



Variabilidad funcional de hongos arbusculares en el cultivo de papaya en la etapa de vivero Functional variability of arbuscular fungi growing papaya in the nursery stage

Juan Francisco Ley-Rivas^{1*}, Jorge A. Sánchez¹, Eduardo Furrázola Gómez¹
Raquel M. Rodríguez-Rodríguez² y Osbel Gómez Ricardo¹

Palabras clave: biofertilizantes, frutales, micorrizas arbusculares, papaya
Key words: arbuscular mycorrhizae, biofertilizers, fruit, papaya

Recibido: 30/10/2016

Aceptado: 15/03/2017

RESUMEN

Se determinó la variabilidad funcional y el efecto de cuatro cepas de hongos micorrizógenos arbusculares (*Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Rhizogloium clarum*, *Rhizogloium intraradices*) y su mezcla en el crecimiento de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) en la etapa de vivero. Los experimentos se desarrollaron en casa de vegetación, aplicando riego hasta saturación en días alternos, durante 70 días. Con el tratamiento mixto se obtuvieron plántulas de papaya con mejor calidad y crecimiento de 10 cm de altura y 18 hojas, listas para trasplante a los 55 días después de germinadas, mientras que con la inoculación individual de las cepas, *Glomus* sp. 2 y *Rhizogloium intraradices* se obtuvieron plántulas de papaya igualmente con una altura de 10 cm y superiores y más de 14 hojas, listas para trasplante a los 70 días después de germinadas. El ACP mostró que los dos primeros componentes explicaron el 89.8% de la variabilidad total de los datos y se observaron cinco tipos de configuraciones espaciales en el análisis dual de las variables y los tratamientos, los que fueron confirmados por la prueba de Hotelling. Las variables de crecimiento presentaron alta correlación positiva con las variables colonización micorrízica y biomasa de micelio externo.

ABSTRACT

Functional variability and effect of four strains of arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Rhizogloium clarum*, *Rhizogloium intraradices* and its mixture on the growth of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) in the nursery stage was determined. The experiments were conducted at the greenhouse and irrigation was applied to saturation in alternate days for 70 days. With the mixed inoculum, were obtained papaya seedlings with 10 cm height and 18 leaves, ready to transplant at 55 days after germinating, whereas individual inoculation of strains *Glomus* sp. 2 and *Rhizogloium intraradices* papaya seedlings reached 10 cm height and more than 14 leaves, ready for transplantation at 70 days after germination. ACP showed that the first two components explained 89.8% of the total variability of the data and five types of spatial configurations were observed in the dual analysis of variables and treatments, which were confirmed by the Hotelling test. Growth variables showed high positive correlation with the variables mycorrhizal colonization and amount of external mycelium.

* Autor por correspondencia: jley@ecologia.cu
leroy_liba@yahoo.com.mx

¹ Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Carretera de Varona 11835 e/ Oriente y Lindero,

Calabazar, Boyeros, La Habana 19, C.P. 11900. La Habana, Cuba.

² Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais

INTRODUCCIÓN

El uso cada vez mayor de microorganismos edáficos para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos constituye una alternativa promisorio frente a los fertilizantes minerales. Esto hace posible el ahorro parcial o total de los mismos, así como el incremento de los procesos biológicos en el suelo como índice de sostenibilidad del sistema agrícola (Corbera y Nápoles, 2000).

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) forman asociaciones simbióticas denominadas micorrizas con las plantas, las cuales tienen efectos beneficiosos en el rendimiento y calidad de los cultivos (Smith y Read, 2008). El hecho de que más del 90% de las plantas terrestres (fitobiontes) tengan uno o más de estos hongos asociados (micobiontes), muestra la eficiencia de esta simbiosis mutualista, su carácter universal y la estrecha coevolución planta-hongo micorrizógeno, así como su relevancia en el reino vegetal (Montaño *et al.*, 2007; Herrera-Peraza *et al.* 2016). Esta propiedad permite formular biofertilizantes cuyo principio activo son cepas eficientes de HMA capaces de promover el crecimiento vegetal de diferentes cultivos y plantas silvestres.

La papaya (*Carica papaya* L.) es una fruta tropical muy digestiva con bajo contenido de calorías, rica en vitaminas A, C y potasio; su cultivo se clasifica de ciclo medio, alcanzando en Cuba un período vegetativo promedio de 14 meses (CA, 2011). En Cuba la producción alcanza las 178 558 toneladas anuales, lo cual la ubica en el lugar 14 en cuanto a producción nacional y la posición 11 a nivel mundial según lo reportado por FAOSTAT (2012).

La obtención de plántulas de calidad con la disminución del tiempo de permanencia en el vivero previo al trasplante son objetivos primordiales para el agricultor y una de las vías para obtener estas premisas es la aplicación de biofertilizantes micorrízicos con los que se han obtenido resultados positivos en su aplicación en el cultivo de papaya (Sandoval, 2002; Constantino *et al.* 2011).

Las diferentes especies de HMA no muestran un efecto similar sobre una misma especie vegetal, asimismo, una especie vegetal es susceptible de ser colonizada por diferentes especies de HMA al mismo tiempo (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1998; Cuenca *et al.* 2007; Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2013). Por esta razón, se hace necesario

realizar investigaciones para determinar la efectividad de las especies de HMA sobre un determinado hospedero vegetal y así poder conformar biofertilizantes efectivos con las cepas de mejores resultados.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) analizar el efecto y la variabilidad funcional de cuatro cepas de HMA, individual y combinadas, en el crecimiento del cultivo de la papaya en fase de vivero y 2) determinar las relaciones que se establece entre las variables micorrízicas y las de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de cepas

Se emplearon cuatro cepas nativas aisladas y purificadas de suelos arenosos cuarcíticos de la Reserva Florística Manejada San Ubaldo-Sabanalamar, Pinar del Río, Cuba que se localiza entre los 22°03'50" N y 83°57'59" W y 22°09'56" N y 84°03'20" W y depositadas en la Colección Cubana de Hongos Micorrizógenos Arbusculares (CCHMA): *Glomus* sp. 1 (IES 122), *Glomus* sp. 2 (IES 123), *Rhizoglosum clarum* (T.H. Nicolson y N.C. Schenck) Sieverd., G.A. Silva y Oehl (IES 125) y *Rhizoglosum intraradices* (N.C. Schenck y G.S. Sm.) Sieverd., G.A. Silva y Oehl (IES 127) que se conservaron en cultivos puros y frescos.

A través del estéreo microscopio se comprobó que los cultivos puros estuvieran constituidos por esporas externamente saludables (se observó la integridad de las mismas, presencia de contenido lipídico, colores brillantes, etc.) y se prepararon los diferentes inóculos: 500 esporas para las cepas individuales y una mezcla de 125 esporas de cada cepa para conformar el inóculo mixto.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco réplicas por tratamiento (6): testigo (sin micorriza), cada una de las cepas de HMA (cuatro) y mezcla de las cuatro cepas (inóculo mixto). El experimento se realizó en condiciones de casa de vegetación con techo de cristal, paredes laterales con mallas plásticas de porosidad de 2 mm utilizando macetas de 1.3 dm³ con sustrato previamente esterilizado al vapor fluyente por una hora durante tres días consecutivos compuesto por una mezcla de suelo del tipo pardo con carbonatos y arena sílice (1:1 v/v) con pH (H₂O) de 8.0, contenido de materia orgánica (MO) de 6.7%, contenido de fósforo asimilable (P) de 5 µg g⁻¹ y capacidad de intercambio catiónico de bases (CCB) de 50 Cmolk g⁻¹. Se sembró una planta

por maceta, con el inóculo colocado directamente en los nidos de siembra, y se regaron hasta saturación en días alternos durante 70 días.

Todos los tratamientos, incluyendo los testigos sin micorrizas, se inocularon con 10 ml por maceta de un filtrado del suelo del inóculo de micorrizas para reintroducir las poblaciones microbianas excepto los propágulos de micorrizas que se eliminan en este proceso de filtración. El filtrado se obtuvo de una mezcla de suelo-agua en proporción 1:5 v/v filtrada por papel de filtro Whatman No.1 (Orozco, 2002). El cultivo se desarrolló en el período febrero-mayo del 2010.

VARIABLES ANALIZADAS

A los 40, 55 y 70 días después de germinadas (ddg) las semillas se midieron la altura total de la planta (ALT), número de hojas (NH) y diámetro del tallo (DT). A los 70 días se obtuvieron la biomasa seca aérea (MSA), la biomasa seca subterránea (MSR) y la fracción raíz/vástago (R/V) por las metodologías propuestas en el protocolo internacional para determinar caracteres funcionales de planta (Cornelissen *et al.*, 2003). La colonización micorrízica (CM) fue calculada según (Giovannetti y Mosse, 1980) y se empleó la metodología de Herrera *et al.* (2004) para determinar las variables micorrízicas: micelio externo (ME), densidad visual (DV) y endófito (ED), una vez teñidas las raicillas por el método de Phillips y Hayman (1970).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los datos obtenidos se les comprobó la normalidad y la homogeneidad de las varianzas a través de las pruebas de Shapiro-Wilks y de Bartlett respectivamente. Los resultados se procesaron mediante análisis de varianza

(ANOVA) de clasificación simple y las diferencias entre tratamientos se determinaron por la prueba de Rangos Múltiples de Duncan. Las relaciones entre las variables de crecimiento y micorrízicas se determinaron por Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de una matriz de correlación. Con los resultados del ACP (coordenadas de los tratamientos y variables) se construyó el gráfico dual (i.e., biplot) para determinar los grupos funcionales de plantas con base a los rasgos estudiados. Los grupos previamente identificados por el ACP se verificaron por medio de un análisis de varianza multivariado (MANOVA) y las diferencias entre grupos se comprobaron por la prueba de Hotelling. Las pruebas estadísticas y exploratorias se realizaron en el programa *Statistica* v. 7.0.

RESULTADOS

VARIABLES MICORRÍZICAS

Se observaron diferencias significativas en los valores del porcentaje de colonización micorrízica (CM) entre los diferentes tratamientos (Tabla 1). En sentido general, se apreciaron altos valores de esta variable, el menor valor resultó 63% se obtuvo con *R. clarum*, mientras el mayor valor de CM resultó de 92% con el tratamiento de *R. intraradices*.

El porcentaje de densidad visual del endófito (DV) presentó diferencias significativas entre los tratamientos destacándose con el mayor valor el *R. intraradices* seguido por *Glomus* sp. 1 y *Glomus* sp. 2. El tratamiento mixto presentó el valor más bajo junto al obtenido por *G. clarum*, los mismos son 4.2 y 3.2 veces menores al presentado por *R. intraradices*.

Tabla 1. Colonización micorrízica (CM), densidad visual del endófito (DV), micelio externo (ME), endófito (ED) y fracción ME/ED en el cultivo de papaya a los 70 ddg. Letras distintas representan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Table 1. Mycorrhizal colonization (CM), visual endophyte (DV), external mycelium (ME), endophyte (ED) and ME / ED fraction in papaya culture at 70 dag. Different letters represent significant differences ($P < 0.05$) between treatments.

Tratamientos	CM (%)	DV (%)	ME (mg/dm ³)	ED (mg/dm ³)	ME/ED
<i>Glomus</i> sp. 1	84 ab	3.2 b	5.0 bc	0.7 a	7.1 b
<i>Glomus</i> sp. 2	82 b	2.7 c	4.4 c	0.6 a	7.3 b
<i>R. clarum</i>	63 c	1.2 d	5.7 b	0.1 b	57.0 a
<i>R. intraradices</i>	93 a	3.8 a	5.6 b	0.9 a	6.2 b
Mixto	65 c	0.9 e	8.0 a	0.2 b	40.0 ab
ES (±)	2.4	0.1	0.3	0.1	

Existieron diferencias significativas en cuanto a la biomasa de micelio externo cuantificada en los diferentes tratamientos. Se destacó el valor de la mezcla de cepas con la mayor producción y el comportamiento relativamente similar de los otros tratamientos, en este caso *Glomus* sp. 2 presentó el valor menor. La cuantificación de la biomasa de endófito presentó diferencias significativas entre los tratamientos y los mayores valores se obtuvieron con *R. intraradices*, *Glomus* sp. 1 y *Glomus* sp. 2 por ese orden. Finalmente, la relación ME/ED en los distintos tratamientos presentó valores altos con diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos consistentes en el inóculo mixto y *R. clarum* presentaron valores muy elevados con respecto a los otros tratamientos evaluados.

Variables de crecimiento

El crecimiento (Tabla 2) fue similar en todos los tratamientos evaluados a los 40 ddg (no mostró diferencias considerables); sin embargo a los 55 ddg existieron diferencias significativas entre los tratamientos destacándose las alturas obtenidas con la aplicación de *R. intraradices* y el inóculo mixto. A los 70 ddg las diferencias entre los tratamientos resultaron aún mayores, observándose tres grupos donde los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de *R. intraradices* y el inóculo mixto, seguido por los tratamientos inoculados con *Glomus* sp. 1 y *Glomus* sp. 2.

El número de hojas (NH) se comportó de forma diferenciada en los tres tiempos evaluados, el tratamiento testigo presentó la menor cantidad de hojas, mientras que los tratamientos micorrizados resultaron

adecuados para incrementar el NH (por orden descendente el inóculo mixto, *R. intraradices*, *Glomus* sp. 2, *Glomus* sp. 1 y *R. clarum*), destacándose la inoculación con el tratamiento mixto y con *R. intraradices* del resto a partir de los 55 ddg cuando las diferencias entre los tratamientos resultaron significativas.

La variable diámetro del tallo (DT) mostró diferencias significativas en todos los tiempos analizados, presentando el menor valor el tratamiento testigo. A partir de los 55 ddg, el tratamiento con el inóculo mixto presentó el diámetro mayor, seguido de *R. intraradices*.

Los valores mayores de la cuantificación de la biomasa seca en la raíz (MSR) (Fig. 1) se observaron con la mezcla de cepas y *Glomus* sp. 2, seguido de *Glomus* sp. 1 y *R. intraradices*, en los cuales se apreciaron diferencias significativas. El testigo presentó valores cinco veces inferiores con respecto al inóculo mixto. El tratamiento con *R. clarum* produjo la menor masa seca de raíz de los tratamientos micorrizados. La producción de biomasa seca aérea (MSA) presentó diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento mixto produjo la mayor biomasa, la cual resultó de 1.5 a 3.5 veces superior con respecto a los tratamientos micorrizados y 7.6 veces mayor que el testigo.

Con respecto a la fracción R/V todos los valores son menores que uno, lo que indica que en esta etapa todos los tratamientos asignan más recursos a la formación de las partes aéreas.

Tabla 2. Efecto de la inoculación con cuatro especies de HMA y su mezcla sobre la altura (ALT), número de hojas (NH) y diámetro del tallo (DT) del cultivo de papaya a los 40, 55 y 70 ddg. Letras distintas representan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Table 2. Effect of inoculation with four HMA species and their mixture on height (ALT), leaf number (NH) and stem diameter (DT) of papaya culture at 40, 55 and 70 dag. Different letters represent significant differences ($P < 0.05$) between treatments.

Tratamientos	ALT (cm)			NH (u)			DT (mm)		
	40	55	70	40	55	70	40	55	70
Testigo	2.9	3.4 d	5.7 c	5.6 c	9.6 b	11.8 b	1.7 b	2.4 c	4.1 d
<i>Glomus</i> sp. 1	3.1	5.0 c	9.7 b	6.0 bc	11.0 b	14.6 b	2.2 ab	3.5 b	7.5 bc
<i>Glomus</i> sp. 2	3.1	5.6 bc	10.1 b	7.4 ab	11.6 b	14.0 b	2.0 ab	3.7 b	7.5 bc
<i>R. clarum</i>	2.4	3.8 cd	7.4 c	6.2 bc	9.8 b	12.6 b	1.9 b	2.9 c	6.0 c
<i>R. intraradices</i>	2.6	7.5 b	15.9 a	7.2 abc	16.4 a	24.4 a	2.1 ab	4.1 b	8.2 b
Mixto	3.7	10.2 a	17.9 a	8.4 a	18.8 a	23.2 a	2.4 a	5.5 a	10.7 a
ES (\pm)	0.4	0.6	0.7	0.5	0.8	0.9	0.1	0.3	0.6

DISCUSIÓN

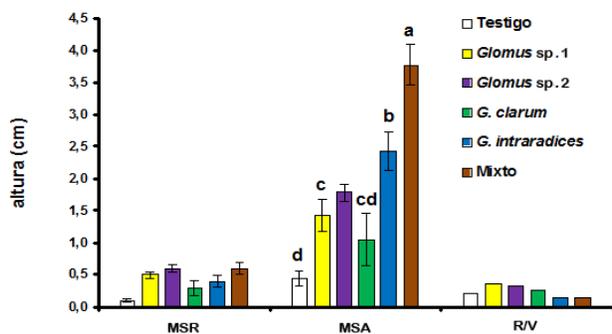


Figura 1. Efecto de la inoculación con cuatro especies de HMA y su mezcla en la biomasa seca de la raíz (MSR), la biomasa seca aérea (MSA) y la fracción raíz/vástago (R/V) del cultivo de papaya a los 70 ddg. Letras distintas representan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

Figure 1. Effect of inoculation with four AMF species and their mixture on dry root biomass (MSR), aerial dry biomass (MSA) and root / stem (R / V) fraction of papaya 70 dag. Different letters represent significant differences ($P < 0.05$) between treatments.

Correlaciones entre rasgos y grupos funcionales de plantas

El ACP mostró que los dos primeros componentes principales explicaron el 89.8% de la variabilidad total de los datos (Fig. 2). Se apreció que el primer componente principal está constituido por la mayoría de las variables analizadas (MSA, ALT, DT, NH, MSR, ME y CM) que presentan correlaciones altas y de forma positiva *inter se*, ubicándose todas en la parte negativa del eje 1 en los cuadrantes tres y cuatro del espacio bidimensional. El segundo componente está compuesto por la fracción ME/ED, DV y el ED, la primera hacia la parte positiva del eje 2 y el resto hacia el lado negativo del mismo eje.

Las variables que más contribuyeron a la formación del primer componente fueron el DT ($r = 0.97$), la MSA ($r = 0.93$) y la ALT ($r = 0.92$), lo que mostraron la mayor variabilidad en el crecimiento del cultivo. Las otras variables que se correlacionan con el eje 1 presentan un coeficiente de correlación promedio de ≥ 0.80 .

Se observaron cinco tipos de configuraciones espaciales en el análisis dual de las variables y los tratamientos, los que fueron confirmados por la prueba de Hotelling (Tabla 3). El grupo conformado por el Testigo y el Grupo II (*R. clarum*) presentan los menores valores de las variables analizadas, Grupo III (*Glomus sp. 1* y *Glomus sp. 2*) muestra valores intermedios y el Grupo IV (*R. intraradices*) más cercano al Grupo V (mixto) con los valores más altos.

La variabilidad funcional micorrizica entre los tratamientos destacó a la cepa *R. intraradices* con los valores más altos de CM, DV y ED, la cual reafirma su característica como especie de alto poder infectivo que se expresa en los agroecosistemas con independencia del sustrato y el hospedero utilizado (Sánchez de Prager, 2007, Ley-Rivas *et al.* 2009, 2015). La combinación de cepas de HMA mostró resultados totalmente opuestos al *R. intraradices*, esto puede deberse a la influencia de las otras especies de HMA presentes en la mezcla.

Los valores de ED y DV más bajos resultaron los de *R. clarum* y el inóculo mixto, sin embargo existieron grandes diferencias en la respuesta de la planta en su desarrollo, siendo mayor y muy efectiva en el mixto y la menor y muy pobre en *R. clarum*, lo que se corresponden con lo planteado por Sieverding (1991) de que algunas cepas dan su máximo aporte simbiótico con micomasas de endófito muy bajas y otras con micomasas altas así como que la efectividad de la simbiosis puede variar mucho en dependencia de la especie de HMA.

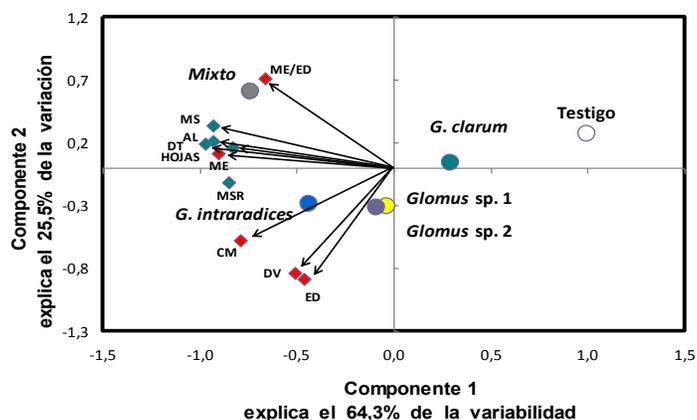


Figura 2. Gráfico dual de las variables y de las medias de los tratamientos a los 70 días de crecimiento del cultivo de la papaya. El vector correspondiente a cada variable indica la dirección en que esta aumenta. Leyenda: ALT (altura), MSA (biomasa seca aérea), DT (diámetro del tallo), NH (número de hojas), MSR (biomasa seca raíz), ME (micelio externo), CM (colonización micorrizica), DV (densidad visual), ED (endófito) y ME/ED (relación micelio externo/endófito).

Figure 2. Dual plot of the variables and means of treatments at 70 days of growth of papaya. The vector corresponding to each variable indicates the direction in which it increases. Legend: ALT (height), MSA (dry aerial biomass), DT (stem diameter), NH (number of leaves), MSR (dry root biomass), ME (external mycelium), CM (mycorrhizal colonization), DV (visual density), (ED) endophyte and ME/ED (external mycelial / endophyte relationship).

Tabla 3. Valores promedios de las variables (media \pm error estándar) para cada grupo funcional a los 70 días de crecimiento del cultivo de papaya. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos funcionales por medio de la prueba de Hotelling.

Table 3. Mean values of the variables (mean \pm standard error) for each functional group at 70 days of papaya growth. Different letters indicate significant differences between functional groups by means of the Hotelling test.

Variables	Grupos funcionales				
	Grupo I (n= 5)	Grupo II (n= 5)	Grupo III (n= 10)	Grupo IV (n= 5)	Grupo V (n= 5)
Altura (Alt)	5.7 \pm 0.4	7.4 \pm 0.8	9.9 \pm 0.5	15.9 \pm 1.0	17.9 \pm 0.7
Número de hojas (NH)	11.8 \pm 0.9	12.6 \pm 0.5	14.3 \pm 0.4	24.5 \pm 1.4	23.2 \pm 1.3
Diámetro del tallo (DT)	4.1 \pm 0.3	6.0 \pm 0.7	7.5 \pm 0.5	8.2 \pm 0.7	10.7 \pm 0.6
Masa seca aérea (MSA)	0.4 \pm 0.1	1.0 \pm 0.4	1.6 \pm 0.2	2.4 \pm 0.3	3.8 \pm 0.3
Masa seca raíz (MSR)	0.1 \pm 0.02	0.3 \pm 0.1	0.5 \pm 0.04	0.4 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1
Colonización micorrízica (CM)	0.0	62.6 \pm 2.2	80.6 \pm 1.8	92.5 \pm 1.0	65.1 \pm 6.3
Densidad visual (DV)	0.0	1.2 \pm 0.1	3.0 \pm 0.2	3.8 \pm 0.1	0.9 \pm 0.1
Micelio externo (ME)	0.0	5.7 \pm 0.3	4.7 \pm 0.3	5.6 \pm 0.3	8.0 \pm 0.4
Endófito (ED)	0.0	0.1 \pm 0.02	0.6 \pm 0.1	0.88 \pm 0.3	0.2 \pm 0.03
Relación ME/ED	0.0	57.0 \pm 43.8	7.2 \pm 1.5	6.2 \pm 7.4	40.0 \pm 25.3
$p \leq 0.05$	A	B	C	D	E

La biomasa de ME puede ser una de las causas de mayor eficiencia del tratamiento mixto, este le permite explorar mayor superficie de suelo con la consecuente mayor captación de nutrientes, principalmente los de baja disponibilidad para la planta (fósforo, zinc y cobre) y agua que beneficia a la planta reduciendo el estrés hídrico (Reyes, 2011).

Los valores de la relación ME/ED resultaron muy elevados, lo que puede deberse a que fueron medidas en una fase de desarrollo de la planta en que la misma aún no ha logrado adecuar su eficiencia fotosintética a los requerimientos del HMA (Bowen, 1985) lo que pudiera ser una de las causas que diferencian el efecto de las cepas; una vez alcanzada esta, la relación disminuirá con el tiempo acercándose a la unidad, pues los valores de endófito aumentarán en esta fase (Herrera *et al.* 1988).

El criterio sobre las características que debe tener la plántula de papaya para el trasplante presenta una variación entre 10 – 30 cm en cuanto a la altura y en ocasiones se tiene en cuenta el número de hojas que oscila entre 4 – 10 (ANIECATIE, 2004; Bogantes, 2010; Martínez, 2010; Vento Oliva *et al.*, 2011; Infoagro 2015).

El inóculo mixto produjo plántulas con un mínimo de 10 cm de altura y el número de hojas adecuado (18), listas para ser trasplantadas a los 55 ddg, mientras que las cepas *R. intraradices* y *Glomus* sp. 2 demoraron entre los 56 y 70 ddg. Estos resultados fueron superiores a los

obtenidos por Sandoval (2002) quien inoculó *R. intraradices* al cultivo de papaya con diferentes concentraciones de vermicomposta (0, 20, 40, 80 y 100%), alcanzando valores de 9 y 10 cm de altura en los tratamientos de 80 y 100% de vermicomposta más HMA a los 81 ddg, de igual forma los diámetros de los tallos resultaron más delgados con valores de entre 5.5 y 5.9 mm.

Las plántulas presentaron mejores condiciones resaltando los diámetros de 10.7 y el 8.2 mm obtenidos con el inóculo mixto y el *R. intraradices* a los 70 ddg, lo cual contrasta con los obtenidos en mayor tiempo (90 ddg) por Constantino *et al.* (2011) quienes refirieron 8.5 mm de diámetro con *R. intraradices* y 8.8 mm combinado con *Azotobacter chroococcum*.

Resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo fueron publicados por Mesa *et al.* (2006) al aplicar *Glomus fasciculatum* y combinado con el hongo *Trichoderma harzianum*, en lo relativo a la altura de la planta, pero en relación con el número de hojas producidas sus reportes fueron inferiores de 1.8 a 3.4 veces, lo que demuestra una mejor efectividad en el desarrollo de las plántulas con el empleo de nuestras cepas.

Al valorar que las mediciones se realizaron en tiempos inferiores, podemos considerar que las especies de HMA resultaron eficientes para alcanzar el tamaño adecuado de plántulas para el trasplante con excepción de *R. clarum*, sin embargo este se encontraba presente en

el tratamiento mixto donde no puede descartarse completamente su papel en una posible acción sinérgica junto a las otras cepas empleadas.

Esta aseveración puede apoyarse en los resultados de López-Moctezuma *et al.* (2005) al obtener mayor altura y área foliar en este cultivo por la mezcla de HMA (*G. albidum*, *G. claroides* y *G. diaphanum*) ante otras variantes que incluyeron la combinación de estas cepas con bacterias, aunque también se han descrito efectos menores de las mezclas de especies de HMA a sus cepas independientes (Khade y Rodrigues, 2009) quienes demostraron efectos diferentes en variables de crecimientos utilizando *R. intraradices*, *G. mosseae* y su mezcla, siendo más eficiente *G. mosseae*, lo que indica la importancia de hacer estudios previos ante una biofertilización micorrízica.

La caracterización del primer componente en el ACP está dada por el aumento de la biomasa vegetal la cual presentó una alta correlación con el ME, y es mediante este último que las plantas pueden obtener mayor cantidad de nutrientes lo que indica que este puede ser el factor que haya incidido con mayor fuerza en nuestros resultados donde la mezcla presenta el mejor efecto en los indicadores del desarrollo vegetativo medidos.

CONCLUSIONES

La mezcla de las cuatro cepas de HMA produjo plántulas de papaya con mejor calidad para el trasplante en menor tiempo que los tratamientos individuales de las cepas. La cepa *Rhizoglyphus clarum* no debe utilizarse de forma independiente en la producción de plántulas de papaya para trasplante, pero sí en la mezcla con las cepas *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Rhizoglyphus intraradices*. Existe variabilidad funcional entre las cepas de HMA y alta correlación entre las variables de crecimiento y la biomasa de micelio externo.

LITERATURA CITADA

- ANIECATIE – FUNICA.** 2004. Proyecto “Estrategias de Producción, Industrialización y Mercadeo de la Papaya (Carga papaya L.) Producida por las Familias Rivenses”. Resultados sobre la identificación de las tecnologías del cultivo. 20p. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7576E/A7576E.PDF>
- Bogantes Arias A, Mora Newcomer E, Umaña Rojas G, Loría Quirós CL.** 2010. Guía para la producción de la papaya en Costa Rica. 53p. Disponible en: <http://www.eefb.ucr.ac.cr/images/Publicidad/Guia para la produccion de papaya en CostaRica.pdf>
- CA (Colectivo de autores).** 2011. Instructivo técnico para el cultivo de la papaya. Vento Oliva, Y. (ed). Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. ISBN: 978-959-7210-45-0.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, van der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter.H.** 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380
- 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. *Agronomía Costarricense.* 35:15-31.
- Corbera J, Nápoles M.** 2000. Evaluación agronómica de la co-inoculación de *Bradyrhizobium japonicum* y hongos micorrizógenos arbusculares en el cultivo de la soya sobre suelo ferralítico rojo. *Cultivos Tropicales.* 21: 21-25.
- 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,
- FAOSTAT.** 2012. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>. Consultado el 14 de junio de 2015. Hora 6:35 am.
- Franco, T. L. y R. Hidalgo (eds.).** 2003. Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89p.
- Giovanetti, M. y B. Mosse.** 1980 An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytology.*, 84:489-500.
- Herrera-Peraza RA, Furrázola E, Ferrer RL, Fernández Valle R, Torres Arias Y.** 2004 Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* Vol. 35, No.2.
- Herrera-Peraza RA, Torres Arias Y, Furrázola E.** 2016. Estructura de las comunidades de hongos micorrizógenos arbusculares en algunos ecosistemas naturales o afectados por la minería en Moa, Cuba. *Revista Acta Botánica Cubana.* 215: 162-195.
- Infoagro.** 2015. El cultivo de la papaya. http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/papaya.htm. Consultado el 14 de junio. Hora 6:59 am.
- Khade SW, Rodrigues BF.** 2009 . Studies on arbuscular mycorrhisation of papaya. *African Crop Science Journal.* 17: 155 – 165.
- Ley-Rivas JF, Furrázola Gómez E, Collazo Albernas E, Medina Viera M.** 2009. Efecto de la aplicación de bentonita sobre la colonización micorrízica y la esporulación de hongos micorrizógenos. *Acta Botánica Cubana.* 206: 34-37.
- Ley-Rivas JF, Sánchez JA, Ricardo NE, Collazo E.** 2015. Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense.* 39: 47-59.

- López-Moctezuma H, Ferrera-Cerrato R, Farias-Larios J, Aguilar-Espinosa S, Bello Ma. del Rocío F, López-Aguirre JG. 2005.** Micorriza arbuscular, *Bacillus* y sustrato enriquecido con vermicomposta en el desarrollo de plantas de papayo. *TERRA Latinoamericana*. 23: 523-531.
- Martínez, E. 2010.** Instructivo técnico del cultivo de la frutabomba. 5ta Ed. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF) y Ministerio de la Agricultura. Cuba. Editora Agroecológica. 38p.
- Mesa Reynaldo JR, Gómez Cordero JL, Rodríguez Candedo O, Parets Selva E. Soto Ortiz R. 2016.** Efecto de *Trichoderma* y micorrizas en la producción de posturas de *Carica papaya* L. *Centro Agrícola*. año 33, no. 3, jul.-sept.
- Montaño NM, Camargo-Ricalde SL, García-Sánchez R, Monroy A. (eds.). 2007.** *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, AMIztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México. 460 pp.
- Orozco MO. 2002.** Respuesta de Seis Leguminosas Arbóreas a la Inoculación Micorrízica con Suelos de Diferente Potencial de Colonización. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología y Sistemática. La Habana. Cuba.
- Phillips JM, Hayman DS. 1970.** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. BR. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Reyes Jaramillo I. 2011.** La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *ContactoS*, 81:17-23.
- Rodríguez-Rodríguez RM, Herrera P, Furrázola E. 2013.** Arbuscular mycorrhizal colonization in Asteraceae from white sand savannas, in Pinar del Río, Cuba. *Biota Neotropica*. 13: 136-140.
- Sánchez de Prague M. 2007.** *Las Endomicorrizas: Expresión bioedáfica de importancia en el trópico*. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Sandoval RR. 2002.** Efecto de la micorriza arbuscular y vermicomposta sobre el desarrollo en vivero y campo de *Carica papaya* L. Tesis de Maestría. Universidad de Colima. México.
- Smith SL, Read D. 2008.** *Mycorrhizal symbiosis*. 3^a edición. Capítulo 1. Academic Press.
- Smith SE, Gianinazzi-Pearson V. 1998.** Physiological interactions between symbionts in vesicular arbuscular mycorrhizal plants. Annual Review. Plant Physiology. *Plant Molecular Biology*, 39: 221-244.