

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Efecto de la combinación de HMA y fertilización química en las extracciones de nitrógeno y potasio realizadas por *Morus alba*

Effect of the combination of AMF and chemical fertilization on the extractions of N and K made by Morus alba

Gertrudis Pentón¹, G. J. Martín¹ y R. Rivera²

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Ministerio de Educación Superior Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Ministerio de Educación Superior
E-mail: gertrudis.penton@ihatuey.cu

RESUMEN: El objetivo de esta investigación fue caracterizar las extracciones de nitrógeno y potasio realizadas por la morera (*Morus alba*) y su impacto en el suelo –Ferralítico Rojo– por efecto del manejo integrado de inoculantes micorrizicos y fertilización química. Las especies vegetales utilizadas fueron *Morus alba* L. var. Tigriada, como cultivo principal, y *Canavalia ensiformis*, como medio de multiplicación de estructuras infestivas de HMA. El producto comercial que se empleó para inocular los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) fue EcoMic®, cepa *Glomus cubense*. Los factores estudiados fueron la dosis de fertilización química y la forma de inoculación de HMA. El diseño fue de bloques al azar, con arreglo factorial. Las mayores extracciones de nutrientes se encontraron en la época lluviosa de los dos años estudiados y en la combinación de HMA y fertilización. La mayor disponibilidad de potasio intercambiable siguió la misma tendencia de la dosis de fertilización. Se demostró la necesidad de aplicar fertilizantes tanto al inicio como al final de la época de lluvia. El manejo integrado de la inoculación de HMA disminuyó en 50 % la dosis de fertilización química. Las altas extracciones de N y K₂O en el tratamiento de 200-100-100 kg de N, P y K ha⁻¹ por época no implicaron deterioro en la calidad química del suelo.

Palabras clave: aplicación de abonos, fertilidad del suelo, materia orgánica

ABSTRACT: The objective of this study was to characterize the extractions of N and K made by mulberry (*Morus alba*) and their impact on the Ferralitic Red soil, due to the integrated management of mycorrhizal inoculants and chemical fertilization. *Morus alba* L. var. Tigriada was used as main crop, and *Canavalia ensiformis*, as a multiplication medium of infective arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) structures. The commercial product used to inoculate the AMF was EcoMic®, strain *Glomus cubense*. The studied factors were the fertilization rate and the inoculation form of the AMF. The design was completely randomized, with factorial arrangement. The highest nutrient extractions (250 y 350 kg ha⁻¹ of N and K₂O) were found in the rainy season of the two studied years and in the combination of AMF and fertilization. The highest availability of exchangeable K followed the same trend of the fertilization rate. The need to apply fertilizers at the beginning as well as the end of the rainy season was proven. The integrated management of the AMF inoculation reduced in 50 % the dose of chemical fertilization. The high extractions of N and K₂O in the treatment of 200-100-100 kg of N, P and K ha⁻¹ per season did not imply deterioration in the soil chemical quality.

Key word: fertilizer application, soil fertility, organic matter

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la autosuficiencia alimentaria en nuestro hemisferio es consecuencia, entre otras razones, de la adopción de modelos tecnológicos basados en el empleo irracional de insumos que no están acordes con las exigencias de países en vía de desarrollo. Dichos modelos han provocado daños ecológicos en las áreas rurales, con el consiguiente agotamiento de los recursos naturales, la erosión y la pérdida natural de la fertilidad de los suelos, así como la reducción alarmante de la biomasa y de la diversidad biológica (Martín, 2009). Ante esta situación, resulta impostergable desarrollar alternativas más apropiadas sobre la base de un uso razonable de los recursos endógenos, manejados a partir del conocimiento de cada uno de los elementos que los integran, con un enfoque holístico que fortalezca la sostenibilidad de los agroecosistemas (Ferrera y Alarcón, 2001).

En tal contexto, la especie *Morus alba* L. (morera) aparece como un arbusto forrajero altamente productivo; sin embargo, su explotación intensiva exige altas cantidades de nutrientes en el suelo –fundamentalmente nitrógeno y potasio– y requiere el aporte continuo de estos.

Entre las posibles soluciones están el establecimiento de cultivos intercalados, preferiblemente con leguminosas arbustivas o herbáceas (Martín *et al.*, 2002); y la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), complementada con diferentes fuentes y formas de fertilización. *Canavalia ensiformis* (canavalia) ha demostrado ser una especie de alto potencial en su función de cultivo intercalado, como medio multiplicador de propágulos de HMA (Martín, 2009).

Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las extracciones de nitrógeno y potasio realizadas por la morera y su impacto en el suelo por efecto del manejo integrado de inoculantes micorrízicos y fertilización química.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica. El estudio se realizó en áreas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, del municipio de Perico –provincia de Matanzas, Cuba–, ubicada entre los 22° 48' 7" de latitud Norte y 81° 2' de longitud Oeste, a una altitud de 19,9 msnm (Academia de Ciencias de Cuba, 1989). La plantación experimental colindó con plantaciones de morera y leucaena.

Características edafoclimáticas. Durante el periodo experimental (dos años), la precipitación

media anual fue de 1 486,9 mm. De esta, el 19 % correspondió al periodo seco, que se enmarcó entre el 15 de noviembre y el 15 de abril. Los valores de temperatura media oscilaron entre 19,5 °C, en el mes de diciembre, y 26,6 °C, en julio y agosto.

El suelo es de topografía llana y se clasifica como Ferralítico Rojo hidratado (Hernández *et al.*, 1999), con buen drenaje superficial e interno. La composición química se caracteriza por presentar valores medios de materia orgánica, fósforo asimilable, sodio, potasio, calcio y magnesio intercambiable. El pH es ligeramente ácido (tabla 1), de acuerdo con la tabla de valoración cuantitativa de Paneque (2001), para el suelo Ferralítico Rojo.

Tabla 1. Algunas características de la composición química en el horizonte cultivable (0-20 cm).

| Elemento | Momento del muestreo | |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|
| | Establecimiento de la plantación | Inicio del experimento |
| Na (cmol kg ⁻¹) | 0,06 | 0,05 |
| K (cmol kg ⁻¹) | 0,20 | 0,10 |
| Ca (cmol kg ⁻¹) | 11,39 | 8,69 |
| Mg (cmol kg ⁻¹) | 2,57 | 4,23 |
| P (cmol kg ⁻¹) | 17,99 | 13,41 |
| MO (%) | 2,87 | 4,28 |
| pH (H ₂ O) | 6,61 | 6,12 |

Origen y características de los recursos genéticos empleados. Las especies vegetales utilizadas en el estudio fueron *M. alba* L. var. Tigriada, como cultivo principal, y *C. ensiformis*, como medio de multiplicación de estructuras reproductivas de HMA.

El producto comercial empleado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) fue EcoMic®. La cepa de HMA utilizada fue *Glomus cubense* y se obtuvo a partir de inóculos micorrízicos certificados, con 20 esporas por gramo de inoculante (Fernández *et al.*, 2001), producidos en el departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas del Instituto de Investigaciones Agrícolas (INCA) –Mayabeque, Cuba.

Procedimiento. La siembra de la morera se realizó en septiembre de 2004, por lo que al iniciar el experimento tenía cuatro años de edad. Se utilizó una densidad de plantación de 26 666 plantas ha⁻¹ y un arreglo espacial en doble surco (0,50 x 0,50 x 1,0 m). La dimensión de las parcelas fue de 24 m². No se aplicó riego y los surcos se encontraban orientados

en sentido este-oeste. La frecuencia de corte fue de 90 días.

Según el tratamiento establecido, se aplicó fertilización química y se inoculó con HMA directamente al suelo o a través de semillas de canavalia, inoculadas e intercaladas entre los surcos de la morera. Las fechas coincidieron con los días lluviosos del inicio y el final de la primavera.

La canavalia se sembró a una distancia entre plantas de 40 cm. La inoculación se realizó por el método de recubrimiento de las semillas. A los 60 días de la siembra en la lluvia y a los 90 días en la seca se cortaron las plantas y se arrojaron sobre el surco de morera, lo que propició su descomposición lenta y natural, en función de una mayor multiplicación de propágulos infestivos (Rivera y Fernández, 2003; Peña *et al.*, 2007).

La altura de corte de la morera fue de 30 cm. Los muestreos del rendimiento y los análisis de su composición química, para el cálculo de las extracciones, se iniciaron a los seis meses del montaje del experimento (a partir del corte de homogenización).

Los factores estudiados fueron:

Fertilización química (F). Se establecieron tres dosis de fertilización química: 1) testigo sin fertilización (F_0); 2) aplicación de 100-50-50 kg de N, P y K ha^{-1} por época (F_1); y 3) 200-100-100 kg de N, P y K ha^{-1} por época (F_2). Las fuentes de fertilizante empleadas fueron: urea, superfosfato simple y cloruro de potasio.

Forma de inoculación de HMA. Se establecieron tres alternativas para la inoculación de HMA: testigo sin HMA; aplicación directa del inóculo al suelo (sobre el suelo húmedo, en la zona más inmediata a la base del tallo de la morera), a razón de 37 kg ha^{-1} ; e inoculación vía canavalia intercalada.

Estas dosis de fertilización y su combinación con las formas de inoculación constituyeron los tratamientos. El diseño fue de bloques al azar, con arreglo factorial de 3 x 3.

Se evaluaron los indicadores siguientes:

Extracción de nutrientes a través de la biomasa de la morera. Se calculó la extracción de nitrógeno y potasio (K_2O) a través de la biomasa comestible de la morera producida durante dos años (kg ha^{-1} por época).

Composición química en la capa arable del suelo. Se determinó el potasio intercambiable y el contenido de materia orgánica (MO) en la capa arable del suelo, en etapas previas al inicio del experimento

(2004 y 2007) y al final del periodo experimental (2010).

Contenido de K disponible y MO en el perfil del suelo. Al final del periodo experimental se determinó el contenido de estos elementos en el perfil del suelo, entre los 20 y 80 cm de profundidad.

Metodología de las determinaciones e indicadores evaluados

La extracción de N y K_2O se calculó a partir de los datos de la masa seca de la biomasa total y la correspondiente concentración de cada elemento (porcentaje de N y K), mediante la fórmula:

Extracción de N y K_2O = [rendimiento de la biomasa x concentración del compuesto químico en cada órgano]/100.

Para ello se determinó:

- El rendimiento de la biomasa: en cada momento del corte de la morera se realizó el pesaje de la biomasa verde de las plantas en el área de cálculo y se determinó el rendimiento en masa seca, a partir del porcentaje de materia seca.
- La concentración de N y K en las hojas y los tallos de la morera (%). A partir de la biomasa de morera en cada corte, se tomó una muestra homogénea de hojas y tallos, y se evaluaron los contenidos totales de N y K (Paneque *et al.*, 2010).
- El nitrógeno: digestión húmeda con H_2SO_4 + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler.
- El potasio: digestión húmeda con H_2SO_4 + Se y determinación por fotometría de llama.

Para determinar la composición química en la capa arable del suelo se realizaron los muestreos por parcelas. Cada muestra estuvo compuesta por ocho submuestras, correspondientes a los cuatro lados de la copa de las plantas, a una distancia de 25 cm. En el análisis se emplearon los métodos descritos por las normas ramales del Ministerio de la Agricultura (NRAG, 1987; NRAG, 1988; Paneque *et al.*, 2010): pH- H_2O y porcentaje de MO (Walkley-Black); P asimilable, por extracción con H_2SO_4 0,1N, con una relación suelo:solución 1:2,5; K, Ca, Mg y Na intercambiable mediante extracción con NH_4AC IN pH 7.

También se abrieron calicatas de 25 x 25 cm, hasta 80 cm de profundidad, a una distancia de 25 cm del tallo de la morera. Se tomaron muestras a los 20, 40, 60 y 80 cm, para determinar el contenido de K intercambiable y la MO.

Procesamiento estadístico. Se determinaron los estadígrafos media, desviación estándar y coeficiente de variación. Se comprobaron los supuestos de normalidad de los errores, así como la homogeneidad de la varianza. Los análisis de varianza se realizaron a través de un modelo general lineal que incluyó los efectos estudiados y sus interacciones ($Y_{ijk} = \mu + F_i + \text{inoculación de HMA}_j + \text{bloque}_k + e_{ijkl}$). Para la comparación de las medias se utilizó la d-ócima de Duncan (1955), con un nivel de significación de 0,05. El paquete estadístico empleado fue InfoStat versión libre (InfoStat, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mayores extracciones de nitrógeno coincidieron con los tratamientos de mayor aporte de

nutrientes, y variaron entre 245,68 y 336,75 kg de N ha⁻¹ en la época de lluvia, y entre 80,63 y 108,08 kg de N ha⁻¹ en la de seca (tabla 2). Hubo interacción significativa entre los factores evaluados ($p \leq 0,05$). Los tratamientos HMA inoculado a través de canavalia intercalada, complementado con las dosis de fertilización F₁ y F₂, no difirieron entre sí en ambas épocas del primero año, pero sí en la época seca del segundo año.

Existió interacción significativa ($p < 0,01$) en las extracciones de potasio (tabla 3) en la época de lluvia, a favor de los tratamientos HMA inoculado a través de canavalia intercalada, complementado con las dosis de fertilización F₁ y F₂, sin diferencias entre sí. Ello evidenció la conveniencia del tratamiento F₁, ya que se aplicó una menor cantidad de fertilizante.

Tabla 2. Extracción de nitrógeno a través de la biomasa comestible (kg de N ha⁻¹ por época).

| Inoculación | Fertilización | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | Época de lluvia | | | Época seca | | |
| | F ₀ | F ₁ | F ₂ | F ₀ | F ₁ | F ₂ |
| Año 1 | | | | | | |
| HMA vía canavalia | 129,11 ^c | 245,68 ^a | 227,68 ^{ab} | 59,94 ^c | 74,59 ^{ab} | 74,76 ^{ab} |
| HMA directo al suelo | 144,93 ^c | 206,45 ^{bc} | 188,20 ^{cd} | 51,65 ^d | 69,63 ^b | 60,52 ^c |
| Sin HMA | 131,10 ^c | 158,50 ^{de} | 219,20 ^{abc} | 47,06 ^d | 69,04 ^b | 80,63 ^a |
| ES ± | 11,99** | | | 2,68** | | |
| Año 2 | | | | | | |
| HMA vía canavalia | 186,58 ^c | 336,75 ^a | 272,94 ^{cd} | 74,85 ^{cd} | 97,81 ^{ab} | 86,46 ^{bc} |
| HMA directo al suelo | 179,88 ^{cf} | 278,59 ^c | 252,13 ^d | 66,85 ^{de} | 92,26 ^b | 89,09 ^b |
| Sin HMA | 160,9 ^f | 197,87 ^e | 313,38 ^b | 61,55 ^e | 90,56 ^b | 108,08 ^a |
| ES ± | 7,48** | | | 4,31** | | |

Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$, según Duncan (1955), ** $p < 0,01$.

Tabla 3. Extracción de potasio a través de la biomasa comestible (kg de K₂O ha⁻¹ por época).

| Inoculación | Fertilización | | | | | |
|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| | Época de lluvia (Año 1) | | | Época de lluvia (Año 2) | | |
| | F ₀ | F ₁ | F ₂ | F ₀ | F ₁ | F ₂ |
| HMA vía canavalia | 159,26 ^d | 288,91 ^a | 277,86 ^a | 215,65 ^d | 413,13 ^a | 426,96 ^a |
| HMA directo al suelo | 132,90 ^d | 163,05 ^d | 216,33 ^{bc} | 216,47 ^d | 343,06 ^b | 303,98 ^{bc} |
| Sin HMA | 152,84 ^d | 183,34 ^{cd} | 250,22 ^{ab} | 225,40 ^d | 270,57 ^{cd} | 413,54 ^a |
| ES ± | 16,28** | | | 18,53** | | |

Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$, según Duncan (1955), ** $p < 0,01$.

En la época de seca (tabla 4), las extracciones de potasio respondieron al efecto independiente del manejo de la inoculación de HMA y la dosis de fertilización. Las extracciones en los tratamientos con fertilización química y HMA inoculado a través de canavalia intercalada fueron significativamente superiores.

La extracción de potasio en el tratamiento con fertilización F₁ sin HMA fue totalmente inefectiva, ya que los resultados no difirieron respecto al testigo, lo que se relaciona con la baja dosis de fertilizante aplicado y con la ausencia de HMA a través de canavalia intercalada.

La alta capacidad extractiva de estos macronutrientes en todos los tratamientos se corresponde con los informes de la literatura internacional sobre el cultivo de la morera. Datos compilados por

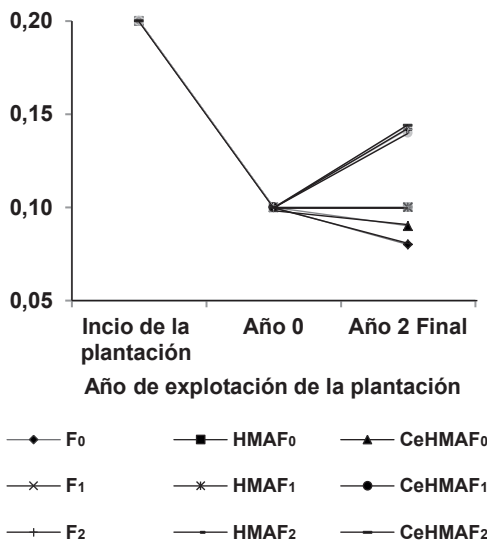
Takahashi y Kronka (1989) demostraron que en plantaciones de morera con rendimiento de 24,8 t de biomasa foliar ha⁻¹ por año, el total de nutrientes extraídos desde el suelo ascendió a 242, 46, 211, 51 y 238 kg de N, P₂O₅, K₂O, MgO y CaO ha⁻¹ por año, respectivamente. Según estos autores, a través de las hojas son exportados de la plantación 206, 41, 192, 50, y 207 kg ha⁻¹ por año de N, P₂O₅, K₂O, MgO y CaO; lo cual es un indicador del alto consumo de estos elementos a expensas de las reservas del suelo, y explica la disminución constante del potasio durante la etapa que no se aplicó alguna estrategia de suministro de nutrientes.

En cuanto al efecto de las altas extracciones en algunas propiedades químicas del suelo, en las figuras 1 y 2 se muestra la dinámica del contenido de potasio y de la materia orgánica, en el año 2004

Tabla 4. Extracción de potasio a través de la biomasa comestible (kg de K₂O ha⁻¹ por época).

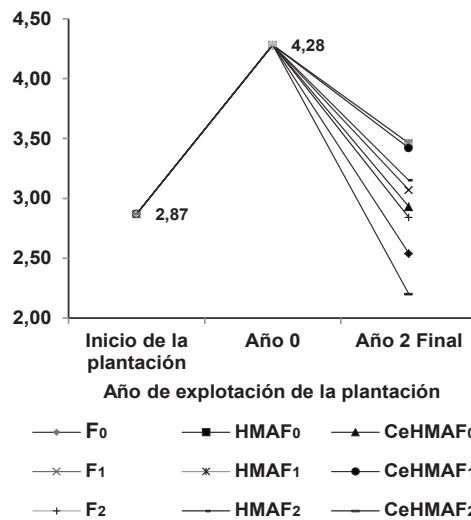
| Época | Fertilización | | | | Inoculación | | | |
|------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------|--------------------|----------------------|--------------------|--------|
| | F ₀ | F ₁ | F ₂ | ES ± | Sin HMA | HMA directo al suelo | HMA vía canavalia | ES ± |
| Seca año 1 | 50,98 ^c | 64,28 ^b | 72,61 ^a | 2,19** | 64,85 ^b | 49,78 ^c | 73,24 ^a | 2,19** |
| Seca año 2 | 70,81 ^b | 101,13 ^a | 103,94 ^a | 4,15** | 96,32 | 84,18 | 95,39 | 4,15 |

Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$, según Duncan (1955), ** $p < 0,01$



CeHMA-inoculación vía canavalia, HMA- inoculación directa al suelo.

Figura 1. Contenido de K en el suelo en la profundidad de 0-20 cm.



CeHMA-inoculación vía canavalia, HMA-inoculación directa al suelo. Letras distintas indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$; ES ± 0,09**, según Duncan (1955).

Figura 2. Contenido de MO en el suelo en la profundidad de 0-20 cm.

(inicio de la plantación), al inicio del experimento (año 0) y al final del periodo experimental (año 2 final).

El contenido de potasio disminuyó notablemente entre el muestreo realizado al inicio de la plantación y el comienzo del experimento (año 0); mientras que la materia orgánica se incrementó de 2,87 hasta 4,28 %. Esto se explica por la insuficiente concentración natural de potasio en el suelo escogido para la investigación, unido a la alta capacidad extractora del cultivo.

Es válido destacar que, entre los años 2004 y 2007, la plantación de morera fue empleada de manera intermitente en la producción de semilla vegetativa, sin un manejo efectivo del suministro de nutrientes. Ello debió condicionar las altas extracciones de potasio a través de la biomasa leñosa en forma de estacas. Sin embargo, la biomasa generada por las arvenses que crecían espontáneamente en el lugar fue segada y depositada como cobertura, lo cual pudo incidir en la acumulación y la conservación de la materia orgánica.

A partir del inicio del experimento esta situación cambió a favor de una ligera recuperación del potasio en los tratamientos con HMA inoculado a través de canavalia intercalada, complementada con F_1 o F_2 . Por el contrario, disminuyó significativamente la materia orgánica hasta valores entre 3,50 y 2,25 %, aunque en el tratamiento HMA inoculado vía canavalia, complementado con la dosis F_1 , dicha disminución fue menor.

La reducción de la disminución del potasio a partir de que se aplicaron los tratamientos de inoculación de HMA a través de la canavalia intercalada, complementada con fertilizante químico F_1 o F_2 o la fertilización sola (F_2), permite alertar acerca de la importancia de combinar alternativas integrales de suministro de nutrientes en estas condiciones de explotación intensiva de la morera, donde se combinen las biológicas y la fertilización química. Además, se corroboró lo planteado por Riera (2003) acerca de que la utilización de HMA como alternativa biológica al uso de productos químicos no implica que se deje de fertilizar, sino que los nutrientes minerales disponibles en el suelo se empleen con mayor eficiencia. La canavalia desempeña un papel fundamental, pues constituye un medio multiplicador de esporas de HMA. Durante el proceso de descomposición de la canavalia (cortada y arrojada sobre el surco de morera), el hongo estimula la mineralización de los elementos nutritivos y los hace disponibles para el cultivo acompañante.

Asimismo, puede tomar elementos de las capas inferiores del suelo a través de las hifas e indirectamente a partir del desarrollo de las raíces.

El efecto del suministro de nutrientes en el contenido de potasio y la materia orgánica se notó también en los contenidos de K disponible y MO a través del perfil del suelo (hasta 80 cm).

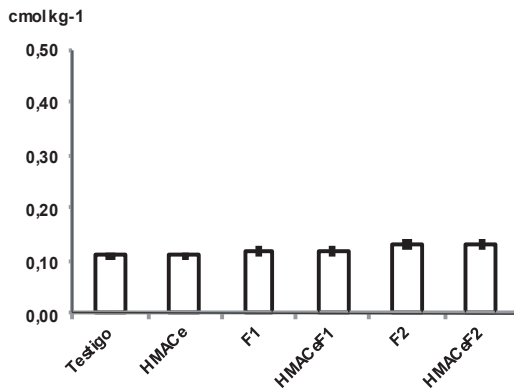
En la figura 3 se aprecia el contenido de potasio intercambiable en el suelo, en los tratamientos más contrastantes en términos de extracción. El aumento en la disponibilidad siguió la misma tendencia del incremento en la dosis de fertilizante. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos sin fertilización (0,10 cmol kg^{-1}) y aquellos con la dosis máxima (0,13 y 0,15 cmol kg^{-1}).

La distribución del contenido de potasio intercambiable en el perfil del suelo hasta 80 cm se muestra en la figura 4. Al inicio de la plantación, hubo mayor contenido en las capas superficiales (0,19 cmol kg^{-1}), y este fue disminuyendo en la medida que se profundizó hasta 80 cm. Sin embargo, al final de la plantación dicho elemento disminuyó en todas las capas del suelo, con valores entre 0,10 y 0,13 cmol kg^{-1} . Los bajos contenidos fueron más evidentes entre los 0-20 y 20-40 cm.

El hecho de que la mayor disponibilidad de potasio intercambiable siguiera la misma tendencia de la dosis de fertilización demostró que el manejo eficiente de la simbiosis micorrízica con una dosis por debajo de lo óptimo garantizó las altas producciones de biomasa, lo cual es comparable con la mayor dosis de fertilización. Para ello, debió utilizar las reservas del elemento en el suelo en sus diferentes formas.

Al respecto, Fernandes (2006) señaló que el potasio no intercambiable puede estar disponible para las plantas en cantidades significativas, a corto, mediano o largo plazo; y que la mayor parte del potasio absorbido por los cultivos extractores proviene de la forma no intercambiable. Este autor también expuso que en varios estudios realizados en suelos arenosos se evidenció que el potasio utilizado por las plantas tendió a ser liberado de los feldespatos. El 76 % de los tenores totales de potasio en un suelo latosólico rojo férrico típico estaba contenido en la arcilla, y el potasio no intercambiable correspondió al 12 % del potasio total.

Las raíces, los pelos absorbentes y los exudados liberados por la raíz crean un área rizosférica, cuyas características químicas y biológicas son bastante distintas a las de la masa de suelo distante de la raíz; sin embargo, en el proceso de absorción del potasio



Leyenda: CeHMA-inoculación vía canavalia, HMA- inoculación directa al suelo.

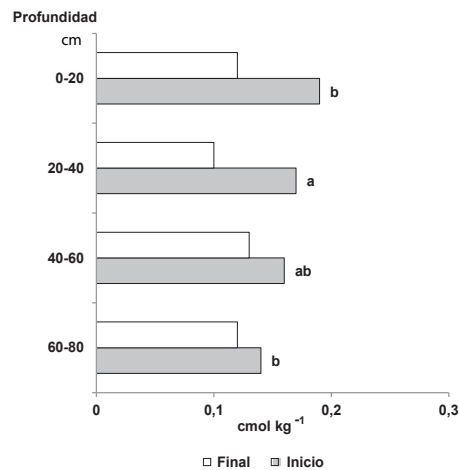
Figura 3. Contenido de potasio intercambiable entre 0-80cm de profundidad en los tratamientos evaluados. Las barras indican error estándar.

de la solución del suelo y del intercambiable rizosférico, se alteran los tenores de potasio no rizosférico y se origina un gradiente de concentración que provoca la liberación de potasio no intercambiable, lo que puede inducir la transformación de minerales en determinados periodos del cultivo.

Además, Meurer (2006) explicó que en suelos deficientes en potasio –como los de esta investigación–, la forma no intercambiable contribuye con el 85 % del total absorbido por las plantas, y que la baja concentración de K en la solución del suelo provoca la liberación del potasio retenido en las micas. Niebes *et al.* (1993) constataron que los exudados de las plantas de *Brassica napus* cv. Drakar indujeron la transformación irreversible de mica flogopita en vermiculita. También probaron que el mecanismo de inducción fue la secreción de protones, lo que disminuyó el pH en la rizosfera y esto a su vez causó la disolución del mineral. Silva *et al.* (1995) comprobaron, en dos latosoles, que el potasio intercambiable no fue la única fuente de nutrientes para las plantas de soya, e identificaron minerales micáceos que podrían estar asociados a la liberación de potasio no intercambiable.

Melo *et al.* (2004), al estudiar la distribución de las reservas de potasio y magnesio, verificaron que los suelos con tenores totales de K y Mg elevados presentan, generalmente, una mayor capacidad de liberación de una parte de sus nutrientes para la solución del suelo.

En concordancia con los contrastes encontrados en la presente investigación entre las extracciones de potasio, las dosis de fertilizante aplicado y las



Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$, según Duncan (1955).

Figura 4. Efecto de la profundidad del suelo en el contenido de potasio intercambiable en el perfil del suelo al inicio y al final de la plantación.

bajas concentraciones de K disponible en el suelo, Fernandes (2006) señaló que la contribución de potasio no intercambiable al suministro hacia las raíces es –con frecuencia– la razón de la relación poco significativa hallada entre los resultados de los análisis convencionales del suelo y el rendimiento de las plantas. Las investigaciones realizadas en suelos que poseían diferentes características mineralógicas, químicas y físicas, así como derivados de argilito, siltito, arenito, basalto y granito, evidenciaron que el potasio intercambiable se relacionó con el potasio absorbido por las plantas de trigo y de sorgo solamente en el 59 y 52 % de los casos, respectivamente. Ello permite explicar, en el presente estudio, la poca diferencia existente en cuanto al contenido de potasio intercambiable hasta la profundidad de 80 cm entre los tratamientos fertilización química F_1 e inoculación a través de canavalia complementada con F_1 , aun cuando hubo tendencias contrastantes entre ellos en términos de contenido de K intercambiable en 0-20 cm y diferencias altamente significativas en las extracciones de K_2O a través de la biomasa comestible de la morera; en ambos casos a favor del manejo integral del suministro de nutrientes.

En cuanto a la distribución de la materia orgánica (fig. 5), los mayores contenidos (3,5 %) se alcanzaron en la profundidad 0-20 cm y en el tratamiento con HMA inoculado a través de canavalia intercalada, complementada con la dosis más baja de fertilizante químico.

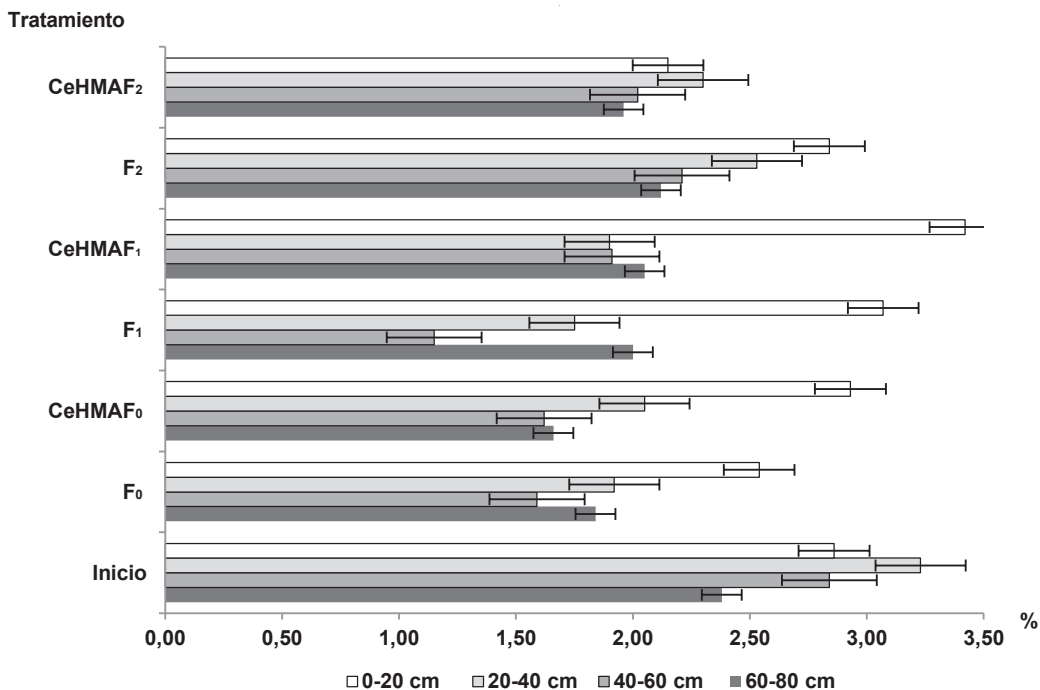


Figura 5. Efecto de la interacción entre las alternativas de manejo y la profundidad en la MO. Las barras indican error estándar.

CONCLUSIONES

Se concluye que la extracción de N y K₂O de la morera superó los 300 y 350 kg ha⁻¹ por año, respectivamente. Se corroboró que en ausencia de un adecuado suministro de nutrientes las altas extracciones del cultivo provocan una disminución drástica de potasio en el suelo, lo cual se puede estabilizar a partir de estrategias de manejo que impliquen la inoculación de HMA con canavalia intercalada, complementada con fertilización a razón de 100-50-50 kg N, P y K ha⁻¹ por época.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar el criterio de manejo integrado de *M. alba* en suelo Ferralítico Rojo, con inoculación micorrizica a través de *C. ensiformis* intercalada, complementada con la dosis de fertilización más baja. Además, realizar futuros estudios que corroboren y profundicen en las relaciones entre el nitrógeno y el potasio como componentes del fertilizante, y su interacción con la aplicación de HMA a través de otras especies de leguminosas volubles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Academia de Ciencias de Cuba. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. La Habana: Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. p. 41, 1989.

- Duncan, D. B. Multiple ranges and multiple F. test. *Biometrics*. 11:1-42, 1955.
- Fernández, F.; Gómez, R.; Martínez, M. A. & Noval, B. M. de la. *Producto inoculante micorrizógeno*. Patente No. 22 641. Cuba, 2001.
- Fernandes, M. S. (Ed.). 2006. *Nutrición mineral de plantas*. Vicosa, Brasil: SBCS, 2006.
- Ferrera, R. & Alarcón, A. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*. 8 (2): 175-183, 2001.
- Hernández, A. Martín, G. J.; García, F.; Hernández I.; González, T. & Milera, Milagros. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Ministerio de la Agricultura, Instituto de Suelos, AGRINFOR, 1999.
- InfoStat. *InfoStat versión 2004. Manual del usuario*. 1ra. ed. Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, 2004.
- Martín, G. J. et al. Agronomic studies with mulberry in Cuba. In: M. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. FAO Animal Production and Health Papers. Paper 147. p. 103-112, 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 Camilo Cienfuegos, 2004.

- Martín, Gloria M. *Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, Canavalia ensiformis y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (Zea mays) cultivadas sobre suelos Ferralíticos Rojos de La Habana*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, UNAH, 2009.
- Melo, V. F.; Ribeiro, A. N.; Maschio, P. A.; Corrêa, G. F. & Lima, V. V. Minerología e formas de potássio e magnésio em diferentes classes de pesos e tamanhos da fração areia de solos do Triângulo Mineiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 28 (2):219-231, 2004.
- Niebes, J. F.; Dufey, J. E.; Jaillard, B. & Hingsinger, P. Release of nonexchangeable potassium from different size fraction of two high III y I K-fertilized soil in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* cv. drakkar). *Plant Soil*. 155/156:403, 1993.
- NRAG. 837-87. *Suelos. Análisis químico. Reglas generales*. Ciudad de La Habana: MINAGRI, 1987.
- NRAG. 892-88. *Suelos. Análisis químico. Reglas generales*. Ciudad de La Habana: MINAGRI, 1988.
- Paneque, V. M. & Calaña, J. M. *La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación*. San José de las Lajas, Cuba: INCA, 2001.
- Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. C. & Caruncho, M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. San José de las Lajas, Cuba: INCA, 2010.
- Peña, Clara P.; Cardona, Gladys I.; Arguelles, J.H & Arcos, Adriana L. 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, 2007.
- Riera, M. *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. Cuba: INCA, 2003.
- Rivera, R. & Fernández, K. (Eds.). *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*. La Habana: INCA. 2003.
- Silva, D. N.; Meurer, E. J.; Kampf, N. & Borket, C. M. Minerología e formas de potássio em dois latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 19 (3):433-439, 1995.
- Takahashi, R. & Kronka, R. N. Effects of various fertilizer treatments on mulberry (*Morus alba*) production. *Boletim de Indústria Animal*. 46 (1):157-164, 1989.

Recibido el 13 de junio de 2013

Aceptado el 15 de enero de 2014