

INOCULACIÓN MICORRÍZICA DE CULTIVOS PRECEDENTES: VÍA PARA MICORRIZAR EFICIENTEMENTE EL BONIATO (*Ipomoea batatas* Lam.)

Mycorrhhal inoculation of precedents crops: a way to mycorrhize efficiently sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.)

Alberto Espinosa Cuéllar¹✉, Ramón Rivera Espinosa²,
Luís Ruiz Martínez¹, Ernesto Espinosa Cuéllar¹ y Yasmani Lago Gato¹

ABSTRACT. *Ipomoea batatas* L. (Lam) is a culture with high response to the inoculation of efficient strains of arbuscular mycorrhizal fungi; however, the high quantities of inoculants required does not make its application accessible on a productive scale. This research was carried out with the objective of studying the feasibility of using the 'effect of permanence' of the mycorrhizal inoculant applied to the previous crop, as a way to efficiently mycorrhize the sweet potato in succession. Two types of preceding crops were evaluated in the two sowing seasons, in moderately washed Calcaric Cambisol brown soils and repeated for two years. In the rainy season the precedents were *Zea mays* L. / var. MC-4 and *Vigna unguiculata* (L.) Walp. / var. Guariba and in the dry season, corn and beans (*Phaseolus vulgaris* / var. BAT-306), in all cases the sweet potato variety 'CEMSA 78-354' was used and planted 30 days after the harvest of the preceding ones. The inoculation was performed with *Rhizoglyphus intraradices* / INCAM-11 strain. In all crops and seasons a positive response was found to mycorrhizal inoculation, guaranteeing high yields of 3,6; 2,5 and 25 to 30 t ha⁻¹ of corn, beans and sweet potatoes respectively and an efficient mycorrhizal operation in the presence of only 50 % of the amounts of mineral fertilizers and with yields similar to those obtained in the different crops when receiving the 100 % fertilization. With any of the precedents inoculated and in both seasons, a positive effect of permanence of the inoculant was achieved, which allowed to efficiently mycorrhize the sweet potato in succession, not being necessary the direct inoculation of the sweet potato to reach the benefits of an effective mycorrhization.

Key words: beans, AMF, corn, succession

RESUMEN. *Ipomoea batatas* L. (Lam) es un cultivo con alta respuesta a la inoculación de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares; sin embargo, las altas cantidades de inoculantes que requiere no hacen accesible su aplicación a escala productiva. Esta investigación se realizó con el objetivo de estudiar la factibilidad de utilizar el 'efecto de permanencia' del inoculante micorrízico aplicado al cultivo precedente, como vía para micorrizar eficientemente el boniato en sucesión. Se evaluaron dos tipos de cultivos precedentes en las dos épocas de siembra, en suelos Pardo argénico medianamente lavado y repetidos durante dos años. En la época lluviosa los precedentes fueron *Zea mays* L. / var. MC-4 y *Vigna unguiculata* (L.) Walp. / var. Guariba y en la época poco lluviosa, maíz y frijol (*Phaseolus vulgaris* / var. BAT-306), en todos los casos se utilizó la variedad de boniato 'CEMSA 78-354' y plantada 30 días después de la cosecha de los precedentes. La inoculación se realizó con la cepa de *Rhizoglyphus intraradices*/INCAM-11. En todos los cultivos y épocas se encontró una respuesta positiva a la inoculación micorrízica, garantizando altos rendimientos de 3,6; 2,5 y 25 a 30 t ha⁻¹ de maíz, frijol y boniato respectivamente y un funcionamiento micorrízico eficiente en presencia de solo el 50 % de las cantidades de fertilizantes minerales y con rendimientos similares a los obtenidos en los diferentes cultivos al recibir el 100 % de la fertilización. Con cualquiera de los precedentes inoculados y en ambas épocas, se logró un positivo efecto de permanencia del inoculante, que permitió micorrizar eficientemente el boniato en sucesión, no siendo necesaria la inoculación directa del boniato para alcanzar los beneficios de una micorrización efectiva.

Palabras clave: frijol, HMA, maíz, sucesión

INTRODUCCIÓN

Existe un reconocimiento mundial a la importancia de la simbiosis micorrízica en los ecosistemas, como mecanismo de adaptación de las plantas a diferentes

¹ Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Cuba

² Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Carretera Tapaste, Km 3½, Gaveta Postal 1. San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba. CP 32700

✉ fitofer@inivit.cu

condiciones estresantes, a través de incrementos en la absorción de nutrientes y agua, mejoras de agregados del suelo, efecto de bioprotección frente a algunos patógenos entre otros beneficios (1–3); sin embargo, uno de los principales retos para alcanzar estos beneficios en los agroecosistemas, es su integración en las tecnologías de los cultivos.

En los últimos años se han obtenido en Cuba un amplio grupo de resultados positivos sobre el manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular en los agroecosistemas, a partir de la existencia de inoculantes que se aplican en bajas cantidades y del conocimiento de las bases para un manejo efectivo de estos (4,5) e integrados no solo con los fertilizantes minerales, sino con los abonos verdes y orgánicos (4,6,7).

El boniato (*Ipomoea batatas* Lam), cultivo micótrofo (8), no ha sido la excepción y se han obtenido resultados positivos con la inoculación de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), disminuyendo las cantidades de fertilizantes necesarias para obtener altos rendimientos (9–11); sin embargo, aun utilizando el recubrimiento de los esquejes (9), se requieren de cantidades altas de inoculantes (35 kg ha⁻¹) que hacen poco factible su utilización a escala productiva.

La utilización de cepas eficientes y generalistas con las especies vegetales (12) como base de los inoculantes simples, en unión de la efectiva reproducción de propágulos por los cultivos micótrofos inoculados con las cepas eficientes, parecen explicar el positivo efecto de permanencia del inoculante aplicado que se ha reportado (10,13) y que garantiza una micorrización efectiva del cultivo en sucesión, no obstante en dichos trabajos, no se estudió la influencia del tipo de cultivo precedente inoculado, ni de la época de siembra de estos.

El efecto de permanencia de la cepa eficiente aplicada, debe depender entre otros de la capacidad de reproducción de propágulos micorrízicos por el cultivo inoculado y un componente de esta capacidad pudiera ser lo profuso del sistema radical micorrizado (4). Por tanto, a partir de utilizar como precedentes del boniato, cultivos micótrofos con diferentes tipos de sistemas radicales y comunes en la agricultura cubana, se desarrolló el presente trabajo con los objetivos de:

- 1) establecer si se manifestaba el efecto de permanencia,
- 2) si el tipo de cultivo precedente influía en dicho efecto
- 3) si la época de plantación del cultivo precedente influía en el mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) ubicado a los 22° 35' N, 80° 18' W y a 40 ms.n.m, en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, Cuba, sobre suelo Pardo argénico medianamente lavado (14), clasificado también como Cambisol calcárico (15), durante el período 2013 a 2015.

Los suelos en el área experimental presentaron características similares (Tabla I), con una reacción neutra y valores bajos de materia orgánica posiblemente asociados al cultivo continuo. Los contenidos de fósforo disponible fueron bajos y los de potasio fueron medios. El calcio y el magnesio intercambiable presentaron valores altos y típicos de estos suelos. Las esporas micorrízicas fueron bajas, similares a las reportadas en estos suelos (7,9).

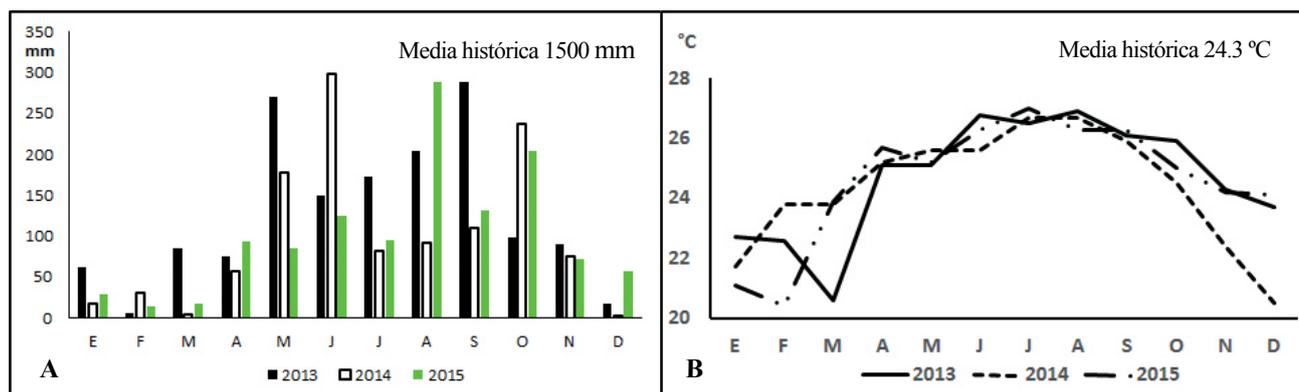
Las precipitaciones y temperaturas medias mensuales en el período experimental (Figura 1) reflejaron un año 2013 con unas precipitaciones anuales de 1519 mm, similares a la media histórica de 1500 mm año⁻¹ y los otros dos años con precipitaciones anuales del orden del 80 %; pero en todos los casos alrededor del 80 % ocurrió en el período de mayo a octubre. Las temperaturas fueron muy similares entre los tres años con medias anuales entre 24,3 y 24,6 °C y similares a la media histórica de 24,3 °C.

Los experimentos se desarrollaron sembrando los cultivos precedentes (Tabla II), en época lluviosa (mayo o junio) y en época poco lluviosa (enero o febrero). En el caso de la siembra en época lluviosa los cultivos precedentes fueron maíz (*Zea miziz. L. / var. MC-4*) y frijol vigna (*Vigna unguiculata (L.) Walp. / var. Guariba*), en el caso de la siembra en noviembre se utilizaron la misma variedad de maíz y frijol común (*Phaseolus vulgaris / var. BAT-306*). El hecho de utilizar frijol vigna en verano y frijol común en enero o febrero, se debió a que el frijol común no se siembra como cultivo económico en la época de verano. En cada época se realizaron dos campañas.

Tabla I. Caracterización inicial del suelo, en 0 – 20 cm de profundidad, en el área experimental

Año	pH		Nt (g kg ⁻¹)	MO	P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	K ⁺	Esporas en 50 g
	KCl	H ₂ O								
1	6,1	7,0	1,4	18,6	17,4	20,20	24,15	4,0	0,46	41,5
±IC	±0,10	±0,10	±1,07	±0,14	±0,14	±0,06	±0,01	±0,62	±0,01	±2
2	6,0	6,9	1,5	18,2	17,3	21,25	26,23	4,1	0,43	42
±IC	±0,13	±0,07	±0,62	±0,12	±0,14	±0,02	±0,02	±0,06	±0,02	±2

IC = Intervalo de confianza (1-α = 0,05), Cada valor es promedio de 10 muestras compuestas



Datos de la estación meteorológica # 326/INSMET, ubicada en el INIVIT

Figura 1. Precipitaciones (A) y temperaturas medias mensuales (B) durante el período experimental

Tabla II. Fechas de siembra de los cultivos precedentes y de plantación del boniato en ambas épocas y años

Época		Siembra	Cosecha		Plantación	Cosecha
Lluviosa	Maíz año 1	10/6/2013	12/10/2013	boniato	12/11/2013	15/4/2014
	Vigna año 1	13/7/2013	13/10/2013	boniato	12/11/2013	15/4/2014
	Maíz año 2	15/6/2014	17/10/2014	boniato	15/11/2014	18/4/2015
	Vigna año 2	15/7/2014	17/10/2014	boniato	15/11/2014	18/4/2015
Poco lluvioso	Maíz año 1	17/1/2013	21/5/2013	boniato	25/6/2013	30/11/2013
	frijol año 1	12/2/2013	20/5/2013	boniato	25/6/2013	30/11/2013
	Maíz año 2	15/1/2014	20/5/2014	boniato	22/6/2014	27/11/2014
	frijol año 2	15/2/2014	20/5/2014	boniato	22/6/2014	27/11/2014

A continuación de la cosecha de los cultivos precedentes, después de la preparación del suelo y en un plazo de aproximadamente de 30 días se plantó el cultivo del boniato (*Ipomea batatas*, Lam / var. 'CEMSA 78-354') en las mismas parcelas y garantizando que las fechas de plantación en cada época fueran las mismas, con independencia del precedente.

Como los cultivos precedentes fueron diferentes en las épocas y además no poseen la misma extensión de su ciclo biológico, los experimentos no incluyeron los cultivos, ni la época como factores y se desarrollaron como experimentos independientes. Los tratamientos (Tabla III) y el diseño utilizado en cada experimento fueron similares, de bloques al azar de cuatro tratamientos, que incluían tanto la etapa del cultivo precedente como la del boniato (factor A), repetidos durante dos años (factor B), con arreglo factorial de 4 x 2 y con cuatro réplicas.

Los marcos de plantación utilizados en los diferentes cultivos fueron de 0,9 x 0,3 m para el maíz, el frijol común de 0,7 x 0,2 m y en la vigna de 0,9 x 0,1 m (17–19). En el cultivo del boniato el marco de plantación fue de 0,9 x 0,23 m en el período lluvioso y de 0,9 x 0,3 m en el período poco lluvioso (20). Las parcelas estuvieron constituidas por cinco surcos de seis metros de largo, excepto para el frijol que tenían seis surcos. En cada experimento, los cultivos precedentes y el boniato de cada tratamiento se ubicaron siempre en las mismas parcelas.

Tabla III. Tratamientos estudiados en los diferentes experimentos ejecutados para ambas épocas y cultivos precedentes

Tratamientos	Etapa cultivos precedentes ¹	Etapa cultivo del boniato ²
1	50 % NPK+HMA	50 % NP 25 % K + HMA
2	50 % NPK+HMA	50 % NP 25 % K
3	50 % NPK	50 % NP 25 % K
4	100 % NPK	100 % NPK

1: Cultivos precedentes en época lluviosa: maíz (var. MC-4) y frijol vigna (var. Guariba). Cultivos precedentes en época poco lluviosa: maíz (var. MC-4) y frijol común (var. BAT-304). 2: La variedad de boniato utilizada fue 'CEMSA 78-354'. Cepa de HMA: *R. intraradices* (INCAM 11). Las dosis de fertilizantes para los cultivos precedentes inoculados y en el boniato fue en base a resultados previos (10,11,16)

INOCULANTE E INOCULACIÓN MICORRÍZICA

El inoculante se preparó en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque, Cuba, a base de la cepa de *Rhizoglyphus intraradices* (21) (INCAM 11) y utilizando *Urochloa decumbens* (Hochst. ex A. Rich) como planta hospedera. Esta cepa se recomienda por su comportamiento efectivo en este tipo de suelo (5). El inoculante poseía un título de 30 esporas g⁻¹.

La inoculación se ejecutó vía recubrimiento de las semillas. En el caso de los granos recubriendo la semilla con una cantidad de inoculante equivalente al 10 % del peso de la semilla (16). En el caso del boniato se inoculó recubriendo el tercio inferior del esqueje con una mezcla acuosa de 12,5 kg de inoculante por cada 60 litros de agua y aplicando el equivalente a 35 kg ha⁻¹ de inoculante (9).

FERTILIZACIÓN Y ATENCIONES CULTURALES

Las dosis de fertilizantes recomendadas para obtener altos rendimientos se identificaron como 100 % NPK y fueron en el maíz de 90, 130, 170; en el frijol y la vigna de 80, 60, 90 y en el boniato de 120, 100, 300 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente (17–20). Las dosis para obtener un funcionamiento micorrízico óptimo en los diferentes precedentes inoculados fueron del 50 % NPK (16); en el caso del boniato inoculado se aplicaron 50 % NP, 25 % K de acuerdo con resultados previos (10,11).

Las labores a los cultivos precedentes y al boniato se realizaron según Instructivos Técnicos de estos cultivos (17–20). En el período poco lluvioso el riego para el cultivo del maíz se aplicó una norma de 350 m³ ha⁻¹ cada siete días hasta la formación de la mazorca, después se incrementó a 400 m³ ha⁻¹ y entre los 80 y 100 días se suspendió para dejar que el grano madure y seque (17); en el cultivo del frijol se aplicó una norma de 350 a 480 m³ ha⁻¹ cada 10 días (18) y en el cultivo del boniato se realizó una aplicación de 250-300 m³ ha⁻¹ cada siete días hasta los 45 días y después cada 10 días hasta suspenderlo 15 días antes de la cosecha (20). En el período lluvioso el riego se aplicó con los mismos criterios, cuando las precipitaciones se atrasaron o no igualaron las normas de aplicación de cada período

EVALUACIONES

Análisis de suelo. Se tomaron muestras de suelos compuestas en la profundidad de 0-20 cm en cada una de las réplicas de los experimentos y al inicio de estos. Las determinaciones y metodologías realizadas fueron: el pH en KCl y H₂O, con una relación suelo-solución de 1:2,5; el nitrógeno total (Nt) por el método de micro-Kjeldahl; la materia orgánica por el método de Walkley-Black, el P₂O₅ y K₂O se realizaron por el método de Machiguin con extracción con solución de (NH₄)₂CO₃ con pH 9. Los cationes intercambiables Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ se realizaron por extracción con AcNH₄ 1N a pH 7,0 (22).

Colonización total de las raíces con HMA (%). Se realizó a los 45 días después de la siembra para el maíz, vigna y el frijol común y a los 90 días después de la plantación para el boniato. Para la colonización total se tomaron muestras de raíces finas de ocho plantas por parcela, ubicadas en los surcos centrales.

Las raíces fueron teñidas (23) y la evaluación por el método de los interceptos (24) se realizó en un microscopio estéreo (Carl Zeiss, Stemi 2000-C/50x).

Esporas micorrízicas. Se determinaron al inicio y en el momento de la cosecha de cada cultivo. Se tomó una muestra compuesta de 10 submuestras (0-20 cm) por parcela y la extracción de esporas se realizó por el método del decantado húmedo (25). Las esporas fueron contadas con el uso del microscopio y se expresaron como esporas en 50 g de suelo.

Rendimiento. Se cosecharon las plantas de tres surcos centrales de cada parcela, no utilizando el inicio y final de cada surco. Se estimó el rendimiento en t ha⁻¹ y se expresó en los granos en base a 14 % de humedad y en el boniato como tubérculos comestibles.

Análisis estadístico. Se utilizó el paquete estadístico del Programa SPSS-2012, para la realización de los ANOVA en cada experimento y en el caso de existir diferencias significativas entre las medias, se docimaron según la prueba de comparación múltiple de Tukey (p≤ 0,05). Para la comparación de las medias entre diferentes experimentos se utilizaron los intervalos de confianza a p<0,05, estimados a partir de los Es_x obtenidos para cada variable en cada experimento, mediante la fórmula $Z_{1-\alpha} \cdot Es_x$, siendo $Z_1 = 1,96$.

RESULTADOS

En los análisis estadísticos realizados a cada una de las variables en los diferentes experimentos, las interacciones tratamientos por años no fueron significativas a p<0,05 (Tabla IV), por lo que se presentarán en todos los casos, solo los resultados del factor tratamiento.

Tabla IV. Valor P de las Interacciones tratamientos x años para cada una de las variables evaluadas en los diferentes experimentos

Etap	Cultivo	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Colonización (%)	esporas HMA 50 g suelo ⁻¹
lluviosa	maíz	0,48	0,329	0,125
	boniato	0,230	0,606	0,282
	vigna	0,993	0,905	0,765
	boniato	0,994	0,600	0,189
poco lluviosa	maíz	0,602	0,863	0,314
	boniato	0,583	0,476	0,108
	frijol	0,989	0,456	0,280
	boniato	0,255	0,987	0,215

La identificación de la etapa corresponde a la siembra del precedente. El cultivo de boniato siempre se presenta a continuación del precedente utilizado

INOCULACIÓN DE LOS CULTIVOS PRECEDENTES EN EL PERIODO LLUVIOSO. (TABLA V)

Los cultivos precedentes no inoculados respondieron positivamente a la fertilización con rendimientos superiores ($p < 0,05$) en los tratamientos que recibieron el 100 % NPK. La inoculación con la cepa eficiente de HMA conllevó a incrementos significativos en el rendimiento, porcentaje de colonización total y cantidad de esporas tanto en el maíz como en la vigna, en relación con el tratamiento homólogo no inoculado (50 % NPK), con diferencias significativas entre los mismos en cada una de las variables.

Los tratamientos inoculados en ambos precedentes y que recibieron el 50 % de las dosis de fertilizantes recomendadas, presentaron rendimientos altos y similares a los tratamientos no inoculados que recibieron las dosis de fertilización completa (100 % NPK). Asimismo, alcanzaron altos porcentajes de colonización micorrízicas y aunque en el caso de la vigna fueron cercanos al 60 %, los del maíz fueron superiores ($p < 0,05$). De forma similar si bien las esporas se incrementaron entre 8 y 15 veces producto de la inoculación de los precedentes, los valores obtenidos con el maíz fueron superiores ($p < 0,05$).

El cultivo del boniato respondió de forma similar a los precedentes, ya que en ausencia de inoculación los mayores rendimientos ($p < 0,05$) se obtuvieron con las mayores dosis de fertilizantes y asimismo presentó una respuesta positiva a la inoculación, con rendimientos e indicadores micorrízicos superiores ($p < 0,05$) a los homólogos (50 % NPK) que nunca fueron inoculados y con rendimientos similares al tratamiento no inoculado que recibió la dosis óptima de fertilización (100 % NPK). Asimismo, siempre que los precedentes fueron inoculados no se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos e indicadores del funcionamiento micorrízico del boniato

haya sido este o no inoculado, indicando que se obtuvo en este cultivo un positivo efecto de permanencia del inoculante aplicado a cualquiera de los precedentes.

El efecto positivo de permanencia del inoculante aplicado, también se puede observar en los incrementos significativos obtenidos ($p < 0,05$) en las diferentes variables evaluadas en el cultivo del boniato, entre los tratamientos del precedente inoculado y boniato sin inocular con relación al homólogo que recibió la misma fertilización, pero que nunca fue inoculado.

INOCULACIÓN DE LOS CULTIVOS PRECEDENTES EN EL PERIODO POCO LLUVIOSO. (TABLA VI)

De forma similar a lo obtenido cuando los precedentes se sembraron en el período lluvioso y en condiciones de respuesta a la fertilización, también se encontró una respuesta significativa ($p < 0,05$) a la inoculación con la cepa eficiente de HMA con incrementos en el rendimiento, porcentaje de colonización total y cantidad de esporas tanto en el maíz como en el frijol, en relación con el tratamiento homólogo no inoculado (50 % NPK) y presentando los tratamientos inoculados rendimientos similares a los tratamientos que recibieron las dosis de fertilización del 100 %.

Si bien los porcentajes de colonización micorrízica en los precedentes inoculados fueron altos, fueron superiores en el maíz con relación al frijol y un comportamiento similar presentaron las esporas, que en este caso se incrementaron entre 7 y 11 veces, asociados los mayores incrementos al maíz inoculado; no obstante, en este período los valores de ambos indicadores del funcionamiento micorrízico encontrados en el maíz, fueron inferiores a cuando este cultivo se sembró en el período lluvioso, aunque no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento del maíz sembrado en ambas épocas.

Tabla V. Efecto del cultivo precedente inoculado y sembrado en el período lluvioso en el efecto de permanencia

Cultivo	Tratamientos	Periodo lluvioso			Boniato /periodo poco lluvioso			
		Rendimiento t ha ⁻¹	Colonización Total (%)	Esporas en 50 g suelo	Tratamientos	Rendimiento t ha ⁻¹	Colonización Total (%)	Esporas en 50 g suelo
Maiz	HMA+ 50 % NPK	3,62 a ± 0,06	75,6 a ± 1,08	743 a ± 1,5	HMA+ 50 % NPK	26,32 a ± 0,49	63 a ± 0,98	567 a ± 4,0
	HMA+50 % NPK	3,63 a ± 0,06	74,4 a ± 1,08	741 a ± 1,5	50 % NPK	25,69 a ± 0,49	62,1 a ± 0,98	566 a ± 4,0
	50 % NPK	2,95 b ± 0,06	12,5 b ± 1,08	71,5 b ± 1,5	50 % NPK	21,83 b ± ,49	10,1 b ± 0,98	63 b ± 4,0
	100% NPK	3,64 a ± 0,06	9,3 c ± 1,08	62,8 c ± 1,5	100% NPK	25,9 a ± 0,49	8,5 c ± 0,98	54 c ± 4,0
	Es _x	0,03*	0,55*	0,75*	Es _x	0,25*	0,5*	1,96*
Vigna	HMA+ 50 % NPK	2,64 a ± 0,06	54,6 a ± 0,98	444 a ± 3,52	HMA+ 50 % NPK	25,1 a ± 0,55	56,3 a ± 1,04	420 a ± 3,9
	HMA+50 % NPK	2,62 a ± 0,06	54,1 a ± 0,98	439 a ± 3,52	50 % NPK	24,34 a ± 0,55	54,6 a ± 1,04	419 a ± 3,9
	50 % NPK	2,02 b ± 0,06	11,9 b ± 0,98	95 b ± 3,52	50 % NPK	21,48 b ± 0,55	10,6 b ± 1,04	52 b ± 3,9
	100% NPK	2,61 c ± 0,06	8,9 b ± 0,98	87 c ± 3,52	100% NPK	25,38 a ± 0,55	8,1 c ± 1,04	46 b ± 3,0
	Es _x	0,03*	0,5*	1,8*	Es _x	0,28*	0,53*	1,94*

Medias con letras desiguales en una misma columna de cada experimento, difieren por Tukey (HSD) para $p < 0,05$

± Intervalos de confianza a partir de $Z_{1-\alpha}$. Es_x, siendo $Z_1 = 1,96$

Tabla VI. Efecto del cultivo precedente inoculado y sembrado en el período poco lluvioso en el efecto de permanencia

Cultivo	Tratamientos	Periodo poco lluvioso			Tratamientos	Boniato /periodo lluvioso		
		Rendimiento t ha ⁻¹	Colonización Total (%)	Esporas en 50 g suelo		Rendimiento t ha ⁻¹	Colonización Total (%)	Esporas en 50 g suelo
Maíz	HMA+ 50 % NPK	3,55a ± 0,02	65,7 a ± 0,86	560 a ± 2,35	HMA+ 50 % NPK	30,52 a ± 0,70	65,5 a ± 0,84	629 a ± 4,1
	HMA +50 % NPK	3,56 a ± 0,02	65,4 a ± 0,86	562 a ± 2,35	50 % NPK	29,91a ± 0,70	65,0 a ± 0,84	628 a ± 4,1
	50 % NPK	3,35 b ± 0,02	11,7 b ± 0,86	102 b ± 2,35	50 % NPK	27,06 b ± 0,70	11,5 b ± 0,84	71 b ± 4,1
	100% NPK	3,55 c ± 0,02	9,4 c ± 0,86	92 c ± 2,35	100% NPK	30,55 a ± 0,70	9,4 c ± 0,84	61 c ± 4,1
	Es _x	0,01*	0,44*	1,2*	Es _x	0,36*	0,43*	2,05*
Frijol	HMA+ 50 % NPK	2,57 a ± 0,18	55,1 a ± 0,69	376 a ± 2,94	HMA+ 50 % NPK	28,4 a ± 0,69	62,4 a ± 0,73	620 a ± 3,95
	HMA +50 % NPK	2,56 a ± 0,18	56,1 a ± 0,69	377 a ± 2,94	50 % NPK	28,31a ± 0,69	61,4 a ± 0,73	519 a ± 3,95
	50 % NPK	2,33b ± 0,18	11,1 b ± 0,69	60 b ± 2,94	50 % NPK	24,3 b ± 0,69	10,8 b ± 0,73	55 b ± 3,95
	100% NPK	2,58 a ± 0,18	8,8 c ± 0,69	53 c ± 2,94	100% NPK	28,85 a ± 0,69	8,4 c ± 0,73	50 b ± 3,95
	Es _x	0,09*	0,35*	1,5*	Es _x	0,35*	0,37*	2,02*

Medias con letras desiguales en una misma columna de cada experimento, difieren por Tukey (HSD) para $p < 0,05$

± Intervalos de confianza a partir de $Z_{1-\alpha}$, Es_x , siendo $Z_1 = 1,96$

Asimismo, el cultivo del boniato respondió significativamente a la inoculación micorrízica realizada en ambos cultivos precedentes, con rendimientos e indicadores micorrízicos similares ($p < 0,05$) entre los tratamientos con precedentes inoculados y que se diferenciaron en la inoculación del boniato y significativamente superiores ($p < 0,05$) a los homólogos que recibieron la misma fertilización, pero que nunca se inocularon. De igual forma, los tratamientos inoculados (50 % NPK) presentaron rendimientos similares al tratamiento que recibió la dosis óptima de fertilización (100 % NPK). Por tanto, el efecto positivo de permanencia del inoculante aplicado también se alcanzó en esta época con cualquiera de los precedentes

DISCUSIÓN

Los resultados mostraron el efecto positivo de la inoculación con la cepa eficiente de *R. intraradices* /INCAM-11, alcanzando en todos los cultivos altos niveles de rendimiento y de porcentajes de colonización en presencia de menores dosis de fertilizantes, indicativos de una inoculación efectiva de acuerdo con los resultados reportados previamente por diversos autores al inocular cepas eficientes de HMA en diferentes cultivos (4,6,26–28) y en específico con el boniato (11,29,30).

Asimismo, se encontró con los diferentes cultivos precedentes utilizados y en las dos épocas de trabajo, un efecto positivo de permanencia del inoculante aplicado al cultivo precedente, logrando micorrizar efectivamente el cultivo del boniato y garantizar los efectos beneficiosos asociados a este funcionamiento micorrízico efectivo. En Cuba si bien el efecto de permanencia de la inoculación en

cultivos en sucesión ya había sido reportado en suelos Pardos carbonatados (9,31) y en otros tipos de suelos (13,32,33), no se había logrado evaluar la importancia de la época de siembra del cultivo precedente inoculado, ni de comparar la efectividad de varios cultivos precedentes dependientes de la micorrización, pero con diferencias en los sistemas radicales, en este caso sistemas profusos como el del maíz y menos desarrollados como en las leguminosas tipo frijol y vigna y que de acuerdo con resultados previos (4) deben diferenciarse en su capacidad de reproducción de esporas y posiblemente de propágulos micorrízicos en general.

Sin embargo, si bien las cantidades de esporas alcanzadas por el maíz inoculado fueron mayores respectivamente que los alcanzados con la vigna y el frijol, y a su vez en la época lluviosa los cultivos precedentes también presentaron mayores cantidades de esporas y posiblemente en todos los casos asociados con el mayor sistema radical de esta gramínea en comparación con las leguminosas y al efecto favorable de las precipitaciones y temperaturas en el crecimiento de los cultivos respectivamente, un efecto positivo y similar de permanencia se estableció a partir de cualquiera de los diferentes cultivos precedentes inoculados y en ambas épocas, estableciendo su factibilidad e indicando que las menores cantidades de esporas y presumiblemente de raíces infectivas obtenidas por las leguminosas, fueron suficientes en estas condiciones para micorrizar el boniato.

Si bien las esporas tal y como se evaluaron fueron totales e inespecíficas y además no son los únicos propágulos micorrízicos, en un suelo similar e inoculando *Canavalia ensiformis* como precedente se reportó un positivo efecto de permanencia,

válido para micorrizar el banano y asociado con contenidos de esporas totales similares a las encontradas en estos experimentos, cuando se utilizaron las leguminosas inoculadas como precedentes (31). Asimismo, en experimentos con especies de Braquiarias inoculadas en siembra, en dos tipos de suelos y con seis cortes en el año, se han reportado relaciones directas entre las cantidades de esporas totales encontradas al ejecutarse cada corte y la permanencia de la inoculación en el próximo ciclo de crecimiento; cantidades < 600 esporas en 50 g fueron indicativas de la necesidad de reinocular (27).

Si bien la existencia de una efectividad diferenciada de las cepas de HMA inoculadas en base al ambiente edáfico en que se desarrolla la micorrización (5) y de encontrarse un efecto positivo de permanencia de estas al inocularse a los cultivos, permiten suponer que al menos un porcentaje importante de las raíces colonizadas del boniato lo sean con la cepa inoculada; no obstante algunos autores consideran que no necesariamente la respuesta positiva a la inoculación de una cepa se deba estrictamente al efecto directo causado por la misma y plantean entre las posibles causas la existencia de interacciones complejas con las micorrizas residentes (34).

La utilización de técnicas moleculares para fundamentar el efecto de permanencia, ha logrado encontrar a las cepas inoculadas colonizando el cultivo en sucesión (35), otros autores plantean que no necesariamente la presencia cuantifica la participación en los efectos positivos encontrados (34), por tanto, aunque la información obtenida establece un positivo efecto de permanencia, queda mucho por realizar con vistas a establecer los mecanismos por lo cual la inoculación de una cepa eficiente logra positivas y reproducibles respuestas, incluyendo el efecto de permanencia.

En los experimentos ejecutados el período entre la cosecha de los precedentes y la plantación del cultivo de boniato fue de 30 días, que es un lapso de tiempo que comúnmente no se sobrepasa en la sucesión de los cultivos, siendo este un elemento importante a tener en cuenta para la reproducibilidad e implementación de estos resultados. A partir de la previsible disminución de los propágulos micorrízicos a mayores periodos entre los cultivos, se vuelve importante estudiar la presencia de este efecto en períodos mayores y si aparecen entonces diferencias entre el tipo de cultivo precedente y las épocas.

Los resultados son una solución para utilizar los beneficios de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación de cepas eficientes en el boniato, cultivo con alta dependencia, pero cuya inoculación directa requiere de altas cantidades de inoculante. También, la información sugiere que es un enfoque válido para otros cultivos que se reproducen a partir de plantas semillas agámicas, como la malanga y el ñame que también requieren de altas cantidades de inoculantes para recubrir las semillas (9).

CONCLUSIONES

- ◆ El efecto de permanencia del inoculante micorrízico aplicado a los cultivos precedentes, garantiza una micorrización efectiva del cultivo del boniato plantado en sucesión hasta los 30 días de cosechados los cultivos precedentes y permite alcanzar los beneficios de la simbiosis en el rendimiento, funcionamiento micorrízico y disminución de cantidades de fertilizantes para obtener altos rendimientos, sin necesidad de la inoculación directa a este cultivo.
- ◆ Este efecto se alcanzó con diferentes cultivos precedentes, con respuesta a la inoculación micorrízica y comúnmente usados en la agricultura cubana, como el maíz y especies de frijol, sembrados tanto en la época lluviosa como la poco lluviosa, aunque siempre en presencia de riego y alcanzando estos cultivos un buen crecimiento y desarrollo.

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. Willis A, Rodrigues BF, Harris PJC. The Ecology of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2013;32:1–20. doi:10.1080/07352689.2012.683375
2. 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: Solaiman ZM, Abbott LK, Varma A, editors. *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2014 [cited 2018 Apr 2]. p. 89–118. doi:10.1007/978-3-662-45370-4_7
3. Lanfranco L, Bonfante P, Genre A. The mutualistic interaction between plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. In: Heitman Joseph, Howlett Barbara J., Crous PW, Stukenbrock EH, editors. *Microbiology spectrum*. 2016. p. 1–20.
4. Rivera R, Fernández F, Fernández K, Ruiz L, Sánchez C, Riera M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. In: *Mycorrhizae in crop production*. Haworth Food & Agricultural Products Press; 2007. p. 151–96.
5. Rivera R, González PJ, Hernández A, Martín G, Ruiz L, Fernández K, et al. La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos. In: *Memorias del VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*. Instituto de Suelos, La Habana Cuba; 2015.
6. González PJ, Ramírez JF, Rivera R, Hernández A, Plana R, Crespo G. Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2015;49(4):535–40.

7. Simó J, Ruiz ML, Rivera ER. Manejo de la simbiosis micorrizica arbuscular y suministro de nutrientes en plantaciones de banano cultivar 'FHIA-18' sobre suelos Pardos mullidos carbonatados. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(4):43–54.
8. Siqueira JO, Franco AA. *Biotecnología do solo. Fundamentos e Perspectiva*. Brasília: MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS; 1988. 235 p.
9. Ruiz ML, Simó J, Rodríguez S, Rivera R. Las micorrizas en cultivos tropicales. Una contribución a la sostenibilidad agroalimentaria. *Académica Española*; 2012. 239 p.
10. Espinosa A, Ruiz L, Rivera R, Espinosa 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.
11. Espinosa CA, Ruiz ML, Rivera ER, Espinosa CE. Inoculación de HMA y requerimientos de fertilizante fosfórico en *Ipomea batata* (L.) Lam. *Centro Agrícola*. 2016;43(3):37–45.
12. Öpik M, Moora M. Missing nodes and links in mycorrhizal networks: Commentary. *New Phytologist*. 2012;194(2):304–6. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04121.x
13. Riera MC. Manejo de la biofertilización con hongos micorrizicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo ferralítico rojo. [Internet]. [La Habana, Cuba]: Universidad Agraria de la Habana (UNAH); 2003 [cited 2018 Apr 3]. 100 p. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2010400008>
14. Hernández A, Pérez J, Castro N, Bosch D. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba. Ediciones INCA; 2015. 91 p.
15. WRB. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Vol. 106. FAO, Roma: World Soil Reports; 2014. 81 p.
16. Rivera R, Ruiz L, Martín G, Pérez E, Nápoles MC, García M. Manejo conjunto e impacto de biofertilizantes micorrizicos y otros bioproductos en la producción agrícola de diferentes cultivos. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional Ciencias Agrícolas; 2015 Jun p. 29. (Informe Primer Semestre Junio 2015).
17. Alemán R, Gil V, Quintero E, Saucedo O, Álvarez U, García JC, et al. Producción de granos en condiciones de sostenibilidad. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Villa Clara, Cuba. 2008;53.
18. MINAG. Guía técnica del cultivo del frijol común. Instituto de Investigaciones de Granos; 2010. 12 p.
19. INIFAT. Frijol Carita Rojo. INIFAT-93 Una opción nada despreciable. 1993. 4 p.
20. MINAG. Instructivo Técnico sobre el cultivo del boniato. Ciudad de la Habana, Cuba: SEDARI/AGINFOR; 2012. 24 p.
21. Sieverding E, Alves da Silva Gladstone, Berndt R, Oehl F. *Rhizoglossum*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*. 2014;129(2):373–86. doi:10.5248/129.373
22. Paneque-Pérez VM, Calaña NJM, Calderón VM, Borges BY, Hernández GTC, Caruncho CM. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Mayabeque, Cuba. Ediciones INCA; 2010. 157 p.
23. Phillips JM, Hayman DS. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970;55(1):158–61. doi:10.1016/S0007-1536(70)80110-3
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. Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 1963;46(2):235–44. doi:10.1016/S0007-1536(63)80079-0
26. Simó J. Manejo integrado de los inoculantes micorrizicos arbusculares, el abono verde y fuentes orgánico-minerales en la nutrición del banano "FHIA-18" (AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado [Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas]. [Mayabeque, Cuba]: Universidad Agraria de La Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2016. 100 p.
27. González PJ. Manejo efectivo de la simbiosis micorrizica arbuscular, vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género *Brachiaria* [Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas]. [Mayabeque, Cuba]: Universidad Agraria de La Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2014. 100 p.
28. Ruiz LA, Armario D, Rivera R, Espinosa A, Simó J, Espinosa E. Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio combinadas con micorrizas en el cultivo del banano. *Agricultura Tropical*. 2016;2(1):1–8.
29. Mukhongo RW, Tumuhairwe JB, Ebanyat P, Abdel GAH, Thuita M, Masso C. Combined Application of Biofertilizers and Inorganic Nutrients Improves Sweet Potato Yields. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:219. doi:10.3389/fpls.2017.00219
30. Issa M, Ngakou A, Haouvang CL, Nukenine EN. Potentials of Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) and Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) Leaves Extract as Biological Control Agents against the Sweet Potato Weevil (*Cylas puncticollis* Boh.) in Two Agro-ecological Zones of Cameroon. *Journal of Experimental Agriculture International*. 2017;17(1):1–13.
31. Simó GJ, Rivera ER, Ruiz ML, Espinosa CE. 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.
32. Martín GM, Rivera R. Influencia de la inoculación micorrizica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales*. 2015;36:34–50.
33. João JP, Rivera ER, Martín AG, Riera NM, Simó GJ. Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot esculenta* Crantz. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(3):117–28.
34. Rodríguez A, Sanders IR. The role of community and population ecology in applying mycorrhizal fungi for improved food security. *The ISME journal*. 2015;9(5):1053–61. doi:10.1038/ismej.2014.207
35. Pellegrino E, Turrini A, Gamper HA, Cafà G, Bonari E, Young JPW, et al. Establishment, persistence and effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal inoculants in the field revealed using molecular genetic tracing and measurement of yield components. *New Phytologist*. 2012;194(3):810–22.

Recibido: 13 de octubre de 2017

Aceptado: 27 de marzo de 2018