



SISTEMA INTEGRAL DE NUTRICIÓN CON HMA, ABONOS VERDES Y FERTILIZANTES MINERALES EN *Manihot esculenta* Crantz

Integrated nutrition system with AMF, green manure and mineral fertilizer in *Manihot esculenta* Crantz

José P. Joao¹, Ramón Rivera Espinosa^{2✉}, Gloria Martín Alonso²,
Manuel Riera Nelson³ y Jaime Simó González⁴

Abstract. In recent years the positive results of mycorrhizal inoculant application in different crops and their integration with the mineral fertilization schemes have increased. In order to establish an integrated plant nutrition system for the cultivation of *Manihot esculenta* Crantz, including also green manure and low doses of mineral fertilizer, two field experiments were carried out on Ferralitic Red Lixiviated Soils. In the first one, five levels of mineral fertilizer were studied, in the presence or not of the inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus cubense*/ INCAM-4, in a random block design with factorial arrangement and four replicates. In the second, *Canavalia ensiformis* was introduced as a green manure, preceded and intercalated, and 12 treatments were studied, consisting of mycorrhizal inoculation or not of canavalia and cassava in the presence of a fixed fertilization fund of NPK corresponding to 25 % of fertilization recommended for cassava. Treatments with four doses of fertilizers (0, 25, 50 and 100 % NPK) were also included in a randomized block design with four replicates. The inoculation decreased the fertilizer quantities by 33 % in order to obtain high yields and increased its agronomic efficiency by 67 %, with the crop showing a good mycorrhizal function. The inclusion of the previous and intercalated inoculated canavalia decreased in another 33 % plus the amounts of mineral fertilizer, with a positive response to the intercalation in the yield ($P < 0,05$ %) and doubling the agronomic efficiency of fertilizers.

Key words: *Canavalia ensiformis*, fertilization efficiency, red ferralitic, AMF, yuca

RESUMEN. En los últimos años se incrementan los resultados positivos de la aplicación de los inoculantes micorrízicos en diferentes cultivos y su integración con los esquemas de fertilización mineral. Con el objetivo de establecer un sistema integral de sistema integral de suministro de nutrientes para el cultivo de *Manihot esculenta* Crantz, incluyendo además abonos verdes y bajas dosis de fertilizantes minerales, se ejecutaron dos experimentos de campo en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. En el primero se estudiaron cinco niveles de fertilizantes minerales, en presencia o no de la inoculación con la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus cubense*/ INCAM-4, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas. En el segundo se incorporó la *Canavalia ensiformis* como abono verde precedente e intercalado y se estudiaron 12 tratamientos conformados por la inoculación micorrízica o no, de la canavalia y de la yuca en presencia de un fondo fijo de fertilización de NPK correspondiente al 25 % de la fertilización recomendada para el cultivo. Se incluyeron además tratamientos con cuatro dosis de fertilizantes (0, 25, 50 y 100 % NPK), en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. La inoculación disminuyó en 33 % las cantidades de fertilizantes para obtener altos rendimientos e incrementó en 67 % la eficiencia agronómica de este, presentando el cultivo un buen funcionamiento micorrízico. La inclusión de la canavalia inoculada precedente e intercalada disminuyó en otro 33 % más las cantidades de fertilizantes minerales, con una respuesta positiva al intercalamiento en el rendimiento ($P < 0,05$ %) y duplicando la eficiencia agronómica de los fertilizantes.

Palabras clave: *Canavalia ensiformis*, eficiencia de la fertilización, ferralítico rojo, HMA, yuca

¹Facultad de Agronomía, Universidad José Eduardo dos Santos, Angola

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700

³Universidad de Guantánamo

⁴Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Departamento de Fitotecnia, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba, CP 53000

✉ rrivera@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La yuca es el cuarto producto básico alimenticio en importancia después del arroz, trigo y maíz, formando parte de la dieta de más de 1000 millones de personas (1) y en el año 2015 se produjeron

mundialmente 270 Tg de yuca en base fresca, de los cuales aproximadamente el 65 % se utilizaron para la alimentación humana (2) y el resto para la alimentación animal y como una fuente eficiente de etanol (3).

Si bien es un cultivo rústico que se puede cultivar también en condiciones de suelos ácidos y poco fértiles para garantizar altos rendimientos, del orden de 40 a 60 t ha⁻¹año⁻¹ se requieren de cantidades considerables de fertilizantes u otras fuentes de nutrientes (3). En Cuba se recomiendan dosis de 140 kg ha⁻¹ de N, 50 a 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y de 160 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O para rendimientos de 35 t ha⁻¹, en dependencia del tipo de suelo (4); aunque, debido a la capacidad financiera del país solo se está fertilizando no más del 20 % de la superficie plantada, contribuyendo a los bajos rendimientos promedios obtenidos de 6,34 t ha⁻¹ (5) y a la disminución paulatina de la fertilidad del suelo.

Este cultivo presenta alta dependencia a la micorrización (6) y a fines del pasado siglo comenzaron en el país diversas investigaciones para integrar los beneficios de un funcionamiento micorrízico efectivo, asociados con incrementos en la absorción de nutrientes (7-8), dentro de los esquemas de suministro de fertilizantes a los cultivos (9,10). Se dispone de resultados para este cultivo en suelos Pardos mullidos carbonatados (11), pero en el caso de los suelos Ferralíticos Rojos, si bien existe recomendación de que cepa de hongo micorrízico arbuscular (HMA) utilizar (12), no hay resultados publicados sobre las cantidades de fertilizantes que requiere el cultivo de la yuca inoculado para garantizar altos rendimientos y un funcionamiento micorrízico satisfactorio.

En paralelo, se han ejecutado trabajos en otros cultivos, utilizando *Canavalia ensiformis* inoculada con cepas eficientes de HMA, como abono verde precedente, para potenciar no solo la producción de biomasa y reciclaje de nutrientes para la nutrición del cultivo económico posterior, sino también como vía para micorrizar este (13,14). En el cultivo de la yuca si bien existe información sobre la utilización satisfactoria de especies de abonos verdes como precedentes (3), no existe información publicada que integre el manejo de estos abonos verdes con la inoculación micorrízica y su relación con los esquemas de suministro de nutrientes para este cultivo.

Por todo lo anterior se desarrolla este trabajo con los objetivos de evaluar la factibilidad y beneficios del uso de *C. ensiformis*, tanto precedente como intercalada, e inoculantes micorrízicos en los esquemas de suministro de nutrientes en el cultivo de la yuca, para disminuir las cantidades de fertilizantes y aprovechar más eficientemente estos, garantizar altos rendimientos y sentar las bases para la implementación de nuevas tecnologías sostenibles para el cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se ejecutaron en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (15), también clasificado como Nitisol ferrálico, róxico, líxico y eútrico (16), en las áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en San José de las Lajas, provincia Mayabeque, a los 23° 01' de latitud Norte y 82° 08' de longitud Oeste y a 120 ms.n.m.

El suelo presentó un pH neutro, con contenidos altos de Ca y medios de Mg intercambiables, del orden de 11,9 y 2,6 cmol_c kg⁻¹ respectivamente, los cuales resultan típicos para estos suelos (Tabla I). El contenido de materia orgánica si bien fue medio, indicó un buen estado de conservación para un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (17) con cultivo continuo (Tabla II). El contenido de fósforo disponible fue elevado y relacionado con continuadas aplicaciones previas de fertilizantes minerales. Las esporas micorrízicas residentes fueron bajas y posiblemente asociadas con las aplicaciones anteriores de fertilizantes y la alta disponibilidad de fósforo en el suelo.

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)

pH H ₂ O	MO g kg ⁻¹	P (mg kg ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ⁺	Cantidad Esporas 50 g ⁻¹ suelo
6,6	32,0	341,2	0,12	0,25	11,9	2,4	70

*Valores promedios de seis muestras

CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los años experimentales se caracterizaron por precipitaciones anuales superiores a la media de los últimos 25 años (Figura 1), con registros del orden de los 1700 mm anuales en ambos años y con promedios mensuales en el periodo lluvioso entre 218 y 250 mm, los cuales resultan adecuados para el cultivo de la yuca (18); no obstante, el año 2012 presentó valores muy bajos de precipitaciones en noviembre y diciembre y que continuaron siendo muy bajas en enero y febrero de 2013 (Figura 1). El régimen de temperatura fue relativamente similar en los dos años y con valores cercanos a la media histórica anual de 24,2 °C, siendo representativo de esta zona enclavada en la región occidental de Cuba.

EXPERIMENTOS EJECUTADOS

Se ejecutaron dos experimentos. En el primero se estudió la respuesta de *Manihot esculenta* Crantz a la inoculación de la cepa de *Glomus cubense*/INCAM-4 (19), cepa eficiente para esta condición edáfica (12), combinada con diferentes dosis de fertilizante NPK. en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial de

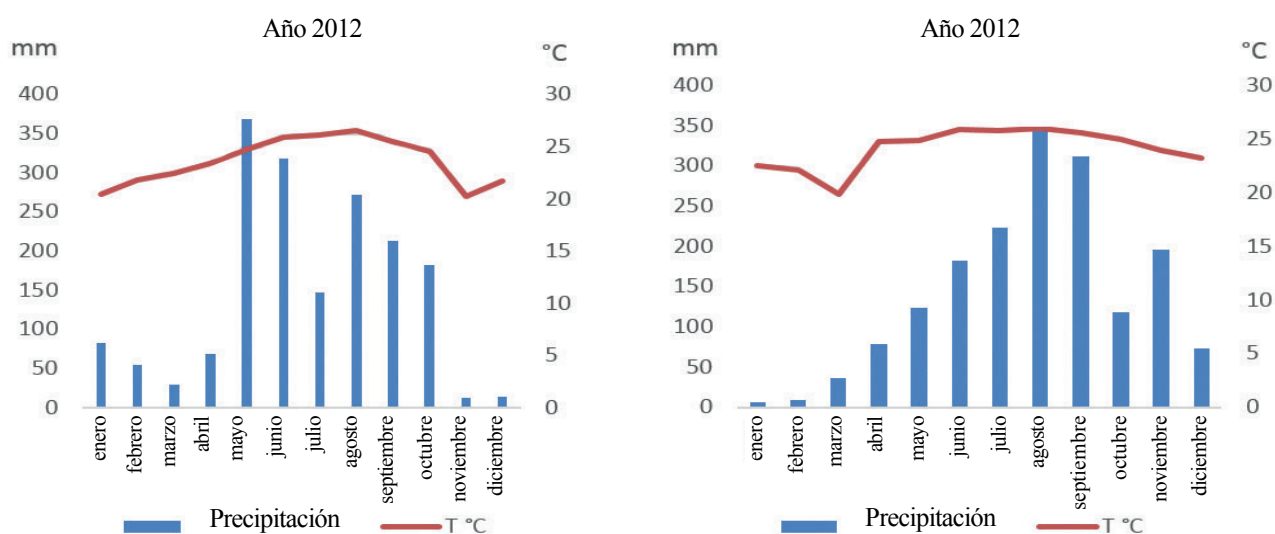


Figura 1. Precipitaciones mensuales (mm) y temperatura media mensual (°C) durante ambos años experimentales. Datos provenientes de la Estación # 78374 del Instituto de Meteorología de Cuba, ubicada a 1 km del área experimental

2 x 5, con cuatro réplicas. El factor inoculación con dos niveles, con y sin. Los niveles del factor fertilización fueron: 0, 25, 50, 75 y 100 % de la dosis NPK recomendada por el Instructivo Técnico del cultivo (4). El clon utilizado fue CMC-40, con un marco de plantación de 0,90 x 1,2 m. Las parcelas tenían 32 plantas, de las cuales se evaluaron 12. La inoculación de la yuca se realizó vía recubrimiento en la punta de las estacas (20), con una cantidad de 13 kg ha⁻¹ de inoculante. El experimento se plantó el 18 de febrero de 2012 y la cosecha se realizó a los 10 meses de plantada.

En el segundo experimento se estudió la respuesta de *M. esculenta*, clon CMC-40, a diferentes tratamientos conformados por la utilización de *C. ensiformis* como abono verde precedente e intercalado y la inoculación con la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 tanto de la canavalia como de la yuca y siempre en presencia de un fondo fijo del 25 % NPK. Se incluyeron además cuatro tratamientos que consistieron en la aplicación de 0, 25, 50 y 100 % de la dosis de fertilización NPK recomendada para altos rendimientos (4), para un total de 12 tratamientos, en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. El experimento se desarrolló en dos etapas, la primera se correspondió con la siembra del abono verde precedente y la segunda con la plantación de la yuca en presencia o no del intercalamiento de la canavalia. Los tratamientos estudiados se presentan en la Tabla II. Las parcelas presentaban 3,6 metros de ancho y 11 metros de largo.

La canavalia precedente se sembró el 10 de septiembre de 2012, con un marco de siembra de 20 cm entre plantas y 45 cm entre calles. La inoculación de la canavalia se realizó vía recubrimiento de las semillas y aplicando 10 kg ha⁻¹

de inoculante (13). A los 65 días de sembrada (dds) se le dio un primer corte a 15 cm de altura, el segundo a los 125 dds y se incorporó en el suelo hasta 15 cm de profundidad con un arado de disco. La canavalia no se regó ni se fertilizó. Los tratamientos que no incluían la canavalia precedente se dejaron en barbecho (Tabla II), este se eliminó el 15 de enero y se procedió de forma similar a como se incorporó la canavalia.

El clon de yuca CMC-40 se plantó en las mismas parcelas el 5 de febrero de 2013, de acuerdo con los tratamientos estudiados (Tabla II), con un marco de plantación de 0,9 x 1,1 m, utilizando 14 plantas de cálculo. La inoculación de la yuca se realizó de forma similar a la efectuada en el primer experimento. A los 45 días de plantada la yuca se realizó un aporque (4), e inmediatamente después y de acuerdo con los tratamientos, se intercaló en el centro de cada calle un doble surco de canavalia, separado por 20 cm entre si y a 35 cm de cada hilera de yuca. La canavalia se inoculó de acuerdo a los tratamientos (Tabla II) y se manejó de forma similar a la precedente, arrojando el material vegetal de cada corte sobre las hileras de yuca. La cosecha de la yuca se ejecutó de forma manual en cada parcela a los nueve meses de plantada.

En ambos experimentos se realizaron riegos semanales hasta garantizar la germinación total de las estacas de yuca y se continuaron cada 10 días hasta el inicio del periodo lluvioso. El resto de las atenciones culturales se ejecutaron de acuerdo con el Instructivo Técnico (4).

Características del inoculante. El inoculante estuvo conformado por propágulos de la cepa de *G. cubense*/INCAM-4, perteneciente a la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas de Cuba. En todos los casos el inoculante poseía como mínimo 25 esporas g⁻¹.

Tabla II. Características de los tratamientos estudiados en el experimento 2

Etapa precedente	Etapa del cultivo de la yuca		Dosis de fertilizante mineral aplicada (% NPK)
	Cultivo principal	Cultivo intercalado	
Canavalia _p MA	Yuca MA	Canavalia _i MA	25
Canavalia _p MA	Yuca MA		25
Canavalia _p MA	Yuca	Canavalia _i MA	25
Canavalia _p MA	Yuca		25
Canavalia _p	Yuca MA	Canavalia _i MA	25
Canavalia _p	Yuca MA		25
Canavalia _p	Yuca	Canavalia _i	25
Canavalia _p	Yuca		25
Barbecho	Yuca		
Barbecho	Yuca		25
Barbecho	Yuca		50
Barbecho	Yuca		100

Subíndices p, i: precedente e intercalada respectivamente
 MA: inoculación con la cepa de *G. cubense*/INCAM-4
 100 % NPK: 100, 40 y 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente (4)

Fertilización. En ambos experimentos la fertilización se realizó a los 60 días de plantada la yuca y de acuerdo con los tratamientos. Las cantidades de fertilizantes equivalentes a 100 % NPK fueron 100, 40 y 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente (4). Se utilizaron como portadores la fórmula completa (9-13-17), la urea (46-0-0) y el cloruro de potasio (0-0-60).

METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LAS EVALUACIONES

Análisis químico de los suelos

Se tomaron muestras compuestas entre 0 y 20 cm de profundidad al inicio de los experimentos, a lo largo y ancho del área experimental. Las determinaciones realizadas fueron: pH H₂O con relación suelo: solución de 1:2,5; materia orgánica por el método de Walkley y Black; P asimilable (mg kg⁻¹) por extracción con H₂SO₄ 0,1N; cationes intercambiables (cmol_c kg⁻¹), por extracción con NH₄Ac 1 mol L⁻¹ a pH 7 (21).

Conteo de esporas micorrízicas. Se realizó en las muestras iniciales de suelo. Se siguió el método de tamizado y decantado por vía húmeda (22).

Colonización micorrízica y densidad visual. Se determinaron siempre por parcela, tanto en la canavalia como en el cultivo de la yuca. Se pesaron aproximadamente 200 mg de raicillas que fueron secadas a 70 °C, para ser teñidas (23). La evaluación de la colonización se realizó por el método de los interceptos, (24) y la densidad visual por el método propuesto por Trouvelot (25).

Determinación de la biomasa de los abonos verdes. Se realizó en cada corte. En la canavalia precedente se tomaron las plantas que se encontraban en 1,0 m² en el centro de cada parcela y en el caso de las intercaladas las que se encontraban en un metro lineal. Las plantas se separaron en hojas y tallos y se determinaron masa fresca y masa seca. La biomasa se expresó en base seca en t ha⁻¹.

Concentración de N, P y K (g kg⁻¹). Se determinaron a partir de una digestión húmeda con H₂SO₄ + Se. Se utilizó el método de Nessler para determinar el N, el reactivo aminonaftol sulfónico para el P y fotometría de llama para el K (21).

Contenidos de N, P y K en los abonos verdes. La extracción de N, P y K, se calculó a partir de los datos de la masa seca de la parte aérea y su correspondiente concentración de cada elemento (g kg⁻¹). Se expresó en kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O.

Rendimiento de raíces comerciales (t ha⁻¹). Los experimentos se cosecharon de forma manual y se cuantificó separadamente en raíces comerciales y no comerciales en cada parcela. Los resultados se expresaron en t ha⁻¹ de raíces comerciales, de acuerdo con el marco de plantación utilizado.

Eficiencia agronómica (kg kg⁻¹). La eficiencia agronómica (EA) de la fertilización mineral (NPK) en los diferentes tratamientos se calculó a partir de los rendimientos de los tratamientos (Rdto Tratamiento) en cuestión y el testigo no fertilizado (Rdto Control) de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$EA = \frac{[\text{Rdto Tratamiento (t ha}^{-1}\text{)} - \text{Rdto Control (t ha}^{-1}\text{)}] \times 1000}{\text{Fertilizante aplicado (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Como en ambos experimentos los niveles de fertilización estudiados consistieron en porcentajes de la recomendación de fertilizantes NPK (4), para la estimación de la EA, los kg ha⁻¹ de fertilizante aplicado se calcularon sumando las cantidades de los tres macronutrientes primarios adicionados en cada tratamiento.

En el primer experimento se calculó también la Eficiencia Agronómica de las aplicaciones de fertilizantes en los tratamientos inoculados, pero con relación al rendimiento del tratamiento inoculado que no recibió fertilizantes y de esta forma establecer la Eficiencia Agronómica del fertilizante en presencia del cultivo inoculado. En el segundo experimento además de calcular la EA del tratamiento conjunto, se estimó la participación de los diferentes componentes (1.fertilización, 2.uso combinado de la canavalia precedente y la inoculación micorrízica arbuscular (MA) y 3. el intercalamiento de la canavalia inoculada), en dicha Eficiencia Agronómica de la siguiente forma.

Participación del uso combinado de la canavalia_p y la inoculación MA en la EA = [promedio de las diferencias entre los rendimientos de los tratamientos con canavalia_p y MA (sin intercalamiento) con relación al rendimiento del tratamiento 25 % NPK] x1000 y dividido por la cantidad de fertilizante aplicada en el tratamiento 25 % NPK.

Participación de la canavalia inoculada intercalada en la EA (EA Can_iMA) = (promedio de las diferencias en rendimiento entre los tratamientos homólogos con y sin canavalia_iMA) x 1000 y dividido por la cantidad de fertilizante aplicada en el tratamiento 25 % NPK.

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Se verificaron en cada caso los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene (26,27). Se realizaron en cada experimento y de acuerdo al diseño utilizado, los análisis de varianza de clasificación doble en las diferentes variables. Las diferencias entre tratamientos se establecieron por la prueba de Duncan a $P \leq 0,05$ (28). En el experimento 2 se estableció mediante una prueba de t ($P < 0,01$) el efecto de la inoculación MA en la canavalia precedente y en la canavalia intercalada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

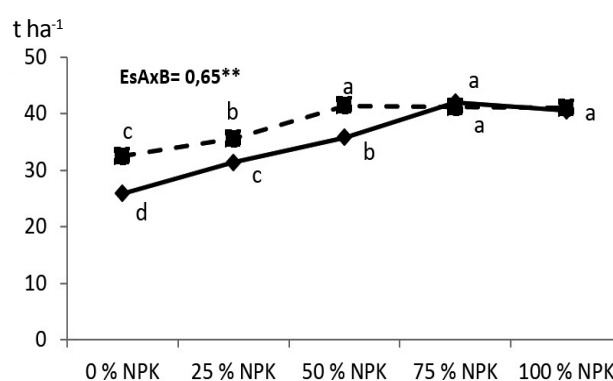
INTEGRACIÓN DE LA INOCULACIÓN CON CEPAS EFICIENTES DE HMA Y DOSIS DE FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE LA YUCA

El cultivo de la yuca en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado respondió significativamente a los factores fertilización mineral (NPK) e inoculación micorrízica, siendo significativa asimismo la interacción entre ambos ($P < 0,05$). De forma que, en estas condiciones de suelo ya con la aplicación de solo el 75 % de la dosis de fertilizante NPK recomendada en el Instructivo (4) y que se corresponde con 75-30-112,5 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, fue suficiente para alcanzar los mayores rendimientos del orden de 40 t ha⁻¹ de raíces comestibles (Figura 2) y similares a los obtenidos con la dosis de fertilizante NPK recomendada (100% NPK).

En presencia de la inoculación de la cepa de *G. cubense*/INCAM-4, las necesidades de fertilizantes minerales disminuyeron y entonces solo aplicando el 50 % de la dosis recomendada (4), fue suficiente para obtener rendimientos altos y similares a los obtenidos en el mejor tratamiento que solo recibió fertilizantes minerales (Figura 2). La disminución de las cantidades de fertilizantes necesarias para garantizar altos rendimientos, por acción de la inoculación de cepas eficientes, fue por tanto de un 33 % en estas condiciones.

En la Figura 3 se muestran las variaciones de la colonización total y densidad visual cuando se combinaron los diferentes factores en estudio.

La inoculación con la cepa de *G. cubense* originó términos de interacción significativos ($P < 0,05$), con valores siempre superiores en ambos indicadores cuando se compararon con los homólogos no inoculados. Se encontró inicialmente en los tratamientos inoculados un incremento creciente con la aplicación de las dosis de fertilizantes y los máximos valores se encontraron con la aplicación del 50 %, que se diferenciaron significativamente de los obtenidos con los otros tratamientos inoculados. El incremento de la fertilización por encima de esta dosis, originó una disminución en ambos indicadores del funcionamiento micorrízico.

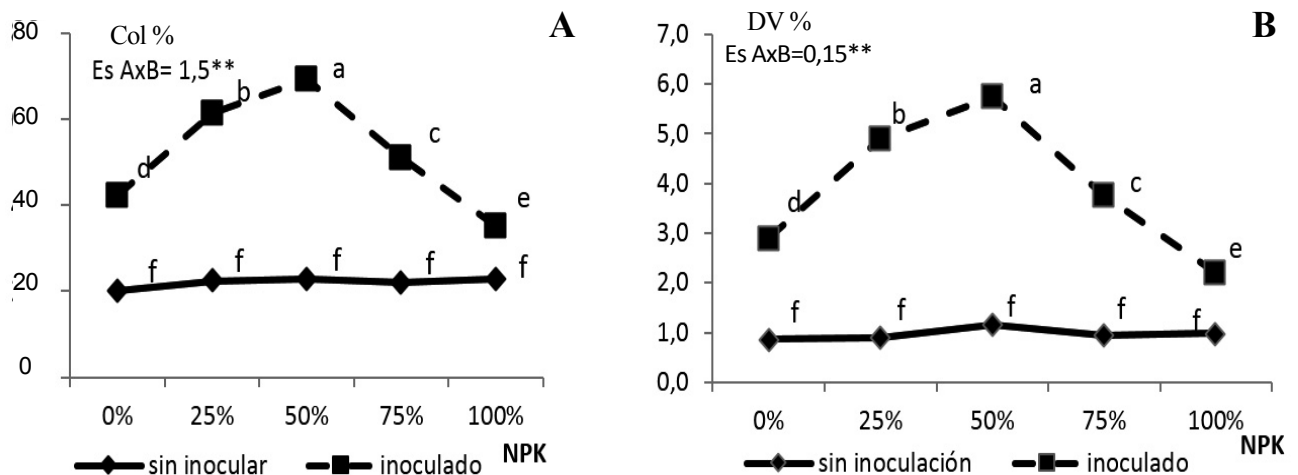


Letras diferentes conllevan a diferencias significativas a $P < 0,05$ de acuerdo con la prueba de Duncan. Dosis de 100 % NPK equivale a 100, 40 y 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente

Figura 2. Experimento 1. Efecto de la inoculación de la cepa de *G. cubense* (INCAM-4) en las cantidades de fertilizante mineral necesarias para garantizar altos rendimientos en el cultivo de la yuca (Clon CMC-40) en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados

Es de señalar que los resultados obtenidos en los porcentajes de colonización del mejor tratamiento, cercanos al 70 %, fueron indicativo de un buen funcionamiento, a partir de los resultados reportados en el cultivo de la yuca (11,20) y en otros diversos cultivos (10,11). Asimismo, los valores de densidad visual también fueron altos, aunque no existían reportes anteriores de este indicador en el cultivo de la yuca en Cuba. En *Brachiaria decumbens* se reportaron también valores entre 5 y 7 % de densidad visual asociados a un funcionamiento micorrízico efectivo (10). Los resultados encontrados permiten relacionar los efectos positivos de la inoculación en la disminución de las cantidades de fertilizantes necesarias para garantizar altos rendimientos (Figura 2), con el mayor funcionamiento micorrízico obtenido por las plantas de yuca inoculadas.

Si bien internacionalmente se incrementan los resultados positivos por la inoculación de cepas de HMA en diferentes cultivos (29-32); no obstante, son escasos los trabajos realizados internacionalmente que integren la inoculación con los esquemas de fertilización.



Letras diferentes conllevan a diferencias significativas a $P < 0,05$ de acuerdo con la prueba de Duncan. Dosis de 100 % NPK equivale a 100, 40 y 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente

Figura 3. Experimento 1. Efecto de la inoculación de la cepa de *G. cubense* (INCAM-4) y de dosis de fertilizantes minerales en: (A) porcentajes de colonización y (B) densidad visual (DV) en el cultivo de la yuca (Clon CMC-40) en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados

La disminución de las necesidades de fertilizantes asociadas a la inoculación de cepas eficientes de HMA, garantizando altos rendimientos con satisfactorio funcionamiento micorrízico y estado nutricional, ha sido uno de los beneficios más comúnmente encontrados con la aplicación de estos inoculantes en Cuba, en diferentes cultivos como boniato, ñame, banano, braquiarias, tomate, entre otros (10,11,33,34). En el caso específico del cultivo de la yuca, los resultados publicados se corresponden con los obtenidos en los suelos Pardos mullidos carbonatados (11,20), reportando que en presencia de la inoculación de HMA solo fue necesario aplicar el 25 % de la dosis de NPK recomendada para obtener altos rendimientos (4), aunque dependiente del cultivo y de la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

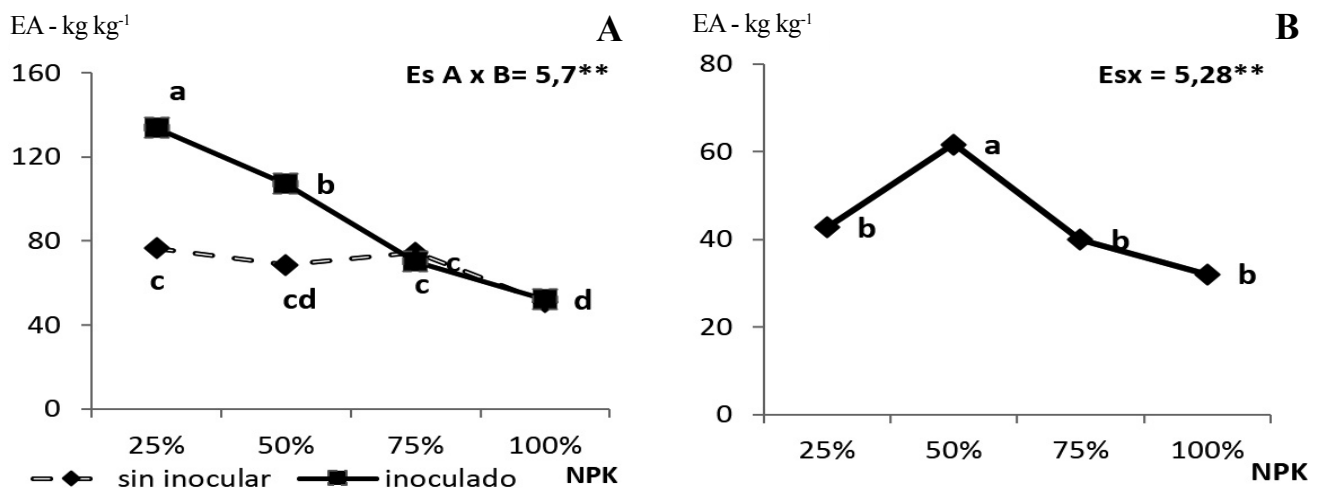
Los resultados obtenidos asimismo corroboraron los planteamientos de que las plantas inoculadas con las cepas eficientes de HMA requieren de un suministro adecuado de nutrientes para garantizar tanto el crecimiento y rendimiento del cultivo, como un funcionamiento micorrízico óptimo (10) y que en este caso fue obtenido con la dosis de 50 % NPK, la que se corresponde con un suministro subóptimo de nutrientes para el cultivo no inoculado (Figura 2) y coincidente con los criterios generales de que un funcionamiento micorrízico efectivo se establece en condiciones de suministros subóptimos de nutrientes (7,35).

En los tratamientos que solo recibieron fertilización mineral (Figura 4A), los valores de la eficiencia agronómica (EA) del fertilizante aplicado se mantuvieron con valores similares hasta la dosis de 75 % NPK, a partir de la cual disminuyeron y asociado con que se

encontró una respuesta lineal a la fertilización hasta la dosis de 75 % NPK y sin incrementos en rendimiento por la adición de dosis superiores (Figura 2). La inoculación de la cepa eficiente de HMA incrementó significativamente ($P < 0,05$) la eficiencia agronómica del fertilizante aplicado (Figura 4A) en las dosis de 25 y 50 % NPK y para dosis mayores fueron similares a los encontrados con la fertilización mineral e indicativo también de que ya por encima de la dosis de 50 % NPK el efecto de la inoculación fue desapareciendo (Figuras 2 y 3).

El valor superior de la EA en el tratamiento inoculado que recibió la dosis del 25 % NPK, si bien sugirió que en presencia de las dosis más bajas de fertilizantes las plantas inoculadas logran convertir más eficientemente el fertilizante en rendimiento, no significa que con esta dosis se haya alcanzado el mayor funcionamiento micorrízico y por ende los mayores rendimientos por efecto de la inoculación, los cuales se alcanzaron en el tratamiento inoculado que recibió 50 % de la fertilización NPK (Figuras 2 y 3). Este comportamiento encontrado con la aplicación de la dosis del 25 % NPK, está muy influido por el incremento en rendimiento que se alcanza al inocular el cultivo en ausencia de fertilización (Figura 2).

Cuando la EA se calculó en relación al rendimiento del control inoculado y sin fertilizar (Figura 4B), se eliminó el efecto anteriormente planteado y entonces los valores máximos de EA se obtienen precisamente con la dosis que garantizó los mayores rendimientos y funcionamiento micorrízico, indicando que en las condiciones de mayor funcionamiento micorrízico, se alcanzó mayor eficiencia del fertilizante aplicado.



En la Figura A se calcularon en relación al rendimiento promedio del tratamiento no inoculado y sin fertilización y en la B con respecto al tratamiento inoculado y sin fertilización. Letras diferentes conllevan a diferencias significativas a $P < 0,05$ de acuerdo con la prueba de Duncan

Figura 4. Experimento 1. Efecto de la inoculación con la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 y la fertilización en la Eficiencia Agronómica (EA)

INTEGRACIÓN DE LA INOCULACIÓN CON LA CEPA DE *G. CUBENSE* (INCAM-4), *C. ENSIFORMIS* PRECEDENTE E INTERCALADA Y DOSIS DE FERTILIZANTE MINERAL

Efecto de la inoculación con *G. cubense* en la canavalia

La inoculación de *G. cubense* incrementó significativamente ($P > 0,05$) la producción de biomasa de *C. ensiformis* utilizada como abono verde precedente (Tabla III), en cualquiera de los dos periodos de crecimiento, con incrementos promedios del 20 %. En el primer corte presentó un comportamiento adecuado para la época climática de acuerdo con los resultados obtenidos por varios autores (13,14) y asociado con el favorable régimen de precipitaciones en ese periodo (Figura 1); no obstante, la producción de biomasa para el segundo corte, enmarcado en un periodo de crecimiento de escasas precipitaciones y de menores cantidades de horas luz, fue mucho menor y del orden 40 % de la obtenida en el primer corte.

La inoculación incrementó significativamente los contenidos de los tres macronutrientes en la canavalia (Tabla III), oscilando estos entre 6 y 14 %, dependiente del macronutriente en cuestión, así como las cantidades de macronutrientes extraídos se incrementaron entre 33 a 37 %, indicando efectos notables por la inoculación. Una conducta similar fue obtenida al inocular canavalia con la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 en suelos similares (13) y con la cepa eficiente de *R. intraradices*/INCAM-11 en suelos Pardos mullidos carbonatados (14),

con incrementos del 20 al 30 % en biomasa y del 30 al 40 % en las cantidades de nutrientes extraídos.

En correspondencia, la inoculación incrementó el porcentaje de colonización y la densidad visual en la canavalia (Tabla IV), alcanzando la canavalia inoculada a los 60 días de sembrada (dds) valores cercanos al 60 % de colonización y valores de DV de 5,0 % que de acuerdo con resultados previos obtenidos en canavalia, (13,14), fueron indicativos de un funcionamiento micorrízico satisfactorio. Las esporas micorrízicas se incrementaron significativamente al inocular la canavalia (Tabla IV), aunque con incrementos menores a los encontrados por otros autores en este mismo tipo de suelo (13); no obstante, comprueban que esta práctica resultó una vía efectiva para incrementar la población de propágulos micorrízicos y enfrentar el cultivo posterior a un alto potencial de inoculación en el suelo (16).

EFFECTO DE *C. ENSIFORMIS* PRECEDENTE E INTERCALADA Y SU COMBINACIÓN CON LA INOCULACIÓN DE *G. CUBENSE* Y DOSIS DE FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE LA YUCA

En los tratamientos que solo recibieron fertilizantes minerales, se encontró una significativa y creciente respuesta a las dosis de fertilizantes aplicadas (Figura 5). Los mayores rendimientos y del orden de 42 t ha⁻¹ se alcanzaron con la dosis del 100 % NPK, con diferencias significativas ($P < 0,05$) a los obtenidos con el resto de los tratamientos estudiados de fertilización mineral.

Tabla III. Experimento 2. Efecto de la inoculación de la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 en diferentes indicadores de crecimiento y contenidos nutricionales de *C. ensiformis* utilizada como cultivo precedente

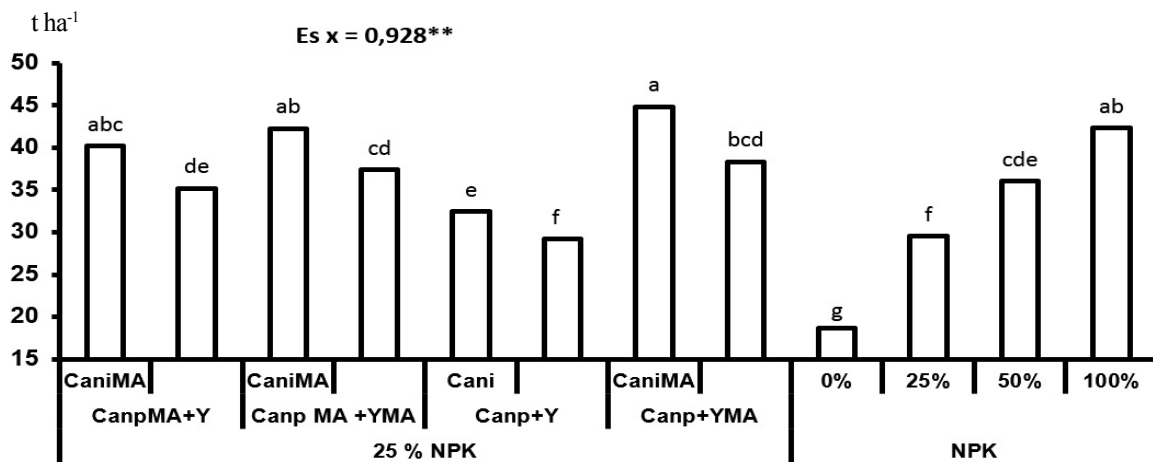
	MS 1 ^{er} Corte	MS 2 ^{do} Corte	N ⁽¹⁾	P	K	N ⁽²⁾	P ₂ O ₅	K ₂ O
	t ha ⁻¹		g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Canavalia -MA	5,44 a	2,23 a	27,9 a	2,28	21,8 a	214,1 a	40,0 a	200,6 a
Canavalia	4,44 b	1,83 b	25,3 b	2,0	20,0 b	158,6 b	28,7 b	150,6 b
Es X	0,22**	0,07**	0,05**	0,03	0,04**	9,11**	1,79**	6,67**

(1) Los contenidos de nutrientes son promedios de los dos ciclos de crecimiento, mientras que las cantidades de nutrientes (2) fueron las acumuladas en los dos cortes. Letras diferentes en cada columna implican diferencias significativas a P < 0,01

Tabla IV. Experimento 2. Efecto de la inoculación con la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 en diferentes indicadores del funcionamiento micorrízico de *C. ensiformis* a los 60 dds

	Colonización %	Densidad Visual %	No. Esporas HMA en 50 g
<i>C. ensiformis</i> + MA	59,0 a	5,01 a	188,3 a
<i>C. ensiformis</i>	42,0 b	3,54 b	116,5 b
Es x	1,6 **	0,18 **	11,68**

MA: inoculación con *G. cubense*/INCAM-4. ** significación a P<0,01. Letras diferentes en cada columna implican diferencias significativas a P < 0,01



Letras diferentes conllevan a diferencias significativas a P<0,05. Can_pMA: canavalia precedente inoculada. Can_p: canavalia precedente no inoculada. YMA: inoculación de la yuca en la plantación. Y: plantación de yuca sin inocular. Can_iMA: canavalia intercalada inoculada. Can_i: canavalia intercalada sin inocular

Figura 5. Experimento 2. Efectos de la utilización de *C. ensiformis*, inoculación con *G. cubense*/INCAM-4 y fertilización mineral en el rendimiento de raíces comerciales del clon CMC-40, en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado

En los tratamientos con canavalia precedente se obtuvo una respuesta significativa en el rendimiento de la yuca a la inoculación micorrízica, bien fuera inoculando la canavalia o el cultivo de la yuca, de forma tal que en los tratamientos que no se inocularon, los rendimientos de la yuca siempre fueron significativamente menores. La utilización del abono verde intercalado, inoculado o no, también presentó una respuesta significativa (P<0,05) y su presencia siempre incrementó los rendimientos del cultivo de la yuca cuando se comparó con los tratamientos homólogos en que no estaba presente el intercalamiento; no obstante, los efectos fueron mayores cuando la canavalia intercalada fue inoculada (t = 3,8**).

La aplicación de canavalia precedente e intercalada y la inoculación con *G. cubense* garantizó altos rendimientos (45 t ha⁻¹) necesitando solo del 25 % de la fertilización mineral NPK (4) y con rendimientos similares a los obtenidos fertilizando con las dosis del 100 % NPK, superando los efectos encontrados con la simple aplicación del inoculante micorrízico (Figura 2). En estos tratamientos no solo se alcanzaron los mayores rendimientos (Figura 5), sino que la EA como mínimo se duplicó al compararla con la EA obtenida cuando solo se aplican fertilizantes minerales (Tabla V).

La contribución específica de cada una de estas prácticas en la EA, reflejaron que la aplicación conjunta de canavalia precedente e intercalada y la inoculación de HMA presentó una contribución superior en la EA que el de la fertilización mineral, lo cual en unión de los mayores rendimientos alcanzados dejan clara la importancia de esta aplicación conjunta en presencia de bajas dosis de fertilizantes minerales para el diseño de tecnologías del cultivo.

Es de señalar que el intercalamiento del abono verde conllevó a una considerable producción de biomasa (Tabla VI), que fue superior cuando este se inoculó. La canavalia no solo cubrió rápidamente las calles y por esta vía controló la vegetación indeseable; sino, que esta biomasa de baja relación C/N cuando se cortó y se arrojó sobre el surco de yuca, al presentar una rápida descomposición (36), debe poner a disposición del cultivo cantidades importantes de macronutrientes. Además, al aumentar los propágulos micorrízicos, incrementó el potencial de inoculación sobre la plantación de yuca y pudo colaborar en mantener un funcionamiento micorrízico adecuado en este cultivo y los beneficios del mismo, de forma similar a como se reporta para plantaciones de *Morus alba* intercaladas con canavalia inoculada con esta cepa, en este mismo tipo de suelo (37).

En Nigeria se han ejecutado diversos trabajos combinando la aplicación de inoculantes micorrízicos

y el intercalamiento de la yuca en plantaciones de diferentes especies arbóreas como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Senna siamea* en sistemas denominados "alley crops", con incrementos significativos en los rendimientos de la yuca (38,39); no obstante, las altas cantidades de inoculantes utilizados en estos experimentos de 100 a 200 kg ha⁻¹, parecen impedir la utilización masiva de estos resultados.

En Cuba en experimentos conducidos en banano, se encontró que la utilización de los inoculantes micorrízicos disminuyó en 25 % las cantidades de abonos para garantizar altos rendimientos (33) y que la presencia adicional de *C. ensiformis* inoculada con HMA y utilizada como precedente e intercalada, disminuyeron aún más estas cantidades entre 25 y 50 %, en dependencia del ciclo del cultivo, manteniendo además balances positivos de los macronutrientes en los tres primeros ciclos de cosecha (14). Resultados similares de integración de los abonos verdes y los inoculantes micorrízicos en los esquemas de suministro de nutrientes, garantizando altos rendimientos y menores cantidades de fertilizantes minerales y superando al efecto de utilizar solo los abonos verdes, han sido reportados en maíz y tabaco (13, 40) y avalan la posible inclusión de esta práctica de aplicación conjunta en el concepto de manejo integral de la fertilidad del suelo "ISFM", por sus siglas en inglés (41).

Tabla V. Experimento 2. Contribución de las diferentes prácticas a la eficiencia agronómica (EA) de la fertilización en el cultivo de la yuca

Tratamientos	Rendimiento t ha ⁻¹	EA kg kg ⁻¹	EA por componente kg kg ⁻¹			
			25 % NPK	Can _p MA	Can _i MA	Can _{p+i} MA
25 % NPK + Can _p MA + Can _i MA	42,45	306,84			67,6	166,97
25 % NPK + Can _p yMA	37,21	239,22		99,4		
25 % NPK	29,51	139,87	139,87			
Control 0 %NPK	18,67					

Can_pyMA: incluye los tratamientos con canavalia precedente y que reciben inoculación o bien en la canavalia y/o en la yuca y que no se intercaló la canavalia

Can_iHMA: incluye los diferentes tratamientos con canavalia intercalada inoculada

Can_{p+i}MA: incluye los tratamientos con canavalia precedente e intercalada e inoculación micorrízica

Tabla VI. Experimento 2. Efecto de la inoculación de la cepa de *G. cubense*/INCAM-4 en la biomasa y extracciones de N, P₂O₅ y K₂O de *C. ensiformis* intercalada

	MS tha ⁻¹			N ⁽¹⁾	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O
	1 ^{er} Corte	2 ^{do} Corte	Total			
Canavalia _i + MA	2,0 a	1,4 a	3,5 a	96,6 a	18,1 a	90,5 a
Canavalia _i	1,5 b	1,0 b	2,5 b	63,2 b	11,5 b	60 b
Es X	0,08**	0,05**	0,12**	4,0 **	0,85**	4,2**

Canavalia_i: canavalia intercalada; MA inoculación micorrízica. (1) las extracciones se corresponden con el acumulado en los dos cortes. Letras diferentes, diferencias significativas P<0,01

La influencia positiva de la micorrización sobre la absorción del N suministrado en formas orgánicas, ha sido relacionada tanto a través de incrementos en los procesos de mineralización de los residuos vegetales, por la mayor cantidad de microorganismos asociados, como al mayor crecimiento de las hifas en estas condiciones e incrementos en la capacidad de absorción (7,42,43).

Se encontró asimismo un efecto positivo de la inoculación micorrízica de la canavalia precedente como vía para micorrizar la yuca, al obtener rendimientos significativamente superiores del cultivo en los tratamientos que incluyeron canavalia precedente inoculada y comparados con los homólogos no inoculados (Figura 5). Sin embargo, los posibles beneficios de la canavalia precedente inoculada en el rendimiento de la yuca y asociados con la mayor biomasa y reciclaje de nutrientes no fueron encontrados en este experimento, ya que no existieron diferencias entre los rendimientos de los tratamientos con canavalia inoculada o no, siempre que la yuca se inoculó (Figura 5); así como el rendimiento del tratamiento con canavalia precedente no inoculado y con 25 % NPK no difirió del obtenido en el tratamiento que solo recibió el 25 % de la fertilización. Lo anterior debe estar relacionado con la utilización de dos períodos de crecimiento de la canavalia precedente y el hecho de que el segundo período de crecimiento se caracterizó por muy bajas precipitaciones (Figura 1) y afectó fuertemente la producción de biomasa de este abono verde (Tabla VI).

Partiendo de los positivos efectos de la utilización de la canavalia precedente inoculada como vía para micorrizar el cultivo principal reportados para maíz, banano y tabaco (13,14,40) y la alta dependencia micorrízica de la yuca (6), se puede considerar que la utilización de la canavalia inoculada como precedente del cultivo de la yuca debe ser exitosa, pero considerando un solo ciclo de crecimiento del abono verde, que puede extenderse entre 60 a 120 dds, adaptándose a la fecha de plantación de la yuca y optimizando la sincronía entre la descomposición del abono verde y el ritmo de crecimiento del cultivo.

CONCLUSIONES

La inoculación de *M. esculenta* Crantz con la cepa de *G. cubense*/ INCAM-4 en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados e integrada con la fertilización mineral resulta efectiva, con disminuciones en 33 % de las cantidades de fertilizantes recomendadas para obtener altos rendimientos e incrementos en 67 % de la EA de los fertilizantes. La inclusión adicional de *C. ensiformis* inoculada como cultivo precedente e intercalado, mantiene un funcionamiento micorrízico adecuado de la yuca y altos rendimientos del cultivo, disminuyendo

en otro 33 % las cantidades de fertilizantes minerales y duplicando la EA de estos. Los resultados obtenidos pueden ser la base de un sistema integral de suministro de nutrientes en el cultivo de la yuca que garantiza altos rendimientos, funcionamiento micorrízico efectivo y menores necesidades de fertilizantes.

AGRADECIMIENTO

Al Fondo para la Ciencia y la Innovación (FONCI) de Cuba por el apoyo financiero para la ejecución de esta investigación en el marco del proyecto FONCI 56-2016.

BIBLIOGRAFÍA

1. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). La Economía Mundial de La Yuca: Hechos, Tendencias y Perspectivas [Internet]. Roma: Food & Agriculture Organization of the United Nations; 2000 [cited 2017 Aug 29]. 78 p. Available from: <https://www.amazon.es/Economia-Mundial-Yuca-Tendencias-Perspectivas/dp/9253043997>
2. FAO. Anuario Estadístico de la FAO [Internet]. FAOSTAT. 2013 [cited 2017 Jan 17]. Available from: <http://faostat3.fao.org/home/index.html>
3. Howeler R. Sustainable soil and crop management of cassava in Asia: a reference manual [Internet]. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); 2014 [cited 2017 Aug 29]. 280 p. (CIAT Publication). Available from: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/51590>
4. INIVIT (Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales). Cartas tecnológicas de las raíces y tubérculos tropicales. Santa Clara, Cuba: MINAG; 2004. 50 p.
5. FAO. Anuario Estadístico de la FAO [Internet]. FAOSTAT. 2014 [cited 2017 Jan 4]. Available from: http://faostat3.fao.org/browse/Q/*E
6. Sieverding E. Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems [Internet]. Bremer; 1991 [cited 2017 Aug 29]. 371 p. Available from: <https://books.google.com.cu/books?id=MgFFAAAYAAJ>
7. Willis A, Rodrigues BF, Harris PJC. The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2013;32(1):1–20. doi:10.1080/07352689.2012.683375
8. Yang C, Ellouze W, Navarro-Borrell A, Taheri AE, Klabi R, Dai M, et al. Management of the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Sustainable Crop Production. In: *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration* [Internet]. Berlin: Springer; 2014 [cited 2017 Aug 29]. p. 89–118. (Soil Biology). doi:10.1007/978-3-662-45370-4_7
9. Rivera R, Ruiz L, Fernández F, Sánchez C, Riera M, Hernández-Zardón A, et al. La simbiosis micorrízica efectiva y el sistema suelo – planta – fertilizante. In: VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos - Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo; 2006.

10. González PJ, Ramírez JF, Rivera R, Hernández A, Plana R, Crespo G, et al. Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2015;49(4):535–40.
11. Ruiz LA, Simó J, Rodríguez S, Rivera R. Las micorrizas en cultivos tropicales. Una contribución a la sostenibilidad agroalimentaria. Madrid, España: Académica Española; 2012. 239 p.
12. João JP, Espinosa-Cuellar A, Ruiz-Martínez L, Simó-González J, Rivera-Espinosa R. Efectividad de cepas de HMA en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en dos tipos de suelos. *Cultivos Tropicales*. 2016;37(1):48–56.
13. Martín-Alonso Gloria M, Rivera-Espinosa R, Arias-Pérez L, Pérez-Díaz A. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrizica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. 2012;33(2):20–8.
14. Simó-González J, Rivera-Espinosa R, Ruiz-Martínez LA, Espinosa-Cuellar E. Necesidad de reinoculación micorrizica en el trasplante del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada con HMA. *Centro Agrícola*. 2016;43(2):28–35.
15. Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
16. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2014. 191 p. (World Soil Reports).
17. Hernández-Jiménez A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera A. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la llanura roja de la Habana por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2014. 156 p.
18. Rivera-Espinosa R, Fundora-Sánchez LR, Calderón-Puig A, Martín-Cárdenas JV, Marrero-Cruz Y, Ruiz-Martínez L, et al. La efectividad del biofertilizante EcoMic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensiones con productores. *Cultivos Tropicales*. 2012;33(1):5–10.
19. Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 2011;118(1):337–47. doi:10.5248/118.337.
20. Ruiz LA, Simó J, Rivera R. Nuevo método para la inoculación micorrizica del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales*. 2010;31(3):15–20.
21. Paneque PVM, Calaña NJM, Calderón VM, Borges BY, Hernández GTC, Caruncho CM. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos [Internet]. 1st ed. La Habana, Cuba: Ediciones INCA; 2010 [cited 2016 Jan 27]. 157 p. Available from: <http://mst.ama.cu/578/>.
22. Herrera RA, Ferrer R, Furrázola E, Orozco MO. Estrategia de funcionamiento de las micorrizas (VA) en un bosque tropical. *Biodiversidad en Ibero América: Ecosistemas, Evolución y Proceso sociales*. Mérida, México: Programa Iberoamericano de Ciencias y Tecnología para el desarrollo, Sub – programa XII, Diversidad Biológica; 1995. 201 p.
23. Rodríguez-Yon Jy, Arias-Pérez L, Medina-Carmona A, Mujica-Pérez Y, Medina-García LR, Fernández-Suárez K, et al. Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrizica. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(2):18–21.
24. Giovannetti M, Mosse B. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. *New Phytologist*. 1980;84(3):489–500. doi:10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x
25. Trouvelot A, Kough J, Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Proc. 1st Eur. Symp. on Mycorrhizae: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae [Internet]. Paris: INRA; 1986 [cited 2017 Aug 29]. Available from: <http://ci.nii.ac.jp/naid/10011584575/>.
26. Massey FJ. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*. 1951;46(253):68–78. doi:10.1080/01621459.1951.10500769.
27. Levene H. Robust tests for the equality of variance. In: Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling [Internet]. California, USA: Stanford University Press; 1960 [cited 2016 Jun 3]. p. 278–92. Available from: <https://books.google.com/cu/books?id=ZUSsAAAAIAAJ>.
28. Duncan DB. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*. 1955;11(1):1–42. doi:10.2307/3001478.
29. Chauhan H, Bagyaraj DJ, Thilagar G, Ravi JE. Plant growth response of French bean to arbuscular mycorrhizal fungi. *Journal of Soil Biology and Ecology*. 2012;32(1–2):50–56.
30. Etukudo OO, Babatola A, Ojo OD, Fagbola O. Effects of mycorrhiza, organo-mineral and NKP fertilizer on the performance and post harvest quality of sweetcorn. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2015;7(4):99–103. doi:10.5897/JHF2015.0391
31. Ortas I, Ustuner O. The effects of single species, dual species and indigenous mycorrhiza inoculation on citrus growth and nutrient uptake. *European Journal of Soil Biology*. 2014;63:64–9. doi:10.1016/j.ejsobi.2014.05.007
32. Tarraf W, Ruta C, De Cillis F, Tagarelli A, Tedone L, De Mastro G. Effects of mycorrhiza on growth and essential oil production in selected aromatic plants. *Italian Journal of Agronomy*. 2015;10(3):160. doi:10.4081/ija.2015.633
33. Simó-González JE, Ruiz-Martínez LA, Rivera-Espinosa R. Manejo de la simbiosis micorrizica arbuscular y el suministro de nutrientes en plantaciones de banano cv. "FHIA-18" (Musa AAAA) en suelo Pardo mullido carbonatado. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(4):43–54.
34. Espinosa-Cuellar A, Ruiz-Martínez L, Rivera-Espinosa R, Espinosa-Cuellar E. Efecto del Nitrógeno y hongos micorrizicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado. *Centro Agrícola*. 2015;42(2):39–46.

35. Marschner H, Dell B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 1994;159(1):89–102. doi:10.1007/BF00000098.
36. Rivera R, Martín GM, Pérez D. Efecto de la temperatura sobre la mineralización del nitrógeno de dos especies de abonos verdes en suelo Ferralítico Rojo compactado. *Cultivos Tropicales*. 1999;20(2):15–19.
37. Pentón-Fernández G, Rivera-Espinosa R, Martín-Martín GJ, Oropesa-Casanova K, Soto-Carreño F, Cabrera-Rodríguez JA. Intercalamiento de *Canavalia ensiformis* (L.) inoculada con hongos micorrízicos arbusculares para la producción de forraje de *Morus alba* (L.). *Pastos y Forrajes*. 2016;39(1):33–40.
38. Fagbola O, Osonubi O, Mulongoy K. Growth of cassava cultivar TMS 30572 as affected by alley-cropping and mycorrhizal inoculation. *Biology and Fertility of Soils*. 1998;27(1):9–14. doi:10.1007/s003740050392
39. Liasu M, Atayese M, Osonubi O. Effect of mycorrhiza and pruning regimes on seasonality of hedgerow tree mulch contribution to alley-cropped cassava in Ibadan, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*. 2006;5(14):1341–9.
40. García M. Influencia de la *Canavalia ensiformis* (L) D.C inoculada con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en un sistema de manejo para el cultivo de tabaco negro [Tesis de Maestría]. [Mayabeque, Cuba]: Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez”; 2014. 95 p.
41. Lambrecht I, Vanlauwe B, Maertens M. Integrated soil fertility management: from concept to practice in Eastern DR Congo. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2015;14(1):100–18. doi:10.1080/14735903.2015.1026047.
42. Veresoglou SD, Chen B, Rillig MC. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012;46:53–62. doi:10.1016/j.soilbio.2011.11.018.
43. Hodge A, Storer K. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*. 2015;386(1–2):1–19. doi:10.1007/s11104-014-2162-1.

Recibido: 15 de febrero de 2017

Aceptado: 24 de junio de 2017