



EFECTIVIDAD DE CEPAS DE HMA EN EL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) EN DOS TIPOS DE SUELOS

Effectiveness of AMF strains on cassava crop (*Manihot esculenta* Crantz) in two types of soils

José P. João^{1✉}, Alberto Espinosa Cuellar², Luís Ruiz Martínez², Jaime Simó González² y Ramón Rivera Espinosa³

ABSTRACT. This study was carried out with the objective of evaluating the effectiveness of inoculating arbuscular mycorrhizal fungal strains (AMF) on commercial clones of cassava crop (*Manihot esculenta* Crantz) and its dependence on the type of soil. Thus, the effectiveness of three AMF strains, *Glomus cubense*, *Rizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae*, was compared in Carbonated Loose Brown and Lixiviated Red Ferralitic soils. In the first soil, six commercial clones were used at a randomized block design with factorial arrangement, four replications and repeated for two years. In the second soil, AMF strains were just evaluated in 'CMC-40' clone at a randomized block design with four repetitions and conducted for two years. Cassava crop showed a high response to AMF strain inoculation. Strain effectiveness was different in either soil, so that *R. intraradices* behaved as the efficient AMF strain in Carbonated Loose Brown soils with pH 7,0 and *G. cubense* in Lixiviated Red Ferralitic soils with pH about 6,5. Although some clones showed compatibility for either strain, they did not stop establishing an effective symbiosis with the efficient strain, in such a way that compatibilities among clones do not change the criteria to recommend AMF strains per soil. Efficient strains per type of soil obtained for cassava crop coincide with the ones previously found for different crops.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi, inoculation, soils

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar la efectividad de la inoculación de cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en clones comerciales de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y su dependencia con el tipo de suelo, se comparó la efectividad de tres cepas de HMA, *Glomus cubense*, *Rizophagus intraradices* y *Funneliformis mosseae*, tanto en suelo Pardo Mullido Carbonatado como en Ferralítico Rojo Lixiviado. En el primer suelo, se utilizaron seis clones comerciales en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial, cuatro réplicas y repetido durante dos años. En el segundo suelo, solo se evaluaron las cepas de HMA en el clon 'CMC-40' en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y ejecutado en dos años. El cultivo de la yuca presentó una alta respuesta a la inoculación de cepas de HMA. La efectividad de las cepas fue diferente en uno y otro suelo, de forma tal que *R. intraradices* se comportó como la cepa eficiente de HMA en el suelo Pardo Mullido Carbonatado con pH de 7,4 y *G. cubense* en el Ferralítico Rojo Lixiviado con pH alrededor de 6,5. Si bien algunos clones presentaron una compatibilidad por una u otra cepa, no dejaron igualmente de establecer una simbiosis efectiva con la cepa eficiente, de forma tal que las compatibilidades de los clones no cambian los criterios de recomendación de cepas de HMA por suelo. Las cepas eficientes por tipo de suelo obtenidas para la yuca coinciden con las encontradas anteriormente para diferentes cultivos.

Palabras clave: hongos micorrízicos arbusculares, inoculación, suelos

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) está extensamente diseminado en el trópico, así

como en un amplio grupo de países y tipos de suelos, utilizándose no solo como fuente de alimento humano^{A,B} y animal (1, 2), sino incluso con una comprobada eficiencia para la generación de alcohol

¹ Universidad "José Eduardo dos Santos", Angola.

² Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Santo Domingo, provincia de Villa Clara, Cuba

³ Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.

✉ zecapedro2003@yahoo.com.br

^A FAO. FAOSTAT [en línea]. 2013, [Consultado: 17 de enero de 2015], Disponible en: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html>>.

^B Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). *La Promesa de la Agricultura Tropical Hecha Realidad* [en línea]. Informe Anual CIAT 2012-2013, Inst. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, 2013, p. 47, ISSN 2145-1311, [Consultado: 10 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2013/06/informe_anual_2012.pdf>.

(3, 4), todo lo cual avala su importancia económica. Cuba no es una excepción y anualmente se plantan 150 000 ha y se prevé un incremento en la superficie del cultivo durante los próximos años (5).

Si bien es un cultivo rústico, los altos rendimientos requieren de la aplicación de fertilizantes minerales o abonos orgánicos y con el empleo de dosis óptimas se pueden obtener entre 40 y 60 t ha⁻¹año⁻¹ de raíces comerciales (6); no obstante, en Cuba generalmente no se fertiliza ni se riega^c, todo lo cual conlleva a bajos rendimientos del orden de 7 t ha⁻¹año⁻¹.

Por otra parte, la yuca es un cultivo con alta dependencia micorrízica (2, 7) y en Cuba los trabajos de inoculación de cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) comenzaron en este cultivo en suelos Pardos mullidos carbonatados, los que permitieron establecer la efectividad de la inoculación, garantizando altos rendimientos y la disminución en los requerimientos de fertilizantes^d; sin embargo, las altas dosis de inoculantes recomendadas (7) y empleadas entonces (50 g planta⁻¹), no permitieron su utilización en la práctica agrícola.

Posteriormente, se logró estandarizar el método de aplicación del inoculante por la vía de recubrimiento de las puntas de las estacas, en dosis de 10 kg ha⁻¹ y de recubrimiento total en dosis de 20 kg ha⁻¹ (8), cuyas dosis relativamente bajas, no solo garantizaron la efectividad, sino que hicieron factible su aplicación a escala productiva (9).

Asimismo, en algunos países productores de yuca en África (10, 11) y Colombia (11), se han reportado a escala experimental resultados positivos a la inoculación de cepas de HMA, sin considerar los criterios de recomendación de cepas eficientes HMA por tipo de suelo (12), que han sido encontrados en Cuba para un grupo amplio de cultivos y tipos de suelos.

Los trabajos de recomendación de cepas de HMA^d se realizaron con un solo clon, mientras en Cuba se dispone actualmente de varios clones comerciales (13) y actualmente es una tarea evaluar, si producto de la variabilidad existente entre los clones comerciales, se mantienen, tanto la respuesta a la inoculación de cepas de HMA, como la existencia, al menos, de una cepa de HMA por tipo de suelo (12), con la cual cualquiera de los clones establece una simbiosis efectiva y mantiene, por tanto, la regularidad de baja especificidad de la cepa eficiente HMA con los clones, en este caso.

Asimismo, no existe información experimental previa sobre la eficiencia de la aplicación de diferentes cepas de HMA a este cultivo en suelos Ferralíticos Rojos, los cuales abarcan alrededor de 720 000 ha de la superficie agrícola del país (14); además, entre las cepas de HMA que inicialmente fueron evaluadas^d, no se utilizó *G. cubense* (15), una cepa con alta efectividad para diferentes cultivos en ese tipo de suelo (16).

A partir de las consideraciones anteriores y teniendo en cuenta la importancia de los suelos Pardos Mullidos Carbonatados y los Ferralíticos Rojos Lixiviados en la agricultura cubana, así como la reconocida dependencia micorrízica del cultivo, se desarrollaron dos estudios, para evaluar la efectividad de la inoculación de cepas HMA en clones comerciales de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y su dependencia con el tipo de suelo, así como extender a los Ferralíticos Rojos, los criterios de manejo de cepas eficientes de HMA en este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se ejecutaron en dos tipos de suelos, a) Pardos Mullidos Carbonatados (17), clasificados internacionalmente como Feozem endocarbonatado (18), durante los años 2012 y 2013, en áreas del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), ubicado en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, a los 22° 35' de latitud Norte y 80° 18' de longitud Oeste y 40 m s. n. m. y b) Ferralíticos Rojos Lixiviados (17), clasificados también como Nitisol ferrálico, ródico, líxico, éutrico (18), durante los años 2013 y 2014, en las áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, a los 23° 01' de latitud Norte y 82° 08' de longitud Oeste y a 120 m s. n. m.

Las principales características químicas de estos suelos y los contenidos de esporas de HMA "residentes" en ellos se presentan en la Tabla I.

Los suelos Pardos Mullidos Carbonatados presentaron valores de pH-H₂O ligeramente alcalinos, con contenidos bajos de fósforo y medios de potasio disponible, así como contenidos altos de Ca y Mg intercambiable con una alta CIC de alrededor de 50 cmol kg⁻¹, siendo de forma general, valores representativos de este tipo de suelo. La materia orgánica presentó bajos porcentajes de 2,0 %.

Las esporas "residentes" de HMA en las condiciones iniciales fueron muy bajas y menores a 30 en 50 g, similares a los contenidos obtenidos por otros autores en estos mismos suelos (8, 20) y posiblemente asociadas al cultivo intensivo y la fertilización sistemática que han recibido estos suelos.

^c Oficina Nacional de Estadística e Información. *Sector agropecuario. Indicadores seleccionados* [en línea]. 2014. [Consultado: 10 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.one.cu/publicaciones/05agropecuario/ppalesindsectoragrop/ppales_inddic13.pdf>.

^d Ruiz, L. *Efectividad de las asociaciones micorrízicas en raíces y tubérculos en dos tipos de suelos*. Tesis de Doctorado, Universidad Agraria de La Habana-Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2001, 101 p.

Tabla I. Algunas características químicas de los suelos al inicio de los experimentos (*) y cantidad de esporas de HMA “residentes” (0-20 cm de profundidad)

Tipos de suelos	pH H ₂ O	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ⁺	Esporas # 50 g ⁻¹
Ferralíticos Rojos Lixiviados	6,6	3,20	341,2	0,12	0,25	11,9	2,4	130
Pardos Mullidos Carbonatados	7,4	2,0	1,75	0,35	0,46	32,0	4,2	28

*Valores promedio de ocho muestras (cuatro en cada año)

Técnicas analíticas utilizadas^E (19): pH-H₂O, potenciometría con extracción 1:2,5; materia orgánica (MO), digestión húmeda según Walkey y Black; P (asimilable), colorimetría con extracción 1:25 con H₂SO₄ 0,025 M; cationes intercambiables, valoración con extracción NH₄Ac 1 M. Esporas HMA, método decantado-húmedo modificado

La precipitación anual durante el periodo experimental en el área de suelos Pardos Mullidos Carbonatados fue de 1626,4 mm en el 2012 y de 1519,1 mm en el 2013, superiores al promedio de los últimos 25 años (1349 mm). Las temperaturas media anuales fueron de 24,1 y 24,6 °C, respectivamente y similares a las históricas de 25 años (24,3 °C).

Los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados presentaron pH neutros, con contenidos de Ca y Mg intercambiables del orden de 11,9 y 2,6 cmol kg⁻¹ respectivamente, los cuales resultan típicos para estos suelos. Los contenidos de fósforo disponible fueron elevados y relacionados con fuertes aplicaciones previas de fertilizantes minerales. Las esporas residentes fueron bajas y posiblemente asociadas con las aplicaciones anteriores de fertilizantes y la alta disponibilidad de fósforo en el suelo.

Los contenidos de materia orgánica fueron altos para este tipo de suelo Ferralítico situado a 120 m s. n. m. y con un régimen de temperaturas medias anuales en los últimos 25 años de 24,2 °C.

Las precipitaciones anuales en el 2013 se correspondieron con un año lluvioso, 1709,9 mm y en el 2014 de 1414,2 mm, ligeramente inferior al promedio histórico de los últimos 25 años (1591,8 mm), las que permiten considerar esta localidad como un área bajo un régimen adecuado de precipitaciones. Las temperaturas media anuales fueron de 24,2 y 23,8 °C en el 2013 y 2014 respectivamente, con poca variación entre los años y similares a la media de los últimos 25 años.

EXPERIMENTO DE CEPAS DE HMA Y CLONES DE YUCA EN SUELOS PARDOS MULLIDOS CARBONATADOS

Se estudió el comportamiento de diferentes cepas de HMA frente a seis clones de *Manihot esculenta* Crantz, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones. El factor A compuesto por seis niveles, donde se incluyeron las cepas de HMA, a saber 0 % NPK, 25 % NPK, 25 % NPK + *Funneliformis mosseae* (21), 25 % NPK+ *Glomus*

cubeense (15), 25 % NPK+ *Rizophagus intraradices* (21) y 100 % NPK; el factor B, conformado por los clones, también compuesto por seis niveles y el factor C por dos niveles, que se corresponde con la repetición en dos años.

La clave de identificación de las cepas de HMA en la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba se corresponde con INCAM-2, INCAM-4 y INCAM-11, respectivamente. En todos los casos, el contenido de esporas de los inóculos osciló entre 25 y 30 esporas g⁻¹ de suelo y fueron suministradas por el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas de esta institución.

La dosis de fertilizantes utilizada de conjunto con la aplicación de las cepas de HMA se basó en resultados previos^D, los que establecieron que en presencia de la inoculación de la cepa eficiente para esa condición edáfica, los requerimientos de fertilizantes minerales, para un adecuado funcionamiento micorrízico, fueron del 25 % de las dosis de fertilizantes minerales (NPK), empleadas para obtener altos rendimientos. Se utilizó como 100 % NPK las dosis de 150, 60 y 200 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Los clones de yuca utilizados fueron ‘INIVIT E 80+1’, ‘CMC-40’, ‘INIVIT Y 93-4’, ‘CEMSA 74-6329’, ‘CEMSA 74-725’ y ‘Señorita’, pertenecientes a la colección del INIVIT y suministrados por esta institución, los que están considerados clones comerciales para el cultivo en el país (13). El marco de plantación (13) y la fecha de plantación de cada clon se presentan en la Tabla II.

Las parcelas estaban constituidas por 32 plantas, de las cuales se evaluaron 12, realizándose la cosecha a los 12 meses de plantados los clones. El experimento se repitió dos veces.

EXPERIMENTO DE CEPAS DE HMA EN SUELOS FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO

Se evaluó el comportamiento de tres cepas de HMA y un tratamiento testigo, en un diseño de bloques al azar con cinco replicas. El clon utilizado fue el ‘CMC-40’. Las cepas de HMA utilizadas fueron las mismas que se valoraron en el experimento anteriormente descrito y con características similares.

^EHerrera, R. A.; Ferrer, R. L. y Furrallzola, E. *Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, evolución y procesos sociales*. (ed. ser. Monasterio M.), (ser. Diversidad Biológica), Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo, Subprograma XII, Mérida, 1995.

Tabla II. Clones utilizados, marcos y fechas de plantación en el experimento en suelo Pardo mullido carbonatado

Clones	Marcos de plantación (m)	Fecha de plantación
'INIVIT E 80+1'	0,9 x 0,90	15 de enero
'CMC-40'	0,9 x 1,0	15 de enero
INIVIT Y 93-4'	0,9 x 1,0	15 de enero
'CEMSA 74-6329'	0,9 x 1,0	15 de enero
'CEMSA 74-725'	0,9 x 0,90	15 de enero
'Señorita'	0,9 x 1,0	15 de enero

El experimento se repitió dos veces. El primero se inició el 26 de febrero del 2013 y ninguno de los tratamientos recibió fertilizantes minerales. En el segundo, que se plantó el 5 febrero del 2014, todos los tratamientos recibieron 50, 20 y 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, que se corresponde con la recomendación de dosis óptima de fertilizantes minerales para lograr una micorrización efectiva del cultivo en este tipo de suelo (16).

El marco de plantación fue de 0,90 x 1,2 m y las parcelas tenían 32 plantas, de las cuales se evaluaron 12. La cosecha se realizó en ambas repeticiones a los nueve meses de plantado.

ACTIVIDADES COMUNES

En todos los casos las atenciones culturales se ejecutaron de acuerdo con los Instructivos técnicos del cultivo (13), aplicándose riegos en plantación y posteriormente con una frecuencia decenal, hasta que se estabilizó la etapa lluviosa en los diferentes años.

La inoculación de cepas de HMA se aplicó por la vía de recubrimiento de ambas puntas de los propágulos de yuca (8), en cantidades de 1,16 g estaca⁻¹ de inoculante micorrízico y momentos antes de la plantación.

Evaluaciones y determinaciones realizadas

El conteo inicial de esporas de HMA se obtuvo a partir de cuatro muestras de suelo, tomadas previo a la plantación de cada experimento. Para su extracción se procedió según la modificación al protocolo inicial^E de Gerdemann y Nicholson; posteriormente, se lavaron con agua destilada y se vertieron en placa Petri, para su conteo con el uso del microscopio estéreo 700x (Stemi 2000-C).

En el caso del experimento sobre suelo Ferralítico Rojo y en el segundo año, se realizó un muestreo para determinar las esporas de HMA en la rizosfera de las plantas de cálculo de cada parcela a la profundidad de 0-20 cm. Este muestreo se ejecutó cuando las plantas tenían 5½ meses.

En los dos experimentos y en las plantas de cálculo de cada tratamiento se tomaron, a los cuatro meses y medio de plantada la yuca, muestras compuestas por parcela para evaluar el porcentaje de colonización micorrízica, con excepción del primer año del experimento sobre suelo Ferralítico Rojo en el que no se realizó este muestreo.

Se utilizaron 200 mg de raíces en cada muestra, que fueron secadas en estufa a 70 °C hasta masa constante para ser teñidas (22). La evaluación se realizó en microscopio estéreo 70x (Stemi 2000-C) y luego se utilizó el método de los interceptos (23) para su determinación.

Los experimentos se cosecharon de forma manual utilizando las plantas de cálculo de cada parcela. La cosecha se cuantificó por separado en raíces comerciales y no comerciales y se les determinó la masa fresca en kg parcela⁻¹. Los resultados se expresaron en t ha⁻¹ de raíces comerciales, de acuerdo con el marco de plantación de cada clon.

Procesamiento estadístico

En el caso del experimento en suelos Pardos Mullidos Carbonatados, como el interés fue evaluar para cada clon el efecto de la aplicación de las diferentes cepas de HMA, se procedió al desdoblamiento de la interacción significativa de mayor orden, de forma que para cada clon se evaluó el efecto de los niveles del factor en que se incluyeron las cepas.

En el experimento en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, de bloques al azar con cuatro tratamientos, se realizó el análisis de varianza de clasificación doble para cada uno de los años de trabajo.

En todos los casos la docimación entre tratamientos se realizó por la prueba de Duncan a P≤0,05.

RESULTADOS

EXPERIMENTO DE EFECTIVIDAD DE CEPAS DE HMA EN DIVERSOS CLONES EN SUELO PARDO MULLIDO CARBONATADO

Los análisis estadísticos de las variables rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica presentaron interacción significativa de los factores (P≤0,05), pero mientras en el rendimiento la interacción de los factores A (cepas) x B (clones) x C (repetición) fue significativa, en el caso del porcentaje de colonización, la interacción de tercer orden no lo fue y sí la correspondiente a los factores A x B (Tabla III).

Lo anterior condujo a diferencias en la forma de presentar el desdoblamiento de la interacción (Tablas IV y V). En todos los clones se presentó una respuesta significativa del rendimiento a la fertilización mineral (Tabla IV) y se encontraron rendimientos altos en los tratamientos que recibieron el 100 % de la fertilización (14), que oscilaron entre 40 y 50 t ha⁻¹, en dependencia del clon y apartándose de esta conducta el clon 'CEMSA 74-6329' que no alcanzó las 30 t ha⁻¹.

Asimismo, se encontró una respuesta diferenciada del rendimiento de los clones a la inoculación con las cepas de HMA (Tabla IV), de forma tal que en cualquiera de los clones y años, la inoculación con la cepa *R. intraradices*, en presencia de la fertilización con 25 % NPK, originó también rendimientos altos, siempre significativamente superiores a los obtenidos con el tratamiento homólogo no inoculado (25 % NPK) y con rendimientos similares a los del tratamiento que recibió las mayores dosis de fertilizantes, excepto en

el clon 'CEMSA 74-6329', en el que la aplicación de *R. intraradices* originó incluso rendimientos superiores al que recibió las mayores dosis de fertilización.

En algunos de los clones como el CEMSA 74-725 y el INIVIT E 80+1, se presentó además, una alta compatibilidad con la cepa *G. cubense*, que se extendió también a *F. mosseae* en el clon CEMSA 74-725, de forma tal que inoculando cualquiera de ellas se encontró una respuesta significativa y similar a la obtenida por la inoculación con *R. intraradices*.

Tabla III. Experimento en suelo Pardo Mullido Carbonatado. Significación de los diferentes términos de interacción y factores para el ANOVA de las variables rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica

Origen	Rendimiento t ha ⁻¹	Significación	Colonización %	Significación
Modelo corregido	0,000		0,000	
Intersección	0,000		0,000	
A x B x C	0,000		0,979	
A x B	0,000		0,000	
A x C	0,080		0,004	
B x C	0,000		0,771	
A	0,000		0,000	
B	0,000		0,000	
C	0,136		0,868	
(réplicas x año)	0,394		0,526	

Factor A (incluye las cepas HMA); Factor B (Clones); Factor C (Años)

Tabla IV. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento (t ha⁻¹). Desdoblamiento de la interacción A x B x C: efecto de los niveles del factor A (incluye las cepas) para cada combinación B (clones) x C (años)

Factor B (niveles)	Factor C (niveles)	Factor A (niveles)					
		0 % NPK	25 % NPK	100 % NPK	<i>R. intra.*</i>	<i>G. cub.*</i>	<i>F. mos.*</i>
'INIVIT E 80+1'	año 1	36,02 c	38,02 b	42,01 a	41,93 a	41,45 a	38,91 b
	año 2	37,18 d	41,37 c	45,23 ab	46,90 a	46,30 a	44,24 b
'CMC-40'	año 1	37,72 c	39,09 c	46,03 a	44,92 a	42,15 b	41,37 b
	año 2	35,91 c	42,32 b	48,18 a	47,18 a	43,93 b	43,23 b
'INIVIT Y 93-4'	año 1	40,35 d	43,19 c	46,41 ab	47,64 a	45,00 bc	43,59 c
	año 2	43,19 c	44,77 c	50,77 ab	51,75 a	48,62 b	48,91 b
'CEMSA 74-6329'	año 1	25,66 c	28,73 b	29,67 b	33,60 a	30,40 b	28,50 b
	año 2	23,09 c	25,86 b	26,70 a	28,30 a	26,03 b	25,65 b
'CEMSA 74-725'	año 1	26,27 c	31,53 b	44,16 a	44,41 a	43,03 a	42,58 a
	año 2	25,90 c	28,38 b	39,74 a	38,47 a	38,72 a	38,32 a
'Señorita'	año 1	35,80 d	41,36 c	47,51 a	47,57 a	43,03 c	44,53 bc
	año 2	34,20 d	37,70 c	42,76 a	42,07 a	39,50 b	38,90 bc
Es x				0,588**			

R. intra. (*R. intraradices*); *G. cub.* (*G. cubense*); *F. mos.* (*F. mosseae*). La docimación se realizó por el test de Duncan P≤0,05 *Estos tratamientos siempre recibieron una fertilización de 25 % NPK

Tabla V. Porcentaje de colonización micorrízica. Desdoblamiento de la interacción A (incluye las cepas) x B (clones): efecto de los niveles del factor A para cada clon

Factor B (niveles)	Factor A (niveles)					
	0 % NPK	25 % NPK	100 % NPK	<i>R. intra.*</i>	<i>G. cub.*</i>	<i>F. mos.*</i>
'INIVIT E 80+1'	12,50 e	15,63 d	15,75 d	73,5 a	68,25 b	62,88 c
'CMC-40'	12,13 e	15,88 d	16,00 d	73,88 a	68,88 b	63,25 c
'INIVIT Y 93-4'	14,38 e	16,63 d	16,38 d	75,50 a	70,13 b	65,13 c
'CEMSA 74-6329'	10,13 e	15,00 d	14,75 d	69,75 a	63,88 b	60,38 c
'CEMSA 74-725'	10,50 e	15,38 d	15,13 d	71,63 a	64,75 b	61,63 c
'Señorita'	11,88 e	15,75 d	15,38 d	73,00 a	66,38 b	62,00 c
Media general	11,92	15,71	15,57	72,88	67,05	62,55
ES \bar{x}				0,27**		

R. intra. (*R. intraradices*); *G. cub.* (*G. cubense*); *F. mos.* (*F. mosseae*). La docimación entre tratamientos se realizó por el test de Duncan P≤0,05. *Estos tratamientos siempre recibieron una fertilización de 25 % NPK

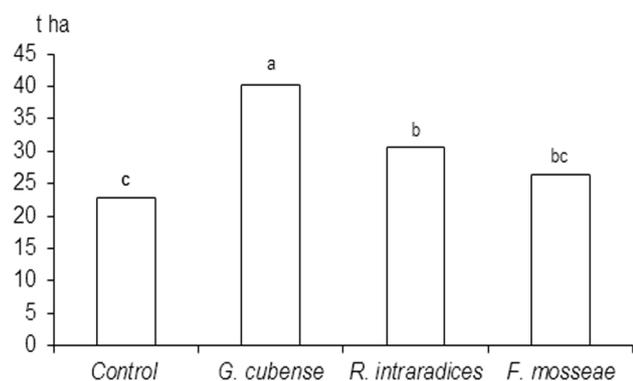
En los otros clones siempre la cepa *R. intraradices* presentó un efecto superior y significativo ($P \leq 0,05$), diferenciándose de los obtenidos por las cepas restantes. Los efectos diferenciados de las cepas se mantuvieron en uno y otro año, dejando clara la reproducibilidad de los efectos encontrados.

Asimismo, se encontró una respuesta significativa de la inoculación de las cepas de HMA sobre el porcentaje de colonización micorrizica (Tabla V), no presentándose efectos de los años. En esta variable siempre existieron diferencias significativas entre los efectos provocados por la aplicación de cada una de las cepas para cualquiera de los clones, de forma tal que se ordenaron de la siguiente manera: *R. intraradices* > *G. cubense* > *F. mosseae* y todos significativamente mayores a los encontrados en los tratamientos no inoculados. Con *R. intraradices* se alcanzaron valores altos, entre 70 y 75 % de colonización.

Los tratamientos no inoculados siempre presentaron valores bajos, entre 10 y 15 %, con una tendencia a presentar porcentajes similares entre los dos tratamientos fertilizados, los cuales fueron ligeramente superiores a los encontrados en el tratamiento no fertilizado.

EXPERIMENTOS DE COMPARACIÓN DE CEPAS HMA EN SUELO FERRALÍTICO ROJO LIXIVIADO

Los resultados fueron similares en ambos años, con una respuesta siempre significativa a la inoculación con la cepa *G. cubense*, que se diferenció significativamente del resto de los tratamientos. En el primer año en que no se aplicaron fertilizantes de fondo (Figura 1), la respuesta fue mucho mayor y del orden del 73 % en relación con el tratamiento control. En este mismo año, la aplicación de *R. intraradices* también fue significativamente superior al tratamiento control, aunque sin diferencias con la aplicación de *F. mosseae*.



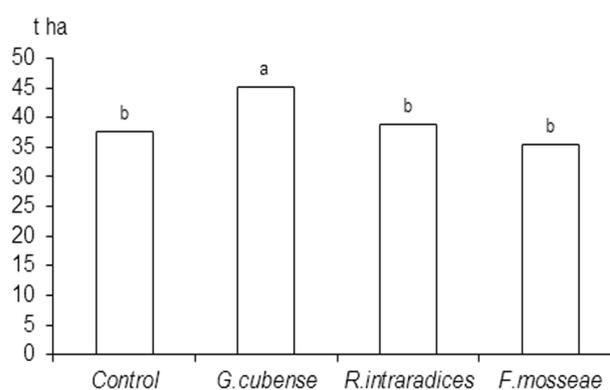
No se aplicaron fertilizantes en ningún tratamiento. $ES \bar{x} = 1,15$
Letras diferentes implican diferencias significativas según Prueba de Duncan a $p \leq 0,05$

Figura 1. Influencia de la inoculación de cepas de HMA sobre el rendimiento del clon 'CMC-40' en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Año 2013

En el segundo año la respuesta a *G. cubense* fue menor que en el primero (Figura 2), aunque con incrementos significativos entre 15 y 28 %, con relación al resto de los tratamientos y no se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los rendimientos obtenidos con las otras cepas y el tratamiento control.

Con la aplicación de *G. cubense*, los rendimientos de ambos experimentos fueron altos y del orden de 40 a 45 t ha⁻¹.

En relación con el porcentaje de colonización micorrizica (Tabla VI), se encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre tratamientos, así como los mayores valores y similares entre sí con las aplicaciones de *G. cubense* y *R. intraradices*. La aplicación de *F. mosseae* no difirió del tratamiento control.



Todos los tratamientos recibieron 50, 20 y 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O
 $ES \bar{x} = 0,30^{**}$

Letras diferentes implican diferencias significativas según Prueba de Duncan a $p \leq 0,05$

Figura 2. Influencia de la inoculación de cepas de HMA sobre el rendimiento del clon CMC-40 en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Año 2014

Tabla VI. Influencia de la inoculación HMA sobre los porcentajes de colonización micorrizica y número de esporas HMA en el suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Año 2014

	Colonización total %	Número esporas # g ⁻¹
Control	33,1 b	10,0 c
<i>G. cubense</i>	44,4 a	14,3 a
<i>R. intraradices</i>	47,5 a	13,6 ab
<i>F. mosseae</i>	28,8 a	12,0 bc
$ES \bar{x} =$	1,92**	0,49**

Letras diferentes conllevan a diferencias significativas para $P \leq 0,05$ entre tratamientos, según Prueba de Duncan a $P \leq 0,05$

En relación con la cantidad de esporas micorrizicas (Tabla VI), los efectos fueron similares; los valores fueron mayores y sin diferencias entre sí por la aplicación de *G. cubense* y *R. intraradices*, siendo ambas superiores al tratamiento testigo. Si bien la aplicación de *G. cubense* se diferenció significativamente de las esporas obtenidas con *F. mosseae*, la inoculación de *R. intraradices* no fue

diferente. Por otra parte, la aplicación de *F. mosseae* no se diferenció del número de esporas observadas en el tratamiento testigo.

DISCUSIÓN

Manihot esculenta es un cultivo altamente micótrofo^D (6, 7) y sus resultados lo corroboran, indicando, además, la efectividad de la aplicación de cepas eficientes de HMA por la vía del recubrimiento de las puntas de los propágulos (8).

En las condiciones de suelos Pardos Mullidos Carbonatados, se encontró una fuerte respuesta a la aplicación de *R. intraradices* en presencia del 25 % de la fertilización recomendada para rendimientos altos (13), alcanzando rendimientos satisfactorios en cualquiera de los clones, ampliándose los resultados para los clones 'Señorita'^D y CMC 40 (8).

Se destacaron los resultados en la respuesta diferenciada a la inoculación de cepas de HMA en los diferentes clones. Si bien existieron dos tipos de clones; unos en los que siempre los mejores resultados se obtuvieron con *R. intraradices* y otros en los que cualquiera de las cepas ocasionaron efectos similares y significativos sobre el tratamiento no inoculado, los resultados no varían la recomendación de *R. intraradices* como cepa eficiente de HMA en estas condiciones^D (12) y con cuya aplicación siempre se obtendrán los mayores efectos en cualquiera de los clones.

Otros autores^D han encontrado compatibilidad del clon 'Señorita' con la cepa *G. manihotis* en dos condiciones edáficas, que no impidió que también este clon se asociara efectivamente con las cepas de HMA que se recomiendan para la inoculación micorrízica de los cultivos, en cada una de las dos condiciones edáficas estudiadas.

Es decir, la existencia de compatibilidades entre algunos de los clones y las cepas de HMA, no impidieron que se establecieran asociaciones igualmente efectivas para cualquiera de los clones con la cepa que funciona satisfactoriamente y, de forma general, en esta condición del suelo. Con un alcance más general, integrando 39 experimentos de comparación de cepas de HMA en diferentes cultivos y suelos, se obtuvo este importante comportamiento (16).

El comportamiento del porcentaje de colonización micorrízica fue diferente, ya que en este caso, siempre se encontraron los mayores porcentajes en cualquiera de los clones con la aplicación de *R. intraradices*. Este comportamiento fue diferente del obtenido por otros^{D,F}, que reportaron que en las cepas que presentaron

compatibilidades con clones o variedades, estas se expresaron no solo en el rendimiento, sino también en los indicadores del funcionamiento micorrízico, sin diferencias entre los porcentajes de colonización obtenidos con la cepa eficiente y las compatibles.

En los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, aunque también se encontró respuesta a la inoculación micorrízica, fue *G. cubense* la que presentó siempre los mayores efectos, tanto en el rendimiento como en los porcentajes de colonización micorrízica y cantidad de esporas.

Las diferencias encontradas entre la magnitud de la respuesta a la aplicación de *G. cubense*, en ambos años parecen estar asociadas a la aplicación diferenciada de los fertilizantes minerales de fondo en uno y otro años.

El menor incremento en el rendimiento obtenido por la inoculación en el segundo año, asociado con los altos rendimientos del tratamiento de referencia fertilizado y los porcentajes medios, de colonización obtenidos en los tratamientos inoculados con *G. cubense*, parecen indicar que las cantidades de fertilizantes minerales aplicadas fueron superiores a las óptimas que requirió el cultivo inoculado y, por ende, el porcentaje de colonización micorrízica no fue tan alto, conducta que ha sido reportada en este cultivo y en otros^D (12).

Es de señalar que las cantidades del fertilizante aplicado se habían reportado previamente, en este mismo tipo de suelo, como adecuadas para un funcionamiento micorrízico efectivo (24), quedando clara entonces la necesidad de recomendar las dosis de fertilizantes para los cultivos inoculados de acuerdo a la disponibilidad específica de los nutrientes en el suelo (12).

Si bien con anterioridad *G. cubense* se ha recomendado como cepa de HMA eficiente para los cultivos dependientes de la micorrización en esta condición edáfica (24), no existían reportes experimentales específicos para el cultivo de la yuca en estas condiciones de suelo y, por tanto, con estos resultados se incluye en los que cumplen con dicha regularidad.

Las diferencias entre los porcentajes de colonización de los tratamientos testigos en una y otra condición edáfica, con porcentajes superiores en el suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, parecen ser consecuencia de las mayores cantidades iniciales de esporas "residentes" en estos suelos.

La información obtenida corrobora el determinismo del factor edáfico en el comportamiento y la efectividad de las cepas de HMA (12, 16), al menos para el grupo de cepas de HMA estudiadas.

Recientemente, se ha señalado la importancia del pH del suelo como una de sus propiedades que está más relacionada con la variación de efectividad de las cepas inoculadas (16), lo que posiblemente esté en correspondencia con la importancia de la reacción del suelo, sobre la ocurrencia y distribución de las cepas de HMA en los diferentes agroecosistemas.

^F González, P. J. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género *Brachiaria* [en línea]. [Tesis de Doctorado], Universidad Agraria de La Habana-Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba, 2014, 128 p., [Consultado: 10 de enero de 2015], Disponible en: <<http://www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf>>.

En las condiciones de los suelos estudiados, con pH casi neutro o ligeramente básico, se reporta una baja efectividad de la cepa *F. mosseae* (16), lo que se corrobora en estos trabajos, al ser la cepa que presentó la menor efectividad de las tres estudiadas; sin embargo; esta se convierte en la cepa eficiente en los suelos Gley Nodular Ferruginoso con pH de 4,7 (16).

A pesar de que previamente se haya reportado la existencia de una baja especificidad en la cepa eficiente de HMA con los cultivos (12), el hecho de que *R. intraradices* sea recomendada como cepa eficiente de HMA para los cultivos en los suelos Pardos Mullidos Carbonatados, estableció también una micorrización efectiva con cualquiera de los clones comerciales, lo cual tiene un alto valor práctico para la utilización a escala productiva de los inoculantes micorrízicos en este cultivo.

El cambio significativo en efectividad de las cepas de HMA en función del suelo, la propia existencia de una baja especificidad cepa eficiente HMA-cultivo y, por tanto, las recomendaciones de cepas eficientes por tipo de suelo con independencia del cultivo (16), permiten suponer que en otras condiciones edáficas en que se planten los clones de yuca, estos también establecerán asociaciones micorrízicas efectivas con la cepa eficiente de HMA recomendada para dichas condiciones de suelo, con independencia de que se presenten compatibilidades de alguno de los clones con una u otra cepa de HMA.

Los resultados también corroboran la efectividad del método de aplicación del inoculante micorrízico, vía inoculación de las puntas de los propágulos (8) para los diferentes clones de yuca utilizados.

CONCLUSIONES

- ◆ Se corrobora que el cultivo de la yuca presenta una alta respuesta a la inoculación con cepas eficientes de HMA.
- ◆ La efectividad de las cepas es diferente entre suelos, de forma tal que *R. intraradices* se comporta como la cepa eficiente HMA, en un suelo Pardo Mullido Carbonatado con pH de 7,4 y *G. cubense* en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados con pH alrededor de 6,5.
- ◆ Las compatibilidades que presentaron algunos clones con cualquier cepa de HMA no impidieron que también establecieran una simbiosis igualmente efectiva con la cepa eficiente.
- ◆ Las recomendaciones de cepas eficientes por tipo de suelo coinciden con las encontradas anteriormente en diferentes cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Buitrago, A. J. "Dry Cassava Root and Foliage Meal for Poultry, Swine and Ruminants" [en línea]. En: ed. Howeler R. H., *The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand*, edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 2011, pp. 665-692, [Consultado: 10 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/The%20Cassava%20Handbook%202011.pdf>.
2. Howeler, R. H. "Cassava Leaf Production for Animal Feeding" [en línea]. En: ed. Howeler R. H., *The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand*, edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 2011, pp. 665-692, [Consultado: 10 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/The%20Cassava%20Handbook%202011.pdf>.
3. Ospina, P. B.; Gallego, C. S.; Ospina, P. H. y Gil, J. L. "Use of Cassava for Small-scale Ethanol Production with Value-added By-products" [en línea]. En: ed. Howeler R. H., *The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand*, edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 2011, pp. 665-692, [Consultado: 10 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/The%20Cassava%20Handbook%202011.pdf>.
4. Aguilera, D. M. "La yuca en el Caribe colombiano: De cultivo ancestral a agroindustrial". *Aguaita. Revista del Observatorio del Caribe Colombiano*, no. 24, diciembre de 2012, pp. 64-99, ISSN 0124-0722.
5. Pérez, L. J.; Peña, T. E.; Llauger, R. R.; Rodríguez, N. A. y Rodríguez, M. S. *Proyección estratégica hasta el 2015. Programa Integral de los Cultivos Varios*. 1.a ed., edit. Liliana, La Habana, Cuba, 2010, 95 p., ISBN 978-959-7111-55-9.
6. Howeler, R. *Sustainable soil and crop management of cassava in Asia*. vol. 389, edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 2014, 280 p., ISBN 978-958-694-125-9.
7. Sieverding, E. *Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems*. edit. Bremer, 1991, 402 p., ISBN 978-3-88085-462-8.
8. Ruiz, L. A.; Simó, J. y Rivera, R. "Nuevo método para la inoculación micorrízica del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)". *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, septiembre de 2010, pp. 15-20, ISSN 0258-5936.
9. Rivera, E. R.; Fundora, S. L. R.; Calderón, P. A.; Martín, C. J. V.; Marrero, C. Y.; Martínez, L. R.; Simó, G. J.; Riera, N. M. y Joao, J. P. "La efectividad del biofertilizante EcoMic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensiones con productores". *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 1, marzo de 2012, pp. 5-10, ISSN 0258-5936.
10. Okon, I. E. "Field response of two cassava genotypes inoculated with arbuscular mycorrhizal fungus to *Gliricidia sepium* mulch in a Tropical Alfisol". *Botany Research International*, vol. 4, no. 1, 2011, pp. 04-08, ISSN 2221-3635.

11. Ceballos, I.; Ruiz, M.; Fernández, C.; Peña, R.; Rodríguez, A. y Sanders, I. R. "The *in vitro* mass-produced model mycorrhizal fungus, *Rhizophagus irregularis*, significantly increases yields of the globally important food security crop cassava". *PLoS One*, vol. 8, no. 8, 2013, p. 70633, ISSN 1932-6203, DOI 10.1371/journal.pone.0070633.
12. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. "Avances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems". En: *Mycorrhizae in Crop Production*, edit. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton, 10 de julio de 2006, pp. 151-196, ISBN 978-1-56022-307-8.
13. Rodríguez, M. S. R.; García, G. M. G.; Montiel, M. F.; Martínez, L. R. y Tejón, A. M. "Instructivo Técnico para la producción de semillas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)". En: *Instructivo técnico para la producción de semillas de viandas*, edit. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales, La Habana, Cuba, 2012, pp. 9-30, ISBN 978-959-295-006-1.
14. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. *Mapa de Series de Suelos*. [1:50 000], edit. Científico Técnica, La Habana, Cuba, 1985.
15. Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R. A. "*Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba". *Mycotaxon*, vol. 118, no. 1, 5 de enero de 2012, pp. 337-347, ISSN 0093-4666, 2154-8889, DOI 10.5248/118.337.
16. Rivera, R.; Nápoles, M. C. y Espinosa, A. *Manejo conjunto e impacto de biofertilizantes micorrízicos y otros bioproductos en la producción agrícola de diferentes cultivos*. Anexo informe anual del megaproyecto, no. P131LH0010003, 2013, p. 18, DOI 10.13140/RG.2.1.4115.0565.
17. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, 93 p., ISBN 978-959-7023-77-7.
18. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. (ser. World Soil Reports, no. ser. 106), edit. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2014, ISBN 978-92-5-108370-3.
19. Paneque, V. M.; Calderón, C. J.; Borges, A.; Hernández, T. y Caruncho, M. *Manual de Técnicas analíticas para Análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. edit. Ediciones INCA, La Habana, Cuba, 2010, ISBN 978-959-7023-51-7.
20. Simó González J.; L. Ruiz Martínez, R. Rivera Espinosa. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular y suministro de nutrientes en plantaciones de banano cultivar 'FHIA-18' sobre suelos Pardos mullidos carbonatados. *Cultivos Tropicales*, vol. 36 no. 4, 2015, pp. 43-54. ISSN 0258-5936.
21. Schüßler, A. y Walker, C. "7 Evolution of the 'Plant-Symbiotic' Fungal Phylum, *Glomeromycota*" [en línea]. En: eds. Pöggeler S. y Wöstemeyer J., *Evolution of Fungi and Fungal-Like Organisms*, edit. Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 163-185, ISBN 978-3-642-19973-8, [Consultado: 10 de diciembre de 2015], Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-19974-5_7>.
22. Phillips, J. M. y Hayman, D. S. "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection". *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55, no. 1, agosto de 1970, pp. 158-185, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
23. Giovannetti, M. y Mosse, B. "An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots". *New Phytologist*, vol. 84, no. 3, 1 de marzo de 1980, pp. 489-500, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
24. Rivera, R., et al. *Manejo conjunto e impacto de biofertilizantes micorrízicos y otros bioproductos en la producción agrícola de diferentes cultivos*. [Informe Primer Semestre 2015 Proyecto P131LH0010003] Mayabeque: Instituto Nacional Ciencias Agrícolas, 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.2416.3605.

Recibido: 10 de agosto de 2015

Aceptado: 12 de noviembre de 2015