

Influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y colonización de hongos micorrízicos arbusculares en banano en dos temporadas del año

Influence of edaphic properties on spore abundance and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in bananas in two seasons of the year

Dulce Guadalupe Carrillo Aguilar ¹, Herminia Alejandra Hernández Ortega ¹, Alicia Franco Ramírez ², Benjamín Vallejo Jiménez ³, Salvador Guzmán González ¹, Gilberto Manzo Sánchez ¹, Juan Carlos Sánchez Rangel ¹

¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima. Autopista Colima-Manzanillo km 40, C.P. 28100, Tecomán, Colima, México.

² Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Lomas del Estadio s/n, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México.

³ Facultad de Economía, Universidad de Colima. Josefa Ortiz de Domínguez 64, C.P. 28970, Villa de Álvarez, Colima, México.

RESUMEN

Antecedentes: Las propiedades edáficas influyen en la abundancia de esporas y en la colonización de hongos micorrízicos arbusculares, sin embargo, existen pocos estudios de las propiedades que tienen mayor impacto sobre la micorriza arbuscular en época de sequía y de lluvia en cultivos de banano.

Objetivos: Determinar la influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y en la colonización de hongos micorrízicos en plantaciones de banano en dos temporadas del año.

Métodos: Se colectó suelo y raíces de banano en Tecomán, Colima, y se determinó la influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y colonización de hongos micorrízicos mediante un análisis de componentes principales.

Resultados y conclusiones: Los valores más altos de abundancia de esporas (1700 esporas/100 g de suelo) y colonización por hongos micorrízicos (63.3 %) se encontraron en época de lluvias y de sequía, respectivamente. Se identificaron 23 morfotipos de los géneros *Claroideoglo-mus*, *Acaulospora*, *Rhizophagus*, *Racocetra*, *Funneliformis* y *Glomus*, siendo este último el más común. Las propiedades edáficas que promueven o reducen la abundancia de esporas y colonización de HMA difieren en cada temporada, siendo mayor el número de factores que influyen en la abundancia de esporas.

Palabras clave: *Glomus*, *Musa*, simbiosis, morfotipos, análisis de componentes principales

ABSTRACT

Background: Edaphic properties influence the abundance of spores and the colonization of arbuscular mycorrhizal fungi, however, there are few studies of the properties that have a greater impact on arbuscular mycorrhiza in the dry and rainy season in banana crops.

Objectives: To determine the influence of edaphic properties on the abundance of spores and the colonization of mycorrhizal fungi in banana plantations in two seasons of the year.

Methods: Soil and banana roots were collected in Tecoman, Colima, and the influence of edaphic properties on the abundance of spores and colonization of mycorrhizal fungi was determined by principal component analysis.

Results and conclusions: The highest value of spore abundance (1700 spores/100 g of soil) and colonization of mycorrhizal fungi (63.3 %) were found in the rainy and dry season, respectively. Twenty three morphotypes of the *Claroideoglo-mus*, *Acaulospora*, *Rhizophagus*, *Racocetra*, *Funneliformis*, and *Glomus* genera were identified, the latter being the most common. The edaphic properties that promote or reduce the abundance of spores and colonization of AMF differ in each season, with a greater number of factors that influence the abundance of spores.

Keywords: *Glomus*, *Musa*, symbiosis, morphotypes, principal component analysis

ARTICLE HISTORY

Received 15 July 2020 / Accepted 27 November 2020

Published on line: 20 April 2021

CORRESPONDING AUTHOR

✉ Juan Carlos Sánchez-Rangel, jsanchez4@u-col.mx

ORCID: 0000-0002-9301-7623

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son endófitos obligados que establecen una asociación simbiótica con aproximadamente el 80 % de las plantas terrestres (Brundrett y Tedersoo, 2018). Estos microorganismos son parte importante de la microbiota de los agroecosistemas e influyen en la dinámica de población y comunidades de especies vegetales, además de que pueden incrementar la absorción y translocación de nutrientes, y potenciar la respuesta de la planta a diferentes tipos de estreses bióticos y abióticos (Sivakumar, 2013).

Las diversas actividades biológicas de los HMA y la tendencia a un manejo agronómico sostenible han motivado la aplicación de estos hongos en cultivos de interés económico incluyendo banano (*Musa paradisiaca* L.) (Simó-González et al., 2020), melón (*Cucumis melo* L.), chile (*Capsicum annum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.), entre otros (Rouphael et al., 2015). Particularmente, el banano es uno de los cultivos más importantes en el estado de Colima, el cual se posiciona como el cuarto productor de plátano a nivel nacional con una producción de 160 689 t durante el 2018 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018).

El banano es una planta micotrófica y se ha encontrado que la dependencia a la colonización micorrízica es diferente entre cultivares de esta especie vegetal (Declerck et al., 1995). Se sabe que la colonización de HMA promueve una mayor absorción de nutrientes y mejora el crecimiento vegetal (Begum et al., 2019; Han et al., 2019), y que la densidad de esporas de HMA en suelo es un indicador del potencial de colonización de estos hongos (Verzeaux et al., 2017). Además, la densidad alta de esporas de HMA se correlaciona positivamente con la colonización, por lo que los factores que influyen en la esporulación también tienen un efecto en la colonización (Zangaro et al., 2013). Las condiciones edáficas, climáticas y el manejo agronómico en cultivos de banano son factores que pueden inhibir o estimular la densidad de esporas y colonización de HMA (i.e. estatus de la micorriza arbuscular) y, por lo tanto, tener un efecto en el crecimiento de la planta (Gaidashova et al., 2010; Zangaro et al., 2013; Guerrero-Ariza y Posada, 2017; Mahecha-Vásquez et al., 2017). Debido a lo anterior, se vuelve relevante identificar los factores edáficos que tienen una influencia en el estatus de la micorriza arbuscular.

Existen pocos estudios sobre la influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y colonización de HMA en cultivo de banano. Por ejemplo, el suelo arcillo arenoso, el contenido de P (65.5 mg/kg) y el arado reducen la colonización, mientras que el contenido de C (3.66 %), nitrógeno (0.29 %), la relación C/N y la capacidad de intercambio catiónico (23.2 cmol/kg) la favorecen (Gaidashova et al., 2010). También se encontró una relación positiva entre la colonización de HMA y el porcentaje de carbono orgánico en suelo (4.9 - 7.7 %), mientras que el contenido de fósforo total en suelo (603 - 1673 ppm) se relacionó negativamente con la colonización (Guerrero-Ariza y Posada, 2017). Asimismo, Jefwa et al. (2012) encontraron que el contenido de P (30.7 mg/kg) y el carbono orgánico en suelo (1.9 %) de plantaciones de banano se correlacionan negativamente con la colonización, no obstante, el carbono orgánico también tuvo un efecto positivo en la abundancia de esporas y en la riqueza de especies. A pesar de la importancia del cultivo de banano en el estado de Colima, no existen reportes sobre los factores edáficos que promueven o disminuyen la abundancia y colonización de HMA. La presente investigación se enfocó en analizar las propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en el estatus de la micorriza arbuscular en tres plantaciones de banano en dos temporadas del año. Los hallazgos de esta investigación son relevantes en estrategias enfocadas a un manejo sostenible en cultivos de banano con aplicación de HMA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de las muestras biológicas

La colecta de las muestras se llevó a cabo en plantaciones agrícolas de banano de la variedad "Enano Gigante" (genoma AAA) siguiendo el procedimiento descrito por Mahecha-Vásquez et al. (2017). Los predios analizados fueron Dos Rositas (18°50'29.68" N, 103°48'47.84" O), La Palma (18°53'35.45" N, 103°51'50" O) y San Jorge (18°58'27.73" N, 103°51'16.81" O), los cuales tienen manejo agrícola convencional y están separados por al menos 10 km de distancia entre cada uno. En cada predio se recolectaron seis plantas en etapa de producción en febrero del 2018 (época de sequía; 1 mm de precipitación) y seis en agosto de ese mismo año (época de lluvias; 160 mm de precipitación) (Servicio Meteorológico Nacional, 2018) a una distancia de al menos 10 m entre cada vástago abarcando una hectá-

rea; se obtuvo un peso aproximado de 150 g de raíces secundarias de cada vástago. Dichas muestras se conservaron en bolsas de plástico dentro de una hielera y se almacenaron a 4 °C hasta su procesamiento.

Análisis de suelo

Se preparó una muestra compuesta de suelo (1 kg) a partir de las submuestras de suelo rizosférico de cada predio y se analizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la carretera Colima-Manzanillo km 35, Tecomán. Se realizó una réplica del análisis de suelo por predio y temporada del año. De la muestra compuesta se determinó el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley y Black, 1934), P (Olsen *et al.*, 1954), K, Ca, Mg y Na (extracción de con acetato de amonio), Cu, Fe, Zn, Mn, (extracción con ácido dietilentriaminopenta-acético), así como la conductividad eléctrica (CE), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbonatos totales (Horton y Newson, 1953), textura del suelo (Bouyocus, 1936) y contenido de humedad.

Extracción de esporas

La extracción de esporas se realizó de acuerdo con la metodología de decantado y tamizado en húmedo (Gerdemann y Nicolson, 1963), con algunas modificaciones. Se pesaron 100 g de suelo rizosférico de cada vástago de los predios analizados, y se colocaron en un vaso de precipitado de 2 L, con 1.5 L de agua corriente; se agitó durante 3 min, se dejó reposar 30 s, y el sobrenadante se decantó usando tamices de 297, 75 y 45 μm . Este proceso se realizó tres veces. El decantado se colocó en un tubo de 50 mL conteniendo 50 % de sacarosa y se centrifugó (3000 rpm, 5 min, 25 °C); se recuperó el sobrenadante, se pasó por un tamiz de 45 μm y se lavó con agua corriente con la finalidad de eliminar el exceso de sacarosa. El retenido se colocó en una caja Petri y se revisó en el microscopio estereoscópico (Olympus, Japón). Esporas íntegras (que no estaban colapsadas con el contenido citoplasmático) se aislaron a partir del color, tamaño y forma con ayuda de una aguja de jeringa de insulina; se cuantificaron con ayuda de un contador manual y se conservaron a 4 °C en tubos Eppendorf con 1.5 mL de agua destilada estéril.

Cultivos trampa

Con el propósito de incrementar el número de esporas se realizó la técnica de cultivo trampa reportada por

Bagyaraj y Stürmer (2012), en un invernadero tipo túnel a temperatura ambiente. Las muestras de suelo recolectadas en campo se colocaron en macetas de 2 kg previamente desinfectadas con cloro; el suelo se regó diariamente a capacidad de campo y se sembraron semillas de sorgo y frijol en cada maceta. Seis meses después de la siembra se disminuyó el riego para generar estrés en las plantas. Finalmente, las plantas se cortaron al nivel del suelo para inducir la formación de esporas; se extrajo el suelo de las macetas (100 g) y se realizó la caracterización morfológica de las esporas.

Caracterización morfológica de esporas

Las esporas aisladas del cultivo trampa se montaron en portaobjetos siguiendo el procedimiento descrito por Moína-Quimí *et al.* (2018). Para esto, se agregó una gota de alcohol polivinílico lactoglicerol (PVLG) en el extremo de un portaobjetos y en el otro extremo una gota de PVLG+Melzer. En cada gota se colocaron 10 esporas, las cuales se cubrieron con un cubreobjetos y se aplicó una ligera presión con el émbolo de una jeringa de insulina para exponer los estratos de la pared y su reacción con el reactivo de Melzer. Las esporas se observaron en el microscopio óptico a 40X (Axio, E.U.A.) y se tomaron fotos directamente usando una cámara de 13 megapíxeles. Los HMA fueron identificados con ayuda de las descripciones reportadas en la Colección Internacional de Hongos Micorrízicos Arbusculares (Morton, 2019).

Tinción de raíces y porcentaje de colonización de HMA

La tinción se llevó a cabo por el método de clareo y tinción (Phillips y Hayman, 1970). Se pesaron 2 g de raíces por muestra, se lavaron por separado con agua corriente para retirar el suelo y se sumergieron en etanol 70 % (v/v) para conservarlas. Posteriormente, las raíces fueron clareadas en 10 % KOH por 10 días, cambiando el reactivo cada 24 h. Se enjuagaron con agua corriente y se dejaron en 10 % HCl por 48 h. Se eliminó el exceso de ácido con ayuda de una coladera y toallas de papel. Las raíces fueron teñidas con azul de tripano 0.05 % en lactoglicerol (p/v) por 24 h y colocadas en una caja Petri conteniendo agua destilada. Se obtuvieron 20 segmentos de 1 cm de longitud de raíces, se colocaron en dos portaobjetos por planta, se cubrieron con un cubreobjetos y se adicionó lactoglicerol hasta cubrir las raíces. Finalmente, estas fueron observadas en 120 campos en forma de zigzag en un microscopio óptico a 40X (Mo-

tic, E.U.A.). El porcentaje de colonización se determinó usando la siguiente fórmula: colonización (%) = (número de campos colonizados/número total de campos observados) * 100 (Valencia y Zúñiga, 2015).

Análisis de datos

Previo al análisis de varianza (ANOVA), se comprobó la normalidad y homogeneidad de la abundancia de esporas, mientras que los porcentajes de colonización micorrízica fueron transformados usando la fórmula $\arcseno(\sqrt{\text{porcentaje}})$. La comparación de medias se realizó con la prueba Tukey ($\alpha = 0.05$). Los morfotipos de HMA identificados en las tres plantaciones se registraron en una matriz de presencia-ausencia. La influencia de las propiedades edáficas sobre la colonización y abundancia de esporas se determinó mediante un análisis de componentes principales usando el programa estadístico Minitab versión 16.1 (Minitab Inc., E.U.A.). Previo al análisis de componentes principales, se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson usando el programa excel de Office (Microsoft Corp., E.U.A.) con el fin de seleccionar las variables que tuvieron mayor influencia en la abundancia de esporas en la rizosfera y en colonización de HMA en raíces de banano, a partir de un valor del coeficiente de correlación ($r \geq 0.70$).

RESULTADOS

Propiedades edáficas de las plantaciones de banano en dos temporadas del año

Las tres plantaciones analizadas presentaron un tipo de suelo distinto. Específicamente, se encontró suelo franco arcillo arenoso (arena: 54.6 %, limo: 20.0 %, arcilla: 25.4 %) en el predio La Palma, franco limoso (arena: 14.6 %, limo: 60.0 %, arcilla: 25.4 %) en Dos Rositas y arcillo limoso (arena: 14.6 %, limo: 40.0 %, arena: 45.5 %) en San Jorge. El pH de las muestras de suelo fue moderadamente alcalino, en un intervalo de 7.8 (San Jorge) a 8.0 (Dos Rositas). En época de lluvias, el predio San Jorge presentó los valores más altos en: MO (3.20 %), P (36.0 ppm), Ca (7024.5 ppm), K (1022.6 ppm), Mg (551.5 ppm), Cu (2.7 ppm), Fe (20.0 ppm), CIC (42.7 meq/100g), humedad (22.5 %) y carbonatos (13.3 %). Mientras que en Dos Rositas el Mn (17.8 ppm) y el limo (60 %) fueron las variables que presentaron los valores más altos. En época de sequía, La Palma presentó los valores más altos en CE (5.0 dS/m), nitratos (69.4 ppm),

Na (274.0 ppm) y arena (54.6 %), entretanto el valor más alto de Zn (3.5 ppm) se observó en Dos Rositas.

Estatus de la micorriza arbuscular en cultivo de banano

Se observaron diferencias significativas ($P < 0.001$) en la abundancia de esporas en los predios La Palma y San Jorge en ambas temporadas, pero no en Dos Rositas (Figura 1A). El valor más alto en la abundancia de esporas (1700 esporas/100 g de suelo) se encontró en La Palma, durante la época de lluvias. Mientras que, en temporada de sequía, la abundancia obtenida en este predio no presentó diferencias significativas con los valores observados en ambas temporadas en el rancho San Jorge. En este último, el valor más alto de esporas también se encontró en temporada de lluvias (1285 esporas/100 g suelo). Dos Rositas presentó el valor más bajo en la abundancia de esporas en ambas temporadas (581 esporas/100 g de suelo).

Por otro lado, se observó colonización en raíces de banano de las tres plantaciones analizadas, pero solo se encontraron diferencias significativas ($P < 0.001$) en temporada de sequía (Figura 1B), siendo el predio San Jorge donde se presentó el porcentaje de colonización más alto (63.3 %), seguido de La Palma (43.2 %) y Dos Rositas (30.8 %); en temporada de lluvias se observó un intervalo de colonización del 52.2 % al 56.0 %.

Se identificaron 23 morfotipos pertenecientes a los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Rhizophagus* y *Gigaspora*. En el predio La Palma se identificó el mayor número de morfotipos (22), seguido de San Jorge (19) y Dos Rositas (17). De estos morfotipos se identificaron 8 especies de HMA (*Acaulospora scrobiculata* [Trappe]; *Acaulospora tuberculata* [Janos & Trappe]; *Claroideoglomus etunicatum* [Becker & Gerd.]; *Funneliformis geosporum* [Nicolson & Gerd.]; *Glomus callosum* [Sieverd.]; *Glomus macrocarpum* [Tul. & C. Tul.]; *Racocetra* aff. *verrucosa*, *Rhizophagus* aff. *aggregatum*) (Figura 2, Tabla 1).

Influencia de las propiedades edáficas en el estatus de la micorriza arbuscular

En la Tabla 2 se muestran las propiedades edáficas que presentaron mayor correlación con la abundancia de esporas en cada temporada. Se encontró que esta variable es influenciada por un número mayor de factores edáficos en temporada de sequía comparado con la época de lluvias. Los resultados del análisis indican que se requieren dos componentes para explicar el 100 % de la varianza de los datos en cada temporada.

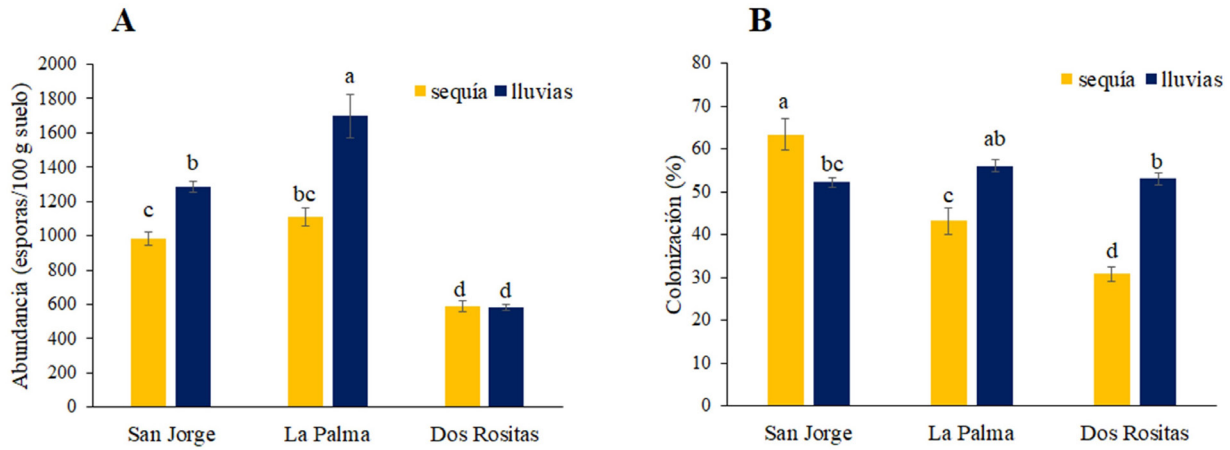


Figura 1. Estatus de la micorriza arbuscular en tres plantaciones de banana en Tecomán, Colima. A: abundancia de esporas. B: colonización de HMA. Letras distintas entre las barras indican diferencias significativas (prueba de Tukey, $P \leq 0.05$).

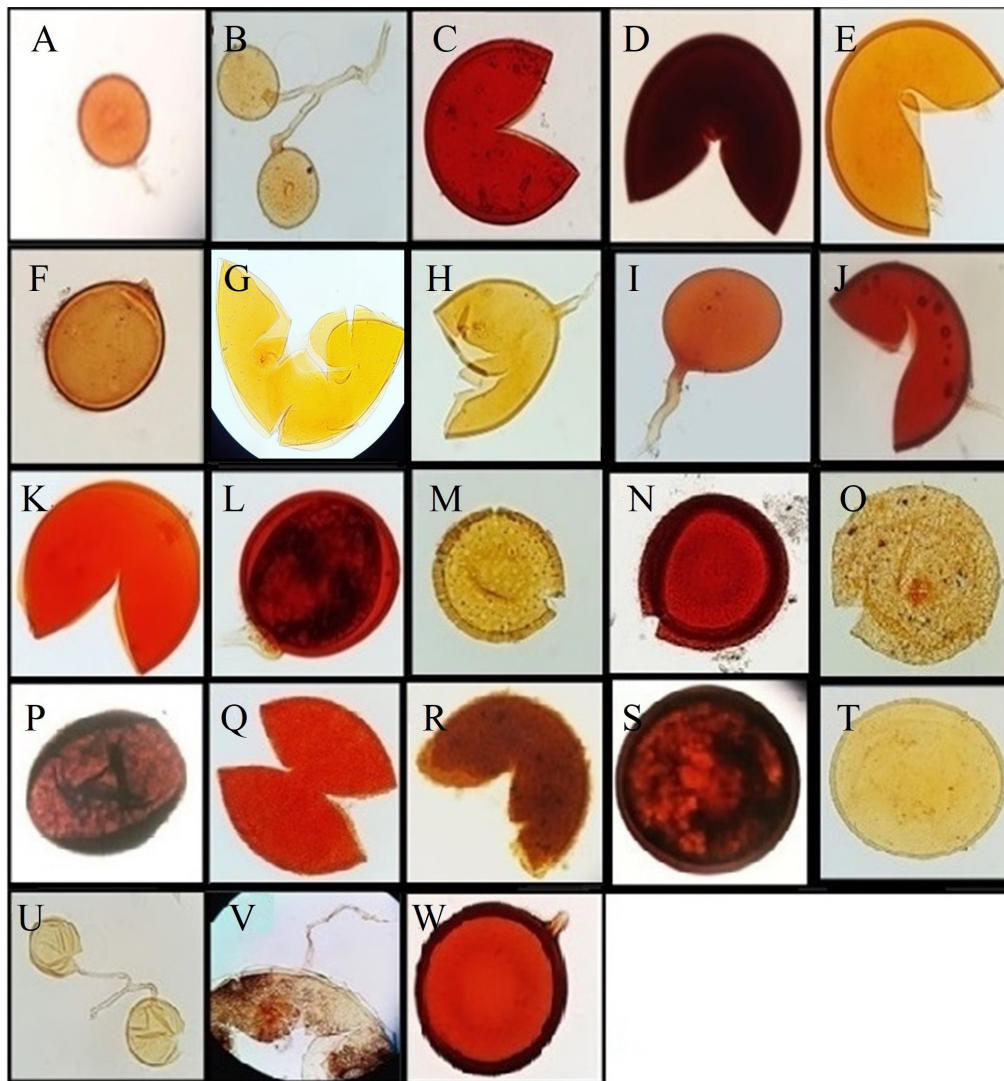


Figura 2. Morfotipos y especies de hongos micorrízicos arbusculares identificados en las plantaciones de banana en Tecomán, Colima. A: *Glomus macrocarpum*. B: *Glomus callosum*. C-K: *Glomus* sp. L: *Claroideoglomus etanicatum*. M: *Acaulospora scrobiculata*. N: *Acaulospora tuberculata*. O-T: *Acaulospora*. U: *Rhizophagus* aff. *aggregatum*. V: *Racocetra* aff. *verrucosa*. W: *Funneliformis geosporum*.

Tabla 1. Morfotipos y especies de hongos micorrízicos arbusculares identificados en las plantaciones de banano en Tecomán, Colima

Morfotipo	Predio			HMA	Figura 2
	San Jorge	La Palma	Dos Rositas	Especie	
1	x	x		<i>Glomus macrocarpum</i>	A
2	x	x		<i>Glomus callosum</i>	B
3	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	C
4	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	D
5	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	E
6		x		<i>Glomus sp.</i>	F
7	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	G
8		x		<i>Glomus sp.</i>	H
9		x		<i>Glomus sp.</i>	I
10	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	J
11	x	x	x	<i>Glomus sp.</i>	K
12	x	x	x	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	L
13	x	x	x	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	M
14	x	x	x	<i>Acaulospora tuberculata</i>	N
15	x	x	x	<i>Acaulospora sp.</i>	O
16	x		x	<i>Acaulospora sp.</i>	P
17	x	x	x	<i>Acaulospora sp.</i>	Q
18	x	x	x	<i>Acaulospora sp.</i>	R
19	x	x	x	<i>Acaulospora sp.</i>	S
20	x	x	x	<i>Acaulospora sp.</i>	T
21	x	x	x	<i>Rhizophagus aff. aggregatum</i>	U
22		x		<i>Racocetra aff. verrucosa</i>	V
23	x	x	x	<i>Funneliformis geosporum</i>	W
Total	19	22	17		

En época de sequía, los coeficientes de las propiedades edáficas presentaron valores similares entre sí en el primer componente, el cual explica el 87.2 % de la variación. En este componente los micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn), el K y el limo favorecen la abundancia de esporas, mientras que la MO, los NO₃ y la arena la disminuyen (Tabla 2). En el segundo componente (12.8 % de la varianza total) se observó una mayor variación en los valores de los coeficientes, siendo la CE el factor que más favorece la abundancia, entretanto, el Ca, CIC, humedad y carbonatos la reducen de manera más importante (Figura 3A). En época de lluvias, el pH presentó una influencia negativa, mientras que el P, Ca, CIC, K y carbonatos favorecen la abundancia de esporas en el primer componente (85.6 %). En el segundo componente (14.4 %), la MO, Cu, Zn y arcilla tienen un efecto positivo, en tanto que el Mg presentó un efecto negativo (Tabla 2) (Figura 3B). Asimismo, se encontró que la MO, Ca, CIC, K, Cu, Zn y carbo-

atos son las propiedades que tienen una influencia en la abundancia de esporas en ambas temporadas del año.

Por otro lado, las propiedades edáficas que tienen mayor correlación con la colonización de HMA se muestran en la Tabla 3. En este caso, un mayor número de factores edáficos influyen en la colonización de HMA en temporada de lluvias. En época de sequía el Zn tuvo una influencia negativa en la colonización en el primer componente (85 % de la varianza total), mientras que el pH es el que más la favorece en el segundo componente (15 % de la variación) (Figura 3C). En época de lluvias, los NO₃ y Fe tuvieron una influencia positiva, entretanto, la CE, Na y la arena presentaron un efecto negativo en el primer componente (82 %). En el segundo componente (18 %), el Mn promueve la colonización, mientras que la humedad y la arcilla la disminuyen (Figura 3D).

Tabla 2. Influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas en época de sequía y de lluvias

Propiedad edáfica	Época de sequía		Propiedad edáfica	Época de lluvias	
	Primer componente (87.2 %) [#]	Segundo componente (12.8 %)		Primer componente (85.6 %)	Segundo componente (14.4 %)
MO	-0.286*	0.004	MO	0.300	0.308
Ca	-0.229	-0.447	P	0.309	-0.254
CIC	-0.258	-0.324	Ca	0.311	0.237
CE	-0.251	0.359	Mg	0.285	-0.386
NO ₃	-0.275	-0.205	CIC	0.320	0.148
K	0.280	-0.159	pH	-0.324	-0.079
Cu	0.269	-0.258	K	0.310	-0.249
Fe	0.286	0.034	Cu	0.294	0.345
Mn	0.275	-0.209	Zn	-0.279	0.413
Zn	0.269	0.254	Arcilla	0.272	0.436
Humedad	0.228	-0.453	Carbonatos	0.308	-0.256
Arena	-0.280	0.153			
Limo	0.286	0.027			
Carbonatos	-0.261	-0.306			

[#] Representa el porcentaje de la variación total de los datos.

* Se selecciona el valor absoluto más alto de cada coeficiente para decidir en qué componente se describe. El signo - indica que tiene una influencia negativa en la abundancia de esporas.

Tabla 3. Influencia de las propiedades edáficas en la colonización de hongos micorrízicos arbusculares en época de sequía y de lluvias

Propiedad edáfica	Época de sequía		Propiedad edáfica	Época de lluvias	
	Primer componente (85 %) [#]	Segundo componente (15 %)		Primer componente (82 %)	Segundo componente (18 %)
Ca	0.439*	0.137	CE	-0.387	-0.103
CIC	0.442	-0.065	NO ₃	0.372	0.255
pH	0.202	0.938	Na	-0.379	-0.202
NO ₃	0.431	-0.243	Fe	0.382	-0.176
Zn	-0.437	0.172	Mn	0.352	0.359
Carbonatos	0.441	-0.094	Humedad	0.319	-0.480
			Arena	-0.388	-0.083
			Arcilla	0.214	-0.697

[#] Representa el porcentaje de la variación total de los datos.

* Se selecciona el valor absoluto más alto de cada coeficiente para decidir en qué componente se describe. El signo - indica que tiene una influencia negativa en la colonización.

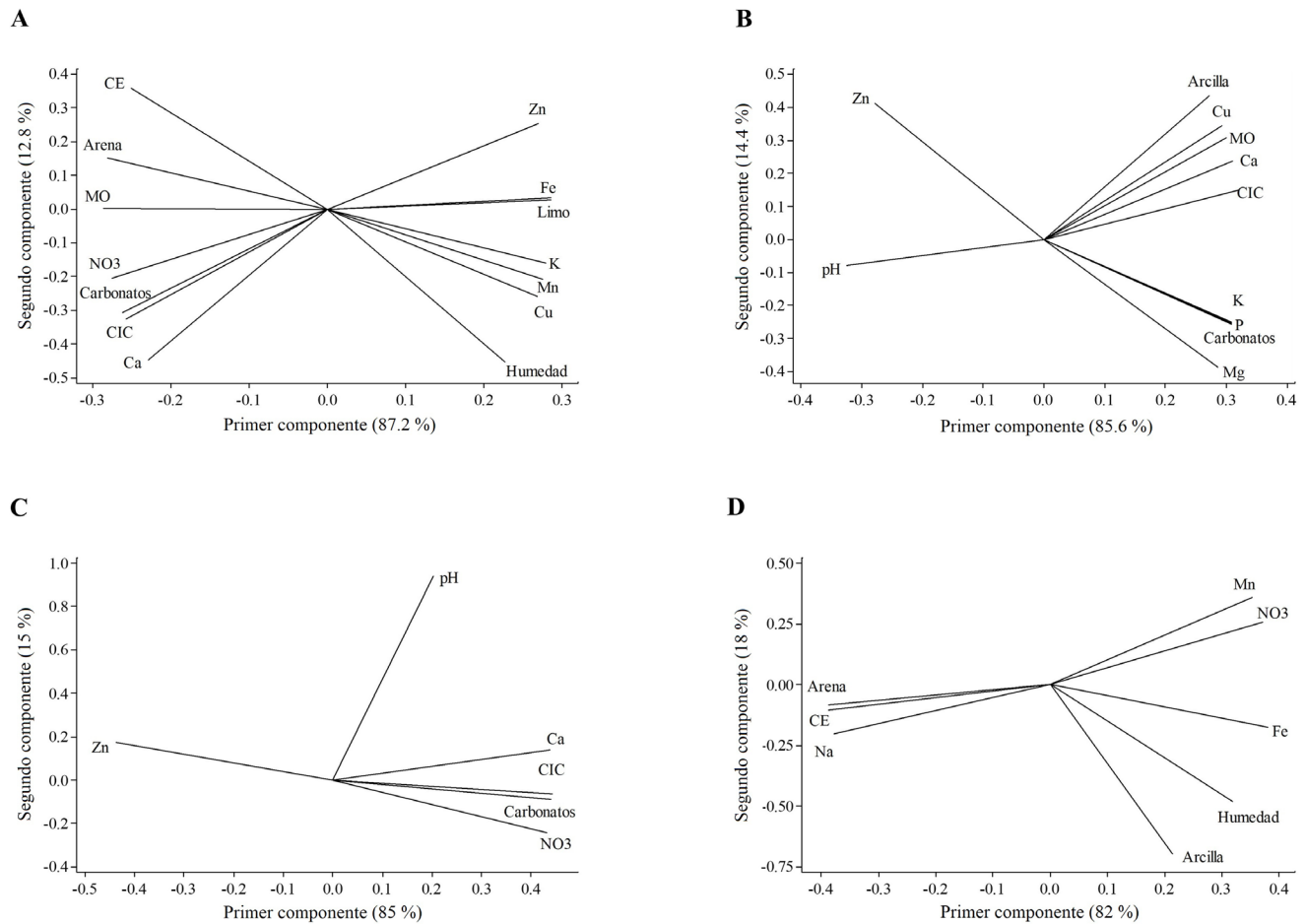


Figura 3. Análisis de componentes principales de la influencia de las propiedades edáficas en el estatus de la micorriza arbuscular. A: abundancia de esporas en época de sequía. B: abundancia de esporas en época de lluvias. C: colonización de HMA en época de sequía. D: colonización de HMA en época de lluvias.

Los resultados del análisis de componentes principales muestran que el número de propiedades que promueven o disminuyen la colonización es menor si se compara con el número de factores que tiene un efecto en la abundancia de esporas. Aunado a esto, el Ca, CIC, Zn y carbonatos son las propiedades edáficas que influyen tanto en la abundancia de esporas como en la colonización de HMA en época de sequía, mientras que la arcilla es la única propiedad que tiene un efecto en el estatus de la micorriza arbuscular en temporada de lluvias.

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio de la influencia de las propiedades edáficas en el estatus de la micorriza arbuscular en plantaciones de banano en Tecomán en dos temporadas del año. Particularmente, los factores que promueven o disminuyen la colonización de HMA son específicos de temporada, mientras que varios de los factores que influyen la abundancia de esporas coincide en temporada de lluvias y de sequía.

En la presente investigación, el porcentaje de colonización más alto (63.3 %) se observó en el predio la Palma en temporada de lluvias, el cual es similar al reportado por Gaidashova *et al.* (2010) (62 %) en banano cultivar Intuntu. No obstante, la abundancia de esporas fue diferente en ambos estudios, siendo 34 veces mayor en las plantaciones de banano en Tecomán. Esta diferencia puede deberse a que en verano (junio a septiembre), la esporulación de HMA se incrementa en regiones subtropicales como resultado de una disminución del requerimiento de nutrientes de la planta y un alto recambio de raíces, además de un incremento de la temperatura del suelo (Pandey *et al.*, 2016). Asimismo, los morfotipos del género *Glomus* y *Acaulospora* fueron identificados en ambos estudios, particularmente, esporas del género *Gigaspora* y *Scutellospora* se observaron en banano Intuntu (genoma AAA-EA), mientras *Claroideoglomus*, *Rhizophagus*, *Racocetra* y *Funneliformis* en banano Enano gigante (genoma AAA) en plantaciones de Tecomán.

En otro estudio, Jefwa *et al.* (2012) identificaron 22 morfotipos en plantaciones de banano, de los cuales el género *Acaulospora* fue el más abundante. De estos morfotipos se identificaron cinco especies (*Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora mellea*, *Glomus ambisporum*, *Glomus aggregatum*, y *Scutellospora*

pellucida). En las plantaciones de banano en Tecomán se encontró un número similar de morfotipos (23), sin embargo, el género *Glomus* fue el más abundante. También se identificó un mayor número de especies (*Funneliformis geosporum*, *Glomus callosum*, *Glomus macrocarpum*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora tuberculata*, *Racocetra aff. verrucosa* y *Rhizophagus aff. aggregatum*), siendo *A. scrobiculata* la que coincide en ambos estudios.

Por otro lado, Adriano-Anaya *et al.* (2006) reportaron una abundancia de 54 esporas/100 g de suelo y una colonización de 49 % en temporada de sequía en plantaciones de banano, mientras que en temporada de lluvias encontraron una densidad de 49 esporas/100 g de suelo y una colonización del 25 %. Dichos autores mencionan que las diferencias observadas en el estatus de la micorriza arbuscular se deben a la aplicación intensiva de agroquímicos y no a la época del año. Esto difiere a los resultados obtenidos en los predios San Jorge y La Palma, en los cuales se aplican los mismos agroquímicos; en dichos predios se observaron diferencias significativas en la abundancia de esporas en época de lluvias (Figura 1A) y en la colonización de HMA en época de sequía (Figura 1B). Lo anterior puede deberse a que, entre estos dos predios, San Jorge presentó los valores más altos de Ca, CIC y carbonatos en temporada de sequía, los cuales tienen una influencia positiva en la colonización, mientras que en La Palma se observó menor concentración de nutrientes en época de lluvias, lo que puede favorecer la abundancia de esporas.

La textura de suelo afecta el estatus de la micorriza arbuscular debido a que es uno de los factores que determina el flujo del aire y del agua a través del suelo, así como la disponibilidad de nutrientes (Sivakumar, 2013). En esta investigación encontramos que la arena tiene un efecto negativo en la abundancia de esporas y en la colonización de HMA en época de sequía y de lluvias, respectivamente. Esto coincide con lo reportado por Gaidashova *et al.* (2010), quienes observaron una correlación negativa entre un porcentaje alto de suelo grueso y la colonización. Asimismo, estos autores encontraron los valores más altos en abundancia de esporas y colonización en suelo arcilloso. Lo anterior difiere con los resultados del presente estudio, donde la arcilla favorece la abundancia de esporas, pero al mismo tiempo reduce la colonización de HMA en época de lluvias. Una explicación a esto es que la concen-

tración alta de nutrientes presente en suelo arcilloso puede reducir el desarrollo de la micorriza arbuscular (Carrenho et al., 2007).

Se ha reportado que un incremento de P en suelo se correlaciona negativamente con la colonización de HMA (Guerrero-Ariza et al., 2017) y con la abundancia de esporas (Jefwa et al., 2012). No obstante, los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales indican que el P influye positivamente en la abundancia de esporas, pero no tiene un efecto sobre la colonización (Tabla 2). Las discrepancias en la influencia de este factor en la abundancia de esporas y colonización de HMA pueden deberse a que esta última es más sensible a las concentraciones de P comparado con la producción de esporas (Liu et al., 2016). Con respecto al pH, este factor tuvo una influencia positiva en la colonización de época de sequía (Tabla 3), lo cual coincide con lo reportado por Jefwa et al. (2012), quienes encontraron que el pH favorece la colonización, pero disminuye la abundancia de esporas. Aunado a esto, se sabe que el pH se correlaciona positivamente con la CIC, es decir, un incremento del pH aumenta la concentración de cationes intercambiables (Ca Mg, K) y, por lo tanto, mayores nutrientes disponibles para la planta (Gaidashova et al., 2010). Esto puede explicar la influencia positiva que tienen el Ca, CIC y pH en la colonización de HMA (Tabla 3).

Guerrero-Ariza et al. (2017) reportaron que el Ca, Mg y K se correlacionan negativamente con la colonización de HMA en banano, mientras que el Na y la humedad del suelo no tuvieron un efecto sobre esta variable. Esto coincide con el efecto negativo del Na sobre la colonización en temporadas de lluvias, pero difiere a la influencia observada del Ca, el cual favorece el estatus de la micorriza arbuscular en temporada de lluvias, y reduce la abundancia de esporas en temporada de sequía. Entretanto, el K favorece la abundancia de esporas en ambas temporadas, mientras que la humedad disminuye la colonización y la abundancia de esporas en temporada de lluvias y sequía, respectivamente.

Las diferencias en la influencia de las propiedades edáficas observadas en las variables de interés no solo pueden deberse a las condiciones ambientales y agronómicas específicas de cada sitio, sino también a la comunidad de especies vegetales, la variedad (genotipo) de la planta, el clima, la aplicación de agroquímicos, la microbiota presente en el suelo y la etapa fenológica de la planta, entre otros (Panwar et al., 2011; Sivaku-

mar, 2013), por lo que encontrar un consenso de los componentes que tiene mayor impacto en la abundancia de esporas y colonización de HMA en plantaciones de banano de diferentes regiones representa un reto.

CONCLUSIONES

La abundancia de esporas y la colonización de HMA son influenciadas por diferentes propiedades físicas y químicas del suelo presentes en cada temporada. El presente estudio describe los componentes edáficos que más influyen en la abundancia de esporas y colonización de HMA en las plantaciones analizadas en Tecomán, Colima. Esta información puede ser de apoyo para estudios posteriores enfocados a la aplicación de fertilizantes a base de HMA en dichas plantaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado por los recursos fiscales SEP-PRODEP proyecto No. DSA/103.5/16/10406. También a Enrique Pascual y Mayra Vázquez por su apoyo en los experimentos.

LITERATURA CITADA

- Adriano-Anaya M.L., F. Solís-Domínguez, M.E. Gavito-Pardo, M. Salvador-Figueroa, 2006. Agronomical and environmental factors influence root colonization, sporulation, and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi at a specific phenological stage of banana trees. *Journal of Agronomy* 5: 11-15. Doi: 10.3923/ja.2006.11.15
- Bagyaraj, J.D., S.L. Stürmer, 2012. Hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). In: Moréira, F., E. Huising, D. Bignell (eds.), *Manual de biología de suelos tropicales*. México, D.F. Pp. 217-235.
- Begum, N., C. Qin, M.A. Ahanger, S. Raza, M.I. Khan, M. Ashraf, N. Ahmed, L. Zhang, 2019. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science* 10: 1068. Doi: 10.3389/fpls.2019.01068
- Bouyoucos, G.J., 1936. Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Science* 42: 225-230.
- Brundrett, M.C., L. Tedersoo, 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220: 1108-1115. Doi: 10.1111/nph.14976; pmid: 29355963
- Carrenho, R., S. Trufem, V. Bononi, E. Silva, 2007. The effect of different soil properties on arbuscular mycorrhizal colonization of peanuts, sorghum and maize. *Acta Botanica Brasílica* 21: 723-730. Doi: 10.1590/S0102-33062007000300018
- Declerck, S., C. Plenchette, D.G. Strullu, 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant and Soil* 176: 183-187.
- Gaidashova, S.V., P.J.A. Van Asten, J.M. Jefwa, B. Delvaux, S. Declerck, 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi in the East African Highland banana cropping systems as related to edapho-climatic conditions and management practices: case study of Rwanda. *Fungal Ecology* 3: 225-233. Doi: 10.1016/j.funeco.2009.09.002

- Gerdemann, J., T. Nicolson, 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- Guerrero-Ariza D., R. Posada, 2017. Why is there a tripartite symbiosis in banana crops? *Rhizosphere* 4: 29-35. Doi: 10.1016/j.rhisph.2017.06.001
- Han, X., C. Xu, Y. Wang, D. Huang, Q. Fan, G. Xin, C. Müller, 2019. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to root colonization, spore density, and soil properties among different spreading stages of the exotic plant three flower beggarweed (*Desmodium triflorum*) in a *Zoysia tenuifolia* lawn. *Weed Science* 67: 689-701. Doi: 10.1017/wsc.2019.50
- Horton, J.H., D.W. Newson, 1953. A rapid gas evolution for calcium carbonate equivalent in liming materials. *Soil Science Society of American, Proceedings* 17: 414-415.
- Jefwa J.M., E. Kahangi, T. Losenge, J. Mung'atu, W. Ngului, S.M. Ichami, N. Sanginga, B. Vanluawe, 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of banana and plantain and the growth of tissue culture cultivars. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 157: 24-31. Doi: 10.1016/j.agee.2012.03.014
- Liu, W., Y. Zhang, S. Jiang, Y. Deng, P. Christie, P.J. Murray, X. Li, J. Zhang, 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil and roots respond differently to phosphorus inputs in an intensively managed calcareous agricultural soil. *Scientific Reports* 6: 24902. Doi: 10.1038/srep24902
- Mahecha-Vásquez, G., S. Sierra, R. Posada, 2017. Diversity indices using arbuscular mycorrhizal fungi to evaluate the soil state in banana crops in Colombia. *Applied Soil Ecology* 109: 32-39. Doi: 10.1016/j.apsoil.2016.09.017
- Moína-Quimí, E., R. Oviedo-Anchundia, S. Nieto-Barcelona, P. Herrera-Samaniego, M. Barcos-Arias, 2018. Evaluación de los hongos micorrízicos arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador. *Revista Bionatura* 3: 532-537. Doi: 10.21931/RB/2018.03.01.9
- Morton, J.B., 2019. International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal (INVAM) - West Virginia University. <http://invam.wvu.edu/>
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ. 939*. USDA, Washington DC.
- Pandey, R., I. Chongtham, M. Thangavelu, 2016. Influence of season and edaphic factors on endorhizal fungal associations in subtropical plantation forest trees of Northeastern India. *Flora* 222: 1-12. Doi: 10.1016/j.flora.2016.03.011.
- Panwar, V., M.K. Meghvansi, S. Siddiqui, 2011. Short-term temporal variation in sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and physico-chemical edaphic properties of wheat rhizosphere. *Saudi Journal of Biological Sciences* 18: 247-254. Doi: 10.1016/j.sjbs.2010.12.012
- Phillips, J., D. Hayman, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 157-161.
- Rouphael, Y., P. Franken, C. Schneider, D. Schwarz, M. Giovannetti, M. Agnolucci, S. De Pascale, P. Bonini, G. Colla, 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi as biostimulants in crops. *Scientia Horticulturae* 196: 91-108. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.002
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018. Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx>, consultado: 05.11.2019.
- Servicio Meteorológico Nacional, 2018. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvias. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>, consultado: 01.10.2019.
- Sivakumar, N., 2013. Effect of edaphic factors and seasonal variation on spore density and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in sugarcane fields. *Annals of Microbiology* 63: 151-160. Doi: 10.1007/s13213-012-0455-2
- Simó-González, J., R.E. Rivera, L.M. Ruiz, G.A. Martín, 2020. The integration of amf inoculants, green manure and organo-mineral fertilization, in banana plantations on calcic haplic phaeozems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23: 1-15.
- Valencia, C., D. Zúñiga, 2015. Análisis de la presencia natural de micorrizas en cultivos de algodón (*Gossypium barbadense* L.) inoculados con *Bacillus megaterium* y/o *Bradyrhizobium yuanminense*. *Ecología Aplicada* 4: 65-69. Doi: 10.21704/rea.v14i1-2.82
- Verzeaux, J., E. Nivelle, D. Roger, B. Hirel, F. Dubois, T. Tetu, 2017. Spore density of arbuscular mycorrhizal fungi is fostered by six years of a no-till system and is correlated with environmental parameters in a silty loam soil. *Agronomy* 7: 38-47. Doi: 10.3390/agronomy7020038
- Walkley, A., A. Black, 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Zangaro, W., L. Rostirola, P. Souza, R. de Almeida Alves, L.E. Azevedo Marques Lescano, A.B. Lírio Rondina, M.A. Nogueira, R. Carrenho, 2013. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza* 23: 221-233. Doi: 10.1007/s00572-012-0464-9