

EFFECTO DE DOSIS DE POTASIO Y HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES EN DOS CLONES COMERCIALES DE BONIATO SOBRE SUELO PARDO MULLIDO CARBONATADO

Alberto Espinosa Cuéllar¹, Luís Alberto Ruiz Martínez¹, Ramón Rivera Espinosa² y Ernesto Espinosa Cuéllar¹.

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales, sobre suelo Pardo mullido carbonatado. Con el objetivo de comparar el efecto de diferentes dosis de potasio en presencia o no de una cepa eficiente de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA). Los clones de boniato utilizados fueron 'INIVIT B2-2005' y 'CEMSA 78-354'. La cepa de HMA fue *Rhizophagus intraradices*. Se evaluaron los indicadores: rendimiento, porcentaje de colonización, cantidad de esporas, contenido de potasio en diferentes órganos, extracción y exportación de nutrientes, con la dosis de 75 kg.ha⁻¹ de K₂O, inoculado con la cepa eficiente se alcanzaron rendimientos de 35 a 38 t.ha⁻¹ en el periodo lluvioso y de 32 a 33 t.ha⁻¹ en el periodo poco lluvioso. El uso de la cepa eficiente vinculada a 75 kg.ha⁻¹ de K₂O permitió un ahorro del 50% del fertilizante mineral. Los valores de colonización fueron de 30,75 a 77,25 % para el periodo lluvioso y el contenido de esporas fue de 415,34 a 592,50 esporas.50gs⁻¹ y en el periodo poco lluvioso los valores fueron de 32,50 a 74,00 % y de 403,59 a 559,69 esporas.50gs⁻¹ para cada variable. El contenido de potasio manifestó valores de 3,11 a 3,29 % en hoja; de 2,05 a 2,41 % en tallo y de 2,66 a 2,83 % en la raíz tuberosa en los dos periodos. La extracción de potasio alcanzó valores de 477,97 a 489,45 kg.ha⁻¹ y la exportación de 368,02 kg.ha⁻¹ en el periodo lluvioso y en el periodo poco lluvioso los valores fueron de 359,37 a 368,72 kg.ha⁻¹ y 280,11 kg.ha⁻¹ respectivamente.

Palabras clave: cepa, contenido, extracción, rendimiento, potasio.

Effect of potassium doses and arbuscular micorrizing fungi in two sweet batata commercial clones on carbonated soft brow soil**ABSTRACT**

The research was conducted at the Research Institute of Tropical Root Crops, Carbonated soft Brown soil. In order to compare the effect of different doses of potassium in the presence or absence of an efficient strain of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (HMA). The sweet potato clones used were 'INIVIT B2-2005' and 'CEMSA 78-354'. The strain of HMA was *Rhizophagus intraradices*. It was evaluated: yield, percentage of colonization, number of spores contained in different organs, extraction and export of nutrients. With the dose of 75 kg ha⁻¹ of K₂O, inoculated with the strain efficient yields were reached 35-38 t ha⁻¹ in the rainy season and 32-33 t ha⁻¹ in the dry period. Using efficient strain linked to 75 kg ha⁻¹ K₂O 50 % mineral fertilizer saving. The values of settlement were from 30,75 to 77,25 % for the rainy season and the spore content was 415,34 to 592,50 spores.50gs⁻¹ and in the dry period the values were from 32,50 to 74,00 % and 403,59 to 559,69 spores.50gs⁻¹ for each variable. The potassium content showed 3,29 to 3,11 % a values leaf; 2,05 to 2,41 % in stem and 2,66 to 2,83 % in the tuberous root in the two periods. Potassium extraction reached values of 477, 97 to 489, 45 kg ha⁻¹

¹MSc. Alberto Espinosa Cuéllar. Investigador Agregado del Grupo de Control Científico Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Finca Tres Carolinas Apdo 6 Santo Domingo, Villa Clara. Cuba. E-mail. fitofer@inivit.cu, ²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

and the export of 368,02 kg ha⁻¹ in the rainy season and the dry period the values were 359.37 to 368,72 kg ha⁻¹ and 280.11 kg ha⁻¹.

Key words: Strain, content, extraction, yield, potassium.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el boniato (*Ipomoea batata*, Lam) es el séptimo cultivo alimenticio más importante después del arroz, el trigo, la papa, el maíz, el ñame y la yuca. Se cultiva en aproximadamente 8,2 millones hectáreas en todo el mundo, produciendo alrededor de 102 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de alrededor de 12,1 t.ha⁻¹ (FAOSTAT, 2010). El boniato se cultiva principalmente en los países en desarrollo, que cuentan con más del 95% de la producción mundial. El boniato (*Ipomoea batata*, Lam) tiene bajos insumos y requisitos, es fácil de producir de producir bajo condiciones climáticas adversas y condiciones el suelo.

La mayor diversidad del boniato (*Ipomoea batata*, Lam) se encontró en América Central, basado en el uso de marcadores moleculares que apoya la hipótesis de que se corresponde con el centro de origen de este cultivo (Zhang et al., 2000).

De forma general en todos los cultivos las altas dosis de fertilizantes implican elevados costos de producción (Elizondo, 2007); y en función de reducir los insumos, resulta importante evaluar prácticas de manejo que han resultado efectivas, como el uso de los inoculantes micorrízicos. En los últimos años se han desarrollado investigaciones que han tenido resultados sobre los efectos positivos de los inoculantes micorrízicos al ser aplicados a los cultivos, en los cuales se establece una simbiosis micorrízica efectiva, que aumenta la toma de nutrientes, garantiza altos rendimientos y disminuye las necesidades de

fertilizantes (Ruiz, 2001; Riera, 2002; Rivera et al., 2007 y González, 2014).

Uno de los elementos esenciales para la planta es el potasio (K). El K se encuentra en la solución del suelo y las reservas se encuentran fuertemente unidas a la fase sólida mineral como K fijado y K estructural. El K fijado o difícilmente disponible se ubica en el espacio hexagonal de las láminas de silicio y el K estructural está químicamente combinado con los elementos en la estructura de los minerales del suelo. Ambas formas son denominadas no-intercambiables.

La absorción de K por las plantas está relacionada directamente con el contenido y calidad de la arcilla en el suelo y existen evidencias de que la movilización de las formas no intercambiables depende también de las demandas de las plantas por los nutrientes, tanto como de las propiedades, la textura y la mineralogía del suelo (Kaminski et al., 2010).

Los HMA juegan un rol fundamental en la absorción de nutrientes como resultado del aumento en la superficie de absorción radical y exploración del suelo, las modificaciones morfológicas y fisiológicas en las raíces micorrizadas en relación con las no micorrizadas, la absorción de nutrientes no accesibles a raíces no micorrizadas, directamente a través las hifas o indirectamente a partir del favorecimiento del desarrollo de las raíces (Herrera et al., 1995; Peña-Venegas et al., 2007; Siqueira et al., 2010). El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de potasio en presencia o no

de una cepa eficiente de HMA en el cultivo del boniato.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), sobre un suelo Pardo Mullido carbonatado (Hernández *et al.*, 2015), catalogado como *Phaeozems haplic calcaric* en correspondencia con la World Reference Base (WRB, 2014).

En todos los experimentos, los tratamientos fueron ejecutados con y sin HMA. Los clones de boniato evaluados fueron 'INIVIT B2-2005' y 'CEMSA 78-354'. Las labores culturales se realizaron según el Instructivo técnico del cultivo (MINAG, 2008). El fertilizante se aplicó a los 25-30 días de plantado, utilizando como portadores urea (46 % de N), superfosfato simple (20 % de P₂O₅) y el cloruro de potasio (60 % de K₂O).

El producto comercial empleado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) fue EcoMic®, el que se utilizó a razón de 0,125 kg. 600 ml H₂O⁻¹ (35 kg.ha⁻¹) en recubrimiento del tercio inferior de la semilla. La cepa utilizada fue *Rhizophagus intraradices*/ (ICAM 11), la cual se obtuvo a partir de inóculos micorrízicos certificados, con 20 esporas por gramo de inoculante (Fernández *et al.*, 2000), producidos en el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto de Nacional de Investigaciones Agrícolas (INCA), Mayabeque, Cuba.

Los tratamientos fueron 0 kg.ha⁻¹ de K₂O; 75 kg.ha⁻¹ de K₂O; 150 kg.ha⁻¹ de K₂O; 225 kg.ha⁻¹ de K₂O y 300 kg.ha⁻¹ de K₂O, con un fondo fijo de 60 kg.ha⁻¹ N y 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Se utilizó un diseño experimental de parcela dividida donde la parcela principal fueron los dos clones y la subparcela los tratamientos

inoculados o no; con cuatro repeticiones, se evaluaron el rendimiento en t.ha⁻¹, el porcentaje de colonización, el número de esporas en el suelo, el contenido de potasio en los órganos de la planta y la extracción y exportación de nutrientes.

El pH se realizó en KCl y H₂O por el método potenciométrico, con una relación suelo - solución de 1:2,5, el nitrógeno total (Nt) se realizó por el método de Micro-Kjeldahl, la materia orgánica (MO) por el método colorimétrico de Walkley-Black, el P₂O₅ y K₂O se realizaron por el método de Machiguin para el suelo Pardo con carbonatos (Tabla 1).

Estos suelos presentaron una reacción entre neutra y ligeramente alcalina, asociada en este último caso con la presencia de carbonatos libres y se corresponden con valores típicos para este tipo de suelo. Con respecto a la materia orgánica los valores obtenidos fueron bajos, lo cual indica los diversos procesos de degradación del suelo. Los contenidos de fósforo (P₂O₅) disponible encontrados presentaron valores bajos y el magnesio presentó contenidos medios.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico del Programa SPSS (2012). En el caso de existir diferencias significativas, los tratamientos se docimaron según la prueba de comparación múltiple de Tukey (p≤ 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de los HMA ha permitido mejorar la eficiencia de los fertilizantes minerales y a su vez han contribuido al desarrollo de una agricultura sostenible y competitiva. Uno de los aspectos fundamentales en los que influye el efecto de la micorrización en los cultivos es en el rendimiento agrícola.

Tabla 1. Análisis de suelo donde se desarrollaron los experimentos

	pH		N	MO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K
Año	H ₂ O	KCL	(%)	(%)	(mg.100 gss ⁻¹)	(mg.100 gss ⁻¹)	(mg.100 gss ⁻¹)	(mg.100 gss ⁻¹)	(cmol.kg ⁻¹)	(cmol.kg ⁻¹)
Período lluvioso										
1	7,0	6,2	0,14	1,83	1,75	21,20	27,20	4,10	0,37	0,73
2	7,2	6,5	0,18	2,20	2,55	22,31	35,62	4,66	0,40	0,72
Período poco lluvioso										
1	7,3	6,2	0,21	2,,37	2,50	22,31	31,14	4,89	0,38	0,82
2	7,1	6,0	0,15	1,88	1,77	21,30	27,21	4,11	0,39	0,58

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran el rendimiento de los clones de boniato ‘INIVIT B2-2005’ y ‘CEMSA 78-354’ en los periodos lluvioso y poco lluvioso. En el periodo lluvioso los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento 75 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado con la cepa eficiente *R. intraradices*; con diferencias significativas con el resto de los tratamientos inoculados y sin inocular, con excepción de la

aplicación de 150 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado, en el clon ‘INIVIT B2-2005’, para el año 2 (Figuras 1 y 2).

En el periodo poco lluvioso el mejor tratamiento también fue 75 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado con la cepa eficiente, sin diferencias significativas con el tratamiento 150 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado, pero si con el resto de los tratamientos, para ambos clones en el año 1.

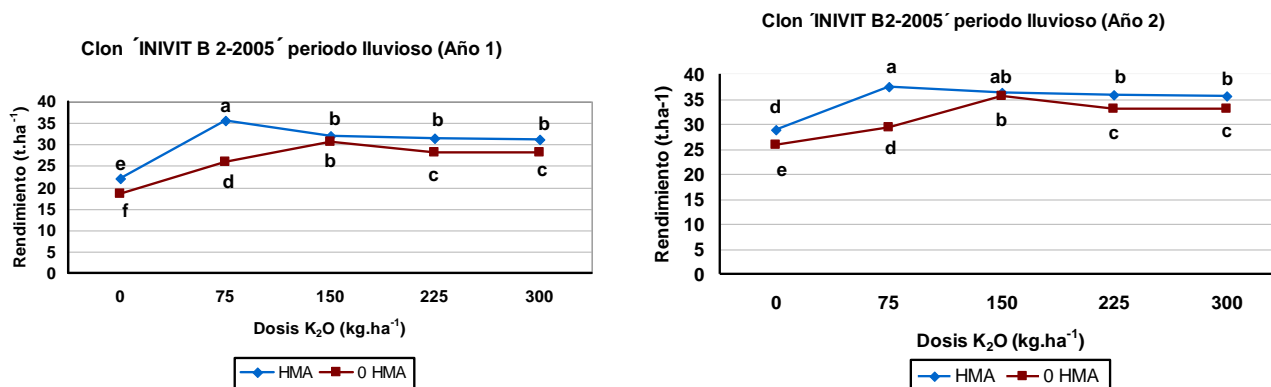


Figura 1. Efecto de dosis de potasio sobre el rendimiento del boniato para el periodo lluvioso en el clon ‘INIVIT B2-2005’. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

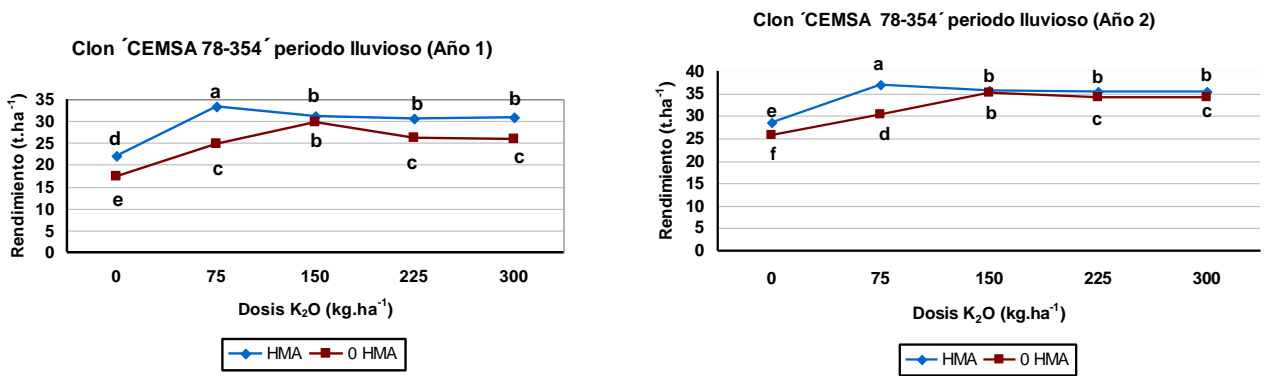


Figura 2. Efecto de dosis de potasio sobre el rendimiento del boniato para el periodo lluvioso en el clon 'CEMSA 78-354'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

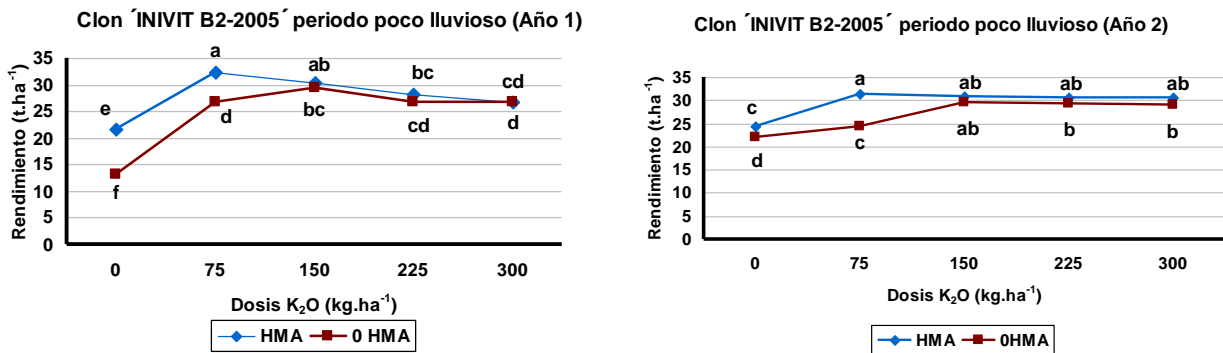


Figura 3. Efecto de dosis de potasio sobre el rendimiento del boniato para el periodo poco lluvioso en el clon 'INIVIT B2-2005'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

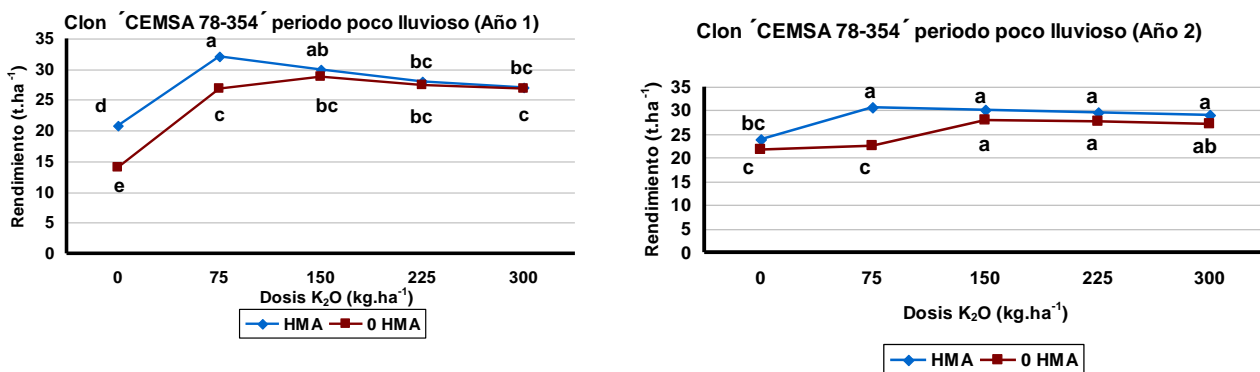


Figura 4. Efecto de dosis de potasio sobre el rendimiento del boniato para el periodo poco lluvioso en el clon 'CEMSA 78-354'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

En el año 2, el mejor tratamiento (75 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado) no tuvo diferencias con los tratamientos con dosis de K superiores a el, inoculados; lo cual demuestra que no existió efecto de la micorrización, debido al aumento de los niveles de fertilizantes potásicos, tampoco fue significativamente diferente al tratamiento 150 kg.ha⁻¹ de K₂O sin inocular y si al resto de los tratamientos para el clon 'INIVIT B2-2005'. El clon 'CEMSA 78-354' no tuvo diferencias con los demás tratamientos superiores micorrizados y sin micorrizar (150, 225 y 300 kg.ha⁻¹ de K₂O) (Figuras 3 y 4). En ambos periodos se logró, a través de la micorrización efectiva, reducir el 50 % del fertilizante potásico, criterio que no vario con los años.

Las Tablas 2 y 3 muestran el comportamiento de la colonización y el número de esporas en los clones de boniato y en dos épocas, durante dos años. Los mejores resultados se observan en el tratamiento donde se utilizó 75 kg kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado con la cepa eficiente *R. intraradices*, con diferencias estadísticas con respecto a los demás tratamientos en ambos periodos y esta conducta se repitió en los dos años. Los valores de colonización estuvieron en rangos de 30,75 a 75,75 % y el número de esporas en valores de 379,02 a 592,50 esporas.50 g⁻¹ en el periodo lluvioso y para el poco lluvioso en rangos de 34,75 % a 74 % y 380,77 a 559 esporas.50 g⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. Efecto de dosis de potasio sobre el porcentaje colonización de las raíces y el número de esporas en el periodo lluvioso en suelo Pardo mullido carbonatado. (Medias con letras diferentes en una misma columna difieren por Tukey (HSD) para p<0.05.

Clon	'INIVIT B2-2005'				'CEMSA 78-354'			
	Colonización (%)		Esporas (esporas.50g ⁻¹)		Colonización (%)		Esporas (esporas.50g ⁻¹)	
Año 1								
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA
0	57,50 c	9,25 g	379,02 e	52,41 h	51,50 c	8,50 f	411,44 e	57,14 h
75	75,25 a	9,50 fg	571,44 a	71,58 g	73,75 a	10,00 ef	575,44 a	69,63 g
150	61,25 b	11,50 f	472,80 b	87,73 f	59,25 b	11,50 e	480,30 b	89,85 f
225	53,75 d	11,00 fg	431,66 c	82,96 f	50,25 c	11,00 e	460,02 c	72,25 g
300	33,00 e	10,00 fg	415,34 d	64,45 g	30,75 d	10,75 ef	436,85 d	67,86 g
ES ±	0,44*		1,86*		0,47*		1,79*	
Año 2								
0	59,25 c	9,50 g	382,58 e	54,7 i	56,00 c	8,75 f	405,58 e	57,00 h
75	77,25 a	9,75 g	589,17 a	71,01 h	76,00 a	10,00 ef	592,50 a	73,47 g
150	65,00 b	12,00 f	480,85 b	91,60 f	64,25 b	11,75 e	476,82 b	92,35 f
225	56,75 d	11,25 fg	456,37 c	84,32 g	54,25 c	11,25 e	455,57 c	85,22 f
300	37,00 e	10,25 fg	424,82 d	67,95 h	36,75 d	11,00 e	434,80 d	67,70 g
ES ±	0,40*		1,01*		0,39*		1,67*	

Tabla 3. Efecto de dosis de potasio sobre el porcentaje colonización y el número de esporas en el periodo poco lluvioso en suelo Pardo mullido carbonatado. (Medias con letras diferentes en una misma columna difieren por Tukey (HSD) para $p < 0.05$).

Clon	'INIVIT B2-2005'				'CEMSA 78-354'			
	Colonización (%)		Esporas (esporas.50g ⁻¹)		Colonización (%)		Esporas (esporas.50g ⁻¹)	
Año 1								
Dosis K ₂ O (kg.ha ⁻¹)	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA	HMA	0 HMA
0	55,25 c	9,00 g	394,44 e	51,83 i	50,75 c	8,75 f	379,02 e	51,31 i
75	74,00 a	9,50 g	557,09 a	70,83 h	72,00 a	9,25 ef	559,69 a	69,04 g
150	58,50 b	12,00 f	455,30 b	86,23 f	57,00 b	11,25 e	452,55 b	84,36 f
225	51,50 d	10,75 fg	419,41 c	81,71 g	51,00 c	10,25 ef	412,52 c	79,85 f
300	34,75 e	10,00 fg	403,59 d	64,70 j	32,50 d	9,50 ef	404,35 d	62,61 h
ES ±	0,47*		0,93		0,42*		1,29*	
Año 2								
0	54,75 c	9,25 f	392,84 e	51,60 h	52,50 c	9,00 e	380,77 e	51,22 i
75	73,25 a	10,00 e	554,64 a	70,84 g	71,25 a	9,50 e	553,94 a	69,54 h
150	58,50 b	12,25 e	452,80 b	84,83 f	56,50 b	11,50 e	451,05 b	84,35 f
225	51,50 c	11,00 e	418,09 c	80,94 f	50,75 c	10,50 e	413,52 c	79,68 g
300	46,00 d	10,25 e	410,58 d	67,44 g	42,75 d	10,00 e	403,85 d	65,86 h
ES ±	0,71*		0,92		0,52*		0,93*	

Las Figuras 5 y 6 ilustran el contenido de potasio en los diferentes órganos de la planta en el periodo lluvioso en los dos clones de boniato estudiados. En el clon 'INIVIT B2-2005' los mayores valores coinciden con el tratamiento 75 kg kg.ha⁻¹ de K₂O (inoculado), con diferencias significativas con los demás tratamientos en la hoja y en la raíz tuberosa, sin diferencias significativas en el tallo con el tratamiento 150 kg.ha⁻¹ de K₂O en el primer año.

En el segundo año el mejor tratamiento continua siendo 75 kg kg.ha⁻¹ de K₂O (inoculado), con diferencias significativas con los demás tratamientos en el tallo y la hoja, pero sin diferencias con el contenido de la raíz

tuberosa con el tratamiento 150 kg.ha⁻¹ de K₂O (Figura 5). La Figura 6 muestra un comportamiento muy parecido a la anterior descrita, pero en el clon 'CEMSA 78-354'.

En las Figuras 7 y 8 se puede observar el comportamiento de los contenidos de potasio en el periodo poco lluvioso donde continua siendo el tratamiento 75 kg kg.ha⁻¹ de K₂O (inoculado) el que muestra mayores valores, con diferencias significativas en la hoja y el tallo en el año 1 y sin diferencias con el contenido de la raíz tuberosa con el tratamiento 150 kg.ha⁻¹ de K₂O en ambos años para el clon 'INIVIT B2-2005'.

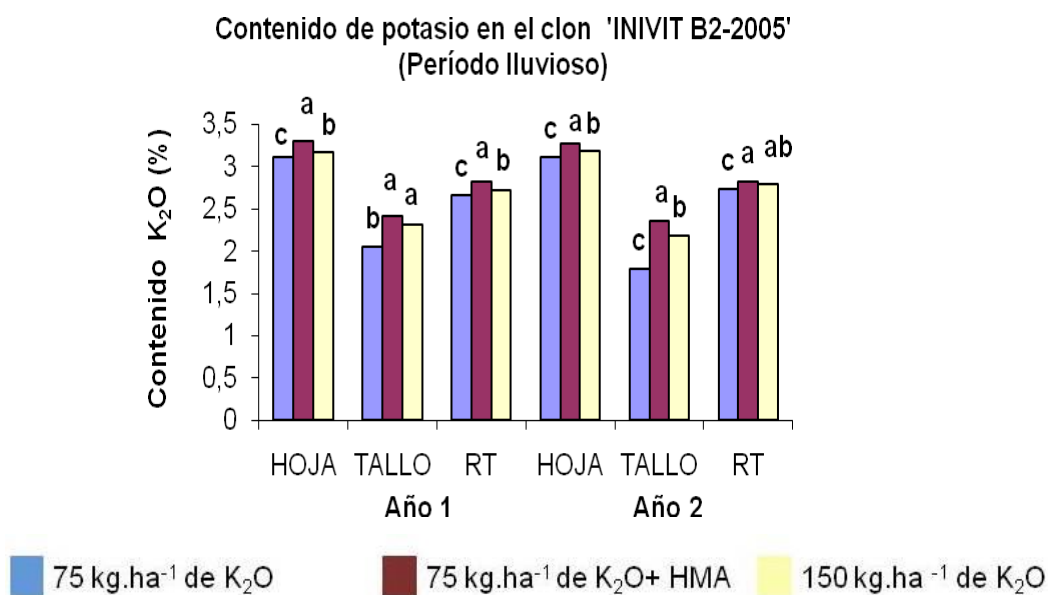


Figura 5. Contenidos de potasio en hoja, tallo y raíz tuberosa (RT), período lluvioso, clon 'INIVIT B2-2005' (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para $p < 0,05$)

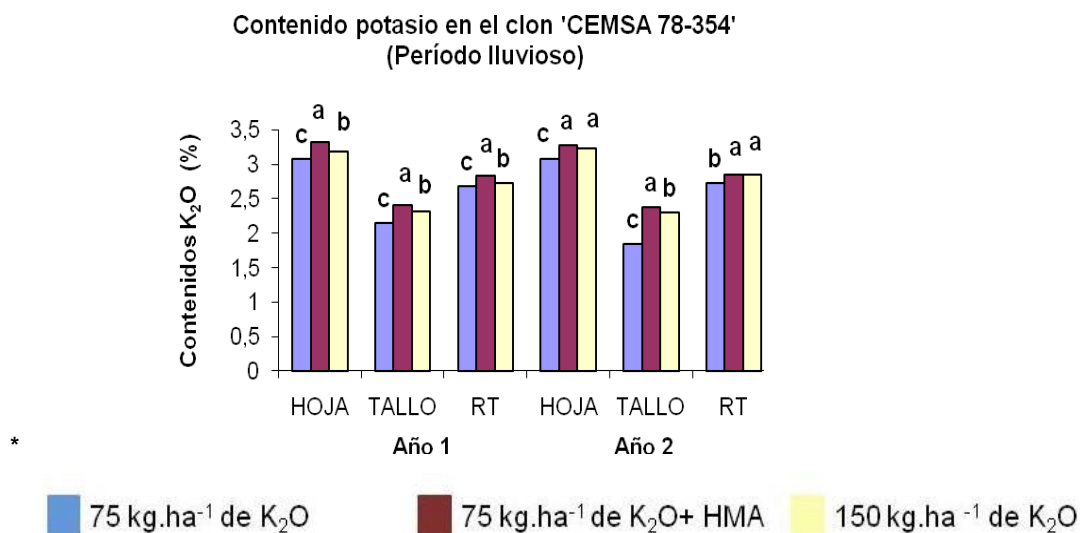


Figura 6. Contenidos de potasio en hoja, tallo y raíz tuberosa (RT), período lluvioso, clon CEMSA 78-354'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para $p < 0,05$).

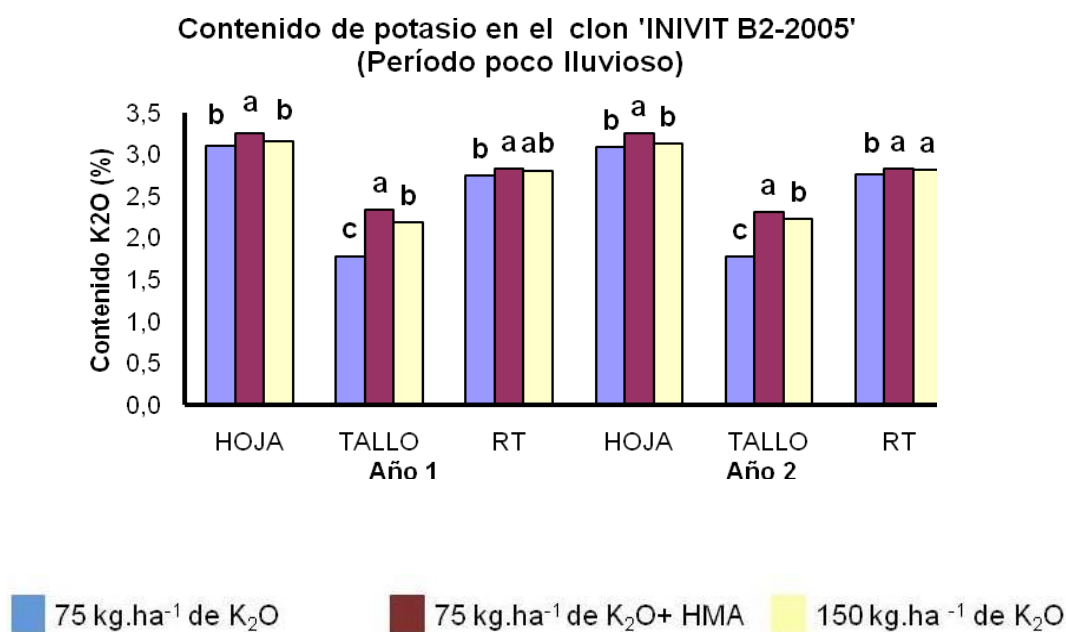


Figura 7.Contenidos de potasio en hoja, tallo y raíz tuberosa (RT), período poco lluvioso, clon 'INIVIT B2-2005'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

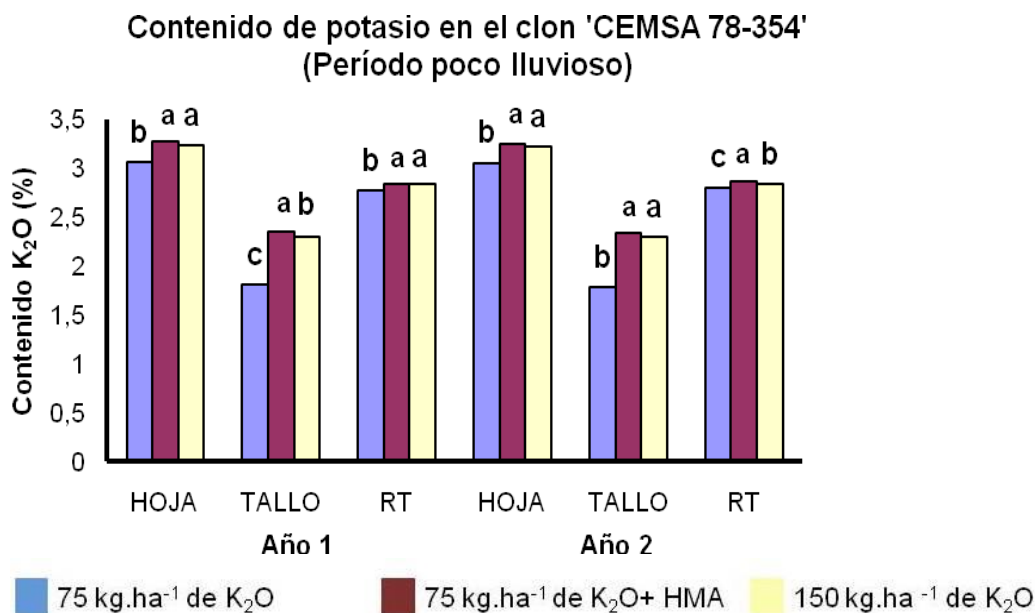


Figura 8.Contenidos de potasio en hoja, tallo y raíz tuberosa (RT), período poco lluvioso, clon 'CENSA 78-354'. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para p<0,05).

Para el clon 'CEMSA 78-354' en el mismo periodo el mejor tratamiento, ya mencionado en el año 1, no tiene diferencias significativas con los contenidos de la hoja y las raíces tuberosas y si tiene diferencias con el contenido del el tallo con el tratamiento 150 kg,ha⁻¹ de K₂O. En el segundo año el mejor tratamiento no tiene diferencias con 150 kg,ha⁻¹ de K₂O, en la hoja y el tallo y si tiene diferencias significativas con los demás tratamientos en la raíz tuberosa.

Se plantea que de las cantidades de fertilizantes minerales aplicados, sólo se aprovecha alrededor del 50%; sin embargo, con la utilización de los HMA puede ser recuperado por la planta un porcentaje mayor.

En las Tablas 4 y 5 se muestra el efecto de los tratamientos sobre la extracción y la exportación de potasio para los clones de boniato 'INIVIT B2-2005' y 'CEMSA 78-354', tanto para el periodo lluvioso como poco lluvioso.

En ambos períodos y para ambos clones el tratamiento 75 kg,ha⁻¹ de K₂O inoculado con *R. intraradices*, tiene los valores más altos en cuanto a extracción y exportación con diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, esta conducta se repite en cada año y los valores máximos están en rangos de 483 a 489 kg,ha⁻¹ de K₂O de extracción en el periodo lluvioso y de 360 a 368 kg,ha⁻¹ de K₂O de extracción en el periodo poco lluvioso para cada clon. En el caso de la exportación los valores máximos van de 183 a 184 kg,ha⁻¹ de K₂O en el periodo lluvioso y de 136 a 140 kg,ha⁻¹ de K₂O para el periodo poco lluvioso.

Discusión

Resultados similares obtuvieron Herrera *et al.*, (1995) y Siqueira *et al.*, (2010). cuando aseveraron que la efectividad micorrízica

arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras; primeramente relacionada con el rendimiento de un determinado cultivo o sea la efectividad de un endófito sobre el crecimiento de la planta, con el número de propágulos en un ecosistema natural o con la transferencia de nutrientes por unidad de carbohidratos intercambiados durante la simbiosis.

La inoculación con *R. intraradices*, vinculada con el 50% de las dosis de fertilizante mineral recomendada para garantizar los requerimientos nutricionales del cultivo del boniato, corrobora los resultados obtenidos por Ruiz (2001) y además demostró una vez mas que la cepa *R. intraradices* fue altamente efectiva en suelos Pardos mullidos carbonatados.

Según Fernández (1999), Ruiz (2001), Rivera y Fernández, (2003) las plantas inoculadas con cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares requieren de un suministro adecuado de nutrientes para un óptimo funcionamiento y a su vez este suministro será menor que los requerimientos de fertilizantes de ese mismo cultivo no inoculado, manifestándose en presencia de fertilizantes minerales.

En estos trabajos realizados en ambos periodos con dos clones de boniato, la aplicación de los inoculantes micorrizicos provocó disminuciones en los requerimientos del fertilizante potásico.

La inoculación con hongos micorrízicos aumentan el rendimiento agrícola de los cultivos, porque no sólo mejoran la absorción de nutrientes, sino que también puede convertirlos los nutrientes disponibles para las plantas (Musfal, 2010) y puede cambiar la morfología de las raíces (Setiadi, 2003).

Tabla 4. Extracción y exportación de potasio en dos clones de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado en el periodo lluvioso. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para $p < 0,05$).

Clon	'INIVIT B2-2005'		'CEMSA 78-354'	
	Extracción (kg.ha ⁻¹)	Exportación (kg.ha ⁻¹)	Extracción (kg.ha ⁻¹)	Exportación (kg.ha ⁻¹)
Año 1				
Dosis K₂O (kg.ha⁻¹)				
75	423,48 c	167,61 c	419,86 c	165,39 c
75+HMA	481,21 a	183,25 a	477,97 a	183,23 a
150	462,35 b	181,01 b	449,14 b	175,44 b
ES ±	0,68*	0,39*	1,10*	0,58*
Año 2				
75	423,85 c	168,70 c	424,83 c	170,60 c
75+HMA	489,45 a	183,93 a	483,62 a	184,01 a
150	469,00 b	181,09 b	460,16 b	180,90 b
ES ±	0,63*	0,53*	0,77*	0,27*

Tabla 5. Extracción y exportación de potasio en dos clones de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado en el periodo no lluvioso. (Medias con letras diferentes difieren según Tukey (HDS) para $p < 0,05$).

Clon	'INIVIT B2-2005'		'CEMSA 78-354'	
	Extracción (kg.ha ⁻¹)	Exportación (kg.ha ⁻¹)	Extracción (kg.ha ⁻¹)	Exportación (kg.ha ⁻¹)
Año 1				
Dosis K₂O (kg.ha⁻¹)				
75	317,36 c	125,15 c	311,96 c	125,91 c
75+HMA	368,72 a	140,05 a	360,46 a	135,73 a
150	241,73 b	130,96 b	339,12 b	131,13 b
ES ±	1,81*	0,54*	0,98*	0,58*
Año 2				
75	308,40 c	123,03 c	306,60 c	123,44 c
75+HMA	359,37 a	136,22 a	360,81 a	136,20 a
150	332,83 b	127,46 b	336,31 b	128,06 b
ES ±	0,72*	0,42*	0,66*	0,44*

Entre la multitud de microorganismos que conforman el agroecosistema, los hongos micorrizicos resaltan porque tienen la capacidad de formar puentes entre las plantas y el suelo; estos hongos colonizan y penetran en las raíces de las plantas, mientras sus hifas están en íntimo contacto con la microbiota que habita en los agregados del suelo y contribuye a la formación de su estructura.

El tipo de cepa de HMA y la especie a que pertenece es uno de los factores fundamentales que condicionan la eficiencia del hongo, sobre todo en su interacción con el cultivo. A nivel mundial, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas las raíces y tubérculos han tenido distintas respuestas al efecto de una o varias especies de HMA inoculadas.

Varios autores han estudiado la influencia de las estaciones y el tipo de suelo sobre el funcionamiento micorrizico y han encontrado que en suelos con mal drenaje y alta retención de humedad, los mayores porcentajes de colonización se encuentran durante la estación seca (Adriano *et al.*, 2006), mientras que en suelos con buen drenaje, los mayores porcentajes de colonización se encuentran en la estación lluviosa (Apple *et al.*, 2005; de Oliveira y de Oliveira, 2005 y Becerra *et al.*, 2007).

La efectividad micorrizica arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras; primeramente relacionada con el rendimiento de un determinado cultivo o sea la efectividad de un endófito sobre el crecimiento de la planta, con el número de propágulos en un ecosistema natural o con la transferencia de nutrientes por unidad de carbohidratos intercambiados durante la simbiosis (Herrera *et al.*, 1995; Siqueira *et al.*, 2010).

El K^+ es el catión más abundante en las plantas; participa en la conformación activa de muchas enzimas que intervienen en los procesos de fotosíntesis y respiración y en el transporte de los azúcares solubles. Su presencia en altas concentraciones se refleja en los aumentos del contenido de carbohidratos solubles y de proteína bruta en el tejido vegetal en condiciones de suficiencia de nitrógeno (Boschini y Vargas, 2009).

El K es un componente obligado en las células vivientes, dependiendo de su absorción y ocasionalmente de su liberación para asegurar su crecimiento y mantenerse vivas (Rodríguez-Navarro & Rubio, 2006 y Dupré de Boulois, 2007). Según Sparks y Huang (1985), la liberación de K intercambiable en los suelos es más baja que las tasas de adquisición de K^+ por las plantas, por lo que el contenido de K^+ en los suelos es generalmente bajo (Pretty y Stangel, 1985).

Según resultados encontrados por Boschini y Vargas (2009). El K^+ es el catión más abundante en las plantas. Participa en la conformación activa de muchas enzimas que intervienen en los procesos de fotosíntesis y respiración y en el transporte de los azúcares solubles. Su presencia en altas concentraciones se refleja en los aumentos del contenido de carbohidratos solubles y de proteína bruta en el tejido vegetal en condiciones de suficiencia de nitrógeno.

Algunas evidencias sugieren que los hongos micorrizógenos arbusculares pueden estar involucrados en el transporte de K. Por ejemplo, los estudios de George *et al.* (1992) informaron una disminución de K en un compartimento hifal colonizado por *G. mosseae*, de la misma manera que Marschner y Dell (1994) y Smith y Read (1997) encontraron incrementos en la

concentración de K en tallos de plantas micorrizadas.

Dupré de Boulois *et al.* (2006) sugirieron que el K podría estar asociado con el P durante su transporte. Esta consideración está sustentada por las observaciones de Ryan *et al.* (2003 y 2007), quienes mostraron una fuerte correlación entre las concentraciones de P y K dentro del micelio intrarradical de HMA, sugiriendo que el K posiblemente está asociado con ortofosfatos y polifosfatos para balancear las cargas negativas de estos iones.

La mayor acumulación de K en las plantas relacionada con el aumento de las dosis de fertilización con K se explica porque en condiciones de alta disponibilidad de K en el suelo, las plantas absorben altas cantidades que se acumulan en los orgánulos de la célula vegetal (cloroplastos, mitocondrias y vacuolas) y caracterizan el consumo de lujo (Gommers *et al.*, 2005).

El K es uno de los elementos que más extraen los pastos (Rincón y Ligarreto, 2008). Megda y Monteiro (2010) mencionan que el potasio es el segundo nutriente más extraído por las plantas después del nitrógeno, y se relaciona con los procesos fisiológicos y bioquímicos, además muestra un efecto sinérgico positivo sobre la nutrición nitrogenada de las planta.

Estos resultados coinciden con Ruiz (2001) cuando planteo que las raíces y tubérculos pueden exportar del suelo en un ciclo de cosecha entre 44 y 143 kg de N.ha⁻¹, 25-100 kg de P₂O₅.ha⁻¹ y 102-242 kg de K₂O.ha⁻¹, según el cultivo y rendimiento alcanzado por el mismo.

Del mismo modo Ruiz (2001) ratifico que una característica común de las raíces y tubérculos

es el hecho de que sus rizomas presentan, proporcional a su elevada capacidad de rendimiento, demandas altas de nutrientes, lo que provoca que con la cosecha ocurran considerables exportaciones de los mismos del suelo; trayendo como consecuencia una sensible disminución de la fertilidad. De ahí que la fertilización, sobre todo de NPK, se haga imprescindible para estos cultivos.

CONCLUSIONES

- Los mejores resultados se alcanzaron cuando se utilizó 75 kg.ha⁻¹ de K₂O, inoculado con la cepa de HMA *R. intraradices*, lográndose incrementos en el rendimiento entre el 15 y 20 % con respecto al testigo y un ahorro del 50 % del fertilizante mineral.
- Los mayores valores de colonización y contenidos de esporas se alcanzaron con el tratamiento 75 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado con la cepa de HMA *R. intraradices*.
- Los mayores contenidos de potasio en los diferentes órganos en la planta, extracción y exportación de nutrientes se alcanzaron con el tratamiento 75 kg.ha⁻¹ de K₂O inoculado con la cepa de HMA *R. intraradices*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, M.L.; Solís, F.; Gavito, M.E. y Salvador, M. (2006): Agronomical and environmental factors influence root colonization, sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi at a specific phenological stage of banana trees. *Journal of Agronomy*, 5 (1): 11-15.
- Apple, M.E.; Thee, C.I.; Smith, V.L.; Cogar, C.R.; Wells, C.E.; Nowak, R.S. (2005): Arbuscular mycorrhizal colonization of *Larrea tridentate* and *Ambrosia dumosa*

- roots varies with precipitation and season in the Mojave Desert. *Symbiosis*, 39: 1- 5.
- de Oliveira, A.N. y de Oliveira, L.A. (2005): Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in plants of *Theobroma grandiflorum* Schum and Paullina cupana Mart. of an agroforestry system in Central Amazonia, Amazonas State, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36: 262 – 270.
- Dupré de Boulois, H. (2007): Role of arbuscular mycorrhizal fungi on the accumulation of radiocaesium by plants. *Université Catolique de Louvain. Belgique*, 292 p.
- Dupré de Boulois, H.; Voets, L.; Delvaux, B.; Jakobsen, Y. y Declerck, S. (2006): Transport of radiocaesium by arbuscular mycorrhizal fungi to *Medicago truncatula* under *in vitro* conditions. *Environmental Microbiology*, 11: 1926-1934.
- Elizondo, J. (2007): Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana*, 18 (2):255.
- FAOSTAT (2010): Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online URL <http://apps.fao.org>.
- Fernández, M .F. (1999): Efecto del manejo de las asociaciones micorrizicas arbusculares sobre la producción de posturas del cafeto (*C.arabica* L.). [Tesis de Doctorado en línea] La Habana: Universidad Agraria, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en:<http://www.inca.edu.cu/redmicorizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf>.
- Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; Martínez, M. A.; de la Noval, Blanca y Rivera, R. 2000. Producto inoculante micorrizógeno. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Patente No. 22641
- George, E.; Hausler, K.U.; Vetterlein, D.; Gorgus, E. y Marschner, H. (1992): Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. *Canadian Journal of Botany*, 70: 2130-2137.
- Gommers, A.; Thiry, Y. y Delvaux, B. (2005): Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocaesium from weathered soils: I. Influence of potassium depletion. *J. Environ. Qual.*, 34:2167-2173.
- González, P.J. (2014): Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género *Brachiaria*. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas, Mayabeque, 167 p.
- Hernández, J. A.; Pérez, J. J. M.; Bosch, I. D. y Castro, S. N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA, Cuba, 93 p. ISBN: 978-959-7023-77-7. <http://ediciones.inca.edu.cu/> <http://www.inca.edu.cu>.
- Herrera R.A.; Ferrer R.L.; Furrzola E. y Orozco M.O. (1995): Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. *Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, Evolución y Procesos Sociales*. (Eds. Maximina Monasterio) Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida. 42 .p
- Kaminski, J.; Moterle, D.V.; Rheinheimer, D.S.; Gatiboni, L.C. y Brunetto, G. (2010): Potassium availability in a Hapludalf soil under long term fertilization. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:783-791.
- Marschner, H. y Dell, B. (1994): Nutrient -uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159: 89-102.
- MINAG (2008): Instructivo Técnico sobre el cultivo del boniato. Ministerio de la Agricultura. SEDARI/AGINFOR. Ciudad de la Habana, Cuba, 24 p.

- Megda, M. y Monteiro, F. (2010): Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandupalisadegrass, R. Bras. Zootec., 39(8), 1666-1675.
- Musfal, P. (2010): Potensi cendawan mikoriza arbuskula untuk meningkatkan hasil tanaman jagung. JLitbang Pert, 29 (4): 154-158.
- Peña-Venegas, C. P.; Cardona, G.I.; Arguelles, J.H. y Arcos, A.L. (2007): Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia Colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. Acta Amazónica, 37 (3): 327 – 336.
- Pretty, K. M. y Stangel, P. J. (1985): Current and future use of world potassium. En: Potassium in agriculture. Munson, R. D. (Ed.). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 99-128.
- Riera, M.C. (2002): Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo Ferralítico Rojo. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. 120 p.
- Rincón, A. y Ligarreto, G. (2008): Fertilidad y extracción de nutrientes en la asociación maíz-pastos en suelos ácidos del pie de monte Llanero de Colombia. Agronomía Colombiana, 26(2), 322-331.
- Rivera, R.; Fernández, F.; Hernández, A.; Triana, J. R. y Fernández, K. (2003): El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. Ediciones INCA, ISBN: 959-7023-24-5. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/299979710>. La Habana. 166 p.
- Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. (2007): Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. En: Mycorrhizae in Crop Production, Chantal Hamel y Christian Plenchette (eds.). Haworth Press, Binghamton, N. Y. Hard Cover. ISBN: 978-1-56022-306-1; Soft Cover, 151-196.
- Rodríguez-Navarro, A. y Rubio, F. (2006): High affinity potassium and sodium transport systems in plants. Journal of Experimental Botany, 57: 1149-1160.
- Ruiz, L. (2001): 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 de grado para optar por el título de Dr. en Ciencias Agrícolas, INCA, La Habana, 117 p.
- Ryan, M.H.; McCully, M.E. y Huang, C.X. (2003): Location and quantification of phosphorus and other elements in fully hydrated, soil-grown arbuscular mycorrhizas: a cryo-analytical scanning electron microscopy study. New Phytologist, 160: 429-441.
- Ryan, M.H.; McCully, M.E. y Huang, C.X. (2007): Relative amounts of soluble and insoluble forms of phosphorus and other elements in intraradical hyphae and arbuscules of arbuscular mycorrhizas. Functional Plant Biology, 34: 457-464.
- Setiadi, Y. (2003): Arbuscular Mycorrhizal Inoculum Production. Abstrak Seminar dan Pameran Teknologi Produksi dan Pemanfaatan Inokulan Endo-Ektomikoriza untuk Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan. 16 September 2003. Bandung, 10 p.
- Siqueira, J.O.; de Souza, F.A.; Cardoso, E.J.B.N. y Tsai, S.M. (2010): Micorrizas: 30 años de pesquisas no Brasil. Ed. Lavras: UFLA. 716p. ISBN 978-85-87692-90-0.

- Smith, S. E. y Read, D. J. (1997): Mycorrhizal Symbiosis. Second Edition. Academic Press, London.
- Sparks, D.L. y Huang, P.M. (1985): Physical chemistry of soil potassium. En: Potassium in agriculture. Munson, R.D. (Ed). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, 201-276.
- SPSS (2012): Statistical Package for the Social Sciences. Versión 2.1. Manual del usuario del sistema básico de IBM. [En línea]. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: <<http://www-01.ibm.com/software/es/stats21/>>
- Zhang, D.; Cervantes J.; Huaman, Z.; Carey, E. y Ghislain, M. (2000): Assessing genetic diversity of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) from tropical America using AFLP. Genet. Resour. Crop Evol., 47:659-665.
- WRB (World reference base for soil resources) (2014): International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Reports no. 106. FAO, Roma, 81 p. ISBN: 978-92-5-108369-7. ISSN: 0532-0488.

Fecha de recepción: 7 noviembre 2016

Fecha de aceptación: 12 marzo 2017

Agrotecnia de Cuba
ISSN impresa: 0568-3114
ISSN digital: 2414- 4673
<http://www.ausuc.co.cu>

