

Vermicomposta y micorriza arbuscular, su efecto en la nutrición del cacao en fase de invernadero

Vermicompost and arbuscular mycorrhizal, its effect on nutrition of cocoa in greenhouse phase

Juan David Ricárdez-Pérez¹ ,
Regino Gómez-Álvarez^{1*} ,
José David Álvarez-Solís¹ ,
Juan Manuel Pat-Fernández¹ ,
Aarón Jarquín-Sánchez¹ ,
Rodimiro Ramos-Reyes¹ 

¹El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15, 5 s/n, Ranchería Guineo Segunda Sección, CP 86280, Villahermosa, Tabasco, México, Tel: (993)3136110

*Autor de correspondencia: regomez@ecosur.mx

Artículo científico

Recibido: 17 de mayo de 2019

Aceptado: 30 de septiembre 2020

Como citar: Ricárdez-Pérez JD, Gómez-Álvarez R, Álvarez-Solís JD, Pat-Fernández JM, Jarquín-Sánchez A, Ramos-Reyes R (2020) Vermicomposta y micorriza arbuscular, su efecto en la nutrición del cacao en fase de invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 7(3): e2282. DOI: 10.19136/era.a7n3.2282

RESUMEN. El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta tropical de alto impacto ecológico, económico y social en México. Sin embargo, su rendimiento ha disminuido debido a la baja tecnificación del cultivo, la avanzada edad de las plantaciones y al ataque de plagas y enfermedades. El objetivo del trabajo fue evaluar la actividad microbiana en los diferentes tratamientos donde se aplicó vermicomposta y el hongo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* para conocer los efectos en el crecimiento y nutrición de plántulas de cacao en fase de invernadero. Se utilizaron los sustratos vermicomposta y Peat Moss en concentraciones de 25 y 50% y el Instructivo Técnico de Producción con y sin aplicación del hongo micorrízico. En cada tratamiento se determinó el crecimiento, la nutrición de las plantas y la actividad microbiana. Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos con 50% vermicomposta y 50% vermicomposta + Peat Moss, con incrementos de la actividad microbiana, fósforo foliar y número de esporas del hongo micorrízico. Las plantas inoculadas con micorriza incrementaron su altura y mejoraron su estado nutricional en fase de invernadero.
Palabras clave: Actividad microbiana, nutrición, Peat Moss.

ABSTRACT. Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a tropical plant with high ecological, economic and social impact in Mexico. However, its yield has decreased due to the low technification of the crop, the advanced age of the plantations and pest attack and diseases. The objective of this study was to evaluate the microbial activity in different treatments where vermicompost and the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices* were applied and to know the effects on growth and nutrition of cocoa seedlings in greenhouse phase. Vermicompost and Peat Moss substrates were used in concentrations of 25 and 50% and the Technical Instruction on Production with and without the application of the mycorrhizal fungus. Growth, plant nutrition and microbial activity were determined in each treatment. The best results were obtained in treatments with 50% vermicompost and 50% vermicompost + Peat Moss, with increases in microbial activity, foliar phosphorus and number of spores of the mycorrhizal fungus. The plants inoculated with the mycorrhiza increased their height and improved their nutritional status in greenhouse phase.

Key words: Microbial activity, nutrition, Peat Moss.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta tropical originaria de la región amazónica. El grano procesado da origen al chocolate, que se consume en una gran variedad de productos (Duran-Ramírez 2010). El cacao tiene gran importancia ecológica, ya que su cultivo promueve la preservación de los sistemas agroforestales en los que convive en equilibrio con una gran variedad de flora y fauna. Actualmente, la producción mundial de cacao se encuentra principalmente en los países con clima tropical de África, Asia y América Latina (Jaimes-Suárez y Aranzazu-Hernández 2010). De acuerdo con la Organización Internacional del Cacao, en el ciclo 2014 se produjeron a nivel mundial cerca de 4 236 millones de toneladas de cacao, siendo Costa de Marfil, Ghana e Indonesia los mayores productores, con el 67% de la producción (ICCO 2015). A pesar de las características idóneas que México posee para la producción de cacao, su aportación a la producción mundial se encuentra por debajo del 1%, siendo el estado de Tabasco el principal productor nacional con el 65% de la producción nacional, seguido del estado de Chiapas con el 34% (SIAP 2018).

En el estado de Tabasco, el cultivo de cacao tiene impacto social y económico en las familias campesinas, promoviendo la participación de las mismas como mano de obra y fomentando la conformación de asociaciones cacaoteras para la producción de cacao. Pero la falta de tecnificación, la aparición de plagas y enfermedades, así como la edad avanzada de las plantaciones de cacao en las fincas, ha propiciado un déficit en la producción. Debido a esto, se recomienda la renovación de las plantaciones con plantas vigorosas producidas por medio de técnicas que fomenten una mejor nutrición (Córdova-Avalos et al 2008). El uso de tecnologías orgánicas en invernadero es una alternativa que permite producir plantas de mejor calidad, aplicando abonos orgánicos y biofertilizantes (Azcón 2000). Mientras que López-Martínez et al 2001 sugieren el uso de abonos orgánicos para mejorar la humedad y nutrientes en los suelos, lo que aumenta la biomasa microbiana a diferencia de los fertilizantes químicos que la dis-

minuyen (Ngosong et al 2010). Mediante el uso de los abonos orgánicos, se aportan sustancias ricas en carbono que promueven un aumento de la actividad microbiana (Félix-Herrán et al 2008). Sobre lo mismo, Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez (2004) indican que las bajas reservas de materia orgánica en el suelo disminuyen la actividad microbiana y los nutrientes disponibles, mientras que la aplicación de fertilizantes sintéticos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio influyen de manera negativa en la actividad microbiana del suelo, reduciendo los microorganismos benéficos para las plantas, como bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos formadores de micorrizas (Gosling et al 2006). Estos últimos son de gran relevancia, ya que conforman un grupo de hongos que establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, dando lugar a las micorrizas. De acuerdo con estudios previos, la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plántulas de *Theobroma cacao* favorece el desarrollo de las plantas, promoviendo el aumento de la biomasa vegetal y raíces, así como la absorción de nutrientes (Aguirre-Medina et al 2007, Camargo-Ricalde et al 2012, Leblanc y Márquez 2014). Según Alvarado-Castillo et al (2014), la aplicación de micorrizas en invernadero incrementó la altura de las plántulas y la colonización micorrízica en las raíces, al compararlas con las plántulas no inoculadas. De igual modo Adriano-Anaya et al (2011) reportaron un aumento del 18% en la longitud de las raíces de las plantas de café (*Coffea arabica* L.) tratadas con HMA, en comparación con el tratamiento sin inoculación. Por otra parte, Cortes-Patiño et al (2015) reportaron incrementos en la altura, número de hojas, diámetro de los tallos y longitud de las raíces al aplicar vermicompostas, rizobacterias y micorrizas arbusculares a plántulas de cacao en fase de vivero. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad microbiana en los diferentes tratamientos donde se aplicó vermicomposta y el hongo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* y conocer los efectos en el crecimiento y nutrición de plántulas de cacao en fase de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los experimentos de campo y laboratorio se realizaron del 2016 al 2018, en las instalaciones de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad Villahermosa, ubicadas en la Ranchería Guineo Segunda Sección, del Municipio de Centro, del estado de Tabasco. El material utilizado fue facilitado por el Centro Integral de Consultoría y Asesoría del Sureste (CICAS), el cual consistió en plántulas y semillas de cacao variedad Guayaquil.

Sustratos y tratamientos

La Norma Técnica de Producción (NTP), forma en que se distribuyeron los sustratos, de acuerdo con los utilizados de forma comercial en invernaderos de la región, estuvo compuesta por 25% de sustrato comercial Agrolita[®] + 60% de Suelo Fluvisol + 15% de arena de río. La Agrolita[®] se preparó en base a una mezcla de Peat Moss + Perlita + fertilizante sintético NPK (15:07:15). Los tratamientos se formularon, substituyendo el sustrato comercial por vermicomposta, Peat Moss[®] y mezcla de ambos (relación 1:1). La vermicomposta utilizada se adquirió en el área de Manejo Integral de Residuos Orgánicos (MIRO) de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Para preparar los sustratos se utilizó el musgo *Sphagnum canadiense* (Peat Moss[®]), vermicomposta, suelo y arena en diferentes combinaciones (Tabla 1). En los experimentos se utilizaron bolsas de polietileno de 1.5 y 2.0 L de capacidad con perforaciones en el fondo y los laterales.

Se realizaron dos experimentos. El primero inició con la siembra de semillas en los diferentes sustratos y el segundo con las plántulas de cacao injertadas en fase de crecimiento. En ambos experimentos se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Se evaluaron los sustratos solos y combinados con la micorriza, determinándose el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas cada 30 días, por un periodo de 90 días posterior a la siembra de las semillas. También se evaluó el efecto de las vermicompostas (25 y 50%) con y sin biofertilizante

micorrízico en el crecimiento de las plantas injertadas. Los dos experimentos se desarrollaron en condiciones de invernadero, con un intervalo de temperatura de 28 a 30 °C y humedad relativa de 85 a 96% (CONAGUA 2016).

Material microbiológico

El inoculante micorrízico utilizado fue *Rhizophagus intraradices* (Schenck & Sm. Walker & Schüßler), 55 esporas por gramo de sustrato. En los dos experimentos se aplicaron 4 g del inoculante por planta o semilla, para garantizar la efectividad de la inoculación (Alvarado-Castillo *et al* 2014). En el primer experimento, el inoculante se aplicó en el momento de la siembra de las semillas, realizándose una doble inoculación en el fondo y sobre la semilla. En el segundo experimento, el inoculante se mezcló con el sustrato. En los dos experimentos, las plantas se regaron cada dos días y el control de plagas se realizó con extracto de neem (*Azadirachta indica* A. Juss).

Análisis de laboratorio

Para tener una mejor comprensión de los efectos de cada tratamiento, se realizaron análisis de actividad microbiológica, calidad de las compostas y nutrición vegetal, los cuales se indican a continuación. Para evaluar la actividad microbiana (CO₂ mg g⁻¹) en el sustrato, se utilizó el método de la cámara de vacío (Page *et al* 1982), el cual mide el contenido de CO₂ resultante de la respiración microbiana. La caracterización de los sustratos se realizó mediante la determinación del contenido de materia orgánica por el método de combustión seca (Kalra y Maynard 1991); P, K, pH, CIC, N y la relación C/N, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

La infección micorrízica en raíces se determinó con el método de Philips y Hayman (1970), modificado por Koske y Gemma (1989). Posteriormente se cuantificó utilizando el método de intersección de cuadrante de Giovanetti y Mosse (1980). El conteo de esporas se realizó con la técnica de tamizado húmedo de Gendermann y Nicholson (1963).

Tabla 1. Tratamientos usados en los experimentos.

Tratamiento	Composición
NTP	25 % Agrolita® + 60 % Suelo + 15 % Arena
25 % V	25 % Vermicomposta + 60 % Suelo + 15 % Arena
25 % P	25 % Peat Moss + 60 % Suelo + 15 % Arena
25 % VP	25 % Vermicomposta y Peat Moss (1:1) + 60 % Suelo + 15 % Arena
50 % V	50 % Vermicomposta + 35 % Suelo + 15 % Arena
50 % P	50 % Peat Moss + 35 % Suelo + 15 % Arena
50 % VP	50 % Vermicomposta y Peat Moss (1:1) + 35 % Suelo + 15 % Arena
85 % S	85 % Suelo + 15 % Arena
100 % S	100 % Suelo

NTP = Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, P = Peat Moss, S = Suelo, A = Arena.

En el caso de las plantas obtenidas de semilla o de injerto, se le realizaron las siguientes mediciones: altura de las plantas (cm), número de hojas (cm) y grosor del tallo (mm) a los 90 días de crecimiento. Se determinó el peso fresco y seco de tallos, hojas y raíces. Para evaluar su nutrición, se realizó la determinación de N, P y K totales de acuerdo con Kalra (1998).

Se realizaron análisis estadísticos correspondientes a pruebas de normalidad (Shapiro-Will test). Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). También se realizaron correlaciones de Pearson con significancias de $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$. Se utilizó el software Excel y el paquete estadístico R Development Core Team (2014).

RESULTADOS

La mayoría de los tratamientos presentaron pH cercanos a la neutralidad (6.5 a 7.5), mientras que los tratamientos con 50% de abonos orgánicos (vermicomposta y Peat Moss) presentaron valores superiores de materia orgánica. Los mayores contenidos de nitrógeno se encontraron en los tratamientos con vermicomposta y vermicomposta-Peat Moss. En el caso del fósforo, se presentó un comportamiento similar al nitrógeno, sobresaliendo los tratamientos que contienen vermicomposta en el sustrato. La relación C/N presentó altos valores en los tratamientos con 25 y 50% de Peat Moss y con la NTP, en tanto que el resto de los tratamientos presentaron valores entre 2.2 y 3.7% (Tabla 2).

La actividad microbiana, medida a través de la respiración del sustrato, indica que los tratamientos con 50% VP, 50% V y 50% P (Figura 1) tuvieron la mayor producción de CO₂, mientras que los menores valores se presentaron en los tratamientos 85% S y 100% S. La mayor acumulación de CO₂ a los 30 días se observó en el tratamiento con 50% VP (6.0 mg CO₂ g⁻¹) y el valor más bajo se presentó en el tratamiento con 100% S (2.2 mg CO₂ g⁻¹).

Para la altura de las plantas sin micorrizas (Tabla 3), se observó que los tratamientos NTP, 85% S y 100% S tuvieron los valores más bajos de altura a los 30 días, manteniendo la tendencia durante todo el periodo de evaluación. Al final del experimento se observó que los tratamientos 25% P, 50% V y 50% P fueron los que presentaron los mayores valores de altura. La longitud de la raíz presentó diferencias significativas entre tratamientos. Cuando no se aplicó micorriza, el valor más alto se obtuvo con 25% P y el más bajo con 25% V. Cuando los tratamientos se combinaron con micorrizas, los resultados mostraron que el tratamiento con 50% P tuvo la mayor longitud, mientras que con 50% V se obtuvieron los valores más bajos. En general, se observó un aumento de las raíces al utilizar materiales orgánicos, ya sea solo o en combinación con las micorrizas.

Los diámetros de tallos no presentaron diferencias entre tratamientos (Tabla 4). El mayor diámetro se observó en 50% V y el menor en 100% S, en el caso de los tratamientos sin micorrizas. Al combinar estos tratamientos con las micorrizas, se observó que con 50% P se obtuvo un valor mayor. Sin embargo, no hay diferencia entre los otros tratamientos, en tanto que los indicadores PSR, PST1, PSH y PST2 no pre-

Tabla 2. Caracterización de los sustratos usados en los experimentos.

Tratamientos	pH	C/N	MO	C		N	P	CIC	K
				%	mg kg ⁻¹				
NTP	7.2	3.5	5.6	3.2	0.9	6.4	26.3	400.0	
25 % V	7.1	2.6	6.7	3.9	1.5	24.8	19.5	600.0	
25 % P	6.9	4.1	5.3	3.1	0.7	15.6	21.0	200.0	
25 % VP	6.7	2.9	5.8	3.4	1.2	10.8	18.5	400.0	
50 % V	6.9	1.7	11.4	6.6	3.9	46.7	26.5	800.0	
50 % P	5.7	4.9	9.5	5.5	1.1	13.1	20.5	200.0	
50 % VP	6.7	2.2	11.1	6.4	3.0	9.0	25.8	1 000.0	
85 % S	7.1	3.7	3.2	1.9	0.5	16.0	18.5	200.0	
100 % S	7.2	3.4	3.8	2.2	0.6	17.3	24.5	200.0	

NTP = Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, P = Peat Moss, S = Suelo, A = Arena, pH = Potencial de hidrógeno, MO = Materia orgánica, C = Carbono, N = Nitrógeno, C/N = Relación Carbono / Nitrógeno, P = Fósforo, CIC = Capacidad de intercambio catiónico, K = Potasio.

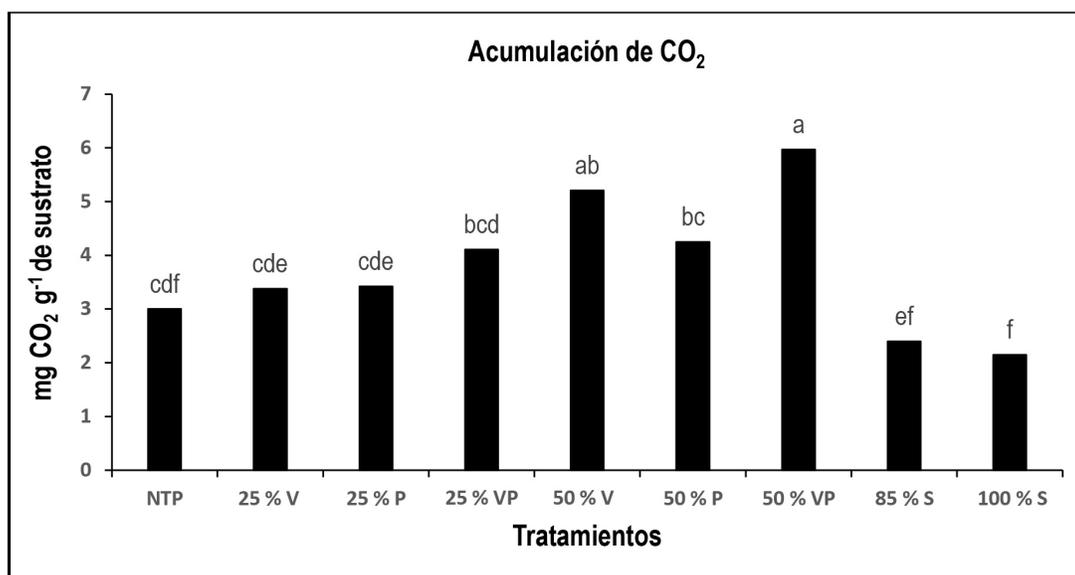


Figura 1. Acumulación de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ de sustrato) en 30 días de incubación. Medias con letras comunes no difieren significativamente según test de Tukey ($p \leq 0.05$).

sentaron diferencias significativas entre tratamientos.

El fósforo foliar presentó diferencias significativas para los tratamientos sin micorrizas. El tratamiento 50% V presentó el valor mayor con 0.4%, mientras que el menor se presentó en el tratamiento 100% S con 0.3%. Cuando se aplicaron micorrizas, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y los valores encontrados oscilaron entre 0.3 y 0.4%. Con los tratamientos 50% V y 50% VP se tuvieron los mayores valores. Para el nitrógeno foliar, se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El 25% VP sin micorrizas tuvo un con-

tenido de nitrógeno de 0.9%. El tratamiento de 25% P presentó el contenido más bajo. Al aplicar las micorrizas, el tratamiento 25% VP presentó el valor más alto con 1.9% y mostró diferencias significativas. Los tratamientos 85% S y 100% S tuvieron los menores contenidos. Para el potasio no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. En ambos casos el tratamiento 50% V fue el de mayor valor (Tabla 4).

En la Tabla 5 se muestra el número de esporas y la infección micorrízica. Ambas presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento

Tabla 3. Altura de las plantas (cm) y número de hojas a los 30, 60 y 90 días con y sin HMA.

Tratamiento	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA
	Altura de planta (cm)					
	30 días		60 días		90 días	
NTP	18.4 c	19.3 cd	28.0	26.6	30.4	32.9
25 % V	22.3 ab	22.00 a	29.2	26.1	31.4	30.8
25 % P	22.1 ab	21.1 abc	28.4	28.8	35.5	33.8
25 % VP	20.0 abc	21.7 ab	27.2	29.9	31.7	37.0
50 % V	22.9 a	20.7 abcd	29.0	27.6	33.4	32.8
50 % P	20.6 ab	21.4 ab	26.5	30.1	34.2	36.0
50 % VP	20.9 ab	18.8 d	27.0	25.9	33.0	33.2
85 % S	20.5 abc	20.8 abcd	26.0	25.7	32.3	32.3
100 % S	19.7 abc	19.8 bcd	24.3	25.0	32.9	30.2
Número de hojas						
NTP	7.3	7.1 a	10.5 ab	11.0	12.1	14.1 a
25 % V	6.6	6.4 ab	9.5 b	9.3	11.9	11.0 b
25 % P	7.0	6.8 ab	10.4 ab	10.1	12.9	12.1 ab
25 % VP	7.1	6.5 ab	11.4 a	10.6	13.6	12.9 ab
50 % V	6.6	6.0 ab	10.1 ab	10.6	12.6	11.3 b
50 % P	7.1	6.5 ab	10.8 ab	10.0	13.8	11.6 ab
50 % VP	6.3	5.9 b	10.9 ab	9.5	12.6	11.4 b
85 % S	6.8	6.4 ab	10.3 ab	9.4	13.3	12.1 ab
100 % S	6.5	6.4 ab	9.5 b	9.5	11.5	12.6 ab

Medias con letras comunes no difieren significativamente según test de Tukey ($p \leq 0.05$). NTP = Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, P = Peat Moss, S = Suelo, A = Arena, S/HMA = Sin hongo micorrízico arbuscular, C/HMA = Con hongo micorrízico arbuscular.

Tabla 4. Análisis morfológico y nutrimental de las plantas con y sin HMA.

Tratamiento	LR	DT	PSR	PST1	PSH	PST2	Nf	Pf	Kf
	sin HMA								
	mm		g				%		
NTP	21.5 ab	4.9	0.8	0.7	1.6	2.2	0.6	0.3 ab	2.1
25 % V	17.4 b	5.0	0.7	0.4	1.0	1.4	0.6	0.4 ab	2.07
25 % P	29.8 a	5.0	1.4	1.0	1.7	2.8	0.4	0.3 ab	1.61
25 % VP	25.5 ab	5.0	1.2	0.7	1.4	2.1	0.9	0.35 ab	1.7
50 % V	19.0 ab	5.1	0.9	0.9	1.6	2.4	0.6	0.41 a	2.28
50 % P	27.5 ab	4.9	1.2	0.6	1.3	2.0	0.7	0.28 ab	1.42
50 % VP	24.4 ab	4.8	1.1	0.7	1.9	2.7	0.8	0.37 ab	1.57
85 % S	20.8 ab	4.9	0.9	0.7	1.5	2.1	0.7	0.28 ab	1.22
100 % S	17.5 b	4.3	1.1	0.8	1.7	2.4	0.6	0.26 b	1.32
con HMA									
NTP	17.2 b	5.0	1.2	0.9	1.8	2.7	1.2 ab	0.3	1.4
25 % V	21.2 ab	4.9	1.1	0.6	1.2	1.9	1.5 ab	0.3	2.0
25 % P	24.4 ab	4.9	1.6	0.9	1.6	2.5	0.7 b	0.3	1.2
25 % VP	19.6 ab	5.0	1.0	1.0	1.8	2.8	1.9 a	0.3	1.7
50 % V	16.2 b	4.8	1.0	0.9	1.5	2.3	0.8 ab	0.4	2.5
50 % P	32.4 a	5.1	1.4	0.6	1.2	1.8	0.6 b	0.3	1.5
50 % VP	19.0 ab	4.8	0.8	0.7	1.3	2.0	1.6 ab	0.4	2.2
85 % S	25.1 ab	5.0	0.7	0.8	2.1	2.9	0.6 b	0.3	1.4
100 % S	19.1 ab	4.8	0.4	0.7	1.6	2.3	0.5 b	0.3	1.3

Medias con letras comunes no difieren significativamente según test de Tukey ($p \leq 0.05$). NTP = Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, P = Peat Moss, S = Suelo, A = Arena, C/HMA = Con hongo micorrízico arbuscular, LR = Longitud de la raíz, DT = Diámetro del tallo, PSR = Peso seco de la raíz, PST1 = Peso seco del tallo, PSH = Peso seco de las hojas, PST2 = Peso seco total, Nf = Nitrógeno foliar (%), Pf = Fósforo foliar (%), Kf = Potasio foliar (%).

50% V tuvo el mayor número de esporas y la menor cifra fue para 85% S. La NTP presentó un buen comportamiento, ubicándose entre los mejores tratamien-

tos. El porcentaje de infección micorrízica presentó su mayor valor en el tratamiento 25% P y el menor valor en la NTP. El tratamiento 25% VP también

mostró valores altos de infección micorrízica.

Tabla 5. Evaluación microbiológica de los tratamientos con HMA.

Tratamientos	NES	PIM
	Esporas g ⁻¹	%
NTP	12.8 ab	1.8 ab
25 % V	3.3 c	2.5 ab
25 % P	2.6 c	15.7 a
25 % VP	5.5 bc	10.6 ab
50 % V	14.8 a	8.9 b
50 % P	9.3 abc	6.8 ab
50 % VP	9.0 abc	5.5 ab
85 % S	2.0 c	4.0 ab
100 % S	2.4 c	9.3 ab

Medias con letras comunes no difieren significativamente según test de Tukey ($p \leq 0.05$). NTP= Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, P = Peat Moss, S = Suelo, NES = Número de esporas por gramo, PIM = Porcentaje de infección micorrízica, HMA = Hongo micorrízico arbuscular.

Para las correlaciones de Pearson, con y sin micorrizas, se obtuvieron los mejores resultados para los tratamientos sin micorriza en los casos de la actividad microbiana y el fósforo foliar (0.68*), la altura de la planta y el peso seco de la raíz (0.74), así como en el número de hojas y longitud de las raíces (0.70). Para los tratamientos con aplicación de micorrizas, las correlaciones fueron significativas entre la actividad microbiana y el fósforo foliar (0.79), al igual que el peso seco total con respecto al porcentaje de infección micorrízica (0.82), así como entre el fósforo foliar y el número de esporas (0.74*).

En el caso de los injertos (Tabla 6) no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. El valor más alto del número de hojas se encontró en el tratamiento 25% V sin micorrizas a los 30 y 60 días. La Norma Técnica de Producción (NTP) sin aplicación y con aplicación de HMA fue el tratamiento con el que se obtuvieron las plantas más altas. En el caso de los diámetros de tallos de las plantas injertadas, fueron superiores en la NTP con HMA, los cuales fueron más altos durante todo el experimento.

DISCUSIÓN

Las compostas y vermicompostas son ampliamente utilizadas como sustratos en la pro-

ducción de diferentes cultivos, mejorando el almacenamiento del agua, la mineralización del NPK, regulando el pH y fomentando la actividad microbiana (Nieto-Garibay *et al* 2002). La adición del abono orgánico promovió una mayor actividad microbiana del suelo, por lo que los tratamientos con las mayores dosis de vermicomposta, Peat Moss y la mezcla de ambos presentaron mayor producción de CO₂. Esto se debe a que la materia orgánica es una fuente de carbono para los microorganismos del suelo (Benedicto-Valdés *et al* 2019). Además, el uso de estos materiales aumenta la aireación e infiltración del agua, situación que mejora las condiciones de estructura de las mezclas y permite una mineralización mayor de los materiales. Por tanto, el aumento en el contenido de materia orgánica propició una mayor actividad microbiana del sustrato, lo que fue confirmado por Guerrero-Ortiz *et al* (2012), quienes reportan valores altos de producción de CO₂ en enmiendas con altos contenidos de materia orgánica (40.8%). Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez (2004) reportan que la mayor acumulación de CO₂ en suelos de uso agrícola se debe al aumento de carbono lábil en la materia orgánica. Al respecto, se reporta que en suelos cultivados con hortalizas, la actividad microbiana es mayor bajo condiciones de abonamiento orgánico (4 t ha⁻¹ de vermicomposta) que en suelos fertilizados con dosis con NPK (Villareal-Romero *et al* 2010). La actividad microbiana en los sustratos es consecuencia de los diferentes porcentajes de materia orgánica de los tratamientos y del carbono lábil, que se utiliza como alimento por los microorganismos (Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez 2004). El aumento en la altura de las plantas del tratamiento 50% V sin HMA a los 30 días después de la siembra se debe al mayor contenido de macronutrientes (P y N) y de sustancias promotoras del crecimiento vegetal (enzimas, ácidos húmicos, proteínas) en la vermicomposta (Pedranzani *et al* 2015). Esto coincide con Atiyeh *et al* (2002), quienes encontraron aumentos en la altura de las plantas de hortalizas al aplicar extractos húmicos procedentes de abono orgánico. Sobre el uso de abonos orgánicos, Da Silva *et al* (2013) encontraron excelentes resultados en plantas de café en invernadero con aplicaciones de enmiendas orgánicas

Tabla 6. Número de hojas, altura y diámetro de los injertos a los 30 y 60 días (Experimento 2).

Tratamiento	No. Hojas	Altura 30 días (cm)	Diámetro	No. Hojas	Altura 60 días (cm)	Diámetro
NTP	6.1	20.1	5.4	7.1	22.7	5.7
25 % V	7.0	18.9	5.1	9.0	20.9	5.3
50 % V	6.3	19.1	6.1	8.0	20.9	6.7
NTP + HMA	6.8	17.9	6.3	8.6	19.7	6.9
25 % V + HMA	6.1	18.5	5.0	7.6	19.8	5.9
50 % V + HMA	6.0	19.4	6.1	7.6	21.6	6.7

Medias con letras comunes no difieren significativamente según test de Tukey ($p \leq 0.05$). NTP = Norma Técnica de Producción, V = Vermicomposta, HMA = Hongo micorrízico arbuscular.

compuestas de 50% de estiércol de ganado con altos contenidos de N y P, en comparación con el sustrato comercial utilizado. Al respecto, Quiroz y Rentería (2002) encontraron que la aplicación del 50% de vermicomposta en el sustrato para especies forestales (*Pinus oaxacana* y *Pinus rudis*) tuvo buenos resultados en la fase inicial de crecimiento de las plantas. Adicionalmente, Domínguez *et al* (2010) señalan que las sustancias húmicas de las vermicompostas son portadoras de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (PGRs), que incrementan la actividad de la biomasa del suelo. Entre estas se encuentran las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico (Arshad y Frangemberger 1993).

Cuando no se aplicaron HMA se observó que el tipo de sustrato influyó en la nutrición de las plantas, aumentando el área radical. En los tratamientos con los mayores contenidos de materia orgánica se observaron raíces de mayor longitud, lo que coincide con lo encontrado por Da Silva *et al* (2013) en plantas de café, al utilizar mezclas de sustratos que contenían 33 y 50% de estiércol compostado. Para el contenido de fósforo, se observaron diferencias en las plantas. Esto probablemente se encuentra ligado al contenido nutrimental de los sustratos, ya que los mayores valores de fósforo foliar se encontraron en los tratamientos con 50% de abonos orgánicos. Como lo mencionan Joshi *et al* (2015), la vermicomposta es un excelente abono orgánico capaz de aportar múltiples beneficios al aumentar los nutrientes del suelo y el rendimiento de los cultivos, solo o combinados con otros fertilizantes. En los tratamientos con y sin micorrizas, el potasio foliar presentó valores semejantes entre tratamientos. Cuando hay presencia de HMA se demuestra su influencia, ya que tienen la capacidad de establecer relaciones simbióti-

cas con la mayoría de las especies vegetales, provocando una mejor absorción de algunos nutrientes. Al respecto, Mujica-Pérez *et al* (2017) observaron que los contenidos de fósforo foliar tuvieron pocas variaciones entre tratamientos, por lo cual se puede inferir que no se tuvo problemas con la absorción. En relación a los contenidos y disponibilidad nutrimental, no se presentaron variaciones importantes y tampoco se observaron cambios considerables en la infección de raíces. Estos resultados coinciden con Xie *et al* (2014), quienes encontraron una disminución de la infección micorrízica al aumentar la fertilización fosfórica, obteniendo los menores porcentajes de hifas con 30 mg kg⁻¹ de P, por lo que con altos niveles de fósforo disminuyen los porcentajes de colonización (Hernández-Martínez *et al* 2006). Esto nos indica que el contenido mayor de fósforo en las mezclas no influyó en mayor infección micorrízica, mostrando que si se incrementan los contenidos de nutrientes, los procesos infectivos se inhiben. En algunos casos, esto puede ser más evidente, como lo indican López *et al* (2007), quienes encontraron disminución del número de esporas al incrementarse el contenido de fósforo en el suelo. Según Cuenca y Meneses (1996), existe una correlación negativa entre el porcentaje de colonización de las raíces y la disponibilidad del fósforo.

En el presente trabajo se obtuvieron altos valores de esporas e hifas en los tratamientos 50% V, 50% P y 50% VP. En los tratamientos, los altos contenidos nutrimentales de la vermicomposta satisficieron la demanda nutrimental de la planta. Esto indujo a tener bajos índices de infección micorrízica, a pesar de que la adición de los abonos orgánicos en los sustratos fomenta mejores condiciones para la propagación de los microorganismos,

viéndose reflejado en el aumento de esporas, como lo reportaron Millaleo *et al* (2006).

La transformación de los compuestos orgánicos en nutrientes asimilables para la planta se ve reflejado de forma positiva en los parámetros morfológicos medidos en las plantas. El aumento en el peso seco total de la planta y su relación positiva con la infección micorrízica concuerda con bioensayos con *Solanum lycopersicum*, en los que se encontró que la inoculación con HMA favoreció el aumento del peso seco de las raíces (Carreón-Abud *et al* 2013). El peso seco, área foliar y número de hojas se encuentran ligados a la colonización de HMA en *Catharanthus roseus* (De la Rosa-Mera *et al* 2012). Esto se debió a que las plantas tuvieron tiempo para interactuar con los HMA y se favoreció la producción de biomasa aérea. Los parámetros fisiológicos de las plantas injertadas no se vieron influenciados por los diferentes tratamientos aplicados. Esto difiere con Oropeza y Russian (2008), quienes encontraron diferencias en el uso de vermicomposta líquida como abono orgánico para plantas injertadas, teniendo buenos resultados en la altura y el número de hojas de injertos de naranja criolla después de 100 días de trasplantadas. En el caso del nitrógeno foliar, se observó que los contenidos fueron mayores al combinar la vermicomposta con el Peat Moss, por lo cual es probable que se hubieran presentado cambios en los contenidos con el tiempo.

En las plantas injertadas no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, en el número de hojas, altura y diámetro de los tallos a los 30 y 60 días (Tabla 6). Para el número de hojas a los 30 días, los valores variaron entre 6 y 7 cm, la altura de 17 a 20.1 cm y el diámetro de 5 a 6.3 cm, mientras que, a los 60 días, se tuvieron hojas de 7.1 a 9.0 cm, altura de 20.9 a 2.7 cm, y diámetro de 5.3 a 6.9 cm. La aplicación de micorrizas a las plantas no presentó diferencias en los parámetros

evaluados, pero se puede valorar, como una buena práctica, aplicar micorriza a las plantas injertadas, teniendo en cuenta que las plantas se benefician al quedar micorrizadas durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. Además, es probable que con el paso del tiempo, se observen efectos de las micorrizas en las plantas. El tiempo transcurrido en invernadero permitió observar que las plantas se desarrollaron de manera eficiente y uniforme. Con esto corroboramos que el uso de las micorrizas ayuda a las plantas a desarrollarse de manera correcta, ya que, al compararse con las plantas no injertadas, se observó una menor heterogeneidad en el desarrollo. Al respecto, otros estudios demuestran que a tiempos mayores, los efectos de las inoculaciones son evidentes (Cortés-Patiño *et al* 2015).

CONCLUSIONES

Los mejores resultados en los indicadores evaluados se encontraron en los tratamientos con los mayores contenidos de vermicomposta. La actividad microbiana y el número de esporas se incrementó al aumentar el contenido de materia orgánica en los sustratos, disminuyendo el porcentaje de infección micorrízica. La aplicación del biofertilizante micorrízico propició mayor absorción de nitrógeno y fósforo foliar en los diferentes sustratos. Los mayores contenidos de vermicomposta incrementaron la materia orgánica, C y N en los sustratos. Para el P y la CIC, los tratamientos con sustratos que contienen Peat Moss y vermicompostas fueron superiores a los tratamientos que contienen sólo suelo. El contenido nutricional de las mezclas no influyó en el número de esporas ni en los procesos de infección. Los HMA son una buena opción para mejorar la nutrición de plantas de cacao en invernadero.

LITERATURA CITADA

- Adriano-Anaya M L, Jarquín-Gálvez R, Hernández-Ramos C, Salvador-Figueroa M, Monreal-Vargas CT (2011) Biofertilizer of organic coffee in stage of seedlings in Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 417- 431.

- Aguirre-Medina JF, Mendoza-López A, Cadena-Iñiguez J, Avendaño-Arrazate CH (2007) Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L.) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia* 32: 541-546.
- Alvarado-Castillo M, Díaz-Franco A, Peña-del Río MA (2014) Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 513-518.
- Álvarez-Solís JD, Anzueto-Martínez MJ (2004) Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38: 13-22.
- Arshad MW, Frankenberger TJr (1993) Microbial production of plant growth regulators. In: Metting Jr. B (Ed.) *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. Marcell Dekker. New York. pp: 307-347.
- Atiyeh RM, Lee S, Edwards CA, Arancon NQ, Metzger JD (2002) The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7-14.
- Azcón R (2000) Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: A Alarcón, Ferrera-Cerrato R (Eds.) *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Colegio de Postgraduado, Mundi-Prensa, México. Estado de México, México. 251p.
- Benedicto-Valdés GS, Montoya-García CO, Vicente-Hernández Z, Ramírez-Ayala, Escalante-Estrada JAS (2019) Incorporación de abonos orgánicos y liberación de C-CO₂ como indicador de la mineralización del carbono. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6: 513-522.
- Camargo-Ricalde SL, Montaña-Claudia NM, De la Rosa-Mera CJ, Montaña-Arias SA (2012) Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* 13: 1-19.
- Carreón-Abud Y, Beltrán-Nambo MA, Martínez-Trujillo M (2013) Efecto protector de los hongos micorrízicos arbusculares en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) expuestas a Cr (VI). *Revista Internacional de Botánica Experimental* 82: 127-134.
- CONAGUA (2016) Reporte del clima en México. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%c3%ada/Diagn%c3%b3stico%20Atmosf%c3%a9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%c3%a9xico/RC-Junio16.pdf>. Fecha de consulta: 25 de mayo de 2018.
- Córdova-Avalos V, Mendoza-Palacios JD, Vargas-Villamil L, Izquierdo-Reyes F, Ortíz-CF (2008) Participación de las asociaciones campesinas en el acopio y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 24: 147-158.
- Cortés-Patiño SL, Vesga-Ayala NP, Sigarroa-Rieche AK, Moreno-Rozo L, Cárdenas-Caro D (2015) Sustratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero. *Bioagro* 27:151-158.
- Cuenca G, Meneses E (1996) Diversity patterns of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cacao in Venezuela. *Plant Soil* 183: 315-320.
- Da Silva AP, Costa E, Do Espírito Santo TL, Da Silva LE, Martins RF (2013) Coffee seedlings in different substrates and protected environments. *Engenharia Agrícola* 33: 589-600.
- De la Rosa-Mera C, Ferrera-Cerrato R, Alarcón A, Sánchez-Colín M de J, Franco-Ramírez A (2012) Aislamiento de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares de plantas medicinales y su efecto en el crecimiento de Vinca (*Catharanthus roseus*). *Revista Chilena de Historia Natural* 85: 187-198.

- Domínguez J, Lazcano C, Gómez-Brandón M (2010) Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana* 2: 359-371.
- Duran-Ramírez F (2010) Cultivo y explotación del cacao. Grupo Latino Editores. Colombia. 424p.
- Félix-Herrán JA, Sañudo-Torres RR, Rojo-Martínez GE, Martínez-Ruiz R, Olalde-Portugal V (2008) Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai* 4: 57-67.
- Gendermann, JW, Nicholson TH (1963) Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235-244.
- Giovanetti MB, Mosse B (1980) An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 113: 17-35.
- Guerrero-Ortiz PL, Quintero-Lizaloe R, Espinoza-Hernández V, Benedicto-Valdés GS, Sánchez-Colín MJ (2012) Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana* 30: 355-362.
- Hernández-Martínez M, Cetina-Alcalá VM, González-Chávez MC, Cervantes-Martínez CT (2006) Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Terra Latinoamericana* 24: 65-73.
- ICCO (2015) Producción de cacao en grano en el mundo por país. Organización Internacional del Cacao. <https://es.statista.com/statistas/635270>. Fecha de consulta: 26 de febrero de 2019.
- Jaimes-Suárez Y, Aranzazu-Hernández F (2010) Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en *Monilia (Moniliophthora roreri)*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Colombia. 90p.
- Joshi R, Jaswinder S, Pal VA (2015) Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 14: 137-159.
- Kalra YP, Maynard DG (1991) *Methods manual for forest soil and plant analysis*. Northern Forestry Centre. Alberta, Canada. 116p.
- Kalra YP (1998) *Handbook of reference methods for plant analysis*. Taylor & Francis Ltd. UK. 287p.
- Koske RE, Gemma JN (1989) A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92: 486-505.
- Leblanc HA, Márquez E (2014) Efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de cacao en vivero. *Tierra Tropical* 10: 191-200.
- López-Martínez JD, Díaz-Estrada A, Martínez-Rubín E, Valdez-Cepeda R (2001) Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299.
- López M, López de Rojas I, España M, Izquierdo A, Herrera L (2007) Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao* L. *Agronomía Tropical* 57: 31-43.
- Millaleo R, Montecinos C, Rubio R, Contreras A, Borie F (2006) Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrízicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6: 26-39.

- Mujica-Pérez Y, Medina-Carmona A, Rodríguez-Guerra E (2017) Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Cultivos tropicales* 38: 15-21.
- Ngosong C, Jarosch M, Raupp J, Neumann E, Ruess L (2010) The impact of farming practice on soil microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungi: Crop type versus long-term mineral and organic fertilization. *Applied Soil Ecology* 46: 132-142.
- Nieto-Garibay A, Murillo-Amador B, Troyo-Diéguez E, Larrinaga-Mayoral JA, García-Hernández JL (2002) El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27: 417-421.
- NOM-021-RECNAT-2000 (2002) Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Segunda Edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 73p.
- Oropeza J, Russian T (2008) Efecto del vermicompost sobre el crecimiento, en vivero, de la naranja “criolla” sobre tres patrones. *Agronomía Tropical* 58: 289-297.
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) Method of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Second Edition. American Society of Agronomy (Publ.). Soil Science Society of America. 1159p.
- Pedranzani H, Terenti O, Ruiz O, Quiroga M y Giullietti L (2015) Efecto de vermicompuestos pecuarios en algunos indicadores fisiológicos de *Triticum aestivum* var. buck pingo. *Pastos y Forrajes* 38: 403-409.
- Philips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Quiroz MT, Rentería A (2002) Efecto de la lombricomposta como sustrato alterno en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana* 4: 35-40.
- R Development Core Team (2014) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2019.
- SIAP (2018) Datos abiertos. Estadística de producción agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php. Fecha de consulta: 16 de marzo de 2019.
- Villareal-Romero M, Parra-Terraza S, Sánchez-Peña P, Hernández-Verdugo S, Osuna-Enciso T, Basilio-Heredia J (2010) Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 217-231.
- Xie X, Weng B, Cai B, Dong Y, Yan C (2014) Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovata* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil. *Applied Soil Ecology* 75: 162-171.