



HONGOS MICORRÍCICOS ARBUSCULARES DE SUELOS DE SABANA EN TABASCO, MÉXICO

[ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI FROM SAVANNAH SOILS IN TABASCO, MÉXICO]

M. Osorio-Miranda¹, M. Castelán-Estrada¹, J.F. Gómez-Leyva²,
S. Salgado-García¹ and L. Hernández-Cuevas³

¹*Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. LPI-2 Agroecosistemas Sustentables. Periférico Carlos A. Molina s/n H. Cárdenas 86500 Tabasco. México. Email: mcastelan@colpos.mx*

²*Laboratorio de Biología Molecular, Instituto Tecnológico de Tlajomulco. Km 10, Carretera a San Miguel Cuyutlán. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. México.*

³*Laboratorio de Microbiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Km 10, Carretera Texmelucan-Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.*

*Corresponding author

SUMMARY

Savannah soils are well represented at the state of Tabasco, Mexico. On them the maize is extensively grown and its association with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) could play a significant role on nutrients inflow. Until now in spite of relevance of these microorganisms for maize nutrition only one arbuscular mycorrhizal species has been recorded from Tabasco maize fields. Under this consideration, the objectives of the study were to quantify the spores of AMF and to identify the species, to estimate the colonization percentage in maize roots, as well as the fertility from five savannah soils; Emiliano Zapata and Humanguillo savannahs are acidic, while Balancán, Tenosique and Tacotalpa are neutral. Low to high fertility was found in all cases. Spore number 100 g⁻¹ dry soil was low (150) to high (750). Mycorrhizal colonization was very high (96-100%). Fifteen AMF species from eight genera were found, so the species for Tabasco reach 20. *Glomus ambisporum* and *Sclerocystis sinuosa* were found in all five savannahs, while *Funneliformis constrictus* the only one AMF species previously reported from maize in Tabasco was not recovered. Savannah similarity was very low, which indicates a peculiar species composition for each.

Key words: mycorrhizal colonization; richness; similarity; soil fertility; *Zea mays*.

RESUMEN

Los suelos de sabana están bien representados en el estado de Tabasco, México, en ellos se cultiva maíz de manera extensiva y los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) pueden jugar un papel muy importante en la captación de nutrimentos. Hasta la fecha, sólo se ha reportado una especie de este grupo de hongos para los suelos con maíz en Tabasco, en razón de ello y debido a la trascendencia de estos microorganismos para la nutrición vegetal del maíz, los objetivos de este estudio fueron determinar la abundancia e identidad de las esporas de HMA, evaluar la colonización micorrícica en las raíces del maíz, así como la fertilidad de los suelos de cinco sabanas de Tabasco, México. Los resultados indican que las sabanas de Emiliano Zapata y Huimanguillo presentan suelos muy ácidos, mientras que en Balancán, Tenosique y Tacotalpa son neutros; en todos los casos la fertilidad va de baja a moderada. El número total de esporas en 100 g⁻¹ de suelo seco fue de bajo (150) a alto (750); los porcentajes de colonización fueron muy altos (96-100%). Se encontraron 15 especies de HMA distribuidas en ocho géneros, lo que aumenta el número de especies registradas para Tabasco a 20; *Glomus ambisporum* y *Sclerocystis sinuosa* se encontraron en todas las sabanas, mientras que *Funneliformis constrictus*, la única especie reportada previamente para suelos con maíz en Tabasco no se registró ninguna. La similitud entre las sabanas estudiadas es muy baja, presentándose una composición particular de especies en cada una de ellas.

Palabras clave: colonización micorrícica; riqueza; similitud; fertilidad del suelo; *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

Las sabanas constituyen ecosistemas que se distribuyen en la zonas tropicales de América, África y Asia cuya vegetación dominante es de tipo graminoide (Toro, 2008). En estos ecosistemas los suelos tienden a ser someros, infértiles y ácidos, y llegan a presentar toxicidad por aluminio; este elemento fija el fósforo en complejos insolubles haciéndolo poco disponible para la vegetación (Morello, 2002); estos suelos en general presentan mal drenaje, que aunado a la toxicidad por aluminio limitan el crecimiento radical y el desarrollo vegetal. En México las sabanas ocupan alrededor de 12% del territorio nacional, siendo el estado de Tabasco donde se presentan las sabanas más extensas del país (Pérez *et al.*, 2005). En estas zonas se destinan grandes superficies al cultivo de especies de importancia económica, entre ellas el maíz (*Zea mays* L.) el cual contribuye a sustentar el desarrollo agrícola de la región aunque su productividad es limitada (INEGI, 2010). Se sabe que 90% de las especies de plantas vasculares son capaces de formar simbiosis mutualistas espontáneas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), que dichas asociaciones no son específicas desde un punto de vista taxonómico (Van der Heijden y Sanders, 2002) y que los HMA constituyen un grupo de microorganismos clave en todos los ecosistemas terrestres (Smith y Read, 1997). El maíz es una de las plantas que se asocia de manera natural con HMA, cuyos efectos son positivos para ambos simbiosis (Cuenca *et al.* 2007). Se ha documentado que las micorrizas arbusculares mejoran el desarrollo del maíz y de la microflora rizosférica acompañante (Vázquez *et al.*, 2000) favoreciendo su capacidad de adaptación a condiciones de estrés (Feng *et al.*, 2002), así como la absorción de nutrimentos minerales aún en suelos muy ácidos (Liu *et al.*, 2000). La presencia de HMA en suelos de sabana podría favorecer de manera significativa la absorción de nutrimentos por el cultivo de maíz (Toro, 2008) principalmente de fósforo, que es uno de los nutrimentos limitantes para el crecimiento vegetal en las sabanas, donde además contribuyen a la estabilización del suelo (Smith y Read, 1997). No obstante, para potenciar los efectos benéficos de las micorrizas arbusculares sobre los cultivos de interés económico es necesario determinar los niveles de colonización que alcanzan y qué especies de HMA predominan en este tipo de ecosistemas, para, a corto y mediano plazo favorecer la propagación de estos hongos y facilitar el desarrollo de la simbiosis en diferentes cultivos. No obstante a la fecha se han registrado ocho especies de HMA para el estado de Tabasco [*Ambispora gerdemanii*, *Acaulospora laevis*, *A. scrobiculata*, *Glomus ambisporum*, *Gl. citricola*, *Sclerocystis sinuosa* (como *Glomus sinuosum*) y *Scutellospora heterogama* (Franco-Ramírez *et al.*,

2007)], sólo una de las cuales fue extraída de suelos cultivados con maíz [*Funneliformis constrictus* (sinónimo *Glomus constrictus*) (Trappe, 1977)]. Considerando la gran escasez de información que existe sobre la simbiosis micorrízica y los HMA en el estado de Tabasco, así como la importancia de conocer de manera particular a estos simbiosis en los cultivos que sustentan el desarrollo de la entidad, el presente trabajo tuvo como objetivos determinar los niveles de colonización micorrízica arbuscular, la abundancia y frecuencia de especies de HMA asociados con el maíz y las condiciones de fertilidad en las sabanas del estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Las muestras de suelo fueron recolectadas en cinco municipios de Tabasco donde existen ecosistemas de sabana y se cultiva maíz de manera extensiva: Balancán, Emiliano Zapata, Huimanguillo, Tacotalpa y Tenosique (Figura 1). El relieve de estos sitios es casi plano, con drenaje deficiente, donde predominan especies herbáceas, graminiformes y arbustos dispersos como *Curatella americana* L. y *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Pérez *et al.*, 2005). En total se muestrearon 20 puntos, con tres repeticiones cada uno (Tabla 1).

Determinación de fertilidad

Las muestras de suelo se prepararon de acuerdo con la propuesta de Salgado-García *et al.* (2006) para realizar los procedimientos de laboratorio de acuerdo con la NOM-021-RECNAT (2000); la textura se determinó por el método de Bouyoucos, el pH por potenciometría (1:2 suelo:agua v/v), la materia orgánica por el método de Walkley y Black, el nitrógeno total por Kjeldahl; las bases intercambiables (Ca, Mg y K) por extracción con acetato de amonio 1N pH 7.0 y espectrofotometría de absorción atómica; el fósforo por el método de Olsen (Olsen y Kemper, 1968), y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por extracción con acetato de amonio 1N pH 7, destilación y titulación.

Estimación del porcentaje de colonización

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo por municipio (Tabla 1; Figura 1). En cada sitio se muestrearon 15 plantas de maíz criollo, aproximadamente 70 días después de la siembra. Se extrajo la rizósfera de una profundidad de 0 a 45 cm y en un diámetro de 25 cm alrededor del tallo; se tomaron 500 g de suelo rizosférico en cada muestra. Las raíces se lavaron con agua destilada y muestras de 5 g se pusieron en tubos de ensayo con solución

FAA (acidó acético: agua: etanol 1:1:1 v/v/v) para su conservación y transporte. Las raíces fueron teñidas por el método de Phillips y Hayman (1970) y para evaluar la colonización de raíces se siguió el método de McGonigle *et al.*, (1990).

Cuantificación de esporas y determinación taxonómica de HMA

En muestras de 100 g de suelo se extrajeron las esporas mediante el método de tamizado en húmedo

(Gerderman y Nicholson, 1963); los tamizados se centrifugaron en solución de sacarosa al 60% y las esporas se pusieron en 15 mL de solución Ringer como preservador (cloruro de sodio 8.5 g L⁻¹, cloruro de potasio 0.4 g L⁻¹, cloruro de calcio dihidratado 0.34 g L⁻¹); a partir de estas muestras se cuantificó el número total de esporas por muestra observada. Las esporas se montaron en portaobjetos con PVLG y PVLG + reactivo de Melzer.

Tabla 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo de rizósferas de maíz cultivado en suelos de sabana de Tabasco, México.

Punto	Municipio	Localidad	Coordenadas UTM		Subunidades de Suelo*
			X	Y	
BA1	Balancán	Francisco I. Madero	708843	1934561	LPk
BA2		Chamizal	707559	1934727	LPk
BA3		El Palmar	706140	1932591	VRe
BA4		El Palmar	705941	1931855	VRe
EZ1	Emiliano Zapata	Comunidad Cacao	646377	1953270	FRr
EZ2		Comunidad Cacao	647577	1951824	FRr
EZ3		Agua Azul	643937	1954235	FRr
EZ4		Comunidad Cacao	646951	1952505	FRr
HU1	Huimanguillo	Central Fournier 1 ^a	402156	1975251	ACp
HU2		Central Fournier 1 ^a	402075	1975438	ACp
HU3		Tres Bocas	403652	1980146	ACg
HU4		Comunidad Nopalito	402528	1976916	ACp
TA1	Tacotalpa	El Cruce	521097	1940571	FLe
TA2		Santo Domingo	521324	1937529	FLe
TA3		Santo Domingo	521162	1938271	FLe
TA4		Ceibita 1 ^a	518357	1945720	VRe
TE1	Tenosique	El Palmar La Victoria 3 ^a	704006	1927594	LPk
TE2		El Mirador	696635	1929931	VRe
TE3		Benito Juárez	687933	1931024	VRe
TE4		Zetechen	677954	1931135	LVg

* Palma-López *et al.* (2002).

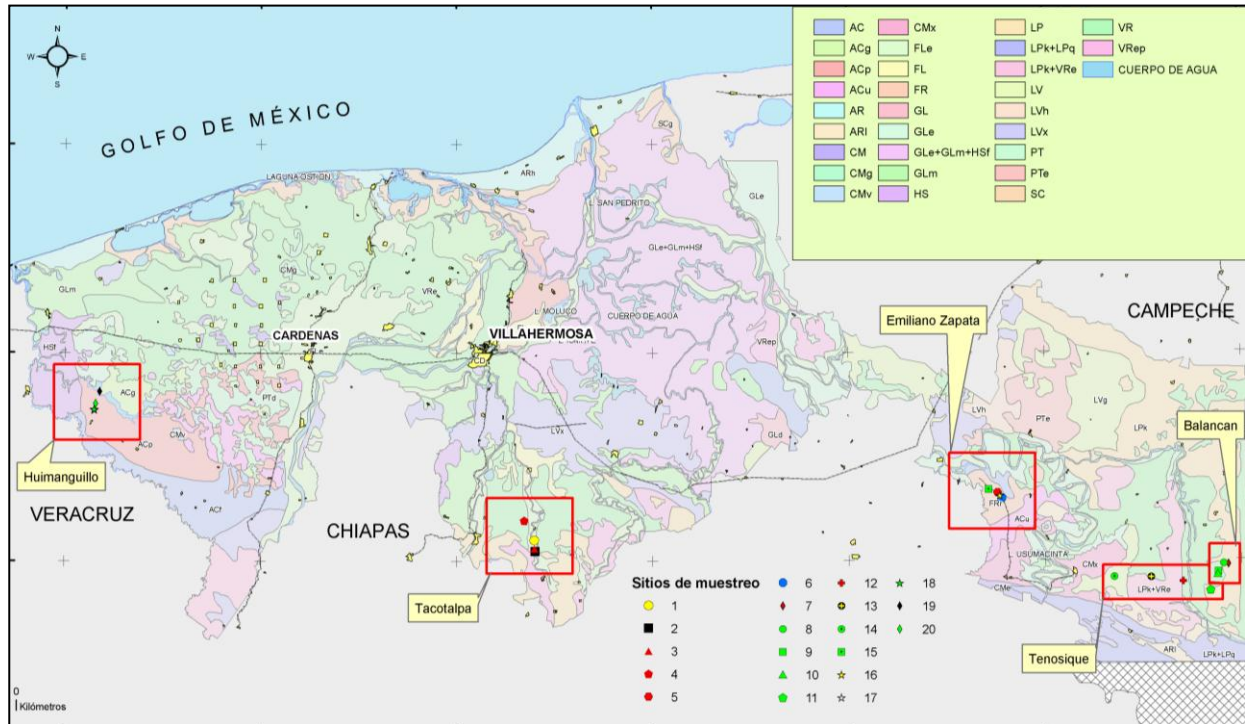


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de rizósferas de maíz, en cinco sabanas de Tabasco, México. El recuadro superior muestra las unidades de suelo correspondientes

La determinación taxonómica de las especies se realizó con base en la morfología de las esporas (diámetro, color y agrupamiento) y de sus estratos de pared (color, presencia de ornamentaciones, número y tipo de estratos, reacción con Melzer y grosor), las que se observaron con un microscopio óptico con contraste de interferencia de Nomarski (Zeiss Axioscope 2 Plus) y se compararon con las descripciones del International Vesicular Arbuscular Culture Collection (www.invam.caf.wvu.edu/) y de Janusz Blazkowski de la Universidad de Agronomía de Szczecin (<http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/>). Cuando fue necesario se recurrió a las descripciones originales de las especies de HMA a las que puede accederse a través de las ligas de la página de Glomeromycota phylogeny (<http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>). Las especies se fotografiaron con una cámara digital (Olympus DP70) acoplada al microscopio y se digitalizaron mediante el software Image Pro® Plus versión 4.5 (Media Cybernetics, 2001). La nomenclatura de las especies sigue la clasificación propuesta por Schüßler y Walker (2010).

Los datos resultantes sobre los porcentajes de raíces colonizadas y número de esporas por 100 g de suelo seco se analizaron mediante análisis de varianza y prueba múltiple de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) para determinar diferencias estadísticas entre localidades y

sitios, previamente los porcentajes fueron transformados a arcoseno. La similitud entre sitios se determinó con base en la composición de especies de HMA por medio del índice de Jaccard, calculado mediante el software NTSYSTpc versión. 2.11X (Applied Biostatistics, 2002-2003).

RESULTADOS

Los análisis físicos y químicos del suelo indican que Huimanguillo y Emiliano Zapata presentan pH muy ácidos, lo que implica disponibilidad baja de P, Ca y Mg; en contraste la disponibilidad de Al, Fe, Mn, B, Cu y Zn alcanza niveles que pueden inducir toxicidad (Tabla 2). En Tenosique, el pH varió de neutro (6.6 a 7.3) a moderadamente alcalino (7.4 a 8.5), mientras que en Tacotalpa y Balancán, fue de moderadamente ácido (5.1 a 6.5) a moderadamente alcalino (7.4 a 8.5). En ninguno de los sitios se encontró salinidad, ya que la conductividad eléctrica (CE) fue menor de 0.74 dSm^{-1} y se clasifica como despreciable (Salgado-García *et al.*, 2006). La materia orgánica (MO) presentó variación marcada entre municipios, desde pobres en Emiliano Zapata (0.71 a 2.0%), hasta muy ricos en Balancán (>5.0 %) (Tavera, 1985). El contenido de N total se clasifica como medio (0.10 a 0.15) a muy rico (>0.25 %), un bajo contenido de MO coincide con bajo N total en Emiliano Zapata (Tabla 2).

El contenido de P-Olsen fue alto en Balancán y Tacotalpa (>11 ppm) (CSTPA, 1980), pero bajo en Tenosique, Emiliano Zapata y Huimanguillo (<5.0 ppm). Los contenidos de (K) variaron de bajos (0.2 – 0.3, cmol(+) kg⁻¹) a medios (0.3-0.6 cmol(+) kg⁻¹), siendo los suelos de Emiliano Zapata los más bajos. Los contenidos de Ca y Mg se consideran bajos (2.0-5.0 cmol (+) kg⁻¹ de Ca y 0.5 a 1.3 cmol (+) kg⁻¹ de Mg) para los suelos de Balancán y Tacotalpa y se relacionan con su alta acidez. En el resto de los municipios el contenido de Ca se clasifica como alto (>10 cmol (+) kg⁻¹), mientras que en Tenosique y Emiliano Zapata el Mg fue medio y alto para Huimanguillo; en este sitio, los altos contenidos de Mg se deben al encalado. El contenido de sodio Na fue menor de 0.13 cmol (+) kg⁻¹, lo cual confirma que en éstos suelos no existe salinidad. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue menor de 10 cmol (+) kg⁻¹ para Emiliano Zapata, lo que es indicativo de baja fertilidad. En contraste, la CIC es alta [> 15 cmol (+) kg⁻¹] para el resto de los municipios. Las texturas de los suelos fueron franco, migajón arcillo-arenoso y arcilloso, por lo cual presentan buena capacidad de retención de humedad (Tabla 2).

Respecto al número de esporas, en sitios como Balancán y Huimanguillo se encontraron hasta 750 esporas en 100 g⁻¹ de suelo seco, pero en otros sitios se encontraron menos de 200; el análisis de varianza

no detectó diferencias significativas en la cantidad total de esporas entre municipios (Figura 2).

El porcentaje promedio de colonización por HMA en las plantas de maíz de los sitios de estudio fue de 99.1%, presentándose los porcentajes más bajos en Tenosique (96.5%) y Huimanguillo (99.3%), en tanto que en Balancán, Emiliano Zapata y Tacotalpa la colonización alcanzó el valor más alto (100%), no hubo diferencias estadísticas entre localidades. Las sabanas con más especies de HMA fueron las de Balancán y Tacotalpa. El primer sitio presentó ocho especies, mientras que en el segundo hubo siete; seguidos de Emiliano Zapata y Huimanguillo, con seis y cinco especies, respectivamente. Tenosique fue el municipio con menor riqueza de HMA ya que presentó únicamente cuatro especies (Tabla 3).

Sclerocystis sinuosa y *Glomus ambisporum* fueron las especies de HMA más frecuentes y abundantes, presentándose en todas las sabanas estudiadas. De la primera especie se registraron 15 esporocarpos, mientras que de la segunda se encontraron 13; ocho especies, *Acaulospora foveata*, *Claroideoglomus claroideum*, *Funneliformis coronatus*, *F. geosporus*, *Glomus tortuosum*, *Sclerocystis rubiformis*, *Scutellospora erythropus* y *S. gilmorei* se encontraron exclusivamente en una de las localidades muestreadas (Tabla 3).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los suelos de sabana cultivados con maíz en cinco municipios de Tabasco, México.

Municipio	pH	CE*	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena
			%			meq 100g ⁻¹						%	
Balancán	7.3	0.22	5.50	0.40	0.42	0.71	72.1	1.97	0.068	38.23	43	30	27
	7.5	0.20	4.53	0.35	0.14	0.09	70.7	2.83	0.133	33.76	30	42	28
	7.5	0.14	2.75	0.26	0.85	0.59	94.0	2.50	0.013	56.60	8	70	22
	7.6	0.17	2.99	0.33	3.38	0.56	97.0	2.12	0.140	59.68	11	72	17
Emiliano Zapata	5.7	0.48	1.46	0.10	15.92	0.25	2.6	0.28	0.042	3.97	9	20	71
	5.1	0.74	1.65	0.12	10.14	0.09	2.2	0.43	ND**	4.47	9	22	69
	5.8	0.09	1.88	0.12	7.75	0.20	5.0	0.53	0.209	4.97	15	17	68
	5.6	0.35	0.71	0.05	54.65	0.20	0.9	0.18	0.002	1.99	9	12	79
Huimanguillo	4.5	0.11	3.04	0.17	16.20	0.35	1.9	0.71	0.002	8.44	19	26	55
	4.8	0.07	1.88	0.15	30.42	0.40	9.3	2.01	0.111	12.41	36	28	36
	4.6	0.08	3.50	0.19	12.68	0.24	1.6	0.49	0.014	7.45	23	26	51
	4.7	0.09	4.05	0.22	23.94	0.33	1.7	1.64	0.004	8.44	14	28	58
Tacotalpa	7.5	0.12	2.27	0.14	4.37	0.25	42.9	1.96	0.100	15.89	25	28	47
	6.4	0.13	5.10	0.32	6.62	0.36	30.9	3.70	0.137	28.80	41	39	20
	6.5	0.13	4.69	0.32	16.62	0.39	22.4	4.75	0.084	23.34	29	33	38
	7.6	0.19	5.50	0.37	0.14	0.28	87.1	4.57	0.017	37.74	31	43	26
Tenosique	6.2	0.11	4.05	0.37	1.55	0.33	50.0	6.83	0.033	ND	13	66	21
	7.6	0.16	3.11	0.19	2.11	0.60	57.0	2.19	0.002	17.08	34	24	42
	7.5	0.23	5.18	0.39	0.42	0.57	29.6	2.41	0.007	35.55	27	50	23
	6.3	0.10	2.59	0.11	1.97	0.16	29.8	0.94	0.038	39.72	15	47	38

*CE = mmhos m⁻¹ ND = no determinado

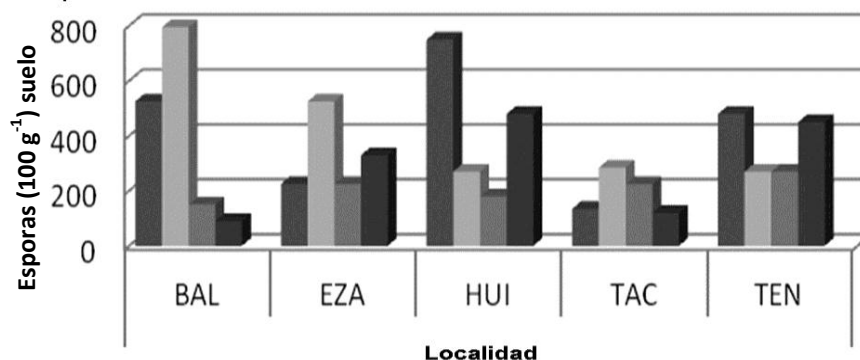


Figura 2. Número total de esporas de hongos micorrícicos arbusculares en 100 g⁻¹ de suelo seco, en cinco sabanas cultivadas con maíz en Tabasco, México. BAL = Balancán; EZA = Emiliano Zapata; HUI = Huimanguillo; TAC = Tacotalpa; TEN = Tenosique.

Tabla 3. Frecuencia de esporas o esporocarpos por especie y riqueza de especies de HMA presentes en suelos de sabana cultivados con maíz, en cinco municipios de Tabasco, México.

Especie de HMA	Localidad					Frecuencia
	BAL	EZA	HUI	TAC	TEN	
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	1					1
<i>Claroideoglossum claroideum</i> (N. C. Schenck & G. S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler			1			1
<i>Diversispora eburnea</i> (Kenn., Stutz & Morton) C. Walker & A. Schüßler	1		1			2
<i>Funneliformis caledonius</i> (T. H. Nicol. & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler		1		1		2
<i>Funneliformis coronatus</i> (Giovann.) C. Walker & A. Schüßler			1			1
<i>Funneliformis geosporus</i> (T. H. Nicol. & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler		1				1
<i>Gigaspora gigantea</i> (T. H. Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe	2	1		3	1	7
* <i>Glomus ambisporum</i> G. S. Sm. & N. C. Schenck	1	3	6	2	1	13
<i>Glomus tortuosum</i> N. C. Schenck & G. S. Sm.				1		1
* <i>Sclerocystis clavispora</i> Almeida & Schenck				2	1	3
* <i>Sclerocystis rubiformis</i> Almeida & Schenck		1				1
* <i>Sclerocystis sinuosa</i> Almeida & Schenck	1	1	4	1	8	15
<i>Scutellospora erythropus</i> (Koske & C. Walker) C. Walker & F.E. Sanders	1					1
<i>Scutellospora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) C. Walker & F. E. Sanders	1					1
<i>Scutellospora heterogama</i> (T. H. Nicol. & Gerd.) C. Walker y FE. Sanders	1			3		4
Riqueza de especies	8	6	5	7	4	

*Especies esporocárpicas.

BAL = Balancán; EZA = Emiliano Zapata; HUI = Huimanguillo; TAC = Tacotalpa; TEN = Tenosique.

Los resultados del análisis de similitud indican que los suelos en los que se cultiva maíz en las sabanas de Tabasco son diferentes entre sí, siendo los de Balancán y Emiliano Zapata los que se asemejan más (0.428) mientras que los de Huimanguillo son los más disímiles (0.125) (Figura 3).

DISCUSIÓN

Los análisis físico-químicos de los suelos de sabana en Tabasco evidencian una gran diversidad de condiciones edáficas, encontrando condiciones óptimas a subóptimas para el cultivo del maíz las cuales se reflejan en los bajos rendimientos que oscilan desde 1.6 a 3 ton h⁻¹ (Córdova-Sánchez *et al.*, 2011). El uso de la micorriza arbuscular se hace indispensable para obtener los nutrientes poco disponibles como el fósforo, que si bien parece elevado en los suelos ácidos de Huimanguillo y Emiliano Zapata, no se encuentra disponible en estas condiciones (Sánchez, 1981; Morello, 2002).

Respecto a la abundancia de esporas de HMA el análisis de varianza indica que no hubo diferencias significativas entre municipios, sin embargo se

observaron marcadas diferencias entre los sitios muestreados (Figura 2). Las muestras de suelo por sitio presentaron un máximo de 750 esporas 100 g⁻¹ de suelo, cifra que es superior a la reportada en otros estudios en México en los que registran menos de 10 esporas por 100 g⁻¹ de suelo seco en pastizales de la región de Chamela, Jalisco, México (Aguilar-Fernández *et al.*, 2009). Los valores encontrados en este estudio van de bajos hasta muy altos; en el análisis por municipio, la media superior es de 140 esporas pero el CV es muy alto (74.4 %), lo que refleja la existencia de diferentes densidades de HMA en los suelos. Este CV resulta de una esporulación diferencial en los suelos muestreados, con valores desde 30 hasta 250. Estas variaciones tan altas en las cantidades de esporas encontradas en los suelos son muy frecuentes en estudios de este tipo (Gavito *et al.*, 2008; Aguilar-Fernández *et al.*, 2009). Cabe señalar que en este estudio no se discriminó entre el número de esporas viables (con contenido citoplasmático) y no viables (sin contenido citoplasmático), tal como se hizo en los estudios referidos con anterioridad, lo que podría haber mostrado cantidades de esporas bajas.

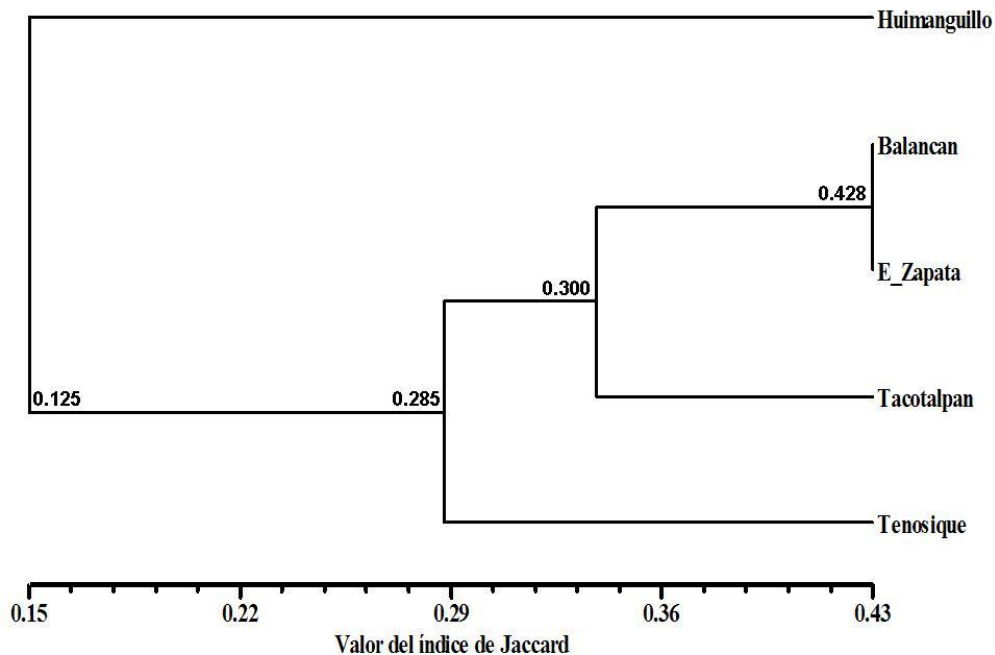


Figura 3. Dendrograma de similitud de hongos micorrícicos arbusculares entre sabanas de Tabasco. Los valores en los entrenudos indican el grado de similitud (método de agrupamiento UPGMA).

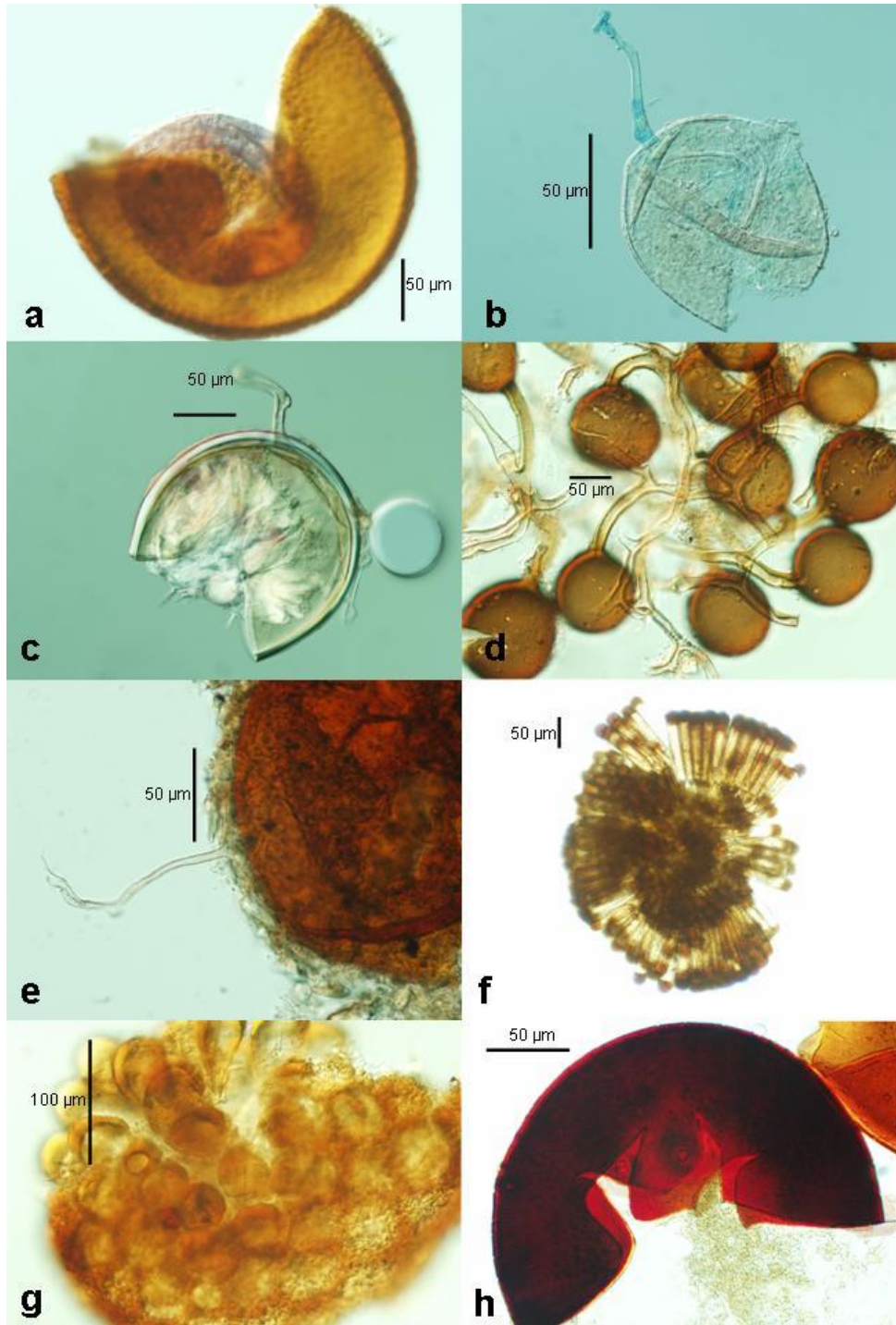


Figura 4. Características estructurales de las esporas de algunas especies de HMA presentes en los suelos de sabana de Tabasco, México cultivados con maíz. **a.** *Acaulospora foveata*. **b.** *Diversispora eburnea*. **c.** *Funneliformis caledoniensis*. **d.** *Glomus ambisporum*. **e.** *Gl. tortuosum*. **f.** *Sclerocystis clavispora*. **g.** *S. sinuosa*. **h.** *Scutellospora erythropus*.

En las muestras analizadas predominaron las esporas de tipo globoide, que hasta hace un par de años habrían sido asignadas a diferentes especies del género *Glomus*, el cual, bajo un criterio muy amplio se ha reportado comúnmente en muchos suelos y se ha puntualizado que es altamente adaptable a condiciones edafoclimáticas diversas (Guadarrama-Chávez *et al.*, 2007) algunas de las cuales pueden ser incluso restrictivas para especies de otros géneros (Jansa *et al.*, 2002). Llama la atención que *Claroideoglomus claroideum* y *Funneliformis geosporus* (citadas como *Glomus claroideum* y *Gl. geosporum*, respectivamente), que se han señalado como de muy amplia distribución y altamente resistentes a condiciones de disturbio (Alarcón *et al.*, 2012), se encontraron sólo en una de las sabanas muestreadas. Aunque la reciente disgregación de numerosas especies de *Glomus* en diferentes géneros obliga a revalorar la distribución y adaptación de las especies bajo las nuevas propuestas de clasificación. Lo que es una realidad, es que las especies de HMA que se encontraron en todos los suelos de sabana (Tabla 3) son potencialmente aptas para mejorar la producción de maíz en los suelos de sabana, como se ha demostrado para diversas especies cultivadas en suelos de sabana en otros países (Cuenca *et al.*, 2007). Una de estas especies es *Glomus ambisporum*, que al formar esporocarpos permite concentrar la densidad de esporas por g de suelo, haciéndola muy atractiva para la producción de inóculo

La riqueza global para todas las sabanas fue de 15, lo que aumenta el número de especies registradas para Tabasco a 20. La riqueza de especies en lo general (15) es similar a la encontrada para maíz en otras entidades de México (Gavito *et al.*, 2008; Varela *et al.*, 2008; González-Cortés *et al.*, 2012), mientras que la de cada localidad es muy baja (Tabla 3). *Glomus ambisporum*, *Sclerocystis sinuosa* y *Scutellospora heterogama* se habían reportado previamente para el estado procedentes de suelos rizosféricos de pastizales (*Echinochloa polystachya*) y cítricos (*Citrus aurantifolia* y *C. aurantium*) del Municipio Cárdenas (Franco-Ramírez *et al.*, 2007). En contraste, *F. constrictus*, la única especie que se había registrado de suelos de maíz para Tabasco (Trappe, 1977; Varela y Trejo, 2001), no se encontró en ninguno de los suelos de sabana explorados.

Existe una baja similitud entre las localidades de estudio (por debajo del 50%), presentándose el valor más alto entre Balancán y Emiliano Zapata (Figura 3), lo que puede explicarse porque tanto el número de especies compartidas, como de especies ausentes es el mismo (3 especies en cada caso), mientras que Tenosique y Huimanguillo, con los valores de

similitud más bajos, se distinguen del resto porque en ambas localidades hubo especies exclusivas a ellas, *Glomus tortuosum* en la primera y *Claroideoglomus claroideum* y *F. coronatus* para la segunda (Tabla 3). Estos resultados demuestran que cada una de las sabanas estudiadas presenta una composición particular de especies, que en conjunto contribuye a que en las plantas de maíz se presenten porcentajes de colonización muy altos, lo que funcionalmente es muy importante para estas plantas bajo las condiciones de baja o moderada fertilidad que se presentan en las sabanas, no obstante, sería interesante explorar cómo funciona cada comunidad de HMA en lo particular, en términos de sus efectos en planta. En la Figura 4 se muestran las características morfológicas de las esporas de varias de las especies de HMA registradas en este trabajo, las cuales sirvieron como base para la identificación de especies.

Respecto al porcentaje de colonización, se encontró un promedio general de 99.1%, lo que es cerca de cinco veces más alto que el 15% de colonización encontrado para raíces de maíz en suelos ácidos de los Altos de Chiapas (Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2004) y aún alto si se compara con los valores de 64% encontrados para genotipos de maíz de baja eficiencia y del 75% para genotipos eficientes en un Andisol (Montaño *et al.*, 2001). Cabe destacar que en este último estudio tales porcentajes se encontraron en etapas tempranas de desarrollo del cultivo, mientras que los de este estudio corresponden a la etapa de floración. Por otra parte, para cultivos de maíz establecidos en bosques transformados en el estado de Jalisco se reportan valores de colonización cercanos o iguales al 100% (Vieyra-Hernández *et al.*, 2010)

Estos resultados sugieren que los factores restrictivos de acidez y baja fertilidad no son limitantes para la colonización del maíz, pudiendo llegar a ser de utilidad para los diferentes cultivos en este tipo de suelo (Taset, 2004), lo que sugiere una alta dependencia del maíz hacia los HMA en estas condiciones. Lo anterior es particularmente interesante, ya que el maíz se ha considerado como una planta poco dependiente o dependiente facultativa de la asociación micorrízica (Gavito y Varela, 1995).

CONCLUSIONES

El maíz cultivado en los suelos de sabana en Tabasco muestra porcentajes de colonización cercanos o iguales al 100%, lo que evidencia, por un lado, la

importancia de la micorriza arbuscular en estos suelos cuya fertilidad va de baja a moderada y por el otro, que el inóculo micorrícico que existe en los suelos y que está en parte representado por las cantidades de esporas encontradas, es capaz de producir tales niveles de colonización. La riqueza de especies de HMA de todas las sabanas exploradas es similar a la encontrada en otros suelos cultivados con maíz en México y en conjunto contribuye a producir los altos niveles de colonización encontrados, sin embargo, la composición de especies de HMA es particular para cada una de las sabanas estudiadas, por lo que sería interesante explorar cómo y en qué medida cada comunidad de HMA coadyuva al crecimiento y desarrollo de las plantas. *Glomus ambisporum* se vislumbra como especie potencial para la producción de inóculo de HMA, apta en términos de ubicuidad para todos los suelos de sabana explorados.

AGRADECIMIENTOS

Al fondo mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tabasco, por el financiamiento para la realización del proyecto FOMIX TAB-2009-C17-121501.

REFERENCIAS

- Aguilar-Fernández, M., Jaramillo, V. J., Varela-Fregoso, L., Gavito, M. E. 2009. Short-term consequences of slash-and-burn practices on the arbuscular mycorrhizal fungi of a tropical dry forest. *Mycorrhiza*. 19(3): 179-186.
- Alarcón, A., Hernández-Cuevas, L. V., Ferrera-Cerrato, R., Franco-Ramírez, A. 2012. Diversity and agricultural applications of arbuscular mycorrhizal fungi in Mexico. *Biofertilizers and Biopesticides* 3(1). DOI 10.4172/2155-6102.1000115.
- Álvarez-Solís, J. Anzueto-Martínez, M. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas. *Agrociencia* 38: 13-22
- Applied Biostatistics. 2002-2003. NTSYSpc. Version 2.11X. Applied Biostatistics Inc.
- Córdova-Sánchez, S., Vera-Núñez J.A., Cárdenas-Navarro R., Salgado-García S., Lobbit F., Peña-Cabriales J.J., Castelán-Estrada M. 2011. Uso de 15N-fertilizante por cultivares de maíz (*Zea mays* L.) en suelos ácidos de

Huimanguillo, Tabasco, México. *Ciencia Nicolaita* No. Especial 2010, p8.

- CSTPA. 1980. Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Council on Soil Testing and Plant Analysis. Athens, Georgia. USA. 459 p.
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy Z., Urdaneta, C. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32: 23-29.
- Feng, G., Zhang, F. S., Li, X. L., Tian, C. Y., Tang, C., Rengel, Z. 2002. Improved tolerance of maize plant to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185-190.
- Franco-Ramírez, A., Ferrera-Cerrato, R., Varela-Fregoso, L., Pérez-Moreno, J., Alarcón, A. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi in chronically petroleum contaminated soils in Mexico and the effects of petroleum hydrocarbons on spore germination. *Journal of Basic Microbiology* 47: 378-383
- Gavito, M. E. Varela, L. 1995. Response of 'criollo' maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 176: 101-105.
- Gavito, M. E., Pérez-Castillo, D., González-Monterrubio, C. F., Vieyra-Hernández, M. T., Martínez-Trujillo, M. 2008. High compatibility between arbuscular mycorrhizal fungal communities and seedlings of different land use types in a tropical dry ecosystem. *Mycorrhiza* 19: 47-60.
- Gerderman, J.W., Nicolson T.H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244
- González-Cortés, J.C., Vega-Fraga, M., Varela-Fregoso, L., Martínez-Trujillo, M., Carreón-Abud, Y., Gavito, P.M.E. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forest to avocado plantations and maize fields in central Mexico. *Fungal Ecology* 5: 16-23.

- Guadarrama-Chávez, P., Camargo-Ricalde, S.L., Hernández-Cuevas, L., Castillo-Argüero, S. 2007. Los hongos micorrizógenos arbusculares de la región de Nizanda, Oaxaca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81: 133–139.
- INEGI. 2010. Anuario Estadístico Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 426 p.
- Jansa, J., Mozafar, A., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I. R., Frossard, E. 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12: 225-234.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L., Smith, D. L. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrients levels. *Mycorrhiza* 9: 331-336.
- Media Cybernetics. 2001. Image Pro Plus for Windows 98/2000NT 4.0. Media Cybernetics Inc., Maryland.
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L. Swan, J. A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist* 115: 495-501.
- Montaño, N., Quiroz, V., Cruz-Flores, G. 2001. Colonización micorrícica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol. *Terra* 19: 337-345.
- Morello. 2002. Perfil Ecológico de Sudamérica. Instituto de Cooperación Iberoamericana. Espluges de Llobregat. Barcelona, España. 84 p.
- NOM-021-RECNAT. 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos: Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 75 p.
- Olsen, S. R., Kemper, W. D. 1968. Movement of nutrient to plant roots. *Advances in Agronomy* 20: 91-151.
- Palma-López, D. J., Triano S., A. (comps.). 2002. Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco, Volumen II. Ed. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa Tabasco, México. 180 p.
- Pérez, L. A., Sousa, M., Hanan, A. M., Chiang, F., Tenorio, P. 2005. Vegetación terrestre. En: Bueno, J., Álvarez, F., Santiago, S. (eds.). Biodiversidad del Estado de Tabasco. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM. México. p 65-110.
- Phillips, J. M., Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic vesicular–arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158–160.
- Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Lagunes-Espinoza, L. C., Castellán-Estrada, M. 2006. Manual para el Muestreo de Suelos Plantas y Aguas e Interpretación de Análisis. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco-ISPROTAB. Cárdenas, Tabasco, México. 90 p.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico: Características y Manejo. IICA. San José, Costa Rica. 660 p.
- Schüßler, A., Walker C. 2010. *Glomeromycota* species list. Disponible en el sitio web: <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>. (Actualizada: 18/10/2012).
- Smith, S. E., Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. San Diego. 605 p.
- Taset, M. 2004. Alianza entre dos reinos. www.elhabanero.cubasi.cu/2004/noviembre/nr01133_04nov/cienc_04nov301.html. (Consultado: 21/11/2008).
- Tavera, G. 1985. Criterios para Interpretación y Aprovechamiento de los Reportes de Laboratorio para las Áreas de Asistencia Técnica. Publicación Especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Coahuila, México. 150 p.
- Toro, M. 2008. Micorrizas arbusculares en ecosistemas de sabana venezolanos. In: Montaño A., N. M, Camargo-Ricalde, S. L, García-Sánchez. R., Monroy-Ata, A. (eds.). *Micorrizas Arbusculares en Ecosistemas Áridos y Semiáridos*. Mundi-Prensa-UNAM-UAM-INE. México. p 153-163.

- Trappe, J. 1977. Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavispora* and *Acaulospora scrobiculata*. Mycotaxon 6(2): 359-366.
- Van der Heijden, M. G. A., Sanders, I. R. 2002. Mycorrhizal Ecology. Heidelberg-Springer-Verlag. Berlin, Alemania 471 p.
- Varela, L., Estrada-Torres, A., Álvarez-Sánchez, F.J., Sánchez-Gallén, I. 2008. Catálogo ilustrado de hongos micorrizógenos arbusculares de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. (CD). México. SEMARNAT, CONACYT, GEF, TSBF-CIAT, Instituto de Ecología, AC, Facultad de Ciencias-UNAM.
- Varela, L., Trejo, D. 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. Acta Zoológica Mexicana Número Especial 1: 39-51.
- Vázquez, M. M, César, S, Azcón, R., Barea, J. M. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. Applied Soil Ecology 15(3): 261-272.
- Vieyra-Hernández, M.T., Gavito-Pardo, M.E., Martínez-Trujillo, M. A. 2010. Caracterización de las comunidades de los hongos micorrízicos arbusculares de un bosque tropical seco caducifolio. Ciencia Nicolaita No. Especial p 1-7.

Submitted November 24, 2011– Accepted November 22, 2012
Revised received November 30, 2012