

NUEVO MÉTODO PARA LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA DEL CULTIVO DE LA YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

L. A. Ruiz[✉], J. Simó y R. Rivera

ABSTRACT. Three experiments were conducted on carbonated loose Brown soils using *Glomus intraradices* strain, with the objective of establishing an adequate and feasible methodology for the mycorrhizal inoculation of efficient AMF strains in cassava crop. Several methods and inoculant doses were compared, based on the overall seed recovery with different amounts of inoculants (22-174 kg.ha⁻¹), localized seed tip recovery (11-14 kg.ha⁻¹) and the traditional application of inoculants to the soil beneath the seeds (617 kg.ha⁻¹), all of them performed at planting time. Inoculated treatments always received 25 % of NPK mineral fertilizer rate for cassava crop; they were also compared with other non-inoculated treatments receiving 0, 25 and 100 %. It was found that any application via recovery, even localized on seed tips, guaranteed a similar effective mycorrhization to high doses of inoculants applied to the soil beneath the seeds. Inoculated treatments assured high and similar yields to those obtained when applying the recommended dose of mineral fertilizer for cassava crop (100 % NPK) of the order of 35 t.ha⁻¹, it showing quite a superior mycorrhizal colonization percentage (60 %) to non-mycorrhized treatments (<8 %). Mycorrhizal inoculation via localized recovery on seed tips is recommended, due to its effectiveness and the low amounts of inoculants.ha⁻¹ required.

RESUMEN. Con el objetivo de establecer una metodología adecuada y factible para la inoculación micorrízica de cepas eficientes de HMA en el cultivo de la yuca, se realizaron tres experimentos sobre suelos Pardos mullidos carbonatados utilizando la cepa *Glomus intraradices*. Se compararon varios métodos y dosis de inoculantes, basados en el recubrimiento total de las semillas con diferentes cantidades de inoculantes (22-174 kg.ha⁻¹), el recubrimiento localizado en las puntas de las semillas (11-14 kg.ha⁻¹) y la aplicación tradicional del inoculante al suelo debajo de estas (617 kg.ha⁻¹), todos realizados en el momento de la plantación. Los tratamientos inoculados siempre recibieron el 25 % de la dosis de fertilizante mineral (NPK) para el cultivo de la yuca y, además, se compararon con varios tratamientos no inoculados que recibieron 0, 25 y 100 %. Se encontró que cualesquiera de las aplicaciones vía recubrimiento, incluso la localizada en las puntas de las semillas, garantizaron una micorrización efectiva similar a la obtenida con la aplicación de altas dosis de inoculantes al suelo debajo de las semillas. Los tratamientos inoculados garantizaron rendimientos altos y similares a los obtenidos con la aplicación de la dosis recomendada de fertilizante mineral para el cultivo de la yuca (100 % NPK) y del orden de 35 t.ha⁻¹, presentando un porcentaje de colonización micorrízica (60 %) muy superior al de los tratamientos no micorrizados (<8 %). Se recomienda la inoculación micorrízica vía recubrimiento localizado en las puntas de las semillas, por su efectividad y las bajas cantidades de inoculante.ha⁻¹ que requiere.

Key words: *Manihot esculenta*, arbuscular mycorrhizae, NPK fertilization, inoculation

Palabras clave: *Manihot esculenta*, micorrizas arbusculares, fertilización NPK, inoculación

INTRODUCCIÓN

En el mundo, la yuca es el cuarto producto alimenticio básico en importancia después del arroz, trigo y maíz, y forma parte de la dieta de más de 1000 millones de personas.

En el 2008 se produjeron mundialmente 232 MMt de yuca en base fresca, de los cuales aproximadamente el 60 % se utilizó para la alimentación humana (1).

Si bien es un cultivo rústico que puede estar también en condiciones de suelos ácidos y marginales, no hay

dudas de su alta respuesta a la fertilización NPK y otras fuentes de nutrientes para incrementar los rendimientos (2, 3).

En Cuba se recomiendan dosis de 140 kg N.ha⁻¹, 50-60 kg P₂O₅.ha⁻¹ y 160-200 kg K₂O.ha⁻¹ para rendimientos de 30 t.ha⁻¹ y dependientes del tipo de suelo (4).

Su importancia se debe ampliar con su potencialidad como materia prima en la producción de etanol y, en ese sentido, en Tailandia hay un fuerte incremento de la producción de etanol a partir de yuca (5), siendo la disminución de los costos de producción un elemento importante para la competitividad de este biocombustible.

Los trabajos resumidos por Sieverding (6) en Colombia demostraron la alta dependencia micorrízica de este cultivo, encontrándose desde aquel entonces que la inoculación con cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) fue exitosa, pero se requerían de altas cantidades de inoculantes micorrízicos del orden de 50 g.planta⁻¹, aplicados debajo de la semilla en el

Dr.Sc. L. A. Ruiz, Investigador Titular y M.Sc. J. Simó, Investigador del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), Santo Domingo, Villa Clara; Dr.Sc. R. Rivera, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700.

✉ lruiz@inivit.cu

momento de la siembra y que ascienden a 555 kg.ha⁻¹ para un marco de plantación de 0,9 x 1,0 m. Estas altas dosis impedían la factibilidad de su utilización en los sistemas productivos.

En la última década del siglo pasado se ejecutaron varias investigaciones en Cuba, que permitieron establecer un manejo de la simbiosis micorrízica vía inoculación con cepas eficientes de HMA por tipo de suelo, así como obtener importantes incrementos en el aprovechamiento de los fertilizantes y nutrientes disponibles para los cultivos inoculados, entre otros beneficios de la simbiosis (7, 8, 9).

De esta forma, en los suelos Pardos mullidos carbonatados y Ferralíticos Rojos, el cultivo de la yuca inoculado con cepas eficientes por tipo de suelo, solo requirió del 25 % del fertilizante mineral NPK recomendado para obtener altos rendimientos del orden de 35 t.ha⁻¹ (7); sin embargo, las altas cantidades de inoculantes empleados por la aplicación de 50 g.planta⁻¹ debajo de la semilla (617 kg.ha⁻¹), para un marco de plantación de 0,9 x 0,9 m, no permitieron una aplicación a escala productiva de estos resultados.

En ese mismo período, se evaluó exitosamente la inoculación micorrízica de cereales, leguminosas y otros cultivos de siembra directa a través del recubrimiento de las semillas con un nuevo tipo de inoculante micorrízico (10). Con esta forma de inoculación, las dosis de producto micorrízico se encuentran entre 0,6 y 8 kg.ha⁻¹ dependientes del cultivo, utilizándose tanto en modelos de agricultura familiar como en modelos productivos intensivos, donde el recubrimiento y la siembra son mecanizadas, con ganancias entre 14 y 45 USD.ha⁻¹ en cultivos de soya, girasol, sorgo y maíz en diferentes países de América Latina (9, 11).

Con estas necesidades y antecedentes se procedió a evaluar la factibilidad de la inoculación micorrízica vía recubrimiento de las semillas en el cultivo de la yuca, con el objetivo de disminuir las cantidades de inoculantes necesarios para lograr una efectiva micorrización y poder utilizar los reconocidos beneficios de la micorrización en la producción de este cultivo, así como ampliar el recubri-

miento como vía de inoculación para los cultivos que se propagan vía semilla vegetativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en áreas del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), ubicado a 22°35'N, 80°18'W y a 40 m snm en Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. La temperatura y precipitación media anual de los últimos cinco años correspondieron a 24,2°C y 1430 mm., respectivamente.

Los suelos son Pardos mullidos carbonatados (12), clasificados como Feozem calcáricos según el referencial WRB (13), con pH-H₂O entre 7,3 y 8,4, contenidos medios de fósforo y potasio disponibles entre 36 mg.kg⁻¹ y 0,75 cmol.kg⁻¹ respectivamente, y una alta CIC de alrededor 50 cmol.kg⁻¹. La materia orgánica entre 1,8 y 2,4 % indicativa de cierta degradación; su fertilidad química de acuerdo con su CIC se puede considerar alta; no obstante, para el cultivo intensivo de la yuca en ellos, es necesario aplicar fertilizantes minerales del orden de 140, 62 y 208 kg.ha⁻¹ N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (4), que garantizan rendimientos de 33 a 35 t.ha⁻¹. Las esporas "nativas" de HMA en las condiciones iniciales de los experimentos fueron bajas y menores a 30 esporas.50 g⁻¹.

Se ejecutaron tres experimentos y en la Tabla I se presenta un resumen de los tratamientos y las cantidades de inoculante.planta⁻¹ e inoculante.ha⁻¹ que recibió cada tratamiento en estos experimentos.

El objetivo del primer experimento fue evaluar si la metodología para el recubrimiento del EcoMic[®] en semillas de granos (10), con la relación de 1 kg EcoMic[®]/0,6 L agua y en una proporción aproximada de 10 % peso EcoMic[®]/peso de semilla era efectiva en el cultivo de la yuca, vía recubrimiento de las semillas, y permitía una micorrización efectiva comparable con la obtenida al aplicar 50 g inoculante micorrízico.planta⁻¹ en el momento de la siembra y debajo de la semilla (7).

Tabla I. Tratamientos utilizados y dosis correspondientes de inoculante micorrízico (EcoMic[®]) en cada experimento

Tratamientos	Dosis EcoMic [®] (kg.ha ⁻¹)	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
Testigo suelo solo			X	X
25 % NPK		X	X	X
100 % NPK		X	X	X
25 % NPK+50 g EcoMic [®] .planta ⁻¹ (aplicados en la siembra debajo de la semillas)	462	X	X	
25 % NPK+EcoMic [®] recubriendo las semilla (15 g.semilla ⁻¹ ; 12 % p/p; mezcla de 1 kg EcoMic [®] .600 mL ⁻¹ de agua)	174	X	X	
25 % NPK+EcoMic [®] recubriendo las semillas (7,9 g.semilla ⁻¹ ; 6 % p/p; mezcla de 0,5 kgEcoMic [®] .600 mL ⁻¹ de agua)	87		X	
25 % NPK+EcoMic [®] recubriendo las semillas (4,4 g.semilla ⁻¹ ; 3 % p/p; mezcla de 0,25 kg EcoMic [®] .600 mL ⁻¹ de agua)	44		X	
25 % NPK+EcoMic [®] recubriendo las semillas (2 g.semilla ⁻¹ ; 1,5 % p/p; mezcla de 0,125 kg EcoMic [®] .600 mL ⁻¹ de agua)	22		X	
25 % NPK+EcoMic [®] recubriendo las puntas de las semillas (1,18 g.semilla ⁻¹ ; 1 % p/p; mezcla de 0,5 kg EcoMic [®] .600 mL ⁻¹ de agua)	11 - 14		X	X

p/p: relación peso EcoMic aplicado/peso semilla

Los tratamientos micorrizados recibieron una fertilización mineral equivalente al 25 % de la fertilización mineral NPK recomendada para altos rendimientos en estos suelos. Esta dosis del 25 % se encontró como recomendación óptima para garantizar una simbiosis micorrízica efectiva en el cultivo de la yuca en estos suelos (7). Se incluyeron, además, dos tratamientos controles no inoculados que recibieron 25 y 100 % de la fertilización mineral NPK recomendada (4).

El segundo experimento consistió en estudiar diferentes dosis de EcoMic.ha⁻¹ a utilizar en el recubrimiento de las semillas, partiendo de la variación de las proporciones de EcoMic®/agua en la mezcla, que condujeron también a diferentes relaciones peso inoculante.peso semilla⁻¹ (Tabla I) e incluyó asimismo el recubrimiento o la aplicación solo en las puntas de las semillas con una mezcla de 0,5 kg EcoMic®.600 mL⁻¹ de agua).

Los tratamientos inoculados recibieron, similar al experimento 1, la fertilización mineral recomendada para obtener una simbiosis micorrízica efectiva en el cultivo (7), equivalente al 25 % de la fertilización mineral recomendada para altos rendimientos en estos suelos y se incluyeron, además, otros tres tratamientos no inoculados: testigo absoluto, 25 y 100 % de la fertilización NPK. En ambos experimentos se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas.

El tercer experimento corresponde a un estudio del manejo de la inoculación micorrízica en secuencias de cultivos, pero como el primer cultivo fue la yuca, se utilizan estos tratamientos para también evaluar el efecto de la inoculación micorrízica vía aplicación en las puntas de las semillas, combinada con el 25 % de la fertilización mineral, en comparación con los tratamientos testigos no inoculados: testigo absoluto, 25 y 100 % de la fertilización NPK. El tratamiento de recubrimiento vía aplicación en las puntas de las semillas, en este primer cultivo de la secuencia, se evaluó por triplicado. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas.

Los experimentos se condujeron en el 2004, 2005 y 2006 respectivamente. Las siembras se efectuaron en diciembre de cada año en cuestión, en los primeros dos experimentos, con el clon de ciclo largo "Señorita" y en el tercero con el clon de ciclo medio CMC-40. Las semillas, en todos los casos, provinieron del tallo primario del cultivo, de 20 a 25 cm. De largo, con cinco a siete yemas.semilla⁻¹ y un peso promedio de 125 g.semilla⁻¹.

Con el clon "Señorita" el marco de plantación fue de 0,9 m x 0,9 m y la cosecha se realizó a los 11 meses de la siembra; con el clon CMC-40 el marco de plantación fue de 0,9 m x 1,2 m y la cosecha se realizó a los ocho meses. Las parcelas tenían 40 plantas, de las cuales se evaluaron 18 representativas. En todos los casos, las atenciones culturales se ejecutaron de acuerdo con los Instructivos técnicos del cultivo (14).

En los primeros dos experimentos, la fertilización para los tratamientos del 100 % NPK fue de 140, 62 y 208 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (4), lo

cual garantizó los nutrientes necesarios para obtener altos rendimientos de la yuca en estos suelos. Los portadores utilizados fueron urea (46 % N), superfosfato triple (46 % P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % K₂O). En el tercer experimento, la fertilización para el tratamiento de 100 % NPK consistió en 150 kg N.ha⁻¹, 120 kg P₂O₅.ha⁻¹ y 200 kg K₂O.ha⁻¹ a través de la aplicación de 1,1 t.ha⁻¹ (9-11-17) y 0,1 t urea.ha⁻¹. En todos los experimentos los fertilizantes se aplicaron a los 50 días de la siembra del cultivo.

El inoculante micorrízico correspondió a la cepa *Glomus intraradices* reproducida por el proceso EcoMic® (10) y, en todos los casos, su concentración mínima fue de 20 esporas.g⁻¹. La aplicación se realizó en el momento de la siembra, de acuerdo con la información descrita en la Tabla II. Esta cepa fue seleccionada previamente como eficiente para este tipo de suelo y diferentes cultivos, entre los que se encontraba la yuca (7).

Tabla II. Experimento 1. Efecto de los métodos de inoculación con HMA sobre el rendimiento y porcentaje de colonización de las raíces del clon de yuca 'Señorita'

Tratamiento	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Colonización (%)
1. 25 % NPK	24,67 b	15,1 cd
2. HMA suelo+25 % NPK	33,84 a	61,3 a
3. HMA recubrimiento semilla+25 % NPK	34,47 a	63,0 a
4. 100 % NPK	34,75 a	18,0 b
ES±	0,87**	0,62**

**Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente, según Dócima de Duncan para P≤0.01

En todos los experimentos y al inicio se realizó un muestreo de suelos en la profundidad de 0-20 cm, para evaluar: pH en agua y KCl; MO % (Walkley y Black); P disponible (extracción con H₂SO₄ 0,01 N); K, Ca, Mg y Na (extracción con NH₄Ac, pH 7). Asimismo, se procedió al conteo de esporas de HMA, según el método del decantado-húmedo descrito por Gerdeman y Nicolson (8), utilizándose mallas de 40 y 400 micras.

En todas las parcelas y a los 90 días de sembrada la yuca, se tomaron muestras para evaluar el porcentaje de colonización. La clasificación y tinción de raicillas se realizaron de acuerdo con Phillips y Hayman, y la cuantificación según Giovannetti y Mosse (8).

A los ocho u 11 meses, dependiendo de la variedad, se cosecharon los experimentos de forma manual y por parcela, expresándose los resultados en t.ha⁻¹.

Los resultados experimentales de rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica se procesaron estadísticamente, en correspondencia con el diseño experimental utilizado. Los datos de colonización micorrízica (porcentaje de colonización) fueron transformados por Arc sen √_x. Cuando el análisis de varianza dio significativo, se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiple de Duncan para P≤0.01 %, como criterio de comparación entre las medias de los tratamientos.

RESULTADOS

El recubrimiento del propágulo vegetativo de la yuca (Tabla II), siguiendo la metodología de recubrimiento con inoculante micorrízico para granos (10), garantizó una micorrización efectiva del cultivo y efectos comparables con la inoculación micorrízica aplicada vía suelo debajo de las semillas en dosis de 50 g.planta⁻¹, tanto en el rendimiento, donde ambas permitieron producciones cercanas a 34 t.ha⁻¹, como en el porcentaje de colonización micorrízica, donde alcanzaron valores similares al 60 %.

De igual forma, en este experimento se corroboró que la inoculación con una cepa eficiente de HMA (*G. intraradices*), combinada con la aplicación de 25 % del fertilizante NPK, garantizó altos rendimientos del orden de 34,5 t.ha⁻¹, similar al obtenido con la aplicación del 100 % del fertilizante NPK, y muy superior al tratamiento que solo recibió el 25 % del fertilizante NPK. En todos los casos, el funcionamiento micorrízico de las plantas inoculadas, expresado por el porcentaje de colonización micorrízica, fue significativamente superior al encontrado en las plantas no inoculadas (<19 %).

Las diferencias significativas encontradas entre los rendimientos de los tratamientos de 100 y 25 % NPK, dejaron clara la necesidad de suministrar nutrientes al cultivo de la yuca en estos suelos para obtener altos rendimientos.

En el experimento 2 (Tabla III) se encontró que fue factible disminuir las cantidades de inoculante micorrízico a utilizar en el recubrimiento total de las semillas y que hasta la mezcla que menor cantidad de inoculante necesitó por esta vía (22 kg.ha⁻¹), e incluso la inoculación en las puntas de las semillas (14 kg.ha⁻¹), en presencia siempre de 25 % de la fertilización NPK, garantizaron no solo una simbiosis micorrízica efectiva con similares porcentajes de colonización (60 %) y significativamente superiores a los tratamientos no micorrizados (<8%), sino que también presentaron altos y similares rendimientos en relación con el tratamiento que recibió el 100 % del fertilizante NPK y que rindió 31 t.ha⁻¹.

Asimismo, se encontró que el recubrimiento fue efectivo aún con bajas proporciones de peso EcoMic®/peso de semilla (p/p), que llegaron a ser del orden de 1 a 1,5 %, para los tratamientos con menores dosis de EcoMic®.ha⁻¹.

Los tratamientos micorrizados presentaron rendimientos similares entre sí y significativamente superiores al que recibió también el 25 % de la fertilización mineral, pero que no fue inoculado (23 t.ha⁻¹) y todos muy superiores al rendimiento del testigo absoluto (19,2 t.ha⁻¹). La comparación entre los rendimientos de los tratamientos 100 y 25 % NPK y el testigo absoluto dejaron nuevamente clara la necesidad de suministrar nutrientes al cultivo de la yuca en estos suelos para obtener altos rendimientos.

En el experimento 3 se corroboraron los resultados del experimento 2 y la inoculación vía recubrimiento en las puntas de las semillas en combinación con el 25 % de la fertilización NPK (Tabla IV) garantizó igualmente rendimientos similares al que se obtuvo con el 100 % del fertilizante NPK (34,9 t.ha⁻¹), pero con un funcionamiento micorrízico muy superior.

Tabla IV. Experimento 3. Efecto del recubrimiento en “las puntas” de las semillas sobre el rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica del clon de yuca CMC-40

Tratamientos	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Colonización (%)
Aplicación en las puntas+25 % NPK	34,43 a	69 a
Aplicación en las puntas+25 % NPK	34,85 a	69 a
Aplicación en las puntas+25 % NPK	34,58 a	69 a
Testigo absoluto 0 % NPK	15,99 c	4 b
25 % NPK	21,82 b	5 b
100 % NPK	35,05 a	5,5 b
EsX	0,8 **	0,35**

**Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente, según Dócima de Duncan para P≤0.01

Tabla III. Experimento 2. Efecto de dosis de inoculante a aplicar vía recubrimiento sobre el rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica del clon de yuca ‘Señorita’

Tratamientos	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Colonización (%)
Testigo absoluto	19,12 c	5,5 c
25 % NPK	23,20 b	7,0 b
100 % NPK	31,60 a	7,5 b
50 g EcoMic/planta vía aplicación al suelo + 25 % NPK	29,72 a	59,2 a
15,7 g EcoMic/planta vía recubrimiento semillas + 25 % NPK	31,65 a	60,5 a
7,9 g EcoMic/planta vía recubrimiento semillas + 25 % NPK	31,52 a	60,0 a
4,0 g EcoMic/planta vía recubrimiento semillas + 25 % NPK	31,70 a	60,0 a
2,0 g EcoMic/planta vía recubrimiento semillas + 25 % NPK	31,27 a	60,2 a
1,18 g EcoMic/planta aplicado solo en las puntas de las semillas + 25 % NPK	31,02 a	59,8 a
ES±	0,51**	0,37**

** Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente, según Dócima de Duncan para P≤0.01

También se encontró que los rendimientos del tratamiento micorrizado fueron muy superiores al que solo recibió la dosis de 25 % NPK (21,9 t.ha⁻¹) y ambos muy superiores al testigo absoluto (16 t.ha⁻¹). Como la densidad de plantación de esta variedad fue menor, la cantidad de inoculante utilizado en este experimento fue solo de 11 kg.ha⁻¹.

En todos los experimentos, se encontró una alta reproducibilidad de los rendimientos y efectos originados por los diferentes tratamientos.

DISCUSIÓN

El recubrimiento total de las semillas de yuca con el inoculante EcoMic[®] en la proporción de 12 % peso inoculante/peso semilla y la relación EcoMic[®]/agua recomendada para granos (experimento 1) funcionó adecuadamente y permitió obtener plantas micorrizadas eficientemente, que no se diferenciaron de las obtenidas aplicando cantidades muy superiores de inoculante al suelo, debajo de la semilla en el momento de la siembra, y con los beneficios ambas de una micorrización efectiva.

Sin embargo, las proporciones de 12 % del peso de inoculante/peso de semilla utilizadas, si bien fueron efectivas, condujeron a cantidades demasiado altas de inoculantes (174 kg.ha⁻¹) que impiden una utilización económica de estos, pero que resultaron factibles de disminuirse aún con el recubrimiento total de las semillas hasta 22 kg inoculante.ha⁻¹ (experimento 2), correspondientes a una relación de 1,4 % del peso de inoculante.peso de semilla⁻¹, lo que indica que la proporción de peso inoculante.peso semilla⁻¹, para garantizar una micorrización efectiva vía recubrimiento total de la semilla, disminuye en la medida que el tamaño y peso unitario se incrementan, lo cual corrobora criterios anteriores* al comparar las proporciones recomendadas de peso inoculante.peso de semilla⁻¹ para diferentes cultivos que se siembran por semilla botánica.

La forma específica de emisión de las raíces en el cultivo condujo a la inoculación localizada en las puntas o extremos de las semillas, que permitió no solo una efectiva micorrización sino que se logró con cantidades relativamente pequeñas de inoculante, del orden de 11-14 kg.ha⁻¹ dependiente del marco de plantación. Estas cantidades de inoculante.ha⁻¹ fueron solo un poco superiores a las encontradas para granos, que oscilan entre 1 y 10 kg.ha⁻¹ para aplicaciones manuales (9, 10, 11) y presentan un alto retorno económico dado por el ahorro del 75 % del fertilizante mineral, que se estima en cerca de 200 dólares.ha⁻¹ (15) y los bajos precios del inoculante (2,5 CUP.kg⁻¹). Los resultados sugieren que estas cantidades disminuirán aún más, si la siembra se hace por el sistema de siembra inclinado, en el cual solo se recubrirá la punta de la semilla que se entierra.

Los porcentajes de colonización micorrízica relativamente bajos (<8 %) en los tratamientos no inoculados estuvieron en correspondencia con la baja concentración de esporas de HMA iniciales y no hay dudas de que si bien esta situación fue una condición favorable para la respuesta a la inoculación de cepas eficientes de HMA, no se debe limitar la efectividad de este método de aplicación para cualquier condición en que exista respuesta a la inoculación.

Las bajas cantidades de esporas de HMA iniciales pueden estar relacionadas con el mantenimiento de los suelos limpios de vegetación durante los períodos previos al montaje de los experimentos, de forma similar a lo encontrado por Plenchette (16), así como con la relativamente alta fertilidad química de estos suelos.

Los resultados corroboraron los encontrados por Ruiz (7), en el sentido que la yuca cultivada sobre suelos Pardos mullidos carbonatados e inoculada con *Glomus intraradices* (cepa eficiente HMA para estos suelos), solo necesitó del 25 % de la fertilización mineral NPK para obtener altos rendimientos y similares a los obtenidos con los sistemas intensivos de fertilización mineral (100 % NPK). Estos resultados se explicaron por el incremento en el aprovechamiento de los nutrientes del suelo y los fertilizantes que se obtienen por la micorrización efectiva (6, 9, 15, 17).

Los rendimientos en los tratamientos micorrizados de 30 a 35 t.ha⁻¹ fueron comparables con los mejores obtenidos por el programa internacional *Improved Cassava for the Developing World* (2, 3) en diferentes países de América Latina, Asia y África, los cuales indican que el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica no solo es válido en condiciones de marginalidad, sino en condiciones de cultivo intensivo (9) y es un importante elemento a considerar en los sistemas productivos de este cultivo.

No obstante, la cantidad específica de fertilizantes a suministrar para garantizar la micorrización efectiva de la yuca dependerá del tipo de suelo y disponibilidad de los nutrientes, así como de los requerimientos específicos del cultivo en el agrosistema y, por tanto, indica la necesidad de redefinir las dosis de fertilizantes necesarias para el cultivo micorrizado eficientemente en cada tipo de suelo y asociada a sus contenidos de nutrientes, con el fin de poder alcanzar los beneficios de la utilización efectiva de la simbiosis micorrízica en los sistemas productivos (9, 18).

La efectividad de la inoculación micorrízica vía recubrimiento de las semillas amplía el espectro de cultivos en que el recubrimiento funciona. La inoculación de cepas eficientes de HMA vía recubrimiento se reafirma, como una vía factible para lograr un manejo efectivo de la simbiosis micorrízica en los sistemas productivos, debiéndose integrar con el resto de las prácticas que conforman los sistemas agrícolas.

* Rivera, R.; Martín, G. y González, P. J. Avances en el manejo de la simbiosis micorrízica, vía inoculación, en agrosistemas. Curso Pre-Congreso. XVI Congreso Científico del INCA, 2008.

CONCLUSIONES

- ♦ La inoculación vía recubrimiento de las semillas se mostró como una vía factible de inoculación en el cultivo de la yuca, garantizando siempre una micorrización efectiva y similar a la obtenida a través de la aplicación del inoculante al suelo de 50 g.semilla⁻¹ (555 kg.ha⁻¹), recomendándose el recubrimiento localizado en las puntas de las semillas, por las bajas cantidades de inoculante requeridas (11-14 kg.ha⁻¹).
- ♦ La inoculación con la cepa *Glomus intraradices* garantizó una micorrización efectiva de la yuca en este tipo de suelos, pues el cultivo inoculado y la aplicación de apenas el 25 % de la dosis de NPK recomendada produjo rendimientos altos (30 a 35 t.ha⁻¹) y similares a los obtenidos con la dosis completa de fertilización mineral.

REFERENCIAS

1. FAO. FAOSTAT Base de datos estadística. [on line]. Roma. FAO. [Consultada 2 de abril 2010]. Disponible en: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>.
2. CIAT. Improved Cassava for the Developing World. Project IP-3. Annual Report 2005. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia : Cali, 2006.
3. CIAT. Improved Cassava for the Developing World. Project IP-3. Annual Report 2006. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia : Cali, 2007.
4. Portieles, J. M.; Ruiz L.; Sanchez, E. Estudio del consumo y coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*) *Cienc. Téc. Agric. V. Trop.*, 1983, vol. 6, no. 1-2, p. 85-100.
5. Nguyent, L. T; Gheewala, S. H.; Garivait, S. Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Environ. Sci. Technol.*, 2007, vol. 41, p. 4135-4142. [Consultado 25-01-2008]. Disponible en: <<http://biopact.com/2007/09/ciat-cassava-ethanol-could-benefit.html>>.
6. Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Federal Republic of Germany : Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit GTZ) GMBH, 1991, p. 371.
7. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos Pardos con Carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. [Tesis Doctorado en Ciencias Agrícolas]. La Habana : Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2001, p. 117.
8. Sánchez, C.; Caballero, D.; Rivera, R.; Cupull, R. Respuesta de cepas de hongos micorrizógenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto. Parte I. Suelo Pardo Gleyzoso. *Centro Agrícola*, 2006, vol. 33, no. 1, p. 33-38.
9. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C.; Riera, M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. En: *Mycorrhizae in Crop Production* Chantal Hamel and Christian Plenchette (eds.). Binghamton : Haworth Press, 2007, p. 151-196.
10. Rivera, R. y Fernández, F. Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. En: Norman Uphoff *et al.*, (Eds.). *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, Florida : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, p. 479-489.
11. Hernández, A. Informe de campaña de validación del inoculante EcoMic en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. La Habana : Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2005, 45 p.
12. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D.; Rivero, L. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. La Habana : AGRINFOR, 1999, 46 p.
13. WRB-World Reference Base for Soil Resources. Classification Key. [on line] FAO AGL. [Consultado 15-6-2008]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb_newkey.stm>.
14. CUBA. MINAG. Cartas tecnológicas de las raíces y tubérculos tropicales en suelos Pardos con carbonatos. Santa Clara: MINAG, 2004, 50 p.
15. Plenchette, C.; Clermont-Dauphin, C.; Meynard, J. M. y Fortin, J. A. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Can. J. Plant Sci.*, 2005, vol. 85, p. 31-40.
16. Berbara, R. L. L.; Souza, F. A. y Fonseca, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. En: Fernández, M. (eds) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa : Ed. M. S. Fernandes. SBCS, 2006, p. 53-85.
17. Hamel, C. y Strullu, D. G. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production: Potential and new direction. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, vol. 86, no. 4, p. 941-950.

Recibido: 15 de septiembre de 2009

Aceptado: 10 de mayo de 2010