR+V = red white plastic padding + vermicompost; APN = black plastic padding; APN+V = black plastic padding + vermicompost.



**Cuadro 5. Géneros y especies de HMA identificados en el suelo rizosférico de *Cucurbita pepo* L. cultivada en verano-otoño.**  
**Table 5. Genera and species of AMF identified in the rhizospheric soil of *Cucurbita pepo* L. cultivated in summer-fall.**

Morfoespecie	Abundancia de esporas (%/número de esporas)							
	C	V	APB	APB+V	APR	APR+V	APN	APN+V
Acaulosporaceae ( <i>Acaulospora</i> )								
<i>A. cavernata</i>	9 (303)	1.9 (59)	13 (368)	2.3 (68)	10 (162)	2.7 (68)	5.2 (32)	2.4 (68)
<i>A. mellea</i>	10 (367)	2 (62)	9.6 (264)	0.5 (16)	16 (266)	0.6 (16)	2.2 (14)	0.6 (18)
<i>A. morrowiae</i>	17 (604)	2.1 (64)	10 (295)	12 (362)	18 (295)	10 (266)	50 (305)	22 (618)
<i>A. rugosa</i>	8.7 (295)	-----	10 (295)	12 (374)	18 (296)	15 (374)	22 (140)	22 (607)
<i>A. scrobiculata</i>	20 (704)	2.8 (85)	24 (669)	21 (623)	-----	29 (728)	11 (67)	22.8 (627)
Claroideoglomeraceae ( <i>Claroideoglossum</i> )								
<i>C. etunicatum</i>	7.9 (266)	4.4 (134)	13 (358)	1.6 (49)	3.1 (50)	-----	-----	-----
Gigasporaceae ( <i>Gigaspora</i> )								
<i>Gi. decipiens</i>	0.4 (15)	0.5 (17)	-----	-----	-----	0.6 (16)	-----	0.4 (13)
Glomeraceae ( <i>Glomus</i> )								
<i>Gl. clavisporum</i>	1.3 (47)	8.9 (267)	-----	10 (295)	2.3 (37)	7 (174)	2.6 (16)	4.8 (132)
<i>Gl. coremioides</i>	1.4 (49)	8.2 (247)	3.1 (87)	6.8 (200)	2.8 (45)	7.9 (197)	5.7 (35)	7.3 (201)
<i>Gl. microaggregatum</i>	17 (600)	7.5 (225)	13 (355)	23 (673)	24 (391)	18 (464)	-----	10.7 (295)
Glomeraceae ( <i>Rhizophagus</i> )								
<i>Rhi. sinuosus</i>	1.4 (49)	9.8 (295)	1.2 (33)	7.3 (214)	1 (17)	6.7 (166)	-----	6 (165)
Glomeraceae ( <i>Septoglossum</i> )								
<i>Sep. constrictum</i>	1.9 (66)	19 (595)	-----	0.9 (27)	2.5 (41)	-----	-----	-----

C = control sin vermicomposta y acolchado plástico; V = vermicomposta; APB = acolchado plástico blanco; APB+V = acolchado plástico blanco + vermicomposta; APR = acolchado plástico rojo; APR+V = acolchado plástico rojo + vermicomposta; APN = acolchado plástico negro; APN+V = acolchado plástico negro + vermicomposta.

C = control without vermicompost and plastic padding; V = vermicompost; APB = white plastic padding; APB+V = white plastic padding + vermicompost; APR = red white plastic padding; APR+V = red white plastic padding + vermicompost; APN = black plastic padding; APN+V = black plastic padding + vermicompost.

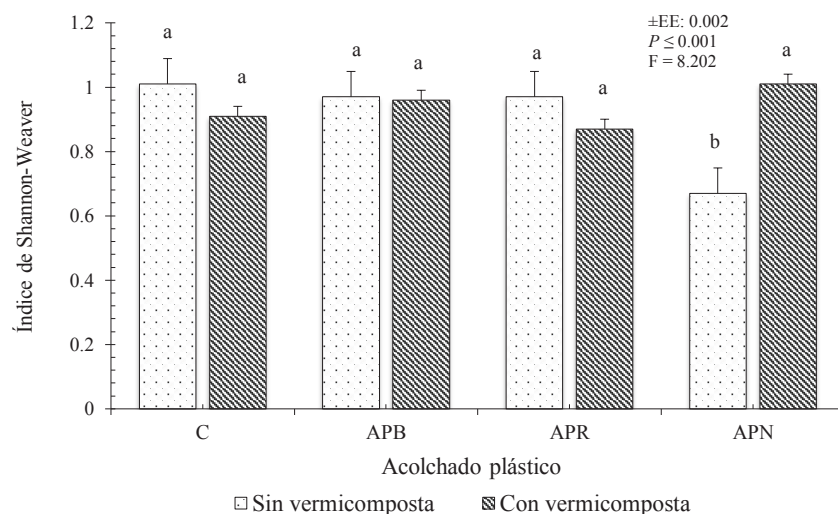
*A. morrowiae* fue una de las especies más abundantes en ambos ciclos de cultivo, lo cual se puede atribuir a que se trata de un hongo MA de los más ampliamente distribuidos en diversos parajes y ecosistemas naturales de México (Montaño *et al.*, 2012; Alarcón *et al.*, 2012) tales como bosque nuboso montano tropical (Lara-Pérez *et al.*, 2014) y selvas tropicales húmedas (Álvarez-Sánchez *et al.*, 2017), o bien en sistemas agroproductivos donde se cultiva agave (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017), chile poblano (Carballar-Hernández *et al.*, 2017), maíz (Pérez-Luna *et al.*, 2012) o café (Bertolini *et al.*, 2018), entre otros.

Por otra parte, el acolchado plástico color negro pudiera tener efectos negativos sobre la esporulación de *C. etunicatum* y *Sep. constrictum*, ya que ambas morfoespecies no estuvieron presentes en los dos

ciclos de cultivo. En dicho sentido, Zribi *et al.* (2011) mencionan que el polietileno negro es un material que absorbe la mayor parte de la radiación y, de este modo y en cierta medida, impide el calentamiento del suelo. Sin embargo, el efecto más comúnmente informado es el aumento de la temperatura promedio (ca. 1.7 a 2.8 °C) en relación con la temperatura del suelo desnudo (Snyder *et al.*, 2015).

### Índice de Diversidad de Shannon-Weaver

Para el índice de diversidad de Shannon-Weaver el análisis estadístico marcó diferencias significativas solo para los factores acolchado plástico y vermicomposta (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) (Figura 1), pero no para el ciclo de cultivo.



**Figura 1. Índice de Shannon-Weaver en raíces de *Cucurbita pepo* L. por efecto del acolchado plástico y la vermicomposta.** C = control sin vermicomposta y acolchado plástico; APB = acolchado plástico blanco; APR = acolchado plástico rojo; APN = acolchado plástico negro. Letras iguales en la misma columna representan igualdad estadística (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Figure 1. Shannon-Weaver index in roots of *Cucurbita pepo* L. by effect of plastic padding and vermicompost.** C = control without vermicompost and plastic padding; APB = white plastic padding; APR = red white plastic padding; APN = black plastic padding. Equal letters in the same column represent statistical equality (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

El menor índice de diversidad fue observado en las plantas con APN y los mayores índices de diversidad se presentaron en los tratamientos donde se incorporó la vermicomposta (Figura 1).

El tipo de acolchado plástico influyó sobre la diversidad de los HMA en el suelo debido a las condiciones edáficas y climáticas que prevalecieron durante el experimento, las cuales afectan la tasa del crecimiento y la capacidad de adaptación de los microorganismos a diversas condiciones del suelo (Dong *et al.*, 2017).

Al respecto Chiffot *et al.* (2009), comentaron que las pérdidas en diversidad microbiana del suelo pueden deberse a las diferentes prácticas agronómicas que se realizan durante el ciclo de los cultivos, incluyendo el acolchado plástico, los cuales modifican aspectos químicos o físicos del suelo o sustrato (Xiukang *et al.*, 2015; 2015; Dong *et al.*, 2017).

No obstante, para una producción agrícola sostenible, las comunidades microbianas son vitales como indicadores de calidad y salud del suelo (Maji *et al.*, 2017).

## CONCLUSIONES

La colonización micorrízica de las plantas de calabaza italiana estuvo condicionada por el factor ciclo de cultivo, vermicomposta y acolchado plástico. El uso del acolchado plástico afecta la simbiosis endófito-hospedero, específicamente el polímero de color negro interfirió sobre la micorrización, riqueza, abundancia e índice de diversidad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Finalmente, es importante identificar y conocer la diversidad de los HMA para seleccionar aquellas morfoespecies cuyo potencial de uso puede ser significativo para el desarrollo de biofertilizantes elegibles para contribuir a la sostenibilidad agroproductiva en sistemas específicos de producción.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el presente estudio están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FONDOS

Apoyo económico otorgado por parte de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus* Xalapa, así como también la erogación hecha por parte de los autores adscritos a dicha institución encargada de la enseñanza e investigación sobre cuestiones agronómicas sostenibles.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

L.L.C. encargada del montaje del experimento, muestreos y trabajo de campo y laboratorio. R.Z.R. participó en la toma de datos, en la identificación de especies de hongos micorrízicos-arbusculares y en la preparación final del manuscrito. J.J.R.P. y B.M.A. contribuyeron en la revisión y aporte de sugerencias que sin duda mejoraron el contenido del manuscrito. J.L.L.R. es quien se encargó de realizar el análisis estadístico e interpretación de los resultados generados. L.G.H.M. contribuyó en la formulación del proyecto de investigación, así como en la estructura y redacción conclusiva del artículo.

## AGRADECIMIENTOS

A los doctores Omar Pensado, Cecilia Montero de Jesús y Julieta Ramírez, del Centro de Investigación Atmosférica y Ecología, por su apoyo para la realización del presente trabajo de investigación. A la ingeniera agrónoma Genoveva Yarely. González Morales por el respaldo brindado en la concreción de algunas técnicas de Laboratorio. A los estudiantes

de las Optativas IV. Agricultura protegida (periodo febrero-junio 2016) y Optativa III. Agricultura protegida (periodo agosto 2016-enero 2017. Finalmente, a la Dra. Teresita de Jesús May Mora por la asesoría proporcionada en los análisis efectuados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *Campus* Xalapa.

## LITERATURA CITADA

- Adhikari, R., K. L. Bristow, P. S. Casey, G. Freischmidt, J. W. Hornbuckle, and B. Adhikari. 2016. Preformed and sprayable polymeric mulch film to improve agricultural water use efficiency. *Agric. Water Manage.* 169: 1-13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.006>.
- Alarcón, A., L. V. Hernández-Cuevas, R. Ferrera-Cerrato, and A. Franco-Ramírez. 2012. Diversity and agricultural applications of arbuscular mycorrhizal fungi in Mexico. *J. Biofertil. Biopestici.* 3: Article 1000115. doi: <https://doi.org/10.4172/2155-6202.1000115>.
- Álvarez-Sánchez, J., I. Sánchez-Gallen, L. Hernández C., L. Hernández-Oro y P. Meli. 2017. Diversidad, abundancia y variación estacional en la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Sci. Fungorum.* 45: 37-51. doi: <https://doi.org/10.33885/sf.2017.0.1166>.
- Bartlett, M. S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proc. Royal Soc. A.* 160: 268-282. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>.
- Begum, N., C. Qin, M. A. Ahanger, S. Raza, M. I. Khan, M. Ashraf, N. Ahmed, and L. Zhang. 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 10: Article 1068. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>.
- Bertolini, V., N. M. Montaña, E. Chimal S., L. Varela F., J. Gómez R. y J. M. Martínez V. 2018. Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Rev. Biol. Trop.* 66: 91-105. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>.
- Bi, Y., L. Qiu, Y. Zhakypbek, B. Jiang, Y. Cai, and H. Sun. 2018. Combination of plastic film mulching and AMF inoculation promotes maize growth, yield and water use efficiency in the semiarid region of Northwest China. *Agric. Water Manage.* 201: 278-286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.008>.
- Calhim, S., P. Halme, J. H. Petersen, T. Læssøe, C. Bässler, and J. Heilmann-Clausen. 2018. Fungal spore diversity reflects substrate-specific deposition challenges. *Sci. Rep.* 8: Article 5356. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23292-8>.
- Carballar-Hernández, S., L. V. Hernández-Cuevas, N. M. Montaña, J. Larsen, R. Ferrera-Cerrato, O. R. Taboada-Gaytán, A. M. Montiel-González y A. Alarcón. 2017. Native communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Capsicum annuum* L. respond to soil properties and agronomic management under field conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* 245: 43-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.004>.

- Casanoves, F., L. Pla, J. A. Di Rienzo, and S. Díaz. 2011. FDiversity: A software package for the integrated analysis of functional diversity. *Methods Ecol. Evol.* 2: 233-237. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00082.x>.
- Cesaro, P., D. van Tuinen, A. Copetta, O. Chatagnier, G. Berta, S. Gianinazzi, and G. Lingua. 2008. Preferential colonization of *Solanum tuberosum* L. roots by the fungus *Glomus intraradices* in arable soil of a potato farming area. *Appl. Environ. Microbiol.* 74: 5776-5783. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.00719-08>.
- Chamkhi, I., Y. Abbas, K. Tarmoun, J. Aurag, and L. Sbabou. 2019. Morphological and molecular characterization of arbuscular mycorrhizal fungal communities inhabiting the roots and the soil of saffron (*Crocus sativus* L.) under different agricultural management practices. *Arch. Agron. Soil Sci.* 65: 1035-1048. doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1548012>.
- Chandra, S. and H. K. Kehri. 2006. *Biotechnology of VA Mycorrhiza: Indian scenario*. New India Publishing Agency. New Delhi, India. ISBN: 978-8189422226.
- Chiffot, V., D. Rivest, A. Olivier, A. Cogliastro, and D. Khasa. 2009. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 131: 32-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.11.010>.
- Delavaux, C. S., P. Weigelt, W. Dawson, J. Duchicela, F. Essl, M. van Kleunen, C. König, J. Pögl, P. Pyšek, A. Stein, M. Winter, P. Schultz, H. Kreft, and J. Bever. 2019. Mycorrhizal fungi influence global plant biogeography. *Nat. Ecol. Evol.* 3: 424-429. doi: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0823-4>.
- Dong, W., P. Si, E. Liu, C. Yan, Z. Zhang, and Y. Zhang. 2017. Influence of film mulching on soil microbial community in a rainfed region of northeastern China. *Sci. Rep.* 7: Article 8468. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08575-w>.
- Ferdous, Z., A. Datta, and M. Anwar. 2017. Plastic mulch and indigenous microorganism effects on yield and yield components of cauliflower and tomato in inland and coastal regions of Bangladesh. *J. Crop Improv.* 31: 261-279. doi: <https://doi.org/10.1080/15427528.2017.1293578>.
- Frey, S. D. 2019. Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 50: 237-259. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062331>.
- Gao, H., C. Yan, Q. Liu, W. Ding, B. Chen, and Z. Li. 2019. Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 651: 484-492. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.105>.
- Gerdemann, J. V. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489-500. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>.
- Harris-Valle, C., M. Esqueda, A. Gutiérrez, A. E. Castellanos, A. A. Gardea, and R. Berbara. 2018. Physiological response of *Cucurbita pepo* var. *pepo* mycorrhized by Sonoran desert native arbuscular fungi to drought and salinity stresses. *Braz. J. Microbiol.* 49: 45-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.04.005>.
- Huang, F., Z. Liu, H. Mou, P. Zhang, and Z. Jia. 2019. Effects of different long-term farmland mulching practices on the loessial soil fungal community in a semiarid region of China. *Appl. Soil Ecol.* 137: 111-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.01.014>.
- INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi). 2020. FLOURISHING FUNGI. West Virginia University. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi. <http://invam.wvu.edu/>. (Consulta: septiembre 17, 2020).
- Jamiołkowska, A., A. H. Thanoon, E. Patkowska, and J. Grządziel. 2019. Impact of AMF *Claroideoglomus etunicatum* on the structure of fungal communities in the tomato rhizosphere. *Acta Mycol.* 54: Article 1120. doi: <https://doi.org/10.5586/am.1120>.
- Jie, W., J. Lin, N. Guo, B. Cai, and X. Yan. 2019. Community composition of rhizosphere fungi as affected by *Funneliformis mosseae* in soybean continuous cropping soil during seedling period. *Chil. J. Agric. Res.* 79: 356-365. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000300356>.
- Kusakabe, R., T. Taniguchi, A. Goomaral, J. Undarmaa, N. Yamanaka, and M. Yamato. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungal communities under gradients of grazing in Mongolian grasslands of different aridity. *Mycorrhiza* 28: 621-634. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0855-7>.
- Lara-Pérez, L. A., J. C. Noa-Carrazana, S. Hernández-González, E. Alarcón-Gutiérrez, L. R. Sánchez-Velásquez, R. Zulueta-Rodríguez, L. Lara-Capistrán, and A. Andrade-Torres. 2014. Diversity and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in the tree fern *Alsophila firma* in rainy and dry season. *Symbiosis* 62: 143-150. doi: <https://doi.org/10.1007/s13199-014-0279-x>.
- Le Pioufle, O., M. Ganoudi, M. Calonne-Salmon, F. Ben Dhaou, and S. Declercq. 2019. *Rhizophagus irregularis* MUCL 41833 improves phosphorus uptake and water use efficiency in maize plants during recovery from drought stress. *Front. Plant Sci.* 10: Article 897. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00897>.
- Lehman, R. M., S. L. Osborne, W. I. Taheri, J. S. Buyer, and B. K. Chim. 2019. Comparative measurements of arbuscular mycorrhizal fungal responses to agricultural management practices. *Mycorrhiza* 29: 227-235. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00884-4>.
- Lekberg, Y., R. T. Koide, J. R. Rohr, L. Aldrich-Wolfe, and J. B. Morton. 2008. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *J. Ecol.* 95: 95-105. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01193.x>.
- Liu, Y., L. Mao, X. He, G. Cheng, X. Ma, L. An, and H. Feng. 2012. Rapid change of AM fungal community in a rain-fed wheat field with short-term plastic film mulching practice. *Mycorrhiza* 22: 31-39. doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0378-y>.
- Massey, F. J. 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *J. Am. Statist. Assoc.* 46: 68-78. doi: <https://doi.org/10.2307/2280095>.
- Maji, D., P. Misra, S. Singh, and A. Kalra. 2017. Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Appl. Soil Ecol.* 110: 97-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.10.008>.



- Meyer, A. H., J. Wooldridge, and J. F. Dames. 2015. Effect of conventional and organic orchard floor management practices on arbuscular mycorrhizal fungi in a 'Cripp's Pink'/M7 apple orchard soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* 213: 114-120. doi: <https://doi.org/pubag.nal.usda.gov/catalog/5324492>.
- Montaño, N. M., A. Alarcón, S. L. Camargo-Ricalde, L. V. Hernández-Cuevas, J. Álvarez-Sánchez, M. C. González-Chávez, M. E. Gavito, I. Sánchez-Gallen, J. Ramos-Zapata, P. Guadarrama, I. E. Maldonado-Mendoza, S. Castillo-Argüero, R. García-Sánchez, D. Trejo, and R. Ferrera-Cerrato. 2012. Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: An historical synthesis and future prospects. *Symbiosis* 57: 111-126. doi: <https://doi.org/10.1007/s13199-012-0184-0>.
- Oehl, F., G. Silva, B. Goto, and E. Sieverding. 2011. Glomeromycota: Three new genera, and glomoid species reorganized. *Mycotaxon* 116: 75-120. doi: <https://doi.org/10.5248/116.75>.
- Okonji, C. Jr., O. S. Sakariyawo, K. A. Okeleye, A. G. Osunbiyi, and E. O. Ajayi. 2018. Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on soil properties and yield of selected rice varieties. *J. Agric. Sci.* 63: 153-170. doi: <https://doi.org/10.2298/JAS1802153O>.
- Öpik, M., M. Moora, M. Zobel, U. Saks, R. Wheatley, F. Wright, and T. Daniell. 2008. High diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreal herb-rich coniferous forest. *New Phytol.* 179: 867-876. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02515.x>.
- Pathma, J. and N. Sakthivel. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus* 1: Article 26. doi: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26>.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161. doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Pérez-Luna, Y. C., J. D. Álvarez-Solís, J. Mendoza-Vega, J. M. Pat-Fernández, R. Gómez-Álvarez y L. Cuevas. 2012. Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Bot.* 69: 46-56. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>.
- Qin, S., S. Yeboah, X. Xu, Y. Liu, and B. Yu. 2017. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements. *Front. Microbiol.* 8: Article 845. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00845>.
- Ravnkov, S., C. Cabral, and J. Larsen. 2020. Mycorrhiza induced tolerance in *Cucumis sativus* against root rot caused by *Pythium ultimum* depends on fungal species in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Biol. Control* 141: Article 104133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104133>.
- Robledo-Torres, V., M. Ramírez-Garza, M. Vázquez-Badillo, N. Ruiz-Torres, V. Zamora-Villa y F. Ramírez-Godina. 2010. Producción de semilla de calabacita italiana (*Curcubita pepo* L.) con acolchados plásticos fotoselectivos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 265-270. doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.3.265>.
- Schenck, N. C. and Y. Pérez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. (3<sup>rd</sup> ed). Synergistic Publications. Gainesville, FL, USA. ISBN-13: 978-0962598036.
- Schüßler, A. 2006. Phylogeny and taxonomy of Glomeromycota ('arbuscular mycorrhizal [AM] and related fungi'). <http://www.amf-phylogeny.com>. (Consulta: septiembre 17, 2020).
- Schüßler, A., D. Schwarzott, and C. A. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421. doi: <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>.
- Schüßler, A. and C. Walker. 2010. The Glomeromycota: A species list with new families and new genera. CreateSpace Independent Publishing Platform. North Charleston, SC, USA. ISBN-13: 978-1466388048.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (antes NOM-021-RECNAT- 2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos; Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 diciembre de 2002. México, D. F.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, USA. ISBN-13 : 978-0252725487.
- Soto E., M. y M. Gómez C. 1993. Consideraciones climáticas de la ciudad de Xalapa. pp. 81-98. In: I. R. López-Moreno (ed.). Ecología urbana aplicada a la ciudad de Xalapa. Instituto de Ecología, México. ISBN: 968-7213-22-1.
- Sting, R., T. Eisenberg, and M. Hrubenja. 2019. Rapid and reasonable molecular identification of bacteria and fungi in microbiological diagnostics using rapid real-time PCR and Sanger sequencing. *J. Microbiol. Methods* 159: 148-156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2019.03.005>.
- Snyder, K., A. Grant, C. Murray, and B. Wolff. 2015. The effects of plastic mulch systems on soil temperature and moisture in central Ontario. *Horttechnology* 25: 162-170. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.2.162>.
- Trinidad-Cruz, J. R., E. E. Quiñones-Aguilar, L. V. Hernández-Cuevas, L. López-Pérez y G. Rincón-Enríquez. 2017. Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Sci. Fungorum* 45: 13-25. doi: <https://doi.org/10.33885/sf.2017.0.1164>.
- Wetzel, K., G. Silva, U. Matczinski, F. Oehl, and T. Fester. 2014. Superior differentiation of arbuscular mycorrhizal fungal communities from till and no-till plots by morphological spore identification when compared to T-RFLP. *Soil Biol. Biochem.* 72: 88-96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.033>.
- Xiukang, W., L. Zhanbin, and X. Yingying. 2015. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China. *Agric. Water Manage.* 161: 53-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.019>.
- Zhang, M., Y. Zhao, X. Qin, W. Jia, L. Chai, M. Huang, and Y. Huang. 2019. Microplastics from mulching film is a distinct habitat for bacteria in farmland soil. *Sci. Total Environ.* 688: 470-478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.108>.
- Zhang, S., X. Guo, W. Yun, Y. Xia, Z. You, and M. C. Rillig. 2020. Arbuscular mycorrhiza contributes to the control of phosphorus loss in paddy fields. *Plant Soil* 447: 623-636. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04394-2>.



- 
- 
- Zhu, Y., G. C. Lv, Y. L. Chen, X. F. Gong, Y. N. Peng, Z. Y. Wang, A. T. Ren, and Y. C. Xiong. 2017. Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi with plastic mulching in rainfed wheat: A promising farming strategy. *Field Crops Res.* 204: 229-241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.005>.
- Zhu, Y., Y. Chen, X. Gong, Y. Peng, Z. Wang, and B. Ji. 2018. Plastic film mulching improved rhizosphere microbes and yield of rainfed spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 263: 130-136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.015>.
- Zribi, W., J. M. Faci G. y R. Aragüés L. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *ITEA 107*: 148-162. doi: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/283159>.