

SIMBIOSIS MICORRÍZICA ARBUSCULAR Y FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL CRECIMIENTO DE *Carica papaya* L.

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Luis López-Pérez, Elizabeth Hernández-Acosta, Ronald Ferrera-Cerrato y Gabriel Rincón-Enríquez

RESUMEN

La micorrización previa al trasplante de especies vegetales que requieren de una etapa de vivero puede proporcionar beneficios económicos a los productores agrícolas al disminuir el empleo de fertilizantes y pesticidas. Por otro lado, compostas elaboradas a partir de algunos desechos agroindustriales podrían adicionarse al suelo de cultivo como fertilizantes orgánicos, solas o en combinación con hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) en favor de una agricultura sustentable. La papaya responde positivamente a la inoculación con HMA y su estudio se ha abordado desde múltiples enfoques, destacándose estudios ecológicos y trabajos que muestran la importancia de micorrizar en vivero, antes de realizar el trasplante en campo. Con el objetivo de determinar

el efecto de dos fuentes de materia orgánica sobre la interacción papaya-HMA, se emplearon dos compostas: una de cachaza de caña de azúcar y otra de pulpa de café; los HMA evaluados fueron *Glomus sp. Zac-2* y *Glomus aggregatum FS-39*. Se estableció un experimento bifactorial 3x3. Los factores y niveles estudiados fueron: micorrización (sin HMA, Zac-2 y FS39) y mezcla de suelo (cachaza, pulpa y suelo). Las dos cepas de HMA promovieron el crecimiento de las plantas en las mezclas denominadas suelo y pulpa, con incrementos en altura de planta y peso seco de raíz superiores al 300 y 3000% respectivamente a los 105 días después del trasplante e inoculación. Sin embargo, en la mezcla cachaza plantas con y sin micorrizar presentaron un crecimiento similar.

Introducción

La inoculación de plantas con hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) les proporciona diversos beneficios, siendo de particular relevancia una mejor nutrición (Hodge y Fitter, 2010) y protección contra factores bióticos (Jung *et al.*, 2012) y abióticos adversos, por lo que dicha práctica puede repercutir en ahorros económicos para productores agrícolas si se maneja adecuadamente. Por otro lado, diversas fuentes de materia orgánica (MO) provenientes de desechos agroindustriales, en ocasiones considerados como fuentes de contaminación ambiental, podrían ser utilizadas como mejoradores del suelo o fertilizantes orgánicos. El cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) responde positivamente a la asociación

micorrízica en vivero (Constantino *et al.*, 2010; 2011; Quiñones-Aguilar *et al.*, 2012) y en campo (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). Sin embargo, prácticas como la fertilización, fumigación o uso de distintas mezclas de sustratos para el crecimiento de las plántulas de papaya en vivero influyen negativamente sobre la colonización de los HMA (Trindade *et al.*, 2006); de igual manera, existen informes que muestran que la presencia de MO en los sustratos de crecimiento está correlacionada negativamente con el porcentaje de colonización micorrízica ($r = -0,47$) en plantaciones de papaya (Khade y Rodrigues, 2008). No obstante, el empleo de fuentes de MO como composta a base de cáscara de hoja o cascarrilla de cacao puede incrementar la colonización micorrízica por arriba del 30% en comparación

con tratamientos sin MO (Constantino *et al.*, 2011).

A nivel de campo, el uso de una mayor tecnología en la producción del cultivo de papaya impacta de manera negativa el potencial infectivo de los HMA (Sangabriel-Conde *et al.*, 2010), principalmente porque en suelos de uso agrícola la concentración de fósforo ($55-104\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) es mayor que en suelos sin perturbación ($7\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). La micorrización de plántulas de papaya durante su crecimiento en vivero puede ser benéfica desde el punto de uso agrícola la concentración de fósforo ($55-104\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) es mayor que en suelos sin perturbación ($7\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). La micorrización de plántulas de papaya durante su crecimiento en vivero puede ser benéfica desde el punto de uso agrícola, ya que esta actividad podría disminuir tanto la estancia de las plantas en vivero al incrementar su crecimiento en menor tiempo, como la aplicación de fertilizantes (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2012). Otra ventaja que dicha práctica podría proporcionar es la protec-

ción contra algunas enfermedades que se transmiten al momento del trasplante en campo, al mantener activo el sistema de defensa vegetal (Jung *et al.*, 2012). Pero uno de los beneficios de mayor relevancia que la simbiosis micorrízica puede aportar si las plantas se inoculan en etapa de vivero, es el aumento en su rendimiento en campo. Por ejemplo, Vázquez-Hernández *et al.* (2011) reportaron que la inoculación de papaya en etapa de vivero con *Glomus mosseae* incrementó en campo el rendimiento de fruto en 105,2%, obteniéndose una producción de $144\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ en plantas previamente inoculadas, contra $70,6\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ en plantas sin inocular.

A pesar de la diversidad de trabajos sobre la interacción papaya-HMA, se tienen pocos estudios sobre la influencia de

PALABRAS CLAVE / Cachaza de Caña de Azúcar / Desechos Agroindustriales / Micorrizas / Pulpa de Café /

Recibido: 13/02/2013. Modificado: 05/03/2014. Aceptado: 07/03/2014.

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar. Ingeniera Agrónoma, Universidad Veracruzana (UV), México. Maestría en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Doctorado en Microbiología Molecular y Biotecnologías, Université d'Aix-Marseille II (UAM-II), Francia. Investigadora, Centro de Investigación en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ), México.

Luis López-Pérez. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Maestría en Edafología, COLPOS, México. Doctorado, Universidad de Murcia, España. Profesor-Investigador, IIAF-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Elizabeth Hernández-Acosta. Ingeniera Agrónoma, UV, México. Maestría y Doctorado en

Edafología, COLPOS, México. Profesora-Investigadora, UACH, México.

Ronald Ferrera-Cerrato. Químico Bacteriólogo Parasitólogo, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Doctorado en Microbiología, IPN, México. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Gabriel Rincón-Enríquez. Ingeniero Agrónomo, UACH, Méxi-

co. Maestría en Genética, COLPOS, México. Especialidad en Estadística, UNAM, México. Doctorado en Microbiología, Biología Vegetal y Biotecnologías, UAM-II, Francia. Investigador, CIATEJ, México. Dirección: CIATEJ, Av. Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco. C.P. 44270. México. e-mail: grincon@ciatej.mx; grincone@gmail.com.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL SYMBIOSIS AND SOURCES OF ORGANIC MATTER ON THE GROWTH OF *Carica papaya* L.

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar, Luis López-Pérez, Elizabeth Hernández-Acosta, Ronald Ferrera-Cerrato and Gabriel Rincón-Enríquez

SUMMARY

The pre-transplant mycorrhization of vegetable species that require nursery stage can provide economic benefits to farmers by reducing the use of fertilizers and pesticides. On the other hand, compost from some agro-industrial wastes could be added to the farming soil as organic fertilizer, alone or in combination with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in favor of sustainable agriculture. Papaya responds positively to inoculation with AMF and its study has been addressed from multiple approaches, highlighting ecological studies and works that show the importance of mycorrhizing in the nursery before transplanting to the field. In order to determine the effect of two sources of organic matter

on the interaction papaya-AMF, two composts were used: sugar cane sludge and coffee pulp. The evaluated AMF were *Glomus* sp. Zac-2 and *Glomus aggregatum* FS-39. A bifactorial experiment 3×3 was established. The factors and levels studied were mycorrhization (without AMF, Zac-2 and FS39) and soil mixture (sludge, pulp and soil). The two strains of AMF promoted plant growth in the mixtures called soil and pulp, with increases in plant height and root dry weight above 300 and 3000% respectively after 105 days after transplantation and inoculation. However, in the sludge mixture, plants with and without mycorrhizing showed similar growth.

SIMBIOSE MICORRÍZICA ARBUSCULAR E FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA NO CRESCIMENTO DE *Carica papaya* L.

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar; Luis López-Pérez; Elizabeth Hernández-Acosta; Ronald Ferrera-Cerrato e Gabriel Rincón-Enríquez

RESUMO

A micorrização prévia ao transplante de espécies vegetais que requerem de uma etapa de viveiro pode proporcionar benefícios econômicos aos produtores agrícolas ao diminuir o emprego de fertilizantes e pesticidas. Por outro lado, compostas elaboradas a partir de alguns detritos agroindustriais poderiam adicionar-se ao solo de cultivo como fertilizantes orgânicos, sozinhas ou em combinação com fungos formadores de micorriza arbuscular (HMA) a favor de uma agricultura sustentável. A papaia responde positivamente à inoculação com HMA e seu estudo se tem abordado desde múltiplos enfoques, destacando-se estudos ecológicos e trabalhos que mostram a importância de micorrizar em viveiro, antes de realizar o transplante no campo. Com o objetivo de determinar o efeito de duas fontes de

matéria orgânica sobre a interação papaia-HMA, se empregaram duas compostas: uma de cachaça de cana de açúcar e outra de polpa de café; os HMA avaliados foram *Glomus* sp. Zac-2 e *Glomus aggregatum* FS-39. Estabeleceu-se um experimento bifatorial 3×3. Os fatores e níveis estudados foram: micorrização (sem HMA, Zac-2 e FS39) e mistura de solo (cachaça, polpa e solo). As duas cepas de HMA promoveram o crescimento das plantas nas misturas denominadas solo e polpa, com incrementos em altura de planta e peso seco de raiz superiores ao 300% e 3000% respectivamente aos 105 dias depois do transplante e inoculação. No entanto, na mistura cachaça plantas com e sem micorrizar apresentaram um crescimento similar.

fuentes orgánicas provenientes de desechos agroindustriales en la respuesta en crecimiento de plantas de papaya micorrizadas, así como los efectos de este tipo de MO sobre la colonización micorrízica en raíces y en la proliferación de esporas, por lo que en el presente trabajo se evaluó el efecto de dos compostas: cachaza de caña de azúcar y de pulpa de café, adicionadas al sustrato de cultivo, sobre la interacción entre papaya y dos inóculos de HMA (*Glomus* sp. Zac-2 y *G. aggregatum* FS-39) en vivero.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel.

Los materiales biológicos utilizados fueron semillas de papaya (*Carica papaya* L.) tipo Cera y las cepas de HMA *Glomus* sp. Zac-2 y *Glomus aggregatum* FS-39, de la colección de microorganismos del laboratorio de microbiología del suelo del Colegio de Postgraduados, que han sido evaluadas en otros estudios (Estañol *et al.*, 1999; Gardezi *et al.*, 2001; Quiñones-Aguilar *et al.*, 2012). La germinación de las semillas se realizó en charolas de plástico, utilizando como sustrato grava (diámetro de partícula de 2-4mm) esterilizada con calor húmedo a 121°C en autoclave a 1,3kg·cm⁻² durante 4h. Los sustratos empleados para el crecimiento de las

plantas consistieron en tres mezclas distintas: 1) suelo (suelo y arena, en proporción 2:1 v/v); 2) cachaza (suelo, composta de cachaza de caña de azúcar y arena, 2:2:1 v/v/v); y 3) pulpa (suelo, composta de pulpa de café y arena, 2:2:1 v/v/v). Se utilizó arena de banco y el suelo se tomó de una plantación de papaya. Las fuentes de MO (cachaza y pulpa) fueron previamente composteadas por un periodo de 6 meses; para su empleo se secaron a la sombra y se cribaron en tamices de 2mm (US malla 10). Las mezclas fueron esterilizadas con bromuro de metilo (907,2g·m⁻³). Las características de las mezclas fueron: pH= 6,4; 7,6 y 7,3; MO= 5,8; 7,8 y 6,4% para sue-

lo, cachaza y pulpa, respectivamente; las tres mezclas presentaron una textura arena franco-sa. Se emplearon como macetas, bolsas negras de polietileno para vivero de 27×27cm (3,79 litros de capacidad) con perforaciones para facilitar el drenado, las cuales fueron llenadas con su respectiva mezcla.

Trasplante, inoculación y manejo en invernadero

Después de la germinación de las semillas, las plántulas con crecimiento similar y con dos hojas verdaderas fueron trasplantadas a su respectiva maceta, la cual fue previamente humedecida con agua. La inoculación se realizó en el sistema

radicular de las plántulas al momento del trasplante, con 10g de arena-inóculo de *Glomus* sp. Zac-2 o de *G. aggregatum* FS-39 compuesto por arena y raíces con una colonización por los HMA de 80 y 82% respectivamente y ~9 esporas·g⁻¹ de arena. Las plántulas se regaron cada tercer día (200ml por maceta) y luego los riegos se hicieron de acuerdo con las necesidades hídricas de las plantas.

Diseño experimental, análisis estadístico y variables evaluadas

Se estableció un arreglo factorial 3×3 en un diseño completamente al azar. Los factores y niveles estudiados fueron: 1) inoculación con HMA, con tres niveles: *Glomus* sp. Zac-2; *G. aggregatum* FS-39 y sin inocular; 2) mezcla de suelo, con tres niveles: suelo, pulpa y cachaza. Se generaron un total de 9 tratamientos con 10 repeticiones, y la unidad experimental consistió de una maceta con una planta. Las variables de respuesta se analizaron mediante análisis de varianza factorial con un nivel de significancia de $p < 0,05$ y prueba de separación de medias de Tukey ($p < 0,05$) mediante el paquete estadístico Statgraphics (2005).

El crecimiento de las plantas se evaluó a los 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante (DDT); la altura de planta (AP) se midió con una regla graduada en cm y el diámetro del tallo (DT) fue determinado en mm con un vernier en la base del tallo. Al final del experimento (105 DDT) se determinaron los pesos secos de follaje y raíz, para calcular índices de incremento en materia seca con respecto a controles sin micorrizar en suelo. Para ello se separó cada parte de la planta y se mantuvieron en bolsas de papel a 75°C hasta peso constante determinado mediante una balanza digital de dos dígitos. Como variables micorrízicas se evaluó el porcentaje de colonización micorrízica (PCM) total y por vesículas y arbusculos, para lo cual las raíces fueron clareadas y teñidas (Phillips y Hayman, 1970). Para estimar

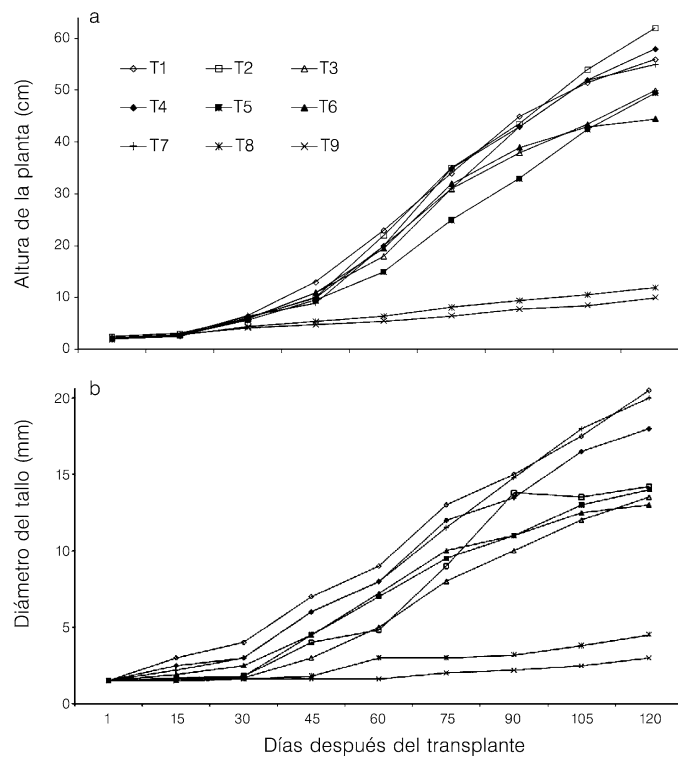


Figura 1. Dinámica del crecimiento en altura (a) y diámetro de tallo (b) de plantas de papaya cultivadas en tres mezclas de suelo e inoculadas con dos cepas de HMA. *Glomus* sp. Zac-2 + cachaza (T1), + pulpa (T2), + suelo (T3); *G. aggregatum* FS-39 + cachaza (T4), + pulpa (T5), + suelo (T6); Sin HMA + cachaza (T7), + pulpa (T8), + suelo (T9).

el PCM se utilizó la técnica propuesta por Mc.Gonigle *et al.* (1990). La extracción de esporas de HMA para su conteo se realizó con la técnica de tamizado en húmedo y decantación de Gerdemann y Nicolson (1963) y el conteo de esporas se hizo bajo un microscopio estereoscópico con contador manual.

Resultados y Discusión

Dinámica del crecimiento de las plantas por efecto del tratamiento

En las Figuras 1a y 1b se muestra la dinámica del crecimiento de las plantas de papaya en AP y en DT, desde el primer día y hasta los 120 DDT. Para la variable DT, la manifestación del efecto de los tratamientos se observó desde los 15 DDT, sin embargo para la variable AP, fue a partir de los 30 DDT. No obstante, para ambas variables, la respuesta de las plantas presentó una tendencia similar a partir de los 45 DDT, observándose que en las tres

mezclas de suelo, la inoculación con ambas cepas de HMA promovió e incrementó el crecimiento de las plantas, con respecto a plantas no inoculadas (datos analizados estadísticamente se muestran en tablas). Al respecto, Álvarez-Santiz *et al.* (2012) informan que plantas de papaya en vivero inoculadas con el consorcio de HMA (*AD-Mtu*) nativo de plantaciones de *Agave cupreata* de Michoacán, México, respondieron positivamente aumentando en gran medida su crecimiento con respecto a plantas testigo. De igual manera, otros estudios muestran que la asociación de papaya con HMA (*G. mosseae*, *G. caledonium*, *Entrophospora colombiana*) mejora la nutrición del cultivo en campo, lo que conduce a la disminución de la aplicación de fertilizantes químicos en suelos poco fértiles y por lo tanto a un ahorro económico (Mamatha *et al.*, 2002; Vázquez-Hernández *et al.*, 2011).

La adición de MO también influyó en el crecimiento de las plantas, observándose que plan-

tas sin micorrizar, pero cultivadas en la mezcla con cachaza esterilizada presentaron una respuesta similar a la de las plantas micorrizadas, lo que muestra que los efectos de la simbiosis fueron enmascarados por la presencia de esta fuente de MO. Estos resultados pueden deberse a que algunas fuentes de MO son tan ricas en nutrientes disponibles que promueven el buen crecimiento de las plantas sin necesidad de estar micorrizadas. Al respecto, Arreola-Enriquez *et al.* (2004) al aplicar 5ton·ha⁻¹ de cachaza al cultivo de caña obtuvieron incrementos en rendimiento de tallos molidos del 82% respecto al testigo sin fertilizar, y cuando aplicaron fertilizante químico los incrementos fueron únicamente del 42,7% respecto al testigo. Sin embargo no todas las fuentes de MO producen este efecto, pues Constantino *et al.* (2011) mostraron un efecto en el crecimiento de papaya al inocular *G. intraradices* en sustratos con cascarilla de cacao (35%) en comparación con los tratamientos sin HMA. A pesar de esto, los mismos autores encontraron que con composta de hojarasca (50%) este efecto desaparece, lo cual coincide con los resultados del presente trabajo. Por otro lado, cuando el efecto benéfico de la simbiosis es encubierto por la presencia de MO u otros factores, esta asociación podría estar proporcionando protección contra microorganismos fitopatógenos, ya que los HMA asociados con plantas también pueden protegerlas al activar su sistema de defensa por medio de la resistencia inducida por micorrización (RIM), cuyos efectos de protección conferidos por los HMA han sido principalmente atribuidos a la inducción de diversas vías de defensa en plantas micorrizadas (Pozo *et al.*, 2010; Jung *et al.*, 2012). Por otro lado, en el tratamiento con la mezcla de suelo se evidenció la importancia que los HMA tienen en la nutrición de plantas establecidas en mezclas sin adición de enmiendas orgánicas o fertilizantes. Las plantas inoculadas en dicha mezcla presentaron mejor crecimiento que aquellas no inoculadas. Resulta-

TABLA I
DINÁMICA DE LA ALTURA DE PLANTA (AP), DIÁMETRO DE TALLO (DT) E INCREMENTOS EN CRECIMIENTO POR EFECTO DE LA FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA

Días después del trasplante	AP (cm)			DT (mm)		
	Cachaza	Pulpa	Suelo	Cachaza	Pulpa	Suelo
15	5,52 a [†]	4,98 b	4,69 b	2,31 a [†]	1,79 b	1,65 b
30	8,16 a	6,48 b	6,13 b	3,15 a	1,98 b	1,92 b
45	13,78 a	10,95 b	10,59 b	6,27 a	3,24 b	3,57 b
60	22,27 a	13,95 b	15,34 b	8,39 a	5,07 b	5,29 b
75	36,28 a	23,17 b	22,90 b	12,32 a	7,32 b	7,11 b
90	44,85 a	28,63 b	27,97 b	14,23 a	8,72 b	8,04 b
105	53,80 a	34,95 b	31,62 b	17,23 a	10,63 b	9,60 b
Factor	% incremento respecto a mezcla suelo (105 DDT)					
Cachaza	70,1			79,5		
Pulpa	10,5			10,7		

[†]Letras distintas en la misma hilera y variable de respuesta indican diferencias significativas según Tukey (p<0,05).

dos similares han sido reportados tanto en papaya (Khade y Rodrigues, 2009a, b) como en café (Trejo *et al.*, 2011). El beneficio mejor conocido que la asociación micorrizica concede a las plantas es incrementar su crecimiento como resultado de una mejor adquisición de nutrientes (Koide y Mosse, 2004).

Efecto de la fuente de MO en el crecimiento de las plantas

Con el fin de evaluar el efecto de la fuente de MO en el crecimiento de las plantas de papaya durante su estancia en vivero, se midieron periódicamente las variables de crecimiento AP y DT. La dinámica del crecimiento de las plantas por efecto de la mezcla de suelo se presenta en la Tabla I. Con respecto a la respuesta de las plantas cultivadas en las distintas mezclas, desde los 15 y hasta los 105 DDT, se manifestaron diferencias significativas (p≤0,05) en su crecimiento, promoviéndose una mejor respuesta a lo largo de todo el periodo evaluado en la mezcla que contenía cachaza como fuente de MO, lo que muestra que determinadas fuentes orgánicas provenientes de compostas de desechos o residuos agroindustriales podrían mejorar las características de los suelos o sustratos empleados para el cultivo de plantas de papaya en vivero y por lo tanto promover su rápido crecimiento. Los resultados de este estudio con-

ducen con los reportados por Aguas *et al.* (1995) quienes observaron en papaya efectos significativos en el crecimiento a los 40 y 60 DDT, utilizando cachaza como sustrato. En las mezclas suelo y pulpa el crecimiento de las plantas fue estadísticamente igual. En la Tabla I, también se muestran los incrementos en el crecimiento de las plantas de papaya en las mezclas cachaza y pulpa con respecto a la mezcla suelo a los 105 DDT; se observa que los mayores incrementos se obtuvieron en la mezcla cachaza superando entre siete y ocho veces a la mezcla pulpa, lo cual sugiere que la cachaza podría ser empleada como un fertilizante orgánico en viveros o incluso en campo. La cachaza es un subproducto agroindustrial obtenido de procesos de clarificación del jugo de caña de azúcar, por lo que es rica en algunos nutrientes como fósforo. Pérez-Méndez *et al.* (2011) al realizar la caracterización química de la cachaza informaron una concentración 1078,5mg·kg⁻¹ de P y 246,2mg·kg⁻¹ de N, por lo que en este estudio la concentración de nutrientes en la mezcla con cachaza pudo haber influido positivamente en el crecimiento de las plantas de papaya, además de que adicionada a los suelos mejora su estructura, au-

menta la porosidad, la permeabilidad, la retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico, características que influyen positivamente en el crecimiento vegetal.

Efecto de la inoculación micorrizica en el crecimiento de las plantas

En la Tabla II se presentan los resultados obtenidos para AP y DT a lo largo del periodo evaluado. Las plantas de papaya respondieron favorablemente a la inoculación con los HMA, manifestándose en un mayor crecimiento vegetal y mostrando diferencias significativas (Tukey p<0,05) respecto a plantas sin inocular durante toda la dinámica evaluada. Los efectos de la inoculación se empezaron a manifestar a partir de los 15 DDT, con diferencias estadísticas para AP, lo que indica que en esta etapa las plantas inoculadas ya están colonizadas y por lo tanto recibiendo los beneficios de la simbiosis. Al respecto, Adame-Castañeda (2012), encontró que a los 25 DDT plantas de papaya inoculadas con diversos consorcios micorrizicos presentaban una colonización de entre el 40 y el 100%. Por su parte, Jaen (1987) en un estudio sobre la dinámica de la colonización micorrizica en papaya encontró una coloni-

zación del 21 y 56% a los 10 y 20 DDT respectivamente. Esto coincide con los incrementos en el crecimiento de las plantas a través del tiempo, lo cual podría indicar que en papaya, en etapa de vivero existe una correlación positiva alta entre el crecimiento vegetal y el grado de colonización. Estos resultados muestran que la papaya es una especie vegetal que se micorriza rápidamente y que los efectos benéficos de estos hongos en esta especie son casi inmediatos. Desde los 30 DDT, plantas micorrizadas presentaron un mejor crecimiento que plantas sin micorrizar tanto para AP como para DT (Tukey p<0,05). Sin embargo, a partir de los 60 DDT los efectos fueron significativamente mayores, encontrándose cerca del doble de crecimiento en plantas micorrizadas con respecto a las que no lo estaban.

Para la variable AP, plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-2 mostraron incrementos con respecto a plantas sin inocular de 6,95; 16,56; 35,79; 83,2; 98,32 y 112,40% de los 15 a los 90 DDT respectivamente. No obstante, fue a partir de los 60 DDT, que las diferencias en AP fueron considerables, ya que en esta etapa el incremento en crecimiento fue superior al 80%. Para la variable DT los incrementos de plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-2 con respecto a plantas testigo, fueron de 16,97; 66,02; 62,72; 107,2 y 96,65%

TABLA II
DINAMICA DE LA ALTURA DE PLANTA (AP), DIÁMETRO DE TALLO (DT) E INCREMENTOS EN CRECIMIENTO POR EFECTO DE LA INOCULACIÓN CON HMA

Días después del trasplante	AP (cm)			DT (mm)		
	Zac-2	FS-39	SI	Zac-2	FS-39	SI
15	5,08 ab [†]	5,37 a	4,75 b	ns	ns	ns
30	7,11 a	7,57 a	6,10 b	2,55 a [†]	2,33 ab	2,18 b
45	13,05 a	12,67 a	9,61 b	5,18 a	4,73 a	3,12 b
60	21,03 a	19,05 a	11,48 b	7,42 a	6,77 a	4,56 b
75	34,35 a	30,68 a	17,32 b	11,23 a	10,09 a	5,42 b
90	42,80 a	38,51 a	20,15 b	12,90 a	11,53 a	6,56 b
105	50,53 a	45,38 a	24,45 b	15,72 a	13,83 a	7,92 b
Factor	% incremento respecto a mezcla suelo (105 DDT)					
Zac2	106,7			98,5		
FS-39	85,6			74,2		

[†]Letras distintas en la misma hilera y variable de respuesta indican diferencias significativas según Tukey (p<0,05). Zac-2: *Glomus* sp. Zac-2; FS-39: *G. aggregatum* FS-39; SI: sin inoculación; ns: no significativo.

TABLA III
DINÁMICA DE LA ALTURA DE PLANTA (AP) Y DIÁMETRO DE TALLO (DT) POR EFECTO DE LA INTERACCIÓN FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA-CEPA DE HMA

Tratamiento		Días después del trasplante						
Mezcla	Cepa	15	30	45	60	75	90	105
		AP(cm)						
Cachaza	Zac-2	ns	ns	14,30 a [†]	23,20 a	36,60 a	44,65 a	54,90 a
Cachaza	FS-39	ns	ns	13,50 a	21,85 a	34,90 ab	44,13 a	52,45 a
Cachaza	SI	ns	ns	13,55 a	21,75 a	37,35 a	44,78 a	54,05 a
Pulpa	Zac-2	ns	ns	12,20 ab	20,05 a	35,25 a	43,94 a	52,90 a
Pulpa	FS-39	ns	ns	10,85 ab	14,85 ab	25,85 b	32,82 a	41,25 a
Pulpa	SI	ns	ns	8,72 bc	6,95 b	8,40 c	9,13 b	10,70 b
Suelo	Zac-2	ns	ns	12,65 ab	19,85 a	31,20 ab	38,80 a	43,80 a
Suelo	FS-39	ns	ns	13,65 a	20,45 a	31,30 ab	38,58 a	42,45 a
Suelo	SI	ns	ns	6,55 c	5,73 b	6,20 c	6,54 b	8,60 b
		DT(mm)						
Cachaza	Zac-2	ns	3,53 a [†]	6,78 a	8,69 a	12,90 a	14,69 a	17,70 a
Cachaza	FS-39	ns	2,88 bc	6,12 ab	8,21 ab	12,25 a	13,78 ab	16,30 ab
Cachaza	SI	ns	3,05 ab	6,92 abc	8,26 ab	11,80 a	14,22 ab	17,70 a
Pulpa	Zac-2	ns	2,28 cd	4,78 cd	6,90 bc	11,00 ab	12,62 ab	15,95 ab
Pulpa	FS-39	ns	1,88 cd	3,16 e	5,36 c	8,03 b	6,63 c	12,20 c
Pulpa	SI	ns	1,79 d	1,82 f	2,96 d	2,93 c	3,90 d	3,75 d
Suelo	Zac-2	ns	1,84 d	4,01 de	6,68 bc	9,80 ab	11,38 bc	13,50 bc
Suelo	FS-39	ns	2,22 d	4,92 bcd	6,73 bc	10,00 ab	11,18 bc	13,00 bc
Suelo	SI	ns	1,70 d	1,62 f	2,47 d	1,54 c	1,56 d	2,31 d

[†]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (p<0,05). Zac-2: *Glomus* sp. Zac-2; FS-39: *G. aggregatum* FS-39; SI: sin inoculación; ns: no significativo.

de los 30 a los 90 DDT respectivamente. Al final del periodo evaluado (105 DDT) los incrementos en crecimiento tanto para AP como para DT fueron mayores cuando las plantas fueron inoculadas con la cepa *Glomus* sp. Zac-2, presentándose incrementos >100% para AP y del 98,48% para DT (Tabla II). Sin embargo, aunque los incrementos fueron mayores cuando las plantas fueron inoculadas con *Glomus* sp. Zac-2, con *G. aggregatum* FS-39 también se encontraron incrementos importantes durante toda la dinámica evaluada. De esta forma, a los 105 DDT los incrementos de plantas micorrizadas por esta cepa fueron >80% para AP, con respecto a plantas testigo (Tabla II). Esto concuerda con lo reportado por Quiñones-Aguilar *et al.* (2012) quienes reportan incrementos en crecimiento de plantas micorrizadas con respecto a plantas de papaya sin inocular de 486,51% en AP y 594,31% en DT a los 90 DDT. En este trabajo se muestra claramente la efectividad de los HMA en la promoción del crecimiento de las plantas de papaya en vivero (Tabla II).

La micorrización de plantas de papaya y otras especies vegetales puede ser benéfica desde diversos puntos de vista, siendo de suma importancia la reducción del tiempo de estancia de las plantas de papaya en vivero al incrementar su crecimiento en menos tiempo que plantas sin micorrizar. Además, los HMA pueden proteger a las plantas contra enfermedades tanto radicales como foliares; al respecto, Fritz *et al.* (2006) y Al-Askar y Rashad (2010) mostraron respectivamente que los HMA pueden emplearse como agentes de bioprotección o biocontrol contra *Fusarium* sp. en frijol y que plantas de jitomate inoculadas con HMA son menos susceptibles a *Alternaria solani*. Otra ventaja que la inoculación con HMA proporciona a plantas de papaya que son establecidas en campo es el aumento en rendimiento hasta en un 100% (Vázquez-Hernández *et al.*, 2011). Otros efectos benéficos que la micorrización proporciona a las plantas con respecto a su nutrición, están relacionados con la absorción de P y N (Bolan, 1991; Constantino *et al.*, 2011; Miransari,

2011), así como una mayor absorción de agua, al existir una mayor exploración del suelo por medio de las estructuras simbióticas (Johnson y Hummel, 1985). Todas estas ventajas que la simbiosis micorrizica proporciona a las plantas de papaya, podrían traducirse en ahorros económicos para los productores, siempre y cuando esta biotecnología sea aplicada de manera adecuada.

Influencia de la fuente de MO en la efectividad de los HMA

Con el objetivo de determinar la influencia de la fuente de materia orgánica sobre la efectividad de las cepas de HMA en el crecimiento de las plantas de papaya, se realizó un análisis para determinar si había interacción entre la fuente de materia orgánica y la cepa de HMA. A partir de los 30 DDT para DT y 45 DDT para AP se presentó interacción entre ambos factores (Tabla III), encontrándose al final del experimento altos incrementos en el crecimiento de plantas inoculadas con respecto a plantas sin inocular establecidas en las mezclas suelo y pulpa tanto para el crecimiento en AP y DT como en los pesos secos de follaje y raíz (Tabla IV). Estos resultados muestran la influencia del tipo de mezcla en la efectividad de la cepa de HMA para promover el crecimiento de las plantas, dado que plantas inoculadas o no con los HMA, pero cultivadas en la mezcla cachaza no presentaron diferencias significativas en su crecimiento. En cambio plantas inoculadas o no, pero establecidas en las mezclas suelo y pulpa, si fueron significativamente diferentes (Tabla III), presentándose altos incrementos en crecimiento en plantas inoculadas con respecto a sus testigos sin micorrizar (Tabla IV). Los resultados obtenidos muestran que la adi-

TABLA IV
INCREMENTOS EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS POR EFECTO DE LA COMBINACIÓN MATERIA ORGÁNICA-HMA CON RESPECTO A PLANTAS SIN INOCULAR Y EN EL SUSTRATO SUELO DETERMINADOS A LOS 105 DDT

Factores en estudio	Altura planta	Diámetro tallo	Peso seco follaje	Peso seco raíz
	(% incrementos respecto a suelo + sin inocular)			
Cachaza+Zac-2	538,4 ab	666,2 a	1059,5 a	6353,8 a
Cachaza+FS-39	509,9 ab	605,6 a	1040,5 a	4615,4 abc
Cachaza+SI	528,5 ab	666,2 a	1100,0 a	5784,6 ab
Pulpa+Zac-2	515,1 a	590,5 a	979,8 ab	4538,5 abc
Pulpa+FS-39	379,7 ab	428,1 b	950,0 ab	4769,2 abc
Pulpa+SI	24,4 c	62,3 c	84,5 d	169,2 d
Suelo+Zac-2	409,3 ab	484,4 b	603,6 bc	3800,0 bc
Suelo+FS-39	393,6 b	462,8 b	520,2 c	3200,0 c

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey (p<0,05). Zac-2: *Glomus* sp. Zac-2; FS-39: *G. aggregatum* FS-39; SI: sin inoculación.

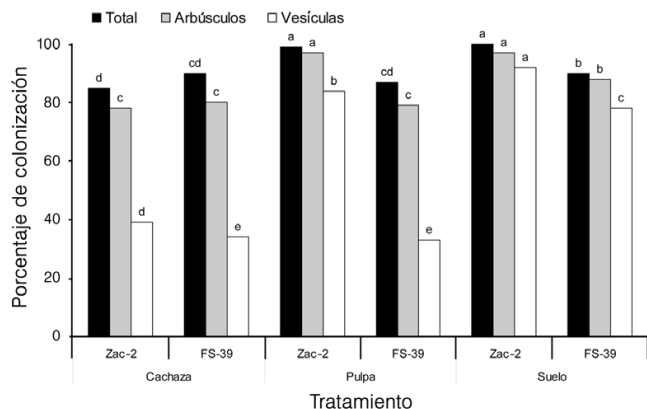


Figura 2. Efecto de la fuente de materia orgánica en la colonización por los HMA *Glomus* sp. Zac-2 y *G. aggregatum* FS-39 en papaya a los 120 DDT. Letras distintas en la misma variable de respuesta (igual tonalidad de barra) indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$).

ción de composta de cachaza al sustrato de crecimiento como fuente de materia orgánica funcionó mejor que la adición de composta a base de pulpa de café, ya que en este último caso los mayores valores se presentaron cuando además las plantas fueron inoculadas con HMA. Al respecto, la cachaza puede ser empleada como enmienda en suelos de cultivo, como lo menciona Aguas *et al.* (1995), ésta representa un recurso importante como fuente de nutrientes para las plantas. Por otro lado su utilización también podría ayudar a disminuir la acumulación de este tipo de desechos agroindustriales que en ocasiones son considerados fuentes de contaminación.

Efecto de la fuente de MO en la colonización micorrízica de las raíces

En la Figura 2 se observa el porcentaje de colonización micorrízica total (PCMT) y por vesículas y arbusculos generados por las cepas *Glomus* sp. Zac-2 y *G. aggregatum* FS-39 en los distintos tratamientos. Estos resultados muestran que el establecimiento de la simbiosis fue eficiente, dado que el PCMT en raíces, originado por ambas cepas fue $>80\%$ y estimuló el crecimiento de las plantas durante el periodo evaluado, con altos incrementos en el crecimiento de plantas inoculadas (Tabla II). Los PCMT alcanzados con *Glomus* sp. Zac-2, mostraron diferencias significa-

tivas entre las plantas cultivadas en las distintas mezclas; suelo (100%); pulpa (98%) y cachaza (85%), y la misma tendencia se observó para el PCMT por arbusculos y vesículas. En cambio, con *G. aggregatum* FS-39 el PCMT no mostró diferencias significativas entre las dos mezclas que contenían MO; sin embargo, la mayor colonización se presentó en la mezcla suelo. No obstante, pese a que en la mezcla suelo se presentaron los PCMT más altos, el crecimiento de las plantas fue menor con respecto a las otras mezclas adicionadas con MO, lo que muestra que aunque los HMA se establecen bien en plantas cultivadas en suelos sin adición de MO, en ocasiones la adición de ésta pueda tener un efecto sinérgico con los HMA en favor de la planta.

Existen evidencias de que los HMA, además de nutrir a las plantas, las protegen contra fitopatógenos o factores adversos, activando el sistema de defensa vegetal por resistencia inducida (MIR; Jung *et al.*, 2012), lo cual juega un papel importante en la fitosanidad de las plantas. Ambas cepas de HMA se propagaron eficientemente y colonizaron intensamente las raíces de las plantas. Sin embargo, Brechelt (1989) menciona que se ha comprobado que el tratamiento de los suelos con altas cantidades de abonos orgánicos provoca la disminución del efecto micorrízico. En la mezcla cachaza, el PCMT fue menor,

sin embargo en esta mezcla plantas inoculadas y sin inocular no presentaron diferencias significativas en su crecimiento. No obstante, los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado por González-Chávez *et al.* (2000), quienes mencionan que MO proveniente de germinaza no inhibió la colonización ni la eficiencia de los HMA como lo han reportado otros estudios, sin embargo indican que la naturaleza y las propiedades de las distintas mezclas empleadas afectaron el establecimiento y comportamiento de los HMA en el crecimiento de micoplántulas de cítricos y que la colonización micorrízica se vio influenciada por el tipo de mezcla.

Efecto de la fuente de MO en la proliferación de esporas de HMA

En la Figura 3 se presenta el número de esporas generadas por las cepas *Glomus* sp. Zac-2 y *G. aggregatum* FS-39 en las tres mezclas de suelo empleadas. Para ambas cepas, la mayor esporulación (Tukey $p \leq 0,5$) se presentó en la mezcla pulpa (~ 4000 esporas $\cdot 100g^{-1}$ de mezcla), lo que muestra la influencia de la fuente orgánica en el desarrollo de los HMA. En general la esporulación generada en las distintas mezclas estuvo relacionada con el crecimiento de las plantas, en la mezcla pulpa las plantas crecieron mejor que en la mezcla suelo, lo que sugiere una efectiva asocia-

ción mutualista planta-hongo, dado que el establecimiento de la simbiosis promovió la esporulación y el HMA promovió un buen crecimiento de la planta. Sin embargo en la mezcla cachaza a pesar de que las plantas crecieron mejor que en las mezclas pulpa y suelo (Tabla I), el crecimiento entre plantas con y sin inoculación no mostró diferencias significativas (Tabla III). Aun cuando la mezcla cachaza presentó el mayor contenido de MO, las mezclas pulpa y suelo también mostraron altos contenidos de ésta, lo que indica que no sólo el contenido de MO influye en la esporulación sino el tipo de fuente de la cual proviene. Estos resultados pueden estar relacionados con el grado de descomposición de la MO en la mezcla, ya que algunas fuentes orgánicas podrían estar en diferente grado de mineralización. Gryndler *et al.* (2009) reportan que diferentes grados de descomposición de diversas fuentes de MO afectaron la colonización de raíces por *G. claroidesum* así como algunos parámetros de crecimiento en maíz y, por lo tanto, la esporulación del HMA. Estos efectos están relacionados con los compuestos liberados durante el proceso de mineralización de la MO. En el presente estudio otro factor que pudo haber afectado la esporulación es el alto contenido de P que la cachaza suele contener debido al tratamiento con fosfatos que se sigue durante la clarificación del jugo de caña. Algunos in-

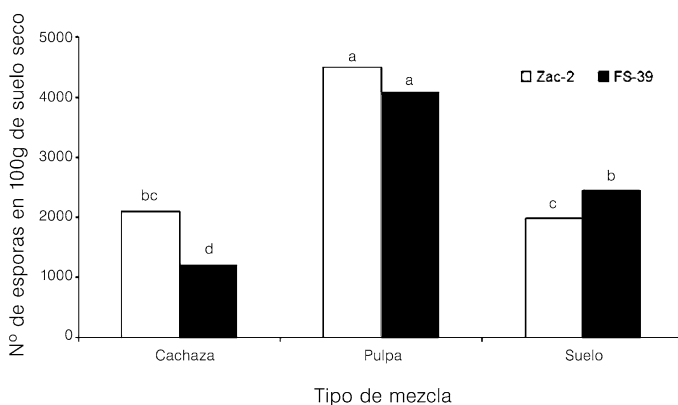


Figura 3. Número de esporas generadas por dos cepas de HMA en tres mezclas de suelo adicionadas con materia orgánica, al final del experimento (120 DDT). Zac-2: *Glomus* sp. Zac-2, FS-39: *G. aggregatum* FS-39. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$).

vestigadores (Hernández-Melchor *et al.*, 2008; Pérez-Méndez *et al.*, 2011) informan altos contenidos de P en cachaza, de 911 a 1078,5mg·kg⁻¹.

Por otro lado, Vaidya *et al.* (2007) adicionaron en campo diversas fuentes de MO a suelos erosionados. Al final del experimento analizaron la abundancia y diversidad de los HMA nativos, encontrando variación en número y tipo de esporas generadas por efecto de la enmienda orgánica.

En conclusión, el cultivo de papaya depende considerablemente de su asociación con hongos formadores de micorriza arbuscular, sobre todo en sustratos deficientes en P. Los HMA favorecieron significativamente el crecimiento de las plantas en las mezclas pulpa de café y suelo. La cepa de HMA con mayor efectividad simbiótica fue *Glomus* sp. Zac-2, ya que promovió el crecimiento de las plantas y a su vez proliferó abundantemente. La mezcla que mejor funcionó para el crecimiento de papaya en vivero fue la que contenía cachaza, ya que tanto plantas inoculadas como sin inocular crecieron de manera similar. La cachaza es un subproducto agroindustrial que puede utilizarse como una alternativa de fertilización orgánica en viveros de papaya u otros cultivos agrícolas.

REFERENCIAS

- Adame-Castañeda AG (2012) *Eficiencia Simbiótica de Diversos Consorcios Micorrízicos de la Rizosfera de Agave cupreata* en *Carica papaya*. Tesis. Universidad Tecnológica de la Costa. Nayarit, México. 91 pp.
- Aguas RT, Ferrera-Cerrato R, González CMC, Villegas A (1995) Efecto del fósforo, vermicomposta, cachaza e inoculación micorrízica en el desarrollo de *Carica papaya* L. *Mem. XXVI Cong. Nac. Ciencia del Suelo*. México. J. 9: 103.
- Al-Askar AA, Rashad YM (2010) Arbuscular mycorrhizal fungi: a biocontrol agent against common bean *Fusarium* rot disease. *Plant Pathol. J.* 9: 10-17.
- Álvarez-Santiz MC, López-Pérez L, Rincón-Enríquez G, Hernández-Cuevas LV, Quiñones-Aguilar EE (2012) Dinámica del crecimiento de plantas de papaya inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares y fertilizadas con nitrógeno. En *Tópicos Edafológicos de Actualidad. Mem. Cong. Nac. Ciencia del Suelo*. México. pp. 61-65.
- Arreola-Enríquez J, Palma-López D, Salgado-García S, Camacho-Chiu W, Obrador-Olán J, Juárez-López J, Pastrana-Aponte L (2004) Evaluación de abono orgánico-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoam.* 22: 351-357.
- Bolan NS (1991) A critical review of the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134: 189-207.
- Brechelt A (1989) Effect of different organic manures on the efficiency of VA mycorrhiza. *Agric. Ecosys. Environ.* 29: 55-58.
- Constantino M, Gómez-Álvarez R, Álvarez-Solis JD, Pat-Fernández J, Espín G (2010) Efecto de la biofertilización y los biorreguladores en la germinación y el crecimiento de *Carica papaya* L. *Rev. Col. Biotechnol.* 12: 103-115.
- Constantino M, Gómez R, Álvarez JD, Pat JM, Espín EG (2011) Efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero. *Agron. Costarric.* 35: 15-31.
- Estañol BE, Ferrera-Cerrato R, Sosa MC, Santizo RJA, Quintero LR (1999) Interacción del nematodo *Meloidogyne chitwoodi* con tres especies de hongo *Glomus* sp. en la producción y distribución de materia seca de plantas jóvenes de maíz. *Terra* 17: 18-25.
- Fritz M, Jakobsen I, Lyngkjær MF, Thordal-Christensen H, Pons-Kuhnemann J (2006) Arbuscular mycorrhiza reduces susceptibility of tomato to *Alternaria solani*. *Mycorrhiza* 16: 413-419.
- Gardezi AK, Cetina AV, Ferrera-Cerrato R, Velásquez MJ, Pérez MCA, Larqué SM (2001) Hongos micorrízicos arbusculares como componente de control biológico de la pudrición causada por *Fusarium* sp. en gladiola. *Terra* 19: 259-264.
- Gerdemann JW, Nicolson TH (1963) Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 235-244.
- González-Chávez MC, Ferrera-Cerrato R, Villegas-Monter A, Oropeza JL (2000) Selección de sustratos de crecimiento en microplántulas de cítricos inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. *Terra* 18: 369-377.
- Gryndler M, Hršelová H, Cajthaml T, Havránková M, Řezáčová V, Gryndlerová H, Larsen J (2009) Influence of soil organic matter decomposition on arbuscular mycorrhizal fungi in terms of asymbiotic hyphal growth and root colonization. *Mycorrhiza* 19: 255-266.
- Hernández-Melchor GI, Salgado-García S, Palma López DJ, Lagunes-Espinoza LdC, Castellán-Estrada M, Ruiz-Rosado O (2008) Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia* 33: 855-860.
- Hodge A, Fitter AH (2010) Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *PNAS* 107: 13754-13759.
- Jaen CD (1987) Manejo de la endomicorriza vesículo arbuscular en la producción de frutales perennifolios (*Carica papaya* cv. Cera y Solo) cultivado en vivero. En Pérez-Moreno J, Ferrera-Cerrato R (Eds.) *Agroecología y Desarrollo Sostenible*. Colegio de Postgraduados. México. 192 pp.
- Johnson CR, Hummel RL (1985) Influence of mycorrhizae and drought stress on growth of *Poncirus citrus* seedlings. *HortScience* 20: 754-755.
- Jung SC, Martínez-Medina A, López-Raez JA, Pozo MJ (2012) Mycorrhiza induced resistance and priming of plant defenses. *J. Chem. Ecol.* 38: 61-664.
- Khade WS, Rodrigues BF (2008) Ecology of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Carica papaya* L. in agro based ecosystem of Goa, India. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 8: 265-278.
- Khade WS, Rodrigues BF (2009a) Studies on arbuscular mycorrhizal of papaya. *Afr. Crop Sci. J.* 17: 155-165.
- Khade SW, Rodrigues BF (2009b) Studies on effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on mineral nutrition of *Carica papaya* L. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 37: 183-186.
- Koide RT, Mosse B (2004) A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza* 14: 145-163.
- Mamatha G, Bagyaraj DJ, Jaganath S (2002) Inoculation of field-established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. *Mycorrhiza* 12: 313-316.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL, Swan JA (1990) A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501.
- Miransari M (2011) Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Arch. Microbiol.* 193: 77-81.
- Pérez-Méndez MA, Sánchez-Hernández R, Palma-López DJ, Salgado-García S (2011) Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. *Interciencia* 36: 45-52.
- Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Pozo MJ, Verhage A, Jung SC, López-Raez JA, Azcón-Aguilar C (2010) Impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant response to biotic stress: the role of plant defence mechanisms. En Koltai H, Kapulnik Y (eds) *Arbuscular Mycorrhiza: Physiology and Function*. Springer. Berlin, Alemania. pp. 193-207.
- Quiñones-Aguilar EE, Hernández-Acosta E, Rincón-Enríquez G, Ferrera-Cerrato R (2012) Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfata-da en papaya. *Terra Latinoam.* 30: 165-176.
- Sangabriel-Conde W, Trejo-Aguilar D, Soto-Estrada A, Ferrera-Cerrato R, Lara-Capistrán L (2010) Potencial de colonización de hongos micorrízicos-arbusculares en suelos cultivados con papaya bajo diferentes manejos de producción. *Rev. Mex. Micol.* 31: 45-52.
- Statgraphics (2005) *StatGraphics centurion*: ver. XV (User manual). StatPoint Technologies Inc. Warrenton, VA, EEUU.
- Trejo D, Ferrera-Cerrato R, García R, Varela L, Lara L, Alarcón A (2011) Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84: 23-31.
- Trindade AV, Siqueira JO, Sturmer SL (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espírito Santo and Bahia, Brazil. *Braz. J. Microbiol.* 37: 283-289.
- Vaidya GS, Shrestha K, Khadge BR, Johnson NC, Wallander H (2007) Study of biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in addition with different organic matter in different seasons of Kavre District (Central Nepal). *Sci. World* 5(5): 73-80.
- Vázquez-Hernández MV, Arévalo-Galarza L, Jaen-Contreras D, Escamilla-García JL, Mora-Aguilera A, Hernández-Castro E, Cibrián-Tovar J, Téliz-Ortiz D (2011) Effect of *Glomus mosseae* and *Entrophospora colombiana* on plant growth, production, and fruit quality of 'Maradol' papaya (*Carica papaya* L.). *Sc. Hort.* 128: 255-260.