

Estudio sobre la participación del potasio del suelo en la nutrición de *Morus alba* (L.)

Gertrudis Pentón Fernández^{1*}, Giraldo Martín Martín¹, Alberto Hernández², Pedro José González Cañizares², Ramón Rivera Espinosa²

Síntesis

Se realizó una investigación en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Cuba, durante dos años, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, con el objetivo de caracterizar la participación del K del suelo en la nutrición de *M. alba* (L.). La plantación seleccionada se encontraba establecida en un marco de siembra en surcos dobles (0,50 m x 0,50 m x 1 m), con una densidad de 26666 plantas ha⁻¹. Se evaluó la interacción de los factores, intercalamiento de *Canavalia ensiformis* (L.) inoculada con HMA, y dosis de fertilización mineral: dosis 0 de fertilización mineral (F0), dosis a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O por época (F1) y dosis a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O por época (F2). El marco de siembra de la canavalia intercalada fue 0,75 m x 0,54 m. La ubicación respecto al surco de morera se realizó a 0,25 m y 0,5 m (camellón estrecho o ancho). Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial y el programa estadístico Infostat 2008. El tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA complementada con la dosis de fertilización F1 garantizó elevadas extracciones de K en el forraje (364,67 kg ha⁻¹ en el año 1 y 516,21 kg ha⁻¹ en el año 2), comparables con las extracciones de N. La participación de las formas no intercambiables de K en el suelo fue alta y estuvo asociada con las concentraciones bajas y estables de K intercambiable durante el período experimental. Se concluye que la especie *M. alba* (L.) extrae del suelo altas cantidades de N y K. En la nutrición de la morera, las formas de K no intercambiables tienen una contribución significativa. Se recomienda realizar estudios a mediano y largo plazo que profundicen en la dinámica de las formas de K en el suelo e incluir los contenidos de las formas no intercambiables en los estudios de índices críticos de K para la nutrición de la morera.

Palabras claves: Morera. Extracción. K intercambiable. K no intercambiable.

Study on the participation of soil potassium in the nutrition of *Morus alba* (L.)

Abstract

A trial was conducted at the Pastures and Forages Research Station, Cuba, during two years, on a lixiviated Ferralitic Red soil, in order to characterize the participation of the soil K in the nutrition of *M. alba* (L.). The selected plantation had been established in a planting frame of double rows (0,50 m x 0,50 m x 1 m), with a density of 26666 plants ha⁻¹. The experiment evaluated the interaction of the factors intercropping of AMF-inoculated *Canavalia ensiformis* (L.) and doses of mineral fertilization: 0 dose of

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" - Cuba

*Autora para correspondencia: tulypenton@gmail.com

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas - Cuba

Recebido para publicação em 20 de novembro de 2016

Aceito para publicação em 11 de dezembro de 2016

mineral fertilization (F0), dose at a rate of 100, 50, 50 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅ and K₂O per season (F1) and dose at a rate of 200, 100, 100 kg ha⁻¹ of N, P₂O₅ and K₂O per season (F2). The planting frame of the intercropped jack bean was 0,75 m x 0,54 m. The location with regards to the mulberry row was made at 0,25 m and 0,5 m (narrow or wide row). An experimental design of randomized blocks was used with factorial arrangement, and the statistical program Infostat 2008 was applied. The treatment with intercropped AMF-inoculated jack bean complemented with the fertilization dose F1 guaranteed high extractions of K in the forage (364.67 kg ha⁻¹ in year 1 and 516.21 kg ha⁻¹ in year 2), comparable to the extractions of N. The participation of the non-exchangeable forms of K in the soil was high and it was associated with the low and stable concentrations of exchangeable K during the experimental period. It is concluded that the species *M. alba* (L.) extracts high quantities of N and K from the soil. In the nutrition of mulberry the non-exchangeable forms of K have a significant contribution. To conduct medium- and long-term research to study further the dynamics of the forms of K in the soil and to include the contents of the non-exchangeable forms in the studies of critical K values for mulberry nutrition, is recommended.

Keywords: Mulberry. Extraction. Exchangeable K. Non-exchangeable K.

Introducción

La morera [*Morus alba* (L.)] es una especie forrajera promisoría, que se emplea en más de 42 países con diversos fines. Se desarrolla bien en disímiles tipos de suelo, principalmente en aquellos que presentan alta fertilidad (DATTA, 2002).

Esta especie se destaca por sus elevados rendimientos de forraje destinado a la alimentación de rumiantes y monogástricos, y por su alta aceptabilidad, digestibilidad, valor nutricional y perennidad frente al corte; también puede ser empleada como forraje verde y conservada en forma de ensilaje o harina (MARTÍN *et al.*, 2007).

El cultivo se caracteriza por sus elevados requerimientos de nutrientes, fundamentalmente de N y K (LIU *et al.*, 2002; MARTÍN, 2004); por lo que la producción sostenible de forraje depende de la capacidad amortiguadora del suelo para garantizar los requerimientos nutricionales de las plantas, sin que ello implique el deterioro de sus características químicas, físicas y biológicas.

Acerca de la nutrición con K numerosas investigaciones han confirmado que la vía de ingreso natural a la solución del suelo es la reposición proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios (SARDI ; DEBRECZENI, 1992; BUHMAN, 1993).

Según señalan Rosolem y Nakagawa (1985), Rosolem *et al.* (1993), Calonego *et al.* (2005), Kaminski *et al.* (2007) y Simonsson *et al.* (2007), independientemente de que la fertilización de las plantas con K sea balanceada, el K que se libera de los residuos orgánicos y el no intercambiable en el suelo son moviliza-

dos hacia las formas disponibles, y contribuye a la nutrición de las plantas a corto, mediano o largo plazo. De ahí que en los suelos tropicales se mantienen en equilibrio los niveles de K intercambiable independientemente del tipo de suelo (ROSOLEM *et al.*, 1993).

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

La mayor acumulación de K en las plantas, relacionada con el aumento de las dosis de este elemento, 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).

La menor acumulación de K en las hojas, está relacionada con el insuficiente suministro de ese nutriente a las plantas, y es atribuida al agotamiento de las formas disponibles en el suelo. En este sentido, los resultados obtenidos por Kaminski *et al.* (2007) corroboraron que la capacidad de suministro del K depende más del K recién adicionado que de la fertilización residual, debido a que este elemento es uno de los de mayor movilidad en el suelo.

Según Gommers *et al.* (2005), cuando los mecanismos que controlan la absorción del K por las plantas son eficientes, principalmen-

te en condiciones de bajas concentraciones en la solución del suelo, ocurre un fuerte gradiente químico en dirección a la rizosfera que crea un ambiente favorable hacia la liberación de las formas no intercambiables. Las especies del género *Brachiaria* constituyen un ejemplo de ello, y se ha demostrado que en los suelos cultivados con las especies *B. ruziziensis*, *B. brizantha* y *B. decumbens* ocurre el agotamiento del K tanto en las formas intercambiables como no intercambiables; y dicha disminución se debe a una elevada acumulación de K por las plantas (MOODY; BELL, 2006; GONZÁLEZ *et al.*, 2010).

Además, Simonete *et al.* (2002) estimaron que en el cultivo de *Oryza sativa* (arroz) la contribución del K no intercambiables representó el 30 % del K acumulado por las plantas; mientras que Fraga *et al.* (2009) informaron que la contribución de K no intercambiable para las plantas de arroz varió de 12 a 72 %, con y sin adición de K vía fertilización, respectivamente. Por su parte, Rosolem *et al.* (1993) y Silva *et al.* (1995) refirieron que el K no intercambiable fue la principal fuente de K para el cultivo de la soja (*Glycine max*), independientemente del tipo de suelo.

En el cultivo de la morera existe una tendencia a favor de que al aumentar los niveles de fertilización nitrogenada y con K incrementa la producción de biomasa total y por fracciones en las plantas (ITO, TAKAGISHI, 1997; DATTA, 2002; HUO, 2002; CHEN *et al.*, 2009). Para obtener buenos rendimientos de forraje con niveles

adecuados de proteína, se aplican por lo general cantidades de fertilizantes con K, que en dependencia de las condiciones edafoclimáticas, oscilan entre 100 kg ha⁻¹ y 250 kg ha⁻¹ de K₂O por año (RODRÍGUEZ *et al.*, 1994; CIFUENTES; KEE WOOK, 1998; BENAVIDES, 1999).

Basado en los antecedentes antes expuestos, el objetivo del presente estudio consistió en caracterizar la participación del K del suelo en la nutrición de *M. alba* (L.).

Materiales y métodos

Ubicación geográfica

El estudio se realizó en áreas de la Estación Experimental Indio Hatuey, ubicada entre los 22°, 48' y 7" de latitud norte, y los 81° y 2' de longitud oeste, a 19,9 m-s n m; en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

Características edafoclimáticas

El suelo se corresponde con el tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, según los criterios de Hernández *et al.* (2015), y con la clasificación Nitisol Ferralítico Ródico, Lítico, Eutrico (IUSS WORKING GROUP, 2014). La topografía es llana, con pendiente de 0,5 % a 1,0 % y la profundidad hasta la roca caliza es de 1,50 m.

Los valores de pH y las concentraciones de Ca y Mg intercambiable (Tabla 1) fueron típicos de estos suelos, que presentaron además valores bajos de K intercambiable.

Tabla 1 – Indicadores químicos del suelo al inicio del experimento

	pH H ₂ O	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	K	Na	Ca	Mg
				(cmol _c kg ⁻¹)			
Valor medio	6,14	4,17	7,90	0,09	0,14	11,10	3,90
±Z ₁ Esx	0,20	1,13	5,04	0,01	0,02	0,20	0,57

±Z₁ Esx: límite de confianza para α=0,05

Para los análisis se emplearon los siguientes métodos: pH en H₂O: Potenciometría, relación suelo-agua: 1:2.5 (ONN, 1999). MO: Walkley y Black (ONN, 1999). Cationes intercambiables: extracción con NH₄Ac 1 mol L⁻¹ a pH 7 y determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K), según ONN (1999). P: Oniani (extracción con H₂SO₄ 0.1N, y determinación por espectrometría UV-visible (ONN, 1999).

Fonte: Preparada por los autores, 2016.

La concentración de P disponible fue baja y la de materia orgánica (MO) puede considerarse alta para el agrupamiento de los suelos ferralíticos e indica que es un suelo poco degradado según los criterios de Hernández (2014). El estudio abarcó un período desde noviembre de 2008 hasta noviembre de 2010. Se ejecutó

en una plantación de morera previamente establecida con el cv. tigreada.

El período experimental se caracterizó por un régimen de precipitaciones que varió más entre años y épocas que la temperatura media del aire (TABLA 2).

Tabla 2 – Comportamiento de las variables climatológicas, precipitación (mm) y temperatura media del aire (°C)

	2009		2010	
	mm	°C	mm	°C
Época lluviosa (Mayo-Octubre)	932,8	26,1	1 129,2	26,3
Época poco lluviosa (Noviembre – Abril)	156,3	21,2	322,7	20,5
Año	1 089,1	23,6	1 451,9	23,4

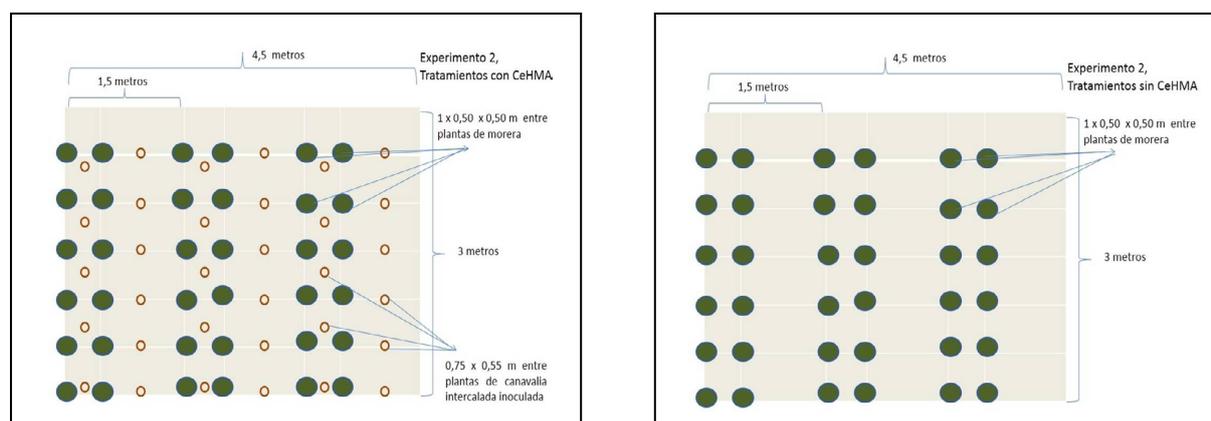
Fonte: Preparada por los autores, 2016.

Descripción del experimento

La plantación seleccionada se encontraba establecida desde el año 2004, sobre un área de 1000 m². El marco consistió en surcos dobles (0,50 m x 0,50 m x 1 m) y se correspondió con una densidad de 26666 plantas ha⁻¹.

Las parcelas experimentales tenían una superficie de 13,5 m² y estaban compuestas por 36 plantas (FIGURA 1), de las cuales se consideraron 12 en el área de cálculo, con una edad homogénea. La altura de corte de la morera fue de 30 cm.

Figura 1 – Distribución de las plantas de morera en las parcelas y ubicación de las plantas de canavalia intercalada e inoculada con HMA



Fonte: Preparada por los autores, 2016.

El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas. Factor: intercalamiento de canavalia [*C. ensiformis* (L.)] inoculada con HMA (*Glomus cubense*) (**A**) Sin canavalia intercalada e inoculada con HMA; Canavalia intercalada e inoculada con HMA (CeHMA). Factor : dosis de fertilización mineral (**B**): F0: dosis 0 de fertilización mineral; F1: dosis intermedia de fertilización mineral a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O por época; F2: dosis superior de fertilización mineral a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O por época.

Se sembró la canavalia, de forma manual, a los quince días de los meses de mayo y noviembre de cada año, inoculadas con una cepa de *G. cubense*. Las semillas se recubrieron mediante el método establecido por Rivera *et al.* (2006) con 0,15 g de inoculante por semi-

lla en cada época del año. El inoculante micorrízico consistió en esporas y otros propágulos, y fue preparado por la tecnología del EcoMic® (FERNÁNDEZ *et al.*, 2000) en el departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas del INCA, con un título de 25 esporas por cada gramo de inoculante como mínimo. Tras el corte de la canavalia como abono verde, a los 60 días después de la siembra, la biomasa aérea se fraccionó en partes iguales y se colocó en forma de arrojado alrededor de la morera en una proporción de 1,25 plantas de canavalia por cada planta de morera.

El marco de siembra de la canavalia fue 0,75 m x 0,54 m (FIGURA 1). La ubicación respecto al surco de morera se realizó a 0,25 m y 0,5 m (camellón estrecho o ancho). Los fertilizantes se aplicaron en forma manual, sobre la superficie del suelo y en la base del tallo, a los

siete días de los meses de mayo y noviembre. Los portadores de fertilizantes utilizados fueron urea (46%), superfosfato simple (20%) y cloruro de potasio (60%).

Se mantuvieron las labores de limpieza manual de plantas arvenses durante todo el período experimental; y se asumió el criterio de no aplicar riego, en correspondencia con la realidad de la mayoría de las explotaciones agropecuarias.

Evaluaciones y determinaciones realizadas

Extracción de nitrógeno (N) y potasio (K₂O) por la biomasa comestible de morera (kg ha⁻¹)

Se calculó la concentración de cada elemento en la biomasa comestible, a partir de las determinaciones en las hojas y en los tallos tiernos, mediante la siguiente expresión matemática: N; K en biomasa comestible (g kg⁻¹) = RMSH x (N x 10; K x 10) + RMSTT x (N x 10; K x 10) / (RMSH + RMSTT). Siendo, RMSH: rendimiento de masa seca de hojas; RMSTT: rendimiento de masa seca de tallos tiernos.

Para ello se determinaron las concentraciones de N y K, como porcentaje de la masa seca de las hojas y los tallos tiernos, según los métodos analíticos descritos por Paneque *et al.* (2010) y se empleó una balanza analítica de 120 g con precisión de 0,1 mg.

Las determinaciones se realizaron a partir de la digestión húmeda con H₂SO₄ + Se, por los métodos: Nitrógeno (N): determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler. Potasio (K): determinación por fotometría de llama.

Además se realizó el pesaje de la masa verde de las hojas y los tallos tiernos con una balanza técnica de 0,1 kg de precisión; posteriormente se tomaron muestras de 200 g pesados con la balanza técnica de 0,05 kg de precisión, y se colocaron en una estufa de circulación de aire a 70°C hasta alcanzar la masa constante. El porcentaje de masa seca (MS) en cada muestra se determinó de acuerdo con la fórmula siguiente: $MS (\%) = [MS \text{ de la muestra (g)} / \text{masa fresca de la muestra (g)}] \times 100$

El rendimiento o producción de MS se determinó a partir del rendimiento de masa verde (MV) y el porcentaje de MS, mediante la fórmula: $RMS (t \text{ ha}^{-1}) = \{ [MV (kg \text{ en área de cálculo de la parcela}) \times MS (\%) / 100 (\%)] \times 10\,000 \text{ m}^2 \} / \text{área}$

de cálculo de la parcela / 1000

$$RMSBC (t \text{ ha}^{-1}) = RMSH + RMSTT$$

Se calculó la extracción a partir de la expresión matemática: $\text{Extracción de N y K}_2\text{O (kg ha}^{-1}\text{)} = RMSBC \times (\text{g kg de NBC; g kg de KBC} \times 1,20) / 1\,000$.

Siendo:

RMSBC: rendimiento en masa seca de la biomasa comestible; RMSH: rendimiento en masa seca de hojas; RMSTT: rendimiento en masa seca de tallos tiernos; MV: masa verde; MS: Masa seca

Producción de raíces de morera (mg kg⁻¹ de suelo) en el perfil del suelo hasta 80 cm al final del experimento

Durante los últimos días de la época lluviosa, se seleccionaron en cada parcela dos plantas de morera y se extrajeron muestras de suelo en puntos ubicados entre los surcos y entre las plantas seleccionadas, a 25 cm de la base del tallo principal de cada una de ellas, y en la profundidad entre 0 y 80 cm.

Las muestras obtenidas se homogenizaron y se conformó una muestra única de 200 g de suelo por cada parcela, la cual se dejó en un lugar seco y sin exposición directa a los rayos solares. Se maceraron los agregados, se extrajeron las raíces y raicillas por el método de tamizado y lavado con agua corriente hasta eliminar los residuos de suelo, y se secó al aire.

Se desecharon las raíces y raicillas que eran diferentes a las de la especie por el método de reconocimiento visual. Se llevaron a una estufa de circulación de aire a 65 °C hasta alcanzar la masa constante, y se realizó el pesaje en balanza técnica de 0,05 kg de precisión.

Concentraciones de MO y K en el suelo (0-20 cm) al inicio de las evaluaciones y hasta la profundidad de 80 cm al final del experimento: se realizó el muestreo de suelo hasta la profundidad de 80 cm y las determinaciones de K intercambiable (Ki) y materia orgánica del suelo (MO). Para ello se emplearon los métodos descritos por Paneque *et al.* (2010), y se determinó el K difícilmente intercambiable (Kdi) por el método de extracción con HNO₃, hirviendo 1 mol L⁻¹ durante 10 minutos (HELMKE ; SPARKS, 1996) y posteriormente se realizó la determinación por fotometría de llama.

Análisis estadístico

Al final del período experimental se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de Shapiro Wilk, y la homogeneidad de varianza utilizando la prueba de Levene; y se efectuaron, los análisis de varianza con la comparación de medias a través de la prueba de Duncan (1955) a $P \leq 0,05$. El paquete estadístico empleado fue Infostat 2008 (DI RIENZO *et al.*, 2008).

Resultados y discusión**Extracción de N y K_2O en la biomasa comes-****tible de morera**

Se puede apreciar en las tablas 3 y 4 el efecto de la interacción significativa entre los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización sobre la extracción de N y K_2O . Los incrementos en las extracciones estuvieron asociados a los tratamientos con mayor aporte de nutrientes; con el tratamiento de canavalia con dosis intermedias de fertilizantes se obtuvo una alta exportación, tanto de N (TABLA 3) como de K_2O (TABLA 4), similar a las encontradas con las dosis F2 y superiores al resto de los tratamientos.

Tabla 3 – Extracción de N a través de la biomasa comestible de morera ($kg\ ha^{-1}$ de N) a partir del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)					
	Año 1			Año 2		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	173,98c	227,55b	299,87a	222,47e	288,43c	412,21a
Con CeHMA	192,36c	322,74a	315,92a	261,15d	421,83a	381,90b
ES(AxB)±	9,94**			6,30***		

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) ± indica el error estándar de la interacción entre los factores: A (factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, B (factor dosis de fertilización). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo.

Fonte: Preparada por los autores, 2016.

Tabla 4 – Extracción de K a través de la biomasa comestible de morera ($kg\ ha^{-1}$ de K_2O) a partir del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)					
	Año 1			Año 2		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	181,22c	248,99b	338,74a	291,42c	366,46b	525,94a
Con CeHMA	229,85b	364,67a	381,98a	290,15c	516,21a	544,91a
ES±(AxB)	16,15*			21,64**		

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) ± indica el error estándar de la interacción entre los factores: A (factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, B (factor dosis de fertilización). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo.

Fonte: Preparada por los autores, 2016.

El año más lluvioso además de producir más biomasa, presentó un 30 % de incremento en la exportación de N y un 40 % de las exportaciones de K_2O con respecto al año más seco.

Las altas extracciones de N y K_2O a través de la biomasa comestible de morera en todas las condiciones evaluadas se corresponden con los informes de la literatura internacional so-

bre este cultivo, pues según Ito Takagishi (1997) a través de las hojas de morera son exportados 206,41 y 192 $kg\ ha^{-1}$ por año de N, P_2O_5 y K_2O , y ello es un indicador del alto consumo a expensas de las dosis de fertilizantes y de las reservas del suelo.

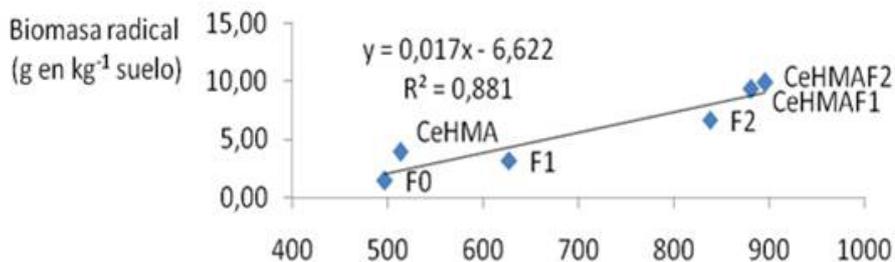
Los resultados de exportación de N evidenciaron que el funcionamiento de los HMA,

introducidos en la rizosfera de la morera vía canavalia, debió estimular los procesos de mineralización de la MO en el suelo y garantizó el mayor acceso al N, que se favoreció además con la fertilización con urea.

En el caso de las mayores extracciones de K_2O , estas se relacionaron de manera directa con el aumento de la biomasa y la distribución

de las raíces de morera (GRÁFICO1). En tal sentido, el intercalamiento de canavalia inoculada con HMA debió jugar un papel determinante y los resultados indican que las raíces micorrizadas fueron capaces de extraer más nutrientes que las raíces no micorrizadas; lo que sugiere una participación activa de las hifas, que exploran un mayor volumen de suelo (ENTRY *et al.*, 2002).

Gráfico 1 – Relación entre la extracción de K acumulada de dos años en la biomasa comestible ($kg\ ha^{-1}$) y la producción de raíces de la morera entre 0 y 80 cm de profundidad, al final del experimento. Se utilizaron seis pares de datos.



Fonte: Preparado por los autores, 2016.

Balance de aportes, extracciones y concentraciones de MO y K del suelo

A partir de las dosis de fertilizante utilizadas y las exportaciones, los balances tanto del N como del K_2O mostraron una alta participación de los nutrientes del suelo (TABLA 5).

Tabla 5 – Balance del N y del K_2O en base a exportaciones y aportes de los fertilizantes y del suelo en los tratamientos más productivos

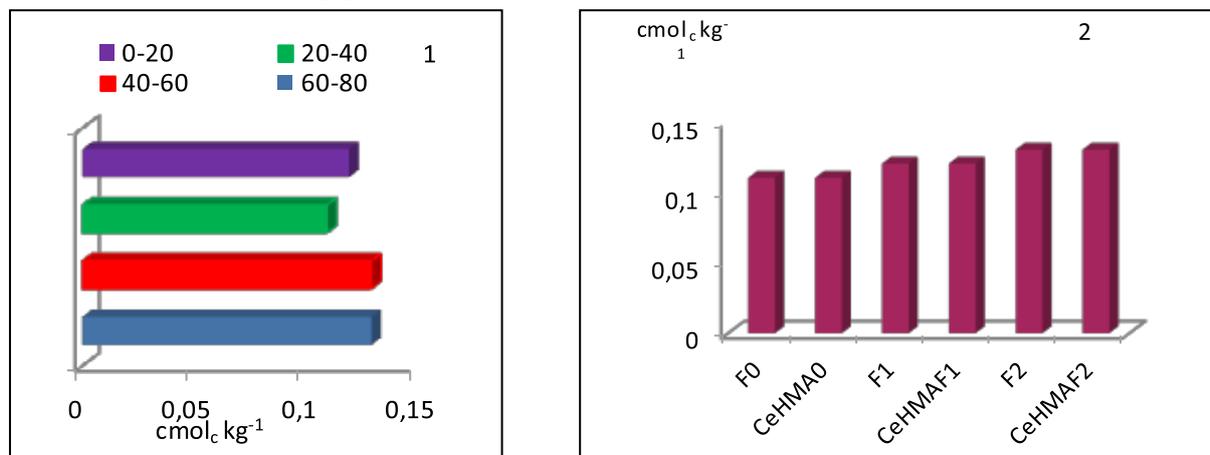
Tratamientos	K_2O			N		
	Exportación en la biomasa	Aportes		Exportación en la biomasa	Aportes	
		FM	suelo		FM	suelo
$kg\ ha^{-1}$						
F1	611,5	200	411,5	516,0	400	116,0
CeHMAF1	880,9	200	680,9	744,5	400	344,5
F2	864,6	400	464,6	712,0	800	-88,0
CeHMAF2	926,9	400	526,9	697,8	800	-102,0

Fonte: Preparada por los autores, 2016.

En relación con el K intercambiable (K_i) la concentración en el suelo al inicio (TABLA 1) y al final (GRÁFICO 2) del experimento fue similar, lo cual indica que esta forma de K no garantizó

el suplemento a las plantas. Lo anterior no debe ser una conducta general, y pudo ser una consecuencia de los valores bajos de K_i al inicio del experimento.

Gráfico 2 – Concentración de K intercambiable (Ki) en el perfil del suelo al finalizar el experimento. La interacción A x B fue ns. 1: Efecto de la profundidad ES (A) $\pm 0,004$ ns. 2: Efecto de los tratamientos ES (B) $\pm 0,004$ ns

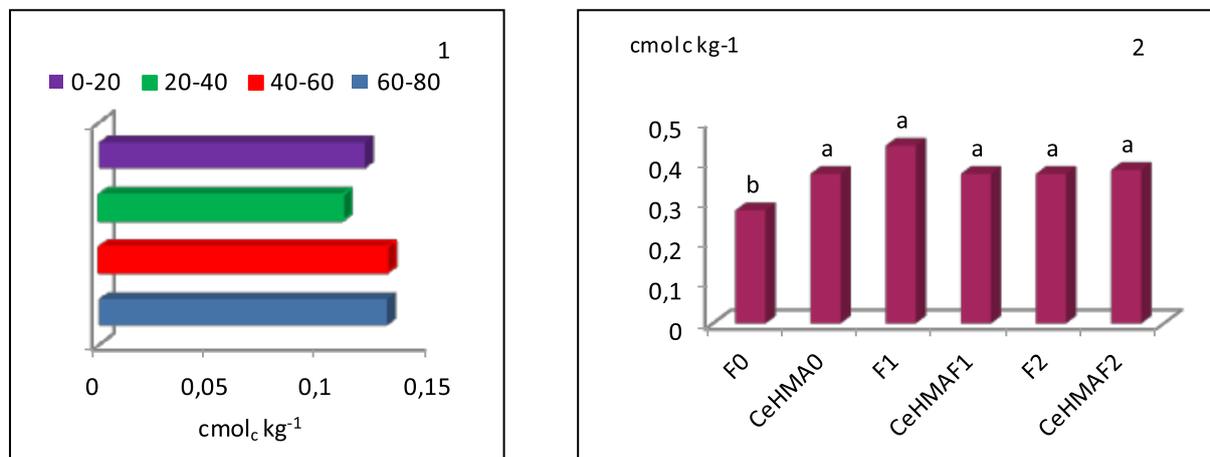


Fonte: Preparado por los autores, 2016.

El efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de K difícilmente intercambiable (Kdi) en las diferentes profundidades (GRÁFICO 3), mostró que: 1) las concentraciones fueron similares en los primeros 60 cm y se

incrementaron significativamente en la mayor profundidad, 2) el tratamiento que no recibió ni fertilizante ni canavalia presentó siempre los valores más bajos.

Gráfico3 – Concentración de K difícilmente intercambiable (Kdi) en el perfil del suelo al finalizar el experimento. La interacción A x B fue ns. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). 1: Efecto de la profundidad ES (A) $\pm 0,02^{***}$. 2: Efecto de los tratamientos ES (B) $\pm 0,03^{**}$



Fonte: Preparado por los autores, 2016.

La información existente sobre Kdi en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (GONZÁLEZ *et al.*, 2010), ha indicado no solo valores superiores en la profundidad (0 – 20 cm) de $0,52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ al cabo de seis años de una plantación de *Brachiaria*, sino que las concentraciones disminuyen con la profundidad.

El comportamiento totalmente diferente encontrado, en unión de los valores bajos de

Kdi que fueron detectados en el suelo, sugiere que el cultivo en cualquiera de los tratamientos, estuvo tomando activamente esta forma de K al menos en los primeros 60 cm. Si bien la utilización por las plantas de formas de K no intercambiables se ha asociado con la existencia de minerales del tipo 2:1 (BLACK, 1968), en los últimos años se ha encontrado que la especie es decisiva para lograr esta participación aún en suelos caoliníticos (KAMINSKY *et al.*, 2010;

ROSOLEM *et al.*, 2012), reportándose a tales efectos la habilidad de las braquiarias.

GONZÁLEZ *et al.*, 2010 en presencia de las dosis óptimas fertilización con K y en este mismo tipo de suelo, también reportó una alta participación de las formas no intercambiables del K del suelo en la nutrición potásica de dos especies de braquiarias y del orden del 45 a 55 %.

La información experimental indicó que la morera también presentó esta característica y conlleva a la necesidad de incluir la determinación y seguimiento de estas formas de K en el suelo con vistas a su utilización racional y a tenerlas en cuenta para la definición de los esquemas de suministro de este nutriente e índices críticos en el suelo.

Una participación importante del N del suelo se encontró también en el tratamiento de CeHMAF1 y se explica por las altas concentraciones iniciales de MO del suelo (TABLA 1) que estuvieron asociados con aplicaciones de abonos orgánicos, realizadas en períodos anterior-

res al inicio del estudio. En los tratamientos con las dosis superior F2, los balances en el suelo fueron positivos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se considera necesario realizar investigaciones a mediano y largo plazo que profundicen en la dinámica de las formas de K en el suelo e incluir los contenidos de las formas no intercambiables en los estudios de índices críticos de K para la nutrición de la morera.

Conclusiones y recomendaciones

La especie *M. alba* (L.) es un cultivo que extrae altas cantidades de N y K.

En la nutrición de la morera, las formas de K difícilmente intercambiables en el suelo tienen una contribución significativa.

Los resultados obtenidos constituyen un aspecto novedoso en Cuba EN SUELOS DE ARCILLA 2: 1? ya que se brindan elementos sobre la participación de las formas de K no intercambiables a corto plazo en la nutrición de esta especie

Referencias

BENAVIDES, J. E. Utilización de la morera en sistemas de producción animal. **Agroforestería para la producción animal en américa latina**. Roma: FAO, 1999.

BLACK, C. A. **Soil-plant relationships**. 2. ed. New York: Wiley, 1968.

BUHMAN, C. K-fixing phyllosilicates in soils, the role of in heriated components. **Journal Soil Science**, v. 44, p.347-360, 1993.

CALONEGO, J.; FOLONI, J. S. S. Y ROSOLEM, C. A. Potassium leaching from plant cover straw at different senescence stages after chemical desiccation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 99-108, 2005.

CHEN, F.; *et al.* Mulberry nutrient management for silk production in Hubei province of China. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, n. 2, p. 245-253, 2009.

CIFUENTES, C. A.; KEE WOOK, S. **Manual técnico de Sericultura**: cultivo de la morera y cría del gusano de seda en el trópico. Colombia: Convenio SENA-CDTS, 1998.

DATTA, R. K. Mulberry cultivation and utilization in India. Mulberry for animal production. **Animal Production and Health**, n. 147, p. 45, 2002.

DI RIENZO, *et al.* **InfoStat, versión 2008**. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, 2008.

DUNCAN, D. B. Multiple range and multiple F test. **Biometrics**, v.11, p.1-42, 1955.

ENTRY, I. A. *et al.* Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v. 7, p. 123-138, 2002.

IUSS WORKING GROUP. World reference base for soil resources 2014 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2014.

Fernández, F.; *et al.* **Producto inoculante micorrizógeno**. La Habana: Oficina Cubana de Propiedad Industrial. Certificado No. 22641, 2000.

FRAGA, T. I. *et al.* Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. **Revista Brasileira e Ciencia do Solo**, v. 33, p. 497-506, 2009.

GOMMERS, A.; THIRY, Y. Y DELVAUX, B. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered soils: I. Influence of potassium depletion. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 6, p. 2167-2173, 2005.

- GONZÁLEZ, E. *et al.* Composición nutritiva del forraje de morera (*Morus alba* cv. tigreada) ante diferentes frecuencias de corte y niveles de fertilización. I. Contenido celular. En: Milagros Milera. **Morera: un nuevo forraje para la alimentación del ganado**. Cuba: EEPF "Indio Hatuey", 2010.
- HELMKE, P. A. Y SPARKS, D. L. Boiling nitric acid extraction method. In: J. M. Bartels, ed. **Methods of analysis**. Madison, USA: Soil Science Society of America, 1996.
- HERNÁNDEZ A *et al.* **Clasificación de los suelos de Cuba 2015**. Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), 2015.
- HUO, Yongkang. **Mulberry cultivation and utilization in China. Mulberry for Animal Production, FAO Animal Production, and Health Paper**, v. 147, p. 11-43, 2002.
- ITO, M. Y TAKAGISHI, H. *Mulberry*. Tokyo: The Fertilization Research Foundation, Japan International Cooperation System. Disponível em: <[http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/mulberry.pdf+morus+alba+ densityyh=es](http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/mulberry.pdf+morus+alba+densityyh=es)>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- Kaminski, J.; Brunetto, G.; Moterle, D. F. y Rheinheimer, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 31:1003-1010, 2007.
- KAMINSKI, João *et al.* Potassium availability in a hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 783-791, 2010.
- LIU, J. X.; SUSENBETH, A.; SÜDEKUM, K. H. In vitro gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 2, p. 517-524, 2002.
- MARTÍN, G. J. **Evaluación de los factores agronómicos y sus efectos en el rendimiento y la composición bromatológica de Morus alba Linn**. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas. 95 f., 2004.
- MARTÍN, G. J.; *et al.* La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. **Pastos y Forrajes**, v.30, p. 3-19, 2007.
- MOODY, P. W.; BELL, M. J. Availability of soil potassium and diagnostic soil tests. **Australian Journal Soil Research**, v. 44, p. 265-275, 2006.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo**. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **Calidad del Suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio**. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **Calidad del suelo. Determinación del por ciento de MO**. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. **Calidad del suelo. Determinación de pH**. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- Ojeda, F. **Valor nutritivo y conservación de la morera (Morus alba L.)**. Conferencias del Programa de Maestría en Pastos y Forrajes. Matanzas. Cuba: EEPF "Indio Hatuey", 2005.
- Paneque, V. M.; *et al.* **Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos**. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2010.
- Rivera, R.; *et al.* La simbiosis micorrízica efectiva y el sistema suelo-planta-fertilizante. **Memorias**. VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. La Habana: Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. [CD-ROM], 2006.
- RODRÍGUEZ, C.; ARIAS, R. Y QUIÑONES, J. Efecto de la frecuencia de poda y el nivel de fertilización nitrogenada, sobre el rendimiento y calidad de la biomasa de morera (*Morus spp.*) en el trópico seco de Guatemala. En: J. E. BENAVIDES, comp. y ed. **Árboles y arbustos forrajeros en América Central**. Turrialba, Costa Rica: CATIE. v. 2. p. 515-529, 1994.
- ROSOLEM, C. A.; BESSA, A. M. Y PEREIRA, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 1045-1054, 1993.
- ROSOLEM, C. A. Y NAKAGAWA, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, p. 707-726, 1985.
- ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. Y STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1507-1515, 2012.
- SARDI, K. ; DEBRECZENI, K. Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p. 17-20, 1992.
- SILVA, D. N.; *et al.* Minerología e formas de potássio em dois latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 433-439, 1995.
- SIMONETE, M. A *et al.* Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 26, p.721-727, 2002.
- SIMONSSON, M.; *et al.* Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. **Geoderma**, v.140, p.188-198, 2007.