

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes
Indio Hatuey**

**Universidad Agraria de La Habana
Fructuoso Rodríguez Pérez
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas**

**Programa Curricular Edafología,
Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes**

**Efectos del intercalamiento de canavalia [*Canavalia ensiformis*
(L.)] inoculada con hongos micorrízicos arbusculares
complementada con fertilizantes minerales en la producción
de forraje de la morera [*Morus alba* (L.)]**



Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Gertrudis Pentón Fernández, M. Sc.

Tutores: Dr. C. Giraldo Jesús Martín Martín

Dr. C. Ramón Rivera Espinosa

San José de las Lajas, Mayabeque

2015

DEDICATORIA

A mi hijo Juan Miguel Martínez Pentón.

A mis padres, a mi familia.

A los hombres y mujeres que han dedicado su vida y obra a la ciencia y el desarrollo humano,

A la memoria de la Dra. C. Esperanza Seguí, Investigadora de Mérito de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, quien fue una de las personas que me introdujo en el mundo científico y contribuyó a mi formación profesional.

A los héroes y mártires de la Patria.

AGRADECIMIENTOS

Por su significativa contribución a mi formación profesional y doctoral, a la concepción y desarrollo de la investigación científica a la conformación del documento de tesis de doctorado, agradezco a:

- A mi padre Dr. C. Juan Ramón Pentón López.
- A mi madre Profesora, Lic. Alba Luz Fernández Ibáñez.
- A mis hermanos Ing. Iván Ernesto Pentón Fernández y Ing. Leonel Pentón Fernández.
- A mi eterno tutor Dr. C. Félix Blanco Godínez.
- A mis tutores Dr. C. Ramón Rivera Espinosa y Dr. C. Giraldo Jesús Martín Martín.
- Al Técnico Medio en Agronomía Francisco Alonso Alonso.
- A los profesores del Programa Curricular “Edafología, Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes”.
- Al Consejo Científico de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey, a los compañeros Dra. C. Marta Hernández, Dr. C. Rey Machado Castro, Dr. C. Jesús Iglesias Gómez, MSc. Milagros Milera, MSc. Rafael Herrera, Dra. C. Maybe Campos, MSc. Alicia Ojeda, MSc. Nayda Almengol, Ing. Katerine Oropesa Casanova.
- Al Consejo Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, a los compañeros Dra. C. María del Carmen Pérez Hernández, Dr. C. Francisco Soto, Dr. C. Adriano Cabrera, Dr. C. Ángel Leyva Galán, Dr. C. Pedro José González, Dra. C. Gloria Martín, Dr. C. Alberto Hernández, Dr. C. Florido, Dr. C. Mario Varela, Dra. C. Kalyanne, Dra. C. Margarita, Dr. C. Casanova, Dr. C. Luis Ruiz, Dra. C. María de los Ángeles, Dra. C. Elein Terry, Dr. C. Plana, Dr. C. Idioleidis, Dr. C. Pedro, Dr. C. Walfredo Torres de la Noval, Dr. C. Nicolás Medina, Dr. C. José Herrera, Dra. C. Inés Reynaldo Tortoló.
- A los investigadores, especialistas, técnicos y obreros que participan en el proyecto: Investigaciones con *Morus sp.* para el desarrollo de tecnologías sostenibles de alimentación y salud humana y animal en Cuba, del Programa de Producción de Alimento Animal.
- A mis compañeros de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, a los departamentos de Postgrado, Información Científico Técnico, a la Oficina de la Subdirección de Investigaciones, a la Oficina del Director.

- Al Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, a su Comisión Científica, al equipo de trabajo del Laboratorio de Micorrizas y del Laboratorio de Análisis Químico.
- A los departamentos de Postgrado, Bio-matemática e Información Científico Técnico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- A los compañeros Dr. C. Gustavo Crespo, Dra. C. Berta Chongo, MSc. Lucía y MSc. Delia Sino, del Instituto de Ciencia Animal.
- A mis compañeros de estudio, a la Dra. C. Dacia Pereira, Dr. Guillermo, MSc. Michel, MSc. Jaime Simó, MSc. Max Enrique Encalada Córdova, MSc. Almeida, MSc. Deyanira, MSc. Seca Pedro Joao.
- A los trabajadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas que contribuyen con su quehacer a la excelencia de los programas de formación doctoral.

Muchas Gracias

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁG.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Aspectos generales de la morera	7
2.1.1. Clasificación taxonómica y descripción botánica	7
2.1.2. Importancia, utilización e introducción en Cuba	8
2.1.3. Marco de siembra o plantación de la morera	12
2.1.4. Composición química del forraje de morera	13
2.1.5. Intervalo de corte de la morera	15
2.1.6. Manejo de la fertilización para la producción de biomasa de morera	17
2.2. El uso de abonos verdes. La especie <i>Canavalia ensiformis</i> (L.)	24
2.3. Las micorrizas en la nutrición vegetal. Efectividad y funcionamiento de la simbiosis	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ubicación geográfica	31
3.2. Características edafoclimáticas	31
3.3. Descripción de los experimentos	33
3.3.1. Experimento 1. Efecto de los intervalos de corte y del manejo de la nutrición en plantaciones de morera para forraje	34
3.3.2. Experimento 2. Intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización mineral en plantaciones de morera para forraje	36
3.4. Evaluaciones y determinaciones realizadas	38
3.4.1. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de masa seca de hojas y de tallos tiernos (RMSH y RMSTT) en cada época del año	38
3.4.2. Rendimiento de masa seca de biomasa comestible, RMSBC ($t\ ha^{-1}$ en cada época)	38
3.4.3. Producción de masa seca comestible por planta, por corte, en los intervalos de 60 y 90 días ($g\ planta^{-1}$)	38
3.4.4. Proporción hojas/tallos tiernos de morera	38
3.4.5. Masa seca de canavalia, MS ($t\ ha^{-1}$ en cada época)	38
3.4.6. Contenidos de N, P_2O_5 y K_2O en la biomasa seca de la parte aérea de la canavalia ($kg\ ha^{-1}$)	39
3.4.7. Concentración de N, P y K en las hojas de morera ($g\ kg^{-1}\ MS$)	39
3.4.8. Rendimiento de proteína en la biomasa comestible de morera ($kg\ ha^{-1}$ por época)	40
3.4.9. Supervivencia de la plantación de morera (%), experimento 1	40
3.4.10. Biomasa y distribución de raíces de morera ($mg\ kg^{-1}$ de suelo) en el perfil del suelo cada 20 cm hasta 80 cm al final del experimento 2	40
3.4.11. Conteo de esporas HMA en el suelo en tratamientos seleccionados, experimento 2	41
3.4.12. Densidad visual (%) entre 0 y 20 cm de profundidad, al final de la época lluviosa, experimento 2	42
3.4.13. Extracción de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) por la biomasa comestible de morera ($kg\ ha^{-1}$ en cada época), experimento 2	42

3.4.14.	Concentraciones de MO, P y K del suelo (0-20 cm) al inicio de las evaluaciones en ambos experimentos y hasta la profundidad de 80 cm en el experimento 2	43
3.5.	Análisis estadístico	43
3.6.	Análisis económico	44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1.	Efecto de los intervalos de corte y del manejo de la nutrición en plantaciones de morera para forraje	48
4.1.1.	Indicadores del rendimiento de biomasa	48
4.1.2.	Proporción hojas/tallos tiernos de morera	59
4.1.3.	Concentraciones de N, P y K en las hojas de morera	61
4.1.4.	Rendimiento de proteína bruta en la biomasa comestible de morera	64
4.1.5.	Supervivencia de la plantación de morera	65
4.1.6.	Consideraciones parciales	66
4.2.	Intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización mineral en plantaciones de morera para forraje	68
4.2.1.	Indicadores del rendimiento de biomasa	68
4.2.2.	Proporción hojas/tallos tiernos de morera	77
4.2.3.	Biomasa y distribución de raíces de morera en el perfil del suelo y algunos indicadores de la simbiosis micorrízica	77
4.2.4.	Concentraciones de N, P y K en las hojas de morera	83
4.2.5.	Rendimiento de proteína en la biomasa comestible de morera	86
4.2.6.	Extracción de nitrógeno (N), fósforo (P ₂ O ₅) y potasio (K ₂ O) por la biomasa comestible de morera	87
4.2.7.	Balance de aportes, extracciones, y concentraciones de MO, P y K del suelo	89
4.2.8.	Consideraciones parciales	95
4.3.	Análisis económico	97
	CONCLUSIONES	98
	RECOMENDACIONES	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO

Tabla 1. Indicadores químicos del suelo en cada experimento, al inicio.

Tabla 2. Comportamiento de las variables climatológicas, precipitación (mm) y temperatura media del aire ($^{\circ}\text{C}$) durante el período de investigación

Tabla 3. Tratamientos evaluados para la determinación de esporas de HMA y momentos de muestreo. Experimento 2.

Tabla 4. Transformación de los porcentajes de ocupación fúngica intraradical en niveles, según Trouvelot (1986).

Tabla 5. Gastos de producción por año de una hectárea de morera (CUP ha^{-1}). Experimento 2.

Tabla 6. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca de hojas de morera (RMSH).

Tabla 7. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca de tallos tiernos de morera (RMSTT).

Tabla 8. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca comestible de morera (RMSBC).

Tabla 9. Rendimiento de biomasa seca de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA (t ha^{-1}) en cada época del año.

Tabla 10. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la proporción hoja/tallo tierno en la biomasa seca comestible de morera.

Tabla 11. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la concentración de N en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 12. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la concentración de P en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 13. Efecto del intervalo de corte y el manejo de la nutrición sobre la concentración de K en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 14. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional de la proteína bruta de morera, t ha^{-1} en cada época (RPB).

Tabla 15. Influencia del intervalo de corte y del manejo de la nutrición en la supervivencia de la plantación.

Tabla 16. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca de hojas de morera (RMSH).

Tabla 17. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca de tallos tiernos de morera (RMSTT).

Tabla 18. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional (t ha^{-1}) de biomasa seca comestible de morera (RMSBC).

Tabla 19. Rendimiento de biomasa seca de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA (t ha^{-1}) y extracción de N, P_2O_5 y K_2O en cada época del año (kg ha^{-1}).

Tabla 20. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la proporción hoja/tallo tierno en la biomasa seca comestible de morera.

Tabla 21. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre algunos indicadores de la simbiosis micorrízica en la

morera.

Tabla 22. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de N en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 23. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de P en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 24. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de K en las hojas de morera (g kg^{-1} MS).

Tabla 25. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional de la proteína bruta de morera, t ha^{-1} en cada época (RPB).

Tabla 26. 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.

Tabla 27. Extracción de P_2O_5 a través de la biomasa comestible de morera (kg ha^{-1} de P_2O_5) a partir del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización.

Tabla 28. 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.

Tabla 29. Balance del N y del K_2O en base a exportaciones y aportes de los fertilizantes y del suelo en los tratamientos más productivos.

Tabla 30. Rendimiento de forraje y proteína de la biomasa comestible (t ha^{-1} por año) y gastos incurridos para la producción de una hectárea de morera (CUP ha^{-1}).

Tabla 31. Costo de utilización de insumos y beneficio económico por la sustitución de alimentos concentrados comerciales para ganado porcino en los tratamientos más productivos.

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

Figura 1. Características de las raíces jóvenes de la morera.

Figura 2. Distribución de las raíces de acuerdo con la profundidad.

Figura 3. Extracción de muestras de suelo con raíces a 25 cm de ambos lados de las plantas de morera hasta 80 cm de profundidad en el suelo.

Figura 4. Producción de biomasa comestible por planta, por corte, en el intervalo de 60 días.

Figura 5. Producción de biomasa comestible por planta, por corte, en el intervalo de 90 días.

Figura 6. Relación entre el rendimiento de biomasa comestible y las precipitaciones acumuladas en cada época del año.

Figura 7. Dinámica de la producción de biomasa comestible por corte en los tratamientos más productivos.

Figura 8. Biomasa y distribución de raíces de morera en el perfil del suelo hasta 80 cm.

Figura 9. Efecto de la canavalia intercalada e inoculada con HMA sobre la multiplicación de esporas.

Figura 10. Relación entre el rendimiento de biomasa comestible y la concentración de N en las hojas.

Figura 11. Relación entre la extracción de K en la biomasa comestible (acumulado de dos años) y la producción de raíces de la morera entre 0 y 80 cm de profundidad, al final del experimento.

Figura 12. Concentración de K intercambiable (K_i) en el perfil del suelo al finalizar el experimento.

Figura 13. Concentración de K difícilmente intercambiable (K_{di}) en el perfil del suelo al finalizar el experimento.

Figura 14. Concentración de materia orgánica (MO) en el perfil del suelo.

Figura 15. Concentración de P en el perfil del suelo.

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado en español
ARP	Agua residual de origen porcino
CATIE	Centro de Agricultura Tropical de Investigación y Enseñanza
CeHMA	Canavalia intercalada e inoculada con HMA
dds	Días después de la siembra
DIVMS	Digestibilidad in vitro de la materia seca
DV	Densidad visual de la colonización con HMA
EM	Energía metabolizable
F0	Dosis 0 de fertilización mineral
F1	Dosis intermedia de fertilización mineral a razón de 100, 50,50 kg ha ⁻¹ de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O por época
F2	Dosis superior de fertilización mineral a razón de 200, 100, 100 kg ha ⁻¹ de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O por época
FB	Fibra bruta
FBN	Fijación biológica de N
FM	Fertilización mineral
HMA	Hongos micorrízicos arbusculares
Kdi	K difícilmente intercambiable
Ki	K intercambiable
MO	Materia orgánica en el suelo
MS	Masa seca
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
PB	Concentración de Proteína bruta
PBH; PBTT	Concentración de proteína bruta en las hojas y en los tallos tiernos
RPB	Rendimiento de proteína bruta de la biomasa comestible
W	Número de intercepto contados en cada nivel (Z) por el porcentaje de ocupación fúngica observada en las raíces de morera.
Z	Número de intercepto contados en cada nivel de evaluación de la ocupación fúngica observada en las raíces de morera.

Citación correcta Norma ISO 690

Según Sistema de Referencia Numérico

1. Pentón-Fernández, Gertrudis. Efectos del intercalamiento de canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.)] inoculada con hongos micorrízicos arbusculares complementada con fertilizantes minerales en la producción de forraje de la morera [*Morus alba* (L.)] [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2015. 99 h.

Según Sistema de Referencia Apellido, año

Pentón-Fernández, Gertrudis. 2015. Efectos del intercalamiento de canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.)] inoculada con hongos micorrízicos arbusculares complementada con fertilizantes minerales en la producción de forraje de la morera [*Morus alba* (L.)] [Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 99 h.

SÍNTESIS

El manejo agronómico de la morera [*Morus alba* (L.)] en Cuba demanda conocer las cantidades necesarias de fertilizantes para obtener rendimientos de forraje y contenidos de proteína bruta adecuados. Ante tal situación se decidió estudiar la factibilidad del intercalamiento de *Canavalia ensiformis* (L.) inoculada con hongos micorrízicos arbusculares de la cepa efectiva de *Glomus cubense*, considerando el intervalo de corte, las dosis complementarias de fertilizantes y la época del año, en plantaciones establecidas de morera. La investigación se realizó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, de la Universidad de Matanzas, Cuba, entre los años 2007 y 2010, sobre un suelo del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado. Se demostró que la productividad forrajera de *M. alba* (L.) en condiciones de secano depende de la época del año, la disponibilidad de nutrientes, la magnitud de las precipitaciones y el intervalo de corte. El intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilizantes minerales y con intervalos de corte de 90 días en la morera, garantiza en la biomasa comestible rendimientos estables, mayores contenidos de proteína bruta y mejores índices económicos. El intercalamiento de la canavalia inoculada con una cepa eficiente de HMA resulta una vía efectiva para incrementar el funcionamiento micorrízico de la plantación de morera y reduce las cantidades de fertilizantes minerales. Los altos rendimiento de forraje de la morera se realizan a partir de altas extracciones de N y K. En la nutrición de la morera, las formas de K difícilmente intercambiables en el suelo tienen una contribución significativa.

1. INTRODUCCIÓN

1. 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, valores nutricionales y perennidad frente al corte; también puede ser empleada como forraje verde y conservada en forma de ensilaje o harina (Martín y col., 2007).

Según la literatura que procede de América Latina, los rendimientos de masa seca comestible pueden ser hasta de 30 y 40 t ha⁻¹ por año en condiciones de altas precipitaciones con distribución uniforme de las lluvias, en suelos de elevada fertilidad o con un manejo adecuado de la nutrición vegetal (Dingle y col., 2005; Almeida y Fonseca, 2002); Sanginés y col., 2006).

En Cuba este cultivo se encuentra en fase de extensión para producir forraje de alta calidad. Se obtienen rendimientos en secano que oscilan entre 8 y 12 t ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa seca comestible, con una concentración de proteína bruta de 16 a 22 % y digestibilidad superior al 80 % (Martín y col., 2007). Los indicadores de ganancia de peso vivo y de producción de leche muestran niveles similares a los que se obtienen con la utilización de alimentos concentrados comerciales (MINAG, 2015).

El intervalo de corte constituye uno de los factores determinantes en la producción de forraje de morera (Martín y col., 2013) y está influenciado a su vez por la fertilización y la época del año (Martín y col., 2013).

Los reportes encontrados en la literatura científica sobre este aspecto se han generado en plantaciones de monocultivo y se han evaluado intervalos de corte de 45, 60, 75, 90 y 120 días (Martín, 2004; Rojas, 2005 y García y col., 2011a).

Este cultivo se caracteriza por sus elevados requerimientos de nutrientes, fundamentalmente de N y K, y sus concentraciones en las hojas pueden alcanzar hasta 40 g kg⁻¹ y 30 g kg⁻¹ respectivamente (Liu y col., 2002; Martín, 2004).

Para obtener buenos rendimientos de forraje con niveles adecuados de proteína, se aplican por lo general altas cantidades de fertilizantes; las que, en dependencia de las condiciones edafoclimáticas, oscilan entre 260 kg ha⁻¹ y 400 kg ha⁻¹ de N por año y de 100 kg ha⁻¹ a 250 kg ha⁻¹ de K₂O por año (Rodríguez y col., 1994; Cifuentes y Kee Wook, 1998; Benavides, 1999; Martín y col., 2014).

Las altas dosis de fertilizantes en la morera implican elevados costos de producción (Elizondo, 2007), y en función de reducir dichos insumos, resulta importante evaluar prácticas de manejo de la nutrición que han resultado efectivas en otros cultivos tales como el uso de abonos verdes (García y col., 2001; CIDICCO, 2004) y de inoculantes micorrízicos (Riera, 2002; Rivera y col., 2007; González, 2014).

Los abonos verdes; particularmente del grupo de las leguminosas presentan beneficios no solo asociados con los aportes de N vía fijación biológica; sino también con el reciclaje de nutrientes, el incremento de la actividad biológica del suelo, la cobertura del suelo, el mantenimiento de la humedad y el control de arvenses (Ramos y col., 2001; Elfstrand y col., 2007).

Por otra parte, en los últimos años se han incrementado los resultados sobre los efectos positivos de los inoculantes micorrízicos arbusculares al ser aplicados a los cultivos, ya que se establece una simbiosis micorrízica efectiva que hace que aumente la toma de nutrientes, garantiza altos rendimientos y produce disminución en las necesidades de fertilizantes (Rivera y col., 2007; González, 2014). Si bien la morera es un cultivo micótrofo, son escasos los estudios acerca de la importancia de su inoculación con HMA y en lo fundamental estos se localizan en la India (Ram Rao y col., 2007).

Los estudios de Martín (2009) y García (2014) demostraron las ventajas del manejo conjunto de estos y la canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.)], como abono verde precedente, no solo para incrementar la biomasa y el reciclaje de nutrientes asociado a la incorporación de la canavalia, sino también como vía para lograr una micorrización efectiva e incrementar el rendimiento agrícola de los cultivos económicos sembrados posteriormente.

En el caso específico de las plantaciones establecidas de morera la canavalia inoculada con HMA debe usarse de forma intercalada, y debe integrarse satisfactoriamente con el resto de las prácticas culturales, como el intervalo de corte y la fertilización, así como con la época del año sobre todo en condiciones de sequo.

Sin bien existe alguna información sobre plantaciones de morera intercalada estas son con cultivos económicos (Benavides, 1994; Srinivas, 2005), y no se han encontrado resultados publicados de asociación con abonos verdes, ni que evalúen la potencialidad de estos como vía para inocular las plantaciones de morera con HMA.

Problema científico: ¿Cómo disminuir las cantidades de fertilizantes minerales para alcanzar altos rendimientos de forraje de morera?

Hipótesis: En condiciones de sequo, el intercalamiento de *C. ensiformis* (L.) inoculada con HMA y la aplicación de dosis complementarias de fertilizantes minerales garantiza adecuados rendimientos de forraje y de proteína bruta en plantaciones de *Morus alba* (L.).

Basado en esta hipótesis, se propusieron los siguientes objetivos:

Objetivo general: Determinar en plantaciones establecidas de morera [*Morus alba* (L.)] sobre suelos del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, en condiciones de sequo, sometidas a intervalos de corte, la factibilidad de intercalar canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.)] inoculada con HMA y complementada con fertilizantes minerales, en ambas épocas del año.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar la posibilidad de intercalar *Canavalia ensiformis* (L.) inoculada con HMA, en interacción con el intervalo de corte de *M. alba* (L.) y la época del año.
- ✓ Determinar las cantidades de fertilizantes minerales a aplicar en plantaciones de *M. alba* (L.) intercaladas con *C. ensiformis* (L.) inoculada con HMA.
- ✓ Determinar la efectividad de la micorrización de *M. alba* (L.) por medio de *Canavalia ensiformis* (L.) intercalada e inoculada con una cepa eficiente de HMA.
- ✓ Caracterizar las producciones de forraje, de proteína bruta y las extracciones de N, P₂O₅ y K₂O en la biomasa comestible, así como la participación del K del suelo en la nutrición de *M. alba* (L.).

Novedad:

- Se demuestra por primera vez en Cuba y América Latina:
 - ✓ La posibilidad de disminuir las cantidades de fertilizantes minerales necesarias para alcanzar altos rendimientos de forraje y de proteína bruta de *Morus alba* (L.) al intercalar, en plantaciones establecidas, *C. ensiformis* (L.) inoculada con HMA.
 - ✓ La factibilidad de intercalar *Morus alba* (L.) con *C. ensiformis* (L.) inoculada con la cepa eficiente de HMA *Glomus cubense*, como vía para alcanzar una micorrización efectiva de la morera.
- Se caracteriza por primera vez en Cuba, la extracción de macronutrientes que realiza la morera sometida a régimen de cortes intensivos y se brindan elementos sobre la participación de las formas de K no intercambiables en la nutrición de esta planta.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos generales de la morera

2.1.1. Clasificación taxonómica y descripción botánica

Entre los recursos forrajeros milenarios y más ampliamente utilizados en el continente asiático se encuentra la morera [*Morus alba* (L.)], que es una especie perteneciente a la familia *Moraceae*, orden Urticales, subclase Dicotiledónea, clase Angiosperma y división Spermatophyta (Cifuentes y Kee Wook, 1998).

El árbol de morera puede alcanzar de 10 a 15 m de altura. Su tallo principal es de corteza gris clara y llega a medir 60 cm de diámetro. La copa del árbol es redondeada, amplia, con ramas principales largas y ramificadas (Ruiz de la Torre, 2006); la especie manejada como forraje se comporta como una planta arbustiva perenne, de rápido crecimiento, con rebrotes foliares vigorosos y un sistema radical fuerte y profuso (Ting y col., 1988).

Las hojas de la morera son glabras o glabrescentes, generalmente alternas, pecioladas, simples, íntegras, brillantes y estipuladas, con hasta cinco lóbulos. Pueden ser anchamente ovaladas u orbicular ovaladas, con el ápice agudo o cortante acuminado y la base oblicua y semitruncada o subcordada. La haz es lampiña y el envés es ligeramente tomentoso en las axilas de los nervios principales (Cifuentes y Kee Wook, 1998). El borde de la lámina es dentado o irregularmente lobulado, como en el caso del cultivar Tigreada.

El sistema radical de la morera, según los autores antes citados, consiste en una raíz principal, con raíces laterales y raíces fibrosas o absorbentes. Su forma varía según el método de propagación utilizado.

La plantación por el sistema de injertos, acodos o estacas condiciona la formación de un sistema radical irregular con raíces adventicias, y no existe una raíz principal.

La raíz de la morera tiene un color amarillo brillante, especialmente cuando esta joven (figura 1); y las raíces viejas tienen un color amarillo oscuro. Su superficie está cubierta con lenticelas que sirven de apertura y cierre para el intercambio gaseoso.

El área que cubre el sistema radical de la morera es de 1,5 veces el radio de su corona (figura 2). El 66 % del sistema radical se ubica en los primeros 40 cm de suelo (Cifuentes y Kee Wook, 1998). La raíz que está cerca de la superficie del suelo y que es más o menos horizontal, es llamada raíz horizontal y puede absorber y utilizar los nutrientes y el agua de la superficie del suelo. Las raíces laterales que crecen diagonalmente o verticalmente son llamadas raíces verticales y pueden utilizar los nutrientes y el agua disponibles en sitios más profundos del suelo y en forma más efectiva (Sánchez, 2001).



Figura 1. Características de las raíces jóvenes de la morera.

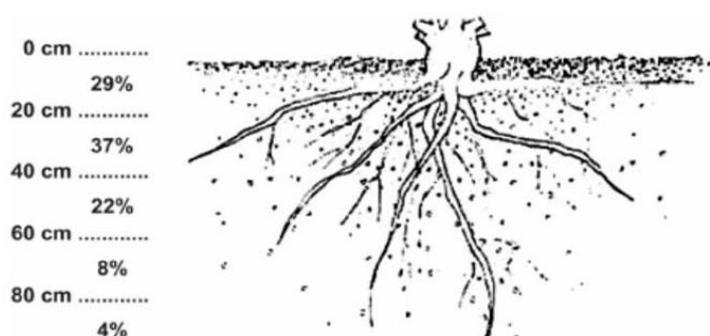


Figura 2. Distribución de las raíces de acuerdo con la profundidad (Fuente: Hanada y Watanabe, 1986).

2.1.2. Importancia, utilización e introducción en Cuba

La morera es una especie originaria de Asia Central que ha sido ampliamente introducida en todos los continentes como consecuencia de la industria de la seda. Se extiende por Asia, Europa, el norte y el este de África; y en América, se destaca su presencia en Estados Unidos, México, América Central, Colombia y Brasil. Las mayores extensiones cultivadas se encuentran en China, India y Brasil (Huo, 2002; Datta, 2002).

En India, China y Afganistán el follaje de morera se usa tradicionalmente en la alimentación de los rumiantes (Delgado y Rodríguez, 2012), y es esta una de las

características más sobresalientes de la especie debido a su excelente producción de biomasa, con una alta proporción de hojas y tallos tiernos que son totalmente comestibles por diferentes especies de animales (Martín, 2004; Martín y col., 2013).

En América Latina, la introducción de la morera para la alimentación de especies monogástricas fue un descubrimiento fortuito de un productor de Costa Rica, quien observó cómo sus cabras consumían la planta con avidez. A partir de ese momento la morera fue objeto de estudio, y ha sido seleccionada y mejorada por la calidad y el rendimiento de las hojas en diversos ambientes (Sánchez, 2002).

Soto y col. (2009) señalaron que la morera produce más forraje y presenta mayor digestibilidad de la materia seca (DIVMS) que las especies forrajeras *Erythrina poeppigiana* (poró), *Gliricidia sepium* (piñón florido) y *Tithonia diversifolia* (botón de oro).

Vargas y Estrada (2011), en una zona de pastizales degradados, observaron un mejor desempeño productivo de la morera comparada con el piñón florido, el nacedero (*Trichanthera gigantea*) y el sanjoaquín (*Malvaviscus arboreus*).

La primera referencia conocida sobre el cultivo de la morera en Cuba data de 1939 (Valero, 2010) y respondió a una campaña de propaganda y divulgación realizada por la Secretaría de Agricultura del Estado, referida al establecimiento de la industria de la seda en el país. Con tal finalidad, se publicó una recopilación de datos con información sobre los principales usos de la morera, su forma de multiplicación, las posibles fuentes de adquisición de las semillas, el manejo agronómico y las proyecciones para el desarrollo del cultivo (Tirelli, 1939). En dicha publicación se brindó información acerca de los inicios de la sericultura en Cuba entre los años 1824 y 1848, cuando se introdujeron en la Isla las primeras semillas de *Morus* sp.; y se describió como durante ese período y hasta el año 1889 se publicaron numerosos estudios sobre el cultivo de la

morera y acerca de la cría del gusano de seda en las regiones de Santa Clara y Camagüey.

Entre los años 1920 y 1945 se realizaron proyectos de desarrollo de la moricultura, gestionados por la Secretaría de Agricultura, la Estación de Santiago de las Vegas, la Oficina de la Seda en Cuba y la Estación Sericícola de Santa Clara (Valero, 2010). Las especies *M. alba* (L.) y *Morus nigra* (L.) se encontraban aclimatadas en la Isla, y los lugares con desarrollo sericícola se habían extendido a las regiones de Las Tunas, Playa Esperanza, Santa Clara, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Sancti Spíritus, Placetas, Caibarién, Colón, Remedios, Pinar del Río, Santiago de las Vegas y Baracoa.

Sin embargo, no prosperó en Cuba la industria de la seda y se abandonó el cultivo de la morera; y no fue hasta 1996 que se reinició su producción en el país a partir de las charlas ofrecidas por el profesor del CATIE, Jorge Evelio Benavides.

Se establecieron inicialmente 16 000 m² de esta planta, para lo cual se contó con una pequeña población de morera rústica [*M. alba* (L.)] cv. cubana, ubicada en el poblado de Managua (Martín y col., 2013). En la actualidad existen establecidas 1 500 ha de morera destinadas a la producción de forraje (MINAG, 2015), y se cuenta con un germoplasma de 24 variedades que incluye genotipos introducidos de Costa Rica, Brasil, China y España (Martín y col., 2013).

Los principales resultados de las investigaciones hacen énfasis en su importancia para la alimentación del gusano de seda [*Bombyx mori* (L.)] y diferentes especies de rumiantes y monogástricos. Su contenido nutricional es comparable con el de los alimentos concentrados comerciales utilizados en la alimentación animal (Benavides y col., 1994; Boschini y col., 1999; Benavides, 2000).

El contenido de fibra bruta de la morera es bajo si se compara con el de los pastos tropicales. En tal sentido, Iglesias (2003) halló contenidos de FB en *Panicum maximum* Jacq. cv. Likoni de 33,9 y 33,1 % para los períodos lluvioso y poco lluvioso,

respectivamente; y solo los tallos tiernos de la morera tienen contenidos parecidos a estos, pero en su biomasa comestible las hojas tienen la mayor proporción, lo cual hace de esta planta un forraje de calidad superior a los forrajes convencionales.

Resultados compilados por Ojeda y col. (2011) demostraron que en ovinos en crecimiento se alcanzó una mayor ganancia de peso con la suplementación de forraje de morera más ensilaje de hollejo de cítrico. En crías caprinas aumentó la ingestión de todos los nutrientes en la medida que se incrementó el nivel de inclusión del forraje de morera. En el caso de bovinos machos en desarrollo, se observó que con el uso de la morera estos pueden alcanzar ganancias superiores a los 0,4 kg por animal por día como promedio, sin alimento concentrado comercial. Con terneras, las ganancias fueron superiores en los sistemas de alimentación donde se incluyó la morera. En términos de producción de leche de vaca, el incremento fue de 2,12 kg.

Palencia y Girón (2008) y Aldana (2008) demostraron que es posible sustituir con forraje o harina de morera hasta un 50 % del alimento convencional de la tilapia (*Oreochromis niloticus*), sin que se afecte la ganancia de peso, el crecimiento longitudinal y la conversión de alimento; se estimó que con la utilización de la morera se pueden reducir los costos de alimentación de 14,5 % a 7,9 %.

Se ha demostrado también, en evaluaciones en condiciones *in vitro* con líquido de rumen de búfalos de río, que el 30 % de morera cv. cubana, permite reducir la metanogénesis ruminal (González y col., 2011).

Los estudios realizados con la morera para fines medicinales han mostrado la actividad antioxidante, antiinflamatoria, cicatrizante, antimicrobiana y antihelmíntica de los extractos de hojas, tallos y raíz; además se identificó un efecto inhibitorio de las lesiones gástricas provocadas por la administración de etanol (Díaz y col., 2010; Díaz y col., 2011).

2.1.3. Marco de siembra o plantación de la morera

La densidad y el marco de siembra o plantación de la morera se caracterizan por una amplitud de opciones que incluyen arreglos espaciales con 5 000 hasta 150 000 plantas ha^{-1} . Se ha referido que con mayores densidades de plantación se produce más biomasa comestible por unidad de superficie (Cifuentes y Kee Wook, 1998), y para el manejo intensivo del corte de la morera se utilizan plantaciones con más de 25 000 plantas ha^{-1} (Ting y col., 1988; Boschini y col., 2000).

El aumento de la densidad de plantación tiene la ventaja de incrementar la producción y distribución de las raíces en el suelo, y según Rivera (1987) ello está condicionado por un efecto de competencia entre las plantas y por el propio incremento del número de plantas por unidad de superficie. Lin y Hsiek (1994) informaron que en las plantaciones establecidas con altas densidades se estimula el crecimiento foliar y radical, lo que favorece la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes del suelo, y por ello se ajusta a los propósitos del manejo intensivo del corte de la morera.

También Kumar (1978) destacó la influencia positiva de las altas densidades de plantación en la temperatura de las plantas y del suelo, lo cual favorece los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Kumar y Tieszen, 1976).

Los marcos de plantación de la morera en surco doble han tomado auge en América Latina, y al respecto Uribe (2002) demostró las bondades del arreglo $1\text{ m} \times 0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$.

Además, en la India la plantación en surco doble se considera un sistema avanzado que se utiliza por el 90 % de los productores, ya que permite el intercalamiento de cultivos y el riego por goteo en el centro de la doble hilera (Srinivas, 2005), y también garantiza el incremento en 27 % del rendimiento de hojas de morera (Tikader, 1992; Lea y Lee, 2001).

2.1.4. Composición química del forraje de morera

La composición química de las hojas de morera está estrechamente relacionada con el estado nutricional del suelo, las variables climatológicas, la época del año, y el intervalo de corte (Martín, 2004; Martín y col., 2013).

El N es el elemento mineral de mayor concentración en las hojas y los tallos tiernos, seguido del K, el Ca, el Mg, el S y el P. En cuatro variedades comerciales de morera con 90 días de crecimiento, Martín (2004) hizo referencia a concentraciones altas de N, P y Ca en la biomasa comestible (hojas más tallos tiernos) con valores de 41,7 g de N por kg de MS; 2,0 g de P por kg de MS, y 17 g de Ca por kg de MS. El suelo del lugar es del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado.

Domínguez y col. (2001), en una plantación con 60 días de rebrote sobre un suelo Pardo de montaña, hallaron valores en las hojas equivalentes a 33 g de N por kg de MS; 2,7 g de P por kg de MS y 21,8 g de Ca por kg de MS.

Asimismo, Sannappa y col. (2000) observaron en las hojas de morera 33 g de N por kg de MS; mientras que Liu y col. (2002) reportaron concentraciones de 30 g por kg de MS y 36 g por kg de MS.

Acerca de la influencia de la época del año, González y col. (2011) informaron concentraciones de N en la biomasa comestible de morera equivalentes a 36 g por kg de MS en la época lluviosa y 37 g por kg de MS en la época poco lluviosa. Noda (2005) obtuvo concentraciones de N en las hojas de 28,0 g por kg de MS, de 30,3 g por kg de MS en el intervalo de corte de 60 días (épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente), y de 26,7 g por kg de MS y 28,2 g por kg de MS en el intervalo de corte de 90 días. Las plantaciones se ubicaron sobre un suelo del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado.

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 N.

Es necesario el K para neutralizar los aniones solubles y las macromoléculas del citoplasma que tienen pocos cationes orgánicos; así como la regulación del potencial osmótico, el transporte pasivo y activo del agua dentro de la planta y la apertura y cierre de los estomas (Hernández, 2001). Ello se refleja en mayor calidad del forraje fresco de la morera, al garantizar la succulencia de las hojas y los tallos tiernos.

Las demandas nutricionales de K se centran en cuatro funciones bioquímicas y fisiológicas a saber: activación enzimática, procesos de transporte a través de membranas, neutralización aniónica y potencial osmótico (Fernandes, 2006).

García (2003) y Chen y col. (2009) demostraron que la fertilización con K incrementa el rendimiento de forraje y la cantidad de proteína y de carbohidratos solubles. Shankar y Sriharsha (1999) reportaron valores promedio de K en las hojas de morera entre 19,0 g por kg de MS y 29,5 g por kg de MS en cuatro localidades en la India, con dosis de 120 kg ha⁻¹ a 240 kg ha⁻¹ de K₂O. Así mismo, Singh y Makkar (2002) obtuvieron valores de K en las hojas entre 16,6 g por kg de MS y 32,5 g por kg de MS.

Por su parte, Noda y col. (2005) encontraron valores de K en las hojas de morera de 21,0 g por kg de MS y 14,0 g por kg de MS (épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente) con un intervalo de corte de 60 días.

Según Domínguez y col. (2001), el P en las hojas de morera constituye un nutriente esencial para la alimentación animal y promedia 2,7 g por kg de MS. Espinosa y Benavides (1996) obtuvieron valores de 3,3 g por kg en las hojas, y observaron que la morera concentra más P en la época lluviosa comparado con la época poco lluviosa.

2.1.5. Intervalo de corte de la morera

El intervalo de corte de la morera constituye un factor determinante para la producción de follaje, influye en la composición química de la biomasa, y de conjunto con la altura de corte, define el carácter intensivo del manejo de los cortes.

Varios autores plantean que en las especies arbustivas forrajeras los intervalos de corte inferiores a 45 días son insuficientes para recuperar las reservas de las plantas (Benavides, 1996; Benavides, 2000; González y Cantú, 2001). Sin embargo, la morera es empleada para la alimentación de varias especies de monogástricos como la tilapia, el cerdo, y el gusano de seda -que requiere, durante sus primeros estadios de vida, de hojas de morera con edades de rebrotes de 30 días-, por lo que resulta necesario estudiar las formas de defoliación y corte de las plantas con intervalos de corte más estrechos que los recomendados.

Benavides y col. (1994), Rodríguez y col. (1994), Boschini y col. (1999), Martín y col. (2000), Martín y col. (2002) y Almeida y Fonseca (2002) observaron que el rendimiento de hojas y de tallos de morera en monocultivo fue mayor en la medida que el intervalo de corte aumentó de 45 a 120 días.

Por su parte, Vale y col. (2009) informaron que las concentraciones de macro- y micronutrientes: N, P, Mg, B, Cu, Fe, Mn y Zn, en la planta entera de morera disminuyeron gradualmente con el aumento de la edad hasta 120 días; y no ocurrió así para el K, el Ca y el S.

Martín (2004) y Almeida y Fonseca (2002) encontraron diferencias entre los intervalos de corte en cuanto al rendimiento de biomasa y su composición de macronutrientes, a favor de los intervalos de corte de 60 y 90 días para el rendimiento de biomasa comestible, el de 90 días para las concentraciones de Ca y K, y el de 60 días para las concentraciones de N y P.

En relación con la proteína en la biomasa de morera, Liu y col. (2002), Martín y col. (2002), Martín (2004), García y col. (2011a) y García y col. (2011b) observaron que con intervalos de corte intensos de 45 y 60 días alcanzan concentraciones más elevadas de proteína, pero el rendimiento proteico es mayor en los intervalos de corte de 90 y 120 días; ello se explica porque durante las primeras semanas después del corte, las plantas emiten hojas y ramas con altas concentraciones de N, pero los contenidos de masa seca son bajos debido a la limitada cantidad de carbohidratos que quedan de reserva en la base del tallo y en las raíces, y que son utilizados en la emisión de los rebrotes. Solo después de que la planta alcanza un desarrollo en hojas capaces de realizar la fotosíntesis, comienza la etapa de rápida producción de biomasa, que se traduce en mayor rendimiento de proteína (González y Cantú, 2001).

Ednilson y col. (2002) en un estudio con cuatro variedades de morera que tenían 12 años de plantadas en un marco de 3,0 m x 0,6 m, en un suelo del tipo Latosolo rojo-oscuro eutrófico [Ferralsols, según FAO (2014)], observaron que las concentraciones de proteína bruta en las hojas fueron más altas en los intervalos de corte de 45 y 60 días (27,16 % y 27,49 %); sin embargo, los máximos valores de masa fresca de hojas estuvieron asociados a los intervalos de 75 y 90 días. Estos autores concluyeron que el intervalo de corte de 75 días fue el más ventajoso, ya que se obtuvieron altos rendimientos de hojas, con niveles satisfactorios de PB (25,13 %) para la alimentación del gusano de seda.

El intervalo de corte se relaciona de manera significativa con otros factores que influyen en la variación del rendimiento de forraje y de proteína, entre los que se pueden mencionar el marco de plantación y la época del año.

Al respecto Rojas, 2005, al evaluar tres intervalos de corte -30, 60 y 90 días-, observaron que con el aumento del intervalo disminuyeron las diferencias del rendimiento de biomasa entre los marcos de plantación 0,5 m x 0,5 m; 0,75 m x 0,75 m,

y 1,0 m x 1,0 m. Los valores en el intervalo de 90 días fueron de 6,62 t ha⁻¹; 4,57 t ha⁻¹ y 3,21 t ha⁻¹ para los marcos estrecho, medio y amplio, respectivamente. A su vez, al ampliar el marco de plantación aumentaron las diferencias en el rendimiento entre los intervalos de corte: el de 90 días resultó superior al de 30 días en 12 %, 36 % y 43 % para cada marco de plantación, respectivamente. El intervalo de 90 días siempre fue más productivo en distintos arreglos espaciales, y esto se explica por el hecho de que las plantas tienen un período más prolongado de crecimiento foliar y radical, el cual garantiza mayor capacidad fotosintética y acceso a los nutrientes.

Al estudiar la relación entre el intervalo de corte y la época del año en la morera, Martín (2004) logró un mayor rendimiento con el intervalo de corte de 60 días en la época lluviosa, mientras que en la época poco lluviosa el intervalo de 90 días fue el mejor.

2.1.6. Manejo de la fertilización para la producción de biomasa de morera

La nutrición vegetal resulta esencial para el cultivo intensivo de la morera (Martín y col., 2007; Medina y col., 2009), ya que esta especie se caracteriza por ser altamente extractiva de N y K.

La producción sostenible de forraje de morera 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. En tal sentido, Elizondo (2007; 2010), en dos experimentos sobre un suelo de origen volcánico, con pH de 6, un valor promedio de MO de 5,8 %, 1,2 cmol_c kg⁻¹ de K y precipitación media anual de 2 050 mm, demostró que la morera extrae 500 kg de N ha⁻¹ por año, y alertó acerca de que la continua remoción de estas cantidades de N agota las reservas de cualquier suelo.

En el suelo la MO es una fuente principal de N y también de S, P, K, Ca y Mg, necesarios para la nutrición vegetal. Tiene una gran influencia en el aumento de la concentración y la movilidad de estos nutrientes, y garantiza la existencia de un

porcentaje elevado de formas enlazadas orgánicamente en la solución del suelo (Marschner, 1995); por ello es importante considerar dicho indicador de la fertilidad en la concepción del manejo sostenible de la nutrición en el cultivo de morera.

Hernández y col. (2006) señalaron que en las plantaciones perennes establecidas sobre suelos ferralíticos rojos, las concentraciones de MO en la profundidad de 0 a 20 cm superan el 4,5 %, y de manera general el suelo se mantiene conservado. Sin embargo, a medida que aumenta la intensidad de su uso, se va perdiendo la MO por mineralización. En tales circunstancias, la aplicación regular de materiales fácilmente degradables con baja relación C: N incrementa la concentración de N y otros elementos lábiles en el suelo, y la incorporación de materiales con alta relación C: N favorece la liberación lenta de los nutrientes, la acumulación de MO y humus, con un consecuente mejoramiento de la estructura del suelo (Bot y Benites, 2005).

Acerca del K, que es un componente fundamental en la nutrición de la morera, numerosas investigaciones han confirmado que la vía de ingreso natural para el balance de K en la solución del suelo es la reposición proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, en lo que influye la participación de la fracción arcilla (Sardi y Debreczeni, 1992; Buhman, 1993).

El K se encuentra en la solución del suelo, y a través del proceso de adsorción-desorción se repone y equilibra su concentración. Las plantas en crecimiento extraen rápidamente el K de dicha solución, y en la medida que su concentración desciende es renovada y restituida inmediatamente por la cesión del K intercambiable que se encuentra unido electrostáticamente en forma iónica (K^+) a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica (Paulo y Torres de Toledo, 2006). A la inversa, si la concentración de K en la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de este dejará la solución y se unirá electrostáticamente

al material coloidal de la fase sólida. El K de la solución y el K intercambiable son comúnmente denominados K disponible.

Las reservas de K en el suelo se encuentran fuertemente unidas a la fase sólida mineral como K fijado y K estructural. El K fijado o difícilmente intercambiable 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 (Black, 1968).

Existe un equilibrio entre el K intercambiable y estas formas no intercambiables, y el proceso para alcanzar el estado de equilibrio es mucho más lento que el de K de la solución del suelo - K intercambiable. Los procesos involucrados en el mecanismo de reposición y equilibrio de las formas no-intercambiables son fijación y liberación del K difícilmente intercambiable, y cristalización y meteorización del K estructural (Goulding, 1987).

Según señalan Rosolem y Nakagawa (1985), Rosolem y col. (1993), Calonego y col. (2005), Kaminski y col. (2007) y Simonsson y col. (2007), independientemente de que la fertilización con K sea balanceada, el K que se libera de los residuos orgánicos y el K no intercambiable son movilizados hacia las formas disponibles, lo cual 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 y col., 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, tanto como de las propiedades, la textura y la mineralogía del suelo (Kaminski y col., 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 y col., 2005).

Mientras, la menor acumulación de K en las hojas, está relacionada con el insuficiente suministro de ese nutriente a las plantas, es atribuida al agotamiento de las formas disponibles en el suelo y corroboran los resultados obtenidos por Kaminski y col. (2007), quienes 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 y col. (2005), cuando los mecanismos que controlan la absorción del K por las plantas son eficientes, principalmente 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; dicha disminución se debe a una elevada acumulación de K por las plantas (Moody y Bell, 2006; González, 2014).

Además, Simonete y col. (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 y col. (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 en el primer cultivo, respectivamente. Por su parte, Rosolem y col. (1993) y

Silva y col. (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, mientras que la fertilización con P no parece ser de gran importancia (Ito y Takagishi, 1997; Datta, 2002; Huo, 2002; Chen y col., 2009).

Elizondo (2010), en condiciones de alta fertilidad del suelo (valores de MO superiores a 5 %, 1 cmol_c kg⁻¹ de K y 0,27 % de N total), comparó las dosis de 0, 150, 300 y 450 kg de N ha⁻¹ por año a partir de un abono orgánico tipo compostaje con 0,63 cmol_c kg⁻¹ de K y 1,10 % de N total. Se hallaron diferencias en la concentración de PB a favor de 300 kg ha⁻¹ de N por año (16,35 %); mientras que rendimiento de PB de la planta entera no varió y mostró valores de 2,7; 2,6; 3,1 y 3,2 t ha⁻¹ por año, respectivamente, lo que sugiere una alta participación en la nutrición de las formas de N y K presentes en el suelo.

De igual modo Boschini y col. (1999), con cinco dosis de N (0, 150, 300, 450 y 600 kg ha⁻¹) proveniente de fertilizante mineral (NH₄NO₃), no obtuvieron respuesta al aumento de las dosis. Dicho comportamiento fue atribuido a las altas concentraciones de N total (0,29 %) en el suelo, y se consideró que el contenido de otros minerales disponibles se encontraba en cantidades suficientes para no limitar el crecimiento de las plantas.

Sin embargo, Takahashi y Kronka (1989) evaluaron tres fertilizantes: gallinaza a razón de dos kilogramos por planta (29 N: 3 P: 3 K), fertilizantes minerales (20 g de N: 10 g de P₂O₅: 15 g de K₂O por planta) y fertilizante foliar en una solución al 1% (14 N: 4 P: 7 K), y obtuvieron altos rendimientos de biomasa, con un efecto significativo por la aplicación de gallinaza.

Benavides (1994; 1999) en experimentos de fertilización sobre suelos volcánicos, recomendaron la aplicación de 480 kg de N ha⁻¹ por año a base de estiércol de cabra y

fertilizante mineral NH_4NO_3 , y lograron rendimientos de 30 a 38 t ha^{-1} por año de MS total. En este caso la no necesidad de aplicar fertilizantes potásicos se debió a los altos contenidos de K en los suelos en cuestión.

Por su parte, Rodríguez y col. (1994) reportaron que en la morera cvs. tigreada y acorazonada, que el rendimiento de biomasa aumentó en la medida que la fertilización nitrogenada fue mayor de 160 hasta 320 kg ha^{-1} de N por año.

Las aplicaciones anuales de una combinación de 450 kg ha^{-1} de N a partir de la urea y 150 kg ha^{-1} por año de K_2O a partir de KCl produjeron los mejores resultados en cantidad y calidad de las hojas (Siswanto, 1994). Murarkar y col. (1998) lograron incrementos significativos del rendimiento foliar con la aplicación de N, P_2O_5 y K_2O a razón de 300, 120, 120 kg ha^{-1} por año, comparado con un tratamiento control no fertilizado; mientras que Cifuentes y Kee Wook (1998) recomendaron dosis de 350 kg ha^{-1} por año de N, entre 100 y 150 kg ha^{-1} por año de P_2O_5 y 250 kg ha^{-1} por año de K_2O . En experimentos realizados en cuatro sitios, con diferentes combinaciones de N y K a partir de 300 y 400 kg ha^{-1} de N, de 120, 160 y 200 kg ha^{-1} de K_2O , y una dosis basal de P (120 kg ha^{-1} de P_2O_5), considerando como patrón de comparación las dosis de fertilización 300 y 120 kg ha^{-1} por año de N y K_2O (tradicional en la India), se demostró que con la aplicación de 400 y 200 kg ha^{-1} por año de N y K_2O aumentó el rendimiento de biomasa foliar hasta 37,38 t ha^{-1} mientras que con 300 y 120 kg ha^{-1} por año de N y K_2O los valores medios no superaron los 31,76 t ha^{-1} . La concentración de K en el mejor tratamiento alcanzó 23,9 g kg^{-1} (Shankar y Rangaswamy, 1999).

Domínguez (2002) recomendó el empleo de efluentes de granjas porcinas en el cultivo de la morera, y Mesa y col. (2011) probaron el Liplant en condiciones semicontroladas en un suelo Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado. En ambos trabajos se obtuvieron aumentos significativos en el número de tallos, la altura de las plantas y el rendimiento de MS de morera. Además, González (2002) recomendó la utilización del

estiércol fresco de cabra en una dosis de 1,2 kg por planta, lo que en una plantación de 25 000 plantas ha⁻¹ representaría 30 t ha⁻¹ de abono fresco.

En un suelo litosol de origen calcáreo Sanginés y col. (2006) observaron una respuesta significativa en el rendimiento de forraje (31,2 t ha⁻¹ por año) al aplicar agua residual de origen porcino (ARP) con una dosis de 450 kg ha⁻¹ de N, comparado con urea (300 kg ha⁻¹ de N), y ARP (150 o 300 kg ha⁻¹ de N). Además, se encontró efecto de la época del año en el rendimiento de morera, al alcanzarse una menor producción por unidad de superficie en el corte correspondiente a los meses de enero y abril, cuando las condiciones ambientales fueron desfavorables para la planta, a pesar de que recibió riego de auxilio (lámina de 10 mm dos veces por semana) y el intervalo de corte fue de 90 días durante todo el año.

Pentón (2007) obtuvo variaciones en el rendimiento de hojas de morera en la época lluviosa, con el uso de distintas alternativas de fertilización, sobre un suelo del tipo Ferralítico Rojo Lixiviado y en condiciones de secano; los valores medios fueron de 1,04 t ha⁻¹ sin manejo de la nutrición, 1,12 t ha⁻¹ con árboles jóvenes de *Albizia lebbbeck* (algarrobo) intercalados, y 1,81 t ha⁻¹ con la aplicación de 15 t de cachaza ha⁻¹.

Boschini y col. (2000) recomendaron dosis de 262 kg ha⁻¹ por año de N, 56,7 kg ha⁻¹ por año de P₂O₅ y 117,7 kg ha⁻¹ por año de K₂O, equivalentes a una proporción de 4,6: 1: 2 de NPK, en un suelo con pH óptimo para el cultivo de morera (6,1) y elevadas concentraciones de MO (7,5 %) y de K intercambiable (1,03 cmol_c kg⁻¹).

Según señalan González y col. (2011), la PB del forraje de la morera cultivada sobre un suelo de fertilidad media aumentó con el nivel de fertilización nitrogenada, que fue de 100 kg ha⁻¹ N a 500 kg ha⁻¹ N.

Por su parte, García y col. (2011a) y García y col. (2011b) obtuvieron una respuesta positiva a la fertilización con estiércol vacuno, en una plantación ubicada sobre un suelo de textura franco-limosa, de baja fertilidad, con pH alcalino y bajo en contenido de MO

y K. En el tratamiento control, sin aplicación de fertilizantes, se obtuvieron rendimientos de 14,13 y 33,56 kg ha⁻¹ de RPB por corte (épocas poco lluviosa y lluvioso, respectivamente); mientras que con las dosis de 150 kg ha⁻¹ de N por año, que no difirió de 300 kg ha⁻¹ de N, los valores fueron de 101,71 y 362,71 kg ha⁻¹ de RPB por corte.

Bello y col. (2011) realizaron estudios en un suelo Fersialítico Pardo Rojizo típico, donde se aplicó 1 kg de abono orgánico por planta a partir de humus de lombriz de tierra y efluente de biodigestor, ambos obtenidos de excretas de ganado porcino, y todos los indicadores medidos demostraron el efecto positivo de utilizar cualquiera de los abonos orgánicos.

Según reportan Noda y col. (2013), en una plantación de morera la producción de biomasa fue mayor (0,9 o 1,0 t ha⁻¹ MS por corte) con la aplicación de humus de lombriz y efluentes de un biodigestor, obtenidos de excretas de ganado porcino, en un suelo de tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, respecto a las parcelas donde no se aplicó ningún tipo de fertilización (0,3 t ha⁻¹ MS por corte).

El hecho de que la producción de forraje de morera requiera altas cantidades de fertilizantes con N y K implica elevados costos de producción (Elizondo, 2007); por lo que, en función de reducir dichos insumos, resulta importante evaluar prácticas de manejo de la nutrición que han resultado efectivas en otros cultivos, tales como el uso de abonos verdes (García y col., 2001; CIDICCO, 2004) y de inoculantes micorrízicos (Riera, 2002; Rivera y col., 2007; González, 2014).

2.2. El uso de abonos verdes. La especie *Canavalia ensiformis* (L.)

Actualmente se conceptúa como “abono verde” la utilización de plantas en rotación y asociación con cultivos comerciales que se incorporan al suelo o se dejan en la superficie, los cuales le ofrecen protección como mantenimiento y/o recuperación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Kolmans y Vásquez, 1999).

El cultivo de plantas con el propósito de abonar, enriquecer y mejorar la fertilidad del suelo se usa especialmente en el trópico y en el subtrópico como principal opción de la agricultura ecológica. Por lo general se emplean cultivos como abono verde cuando estos presentan un corto período vegetativo, incorporándose al suelo en un estado de maduración precoz; pero también se usan los cultivos de cobertura, que por lo general no son incorporados al suelo, sino que se mantienen como mulch (Peña y col., 2003).

De acuerdo con lo planteado por Bunch (2000), el concepto de abonos verdes va más allá de incorporar leguminosas u otras especies de plantas en el momento de su máxima producción de fitomasa. Existen muchos sistemas que utilizan cultivos intercalados o de relieve, o la siembra de leguminosas debajo de árboles frutales.

El concepto de abonos verdes o cultivos de coberturas se aplica a diversas especies de plantas con diferente porte, las cuales son usadas para uno o varios propósitos relacionados con el aporte de N vía fijación biológica, el reciclaje de nutrientes, el incremento en la actividad biológica del suelo, la cobertura del suelo, el mantenimiento de la humedad y el control de arvenses (Ramos y col., 2001; Elfstrand y col., 2007).

La cobertura que aportan las leguminosas puede ser importante para la conservación de los suelos. Un buen dosel de cobertura protege al suelo de la influencia directa de los rayos del sol y del impacto de las lluvias y el viento, mejora la capacidad de infiltración y contribuye a conservar la humedad edáfica (Bunch, 2000).

El uso de leguminosas como abono verde asociadas a plantaciones de morera puede constituir una importante vía de solución a la problemática de la fertilización; sin embargo, requiere de integrarla con el resto de las prácticas culturales, como el intervalo de corte. Aunque existe alguna información sobre plantaciones de morera con intercalamiento (Benavides, 1994; Srinivas, 2005), este se ha realizado fundamentalmente con cultivos económicos, y no se han encontrado resultados publicados sobre su asociación con abonos verdes, ni en los que se evalúen sus

posibilidades como vía para inocular con HMA las plantaciones de morera y su relación con los esquemas de suministro de nutrientes.

Benavides (1994) sugirió la asociación de morera con poró enano (*Erythrina berteroana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*), sembrados en un marco de 2 x 2 m y podados al unísono con la morera, a una altura mayor de 2 m. Sin embargo, Pentón y Reyes (2004) alertaron sobre las posibilidades limitadas de estas asociaciones y demostraron la característica heliófila obligatoria de la morera, que posee una reducida tolerancia a la sombra en plantaciones intercaladas con *Albizia lebbek*, *G. sepium* y *Leucaena*. Además, Shankar y col. (1998) señalaron la significativa reducción en la producción de hojas de morera a partir del intercalamiento de cocoteros.

La canavalia se presenta como una especie promisorio como cultivo de cobertura en las plantaciones de morera, y su empleo como cultivo intercalado ha sido probado en plantaciones de frutales y cereales (CIDICCO, 2004).

Beyra y col. (2004) describen a *C. ensiformis* (L.) como una leguminosa arbustiva bianual, trepadora, de crecimiento erecto y determinado, de apariencia rústica, poco exigente a la fertilidad de los suelos, y resistente a las plagas y enfermedades.

Aunque el género *Canavalia* presenta una amplia distribución, *C. ensiformis* (L.) es una de las especies que más se cultivan en África, Asia y Oceanía, así como en el sur de Estados Unidos, Centroamérica y Suramérica, y en la región del Caribe (Bunch, 2000); a ello ha contribuido su empleo como fuente de proteína, abono verde, cultivo de cobertura y en el control biológico de plagas.

La canavalia realiza una rápida cubierta inicial del suelo debido al tamaño de sus hojas, y compite con las arvenses (CIAT, 2001); se destaca por estar entre las especies de abono verde con un aporte superior a 100 kg ha⁻¹ de N (García y col., 2001), posee una alta capacidad de colonización por microorganismos benéficos nativos del suelo como

bacterias fijadoras de N atmosférico y HMA, y es capaz de propiciar la inoculación del cultivo acompañante (Martín, 2009).

2.3. Las micorrizas en la nutrición vegetal. Efectividad y funcionamiento de la simbiosis

Se conoce que el desarrollo vegetal puede incrementarse por la utilización de los HMA, que actúan de forma coordinada en la interfase suelo-raíz incrementando la absorción de nutrientes y agua, y conllevan en la mayoría de los casos la reducción de las aplicaciones de fertilizantes minerales (Martín, 2009; Simó y col., 2014; González, 2014).

El beneficio de los HMA en el crecimiento de las plantas es importante particularmente en los suelos tropicales, donde las posibilidades de explotación de estos hongos son mucho mayores que en regiones de clima templado (Peña-Venegas y col., 2007).

Los HMA juegan un papel fundamental en la absorción de nutrientes, como resultado de: el 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; y la absorción de nutrientes no accesibles a raíces no micorrizadas, directamente a través de las hifas o indirectamente a partir del favorecimiento del desarrollo de las raíces (Herrera y col., 1995; Peña-Venegas y col., 2007; Siqueira y col., 2010). Además influye la interacción beneficiosa por la presencia de microorganismos mineralizadores solubilizadores de nutrientes y diazotróficos asociados a los propágulos de HMA, los cuales conforman la micorrizosfera; y también la amortización de los efectos adversos de pH, Al, Mn, metales pesados, salinidad, estrés hídrico y ataque de patógenos (Rivera y Fernández, 2003; Lekberg y Koide 2005; Li y col., 2006; Pozo y Azcón Aguilar, 2007; Hodges y Storer, 2015).

La efectividad micorrízica arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras: relacionada con el rendimiento de un determinado cultivo, o sea, la efectividad de un endófito sobre el crecimiento de la planta; o con el número de propágulos en un

ecosistema natural; o con la transferencia de nutrientes por unidad de carbohidratos intercambiados durante la simbiosis (Herrera y col., 1995; Siqueira y col., 2010).

Entre los factores determinantes en la efectividad simbiótica están el tipo específico de suelo o sustrato, las concentraciones y el equilibrio de nutrientes en la solución del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y en especial los niveles de Ca^{++} . La esporulación, desarrollo, funcionamiento y sobrevivencia de los HMA están estrechamente ligados a propiedades del suelo vinculadas a su fertilidad, como el contenido de MO, la relación N:P, las fracciones de P, la capacidad de intercambio catiónico y el pH, entre otras (Becerra y col., 2007; Peña-Venegas y col., 2007).

Numerosos autores en Cuba han demostrado y validado la alta especificidad de cepas eficientes de HMA para tipos de suelo, así como la baja especificidad cepa eficiente de HMA-cultivo (Ruiz, 2001; Sánchez, 2001; Rivera y col., 2007; Simó y col., 2008; González, 2014).

El enfoque de realizar la inoculación de cepas de HMA previamente seleccionadas resulta importante, bien sea por el conocimiento del área y de los requerimientos edáficos de las especies de HMA a emplear o por la existencia de aislamientos previos.

Se ha demostrado que *G. cubense* funciona adecuadamente en los suelos ferralíticos rojos para una amplia diversidad de cultivos. Esta especie resultó más eficiente para el cultivo del maíz en rotación con la canavalia y para los pastos cultivados en suelos del tipo Ferralítico Rojo Lixiviado (Martín, 2009; González, 2014); además, se destacó por su alta competitividad para establecer una simbiosis efectiva, tanto en los suelos donde se recomienda su inoculación como en otros donde esta cepa no es la más eficiente.

Con respecto a la micorrización de la morera, si bien se ha demostrado que es un cultivo micótrofo (Ram Rao y col., 2007), son escasos los trabajos que estudian la importancia de su inoculación con HMA y en lo fundamental se localizan en la India.

Pentón y col. (2011) observaron que la inoculación de la morera con la especie *G. cubense* en un suelo de tipo Ferralítico Rojo Lixiviado sin aplicación de fertilizantes triplicó el peso verde de las raíces y de las raicillas a los 90 días de establecimiento de la morera. A los 240 días las plantas inoculadas duplicaron el rendimiento de las no inoculadas, aunque no hubo diferencias en la supervivencia.

Noda y col. (2013) obtuvieron, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado de fertilidad media, diferencias en el rendimiento de biomasa comestible, a favor de la combinación del fertilizante nitrogenado (300 kg ha^{-1} de N) con HMA y brasinoesteroides ($9,10 \text{ t ha}^{-1}$ por año de MS) comparado con el uso de los bioproductos independientes, que en el mejor de los casos alcanzó $7,22 \text{ t ha}^{-1}$ por año de MS. La disminución del rendimiento de biomasa de morera en presencia de los bioproductos sin fertilizante indicó que el suelo de manera natural no pudo cubrir los requerimientos del cultivo; de ahí la importancia del manejo conjunto de la nutrición.

Además, el uso de leguminosas herbáceas como canavalia y crotalaria (*Crotalaria juncea*) inoculadas con cepas eficientes de HMA por tipo de suelo se vislumbra como una vía para inocular las plantaciones de morera, pues en los últimos años se han reportado resultados alentadores sobre la micorrización de cultivos sucesores o intercalados con canavalia (Simó y col., 2008; Martín, 2009; González, 2014; García, 2014), que están asociados a la dependencia micorrízica de los abonos verdes, su alta densidad de siembra y la baja especificidad cepa eficiente-cultivo (Rivera y Fernández, 2003).

Los resultados demuestran la conveniencia de utilizar de manera integrada los fertilizantes minerales, los abonos orgánicos y los inoculantes micorrízicos, además indican que la respuesta a estas prácticas de manejo de la nutrición está relacionada con una mayor asimilación neta y una mejor utilización de los minerales; lo cual fue abordado por Crespo (2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

Se realizaron dos experimentos 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.

3.2. Características edafoclimáticas

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

De acuerdo con los análisis químicos iniciales del suelo en la profundidad de 0 a 20 cm en cada experimento (tabla 1), y las tablas de interpretación agroquímica (Cancio, 1982; Paneque y Calaña, 2001), el suelo presentaba un pH ligeramente ácido, los valores de K y sodio (Na) intercambiable eran bajos, lo que resulta típico de los suelos ferralíticos y las concentraciones de Mg intercambiable eran altas.

Tabla 1. Indicadores químicos del suelo en cada experimento, al inicio.							
Experimento	pH H ₂ O	MO	P	K	Na	Ca	Mg
		(%)	(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)			
Primero	6,51	2,94	21,75	0,15	0,07	11,26	3,94
±Z ₁ .Esx	0,13	0,27	2,49	0,02	0,01	0,80	0,24
Segundo	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).

Los valores de Ca eran medios comparados con los de otros suelos cubanos asentados sobre roca sedimentaria; sin embargo, estas concentraciones pueden considerarse suficientes para los cultivos.

Las concentraciones de MO si bien se clasifican entre baja y media en comparación con las de la mayoría de los suelos cubanos, pueden considerarse de medias a altas para el agrupamiento de los suelos ferralíticos, e indican que se trata de un suelo poco degradado, según los criterios de Hernández y col. (2014). Ello se explica porque las áreas utilizadas para el montaje de los experimentos tuvieron como antecedente la aplicación de abonos orgánicos para la producción de semilla vegetativa de gramíneas cespitosas en el primer experimento y de morera en el segundo experimento, y los restos de cosecha se depositaban sobre el suelo.

La concentración de P disponible, que resultó media en el experimento 1 según las tablas de interpretación agroquímica de Cancio (1982) y Paneque y Calaña (2001), debió estar relacionada con que el antecedente de la plantación de morera fue un campo de producción de semilla vegetativa de especies cespitosas, fertilizado de manera habitual con fertilizantes minerales (fórmula completa).

Tanto los valores de pH, como las concentraciones de Ca y Mg intercambiables y de P disponible, se encontraban en el rango recomendado para el cultivo de la morera según Cifuentes y Kee Wook (1998).

El clima en la etapa experimental se caracterizó por una media anual de precipitación de 1 500 mm (tabla 2), con el 80 % de la lluvia caída en la época lluviosa, que se enmarca entre el 15 de mayo y el 15 de noviembre.

La media de los cuatro años estuvo cercana a la media de los últimos 20 años: 1 120,25 mm en la época lluviosa y 273,05 mm en la poca lluviosa (Estación Meteorológica Indio Hatuey, CITMA).

Tabla 2. Comportamiento de las variables climatológicas, precipitación (mm) y temperatura media del aire ($^{\circ}\text{C}$) durante el período de investigación

Meses	2007		2008		2009		2010		Promedio 2007-2010	
	Mm	$^{\circ}\text{C}$	mm	$^{\circ}\text{C}$	mm	$^{\circ}\text{C}$	mm	$^{\circ}\text{C}$	mm	$^{\circ}\text{C}$
Enero	45,6	21,7	6,5	20,2	46,1	19,7	34,3	19,0	33,1	20,1
Febrero	72,6	21,5	68,5	22,3	0,0	19,2	91,0	19,3	58,0	20,6
Marzo	6,6	21,9	44,6	22,6	10,7	20,8	20,6	21,8	20,6	21,8
Abril	134,8	22,9	63,0	22,9	3,4	26,6	96,2	24,2	74,3	24,2
Mayo	84,2	24,5	86,2	25,8	117,7	25,5	62,1	26,3	87,5	25,5
Junio	278,7	25,4	166,3	26,2	170,9	25,8	161,3	27,5	194,3	26,2
Julio	117,8	26,5	342,2	25,9	120,3	27,4	259,7	26,7	210,0	26,6
Agosto	235,6	26,3	443,6	26,2	117,9	27,0	226,0	26,8	255,8	26,6
Septiembre	328,5	25,2	313,7	26,0	251,0	26,1	315,2	26,2	302,1	25,9
Octubre	219,3	25,3	140,7	24,2	155,0	24,6	104,9	24,4	154,9	24,6
Noviembre	60,3	21,0	134,7	20,9	71,6	21,2	73,7	21,7	85,1	21,2
Diciembre	16,7	21,2	49,9	20,2	24,5	19,5	6,9	17,1	24,5	19,5
Época lluviosa (Mayo- Octubre)	1 264,1	25,5	1 492,7	25,7	932,8	26,1	1 129,2	26,3	1 204,7	25,9
Época poco lluviosa (Noviembre – Abril)	336,6	21,7	367,2	21,5	156,3	21,2	322,7	20,5	295,7	21,2
Año	1 600,7	23,6	1 859,9	23,6	1 089,1	23,6	1 451,9	23,4	1 500,4	23,6

Datos obtenidos de la Estación Meteorológica “Indio Hatuey”, perteneciente al CITMA, situada entre los 22° , $48'$ y $7''$ de latitud Norte, y los 81° y $2'$ de longitud Oeste, a 19,9 m – s n m; ubicada en el municipio de Perico, provincia de Matanzas, Cuba.

El régimen de precipitación varió más de año en año y entre épocas que la temperatura media del aire. En los primeros años (2007 y 2008) siempre llovió más que en los posteriores. El año 2008 estuvo caracterizado por una activa temporada ciclónica, y el 2009 fue poco lluvioso con afectaciones en ambas épocas.

La temperatura media del aire por año y por época fue más homogénea, y osciló como promedio de los cuatro años entre 25,9 °C en la época lluviosa y 21,2 °C en la época poco lluviosa.

3.3. Descripción de los experimentos

Cada experimento tuvo una duración de dos años. El primero experimento se inició en mayo de 2007 y se extendió hasta mayo de 2009, y el segundo abarcó desde noviembre de 2008 hasta noviembre de 2010.

Ambos experimentos se realizaron en plantaciones previamente establecidas con la cv. tigreada, en las cuales se hacían labores de corte de semillas vegetativas, arroje de los desechos de cosecha y limpieza manual sistemática de las plantas arvenses.

Se emplearon dos marcos de plantación, con densidades que se correspondieron con el rango medio que se usa para el cultivo de la morera, de acuerdo con los criterios de Ting y col. (1988), Boschini y col. (2000), Martín y col. (2002), Uribe (2002) y Hadimani y col. (2004; quienes recomendaron como adecuados para la producción de forraje los arreglos espaciales de surcos dobles y sencillos, con densidades de 20 000 a 40 000 plantas ha⁻¹. Para la elección de la densidad de 20 000 plantas ha⁻¹ en el primer experimento se consideró que esta es de las más utilizadas en Cuba en condiciones de secano (Martín y col., 2013). Habiéndose demostrado la factibilidad del intercalamiento de canavalia en dicha condición, se utilizó el arreglo espacial de doble surco a razón de 26 666 plantas ha⁻¹, que mantiene la distancia entre plantas de 0,50 m y de 1 m entre los dobles surcos; y se considera un sistema avanzado de amplio uso ya que permite el

intercalamiento de cultivos en el centro de la doble hilera (Srinivas, 2005). Siempre los surcos se orientaron en sentido este-oeste.

Seis meses antes de iniciar las evaluaciones se diseñaron las parcelas experimentales, se realizó un corte de homogenización de las plantaciones y se estableció un período de estabilización de los tratamientos, lo que constituye una práctica convencional en los experimentos sobre producción de biomasa de morera (Rojas, 2005).

3.3.1. Experimento 1. Efecto de los intervalos de corte y del manejo de la nutrición en plantaciones de morera para forraje

Se evaluaron los efectos de diferentes intervalos de corte y del manejo de la nutrición tanto en la época lluviosa y en poco lluviosa. El marco de plantación fue de 0,50 x 1,00 m, con una densidad de 20 000 plantas ha⁻¹.

Las parcelas experimentales se conformaron a razón de 24 m² y 48 plantas; en el área de cálculo se utilizaron 12 plantas homogéneas en edad, ubicadas hacia el centro de las parcelas que corresponden a 6 m² (anexo 1); la altura de corte de la morera fue de 30 cm.

Los factores estudiados (dos) contaban con tres niveles cada uno, para un total de nueve tratamientos, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas.

- Factor: intervalos de corte (A).

Se evaluaron tres intervalos de corte: 30, 60 y 90 días.

- Factor: manejo de la nutrición (B). Los tres niveles fueron: sin fertilizantes minerales ni canavalia intercalada e inoculada con HMA (Sin FM ni CeHMA); fertilización mineral (FM) 150 y 75 kg ha⁻¹ de N y K₂O por época del año, respectivamente; canavalia intercalada e inoculada con *G. cubense* al momento de su siembra (CeHMA) en cada época del año.

Los intervalos de corte en cada época comenzaron y terminaron al unísono, de forma tal que con el intervalo de corte de 30 días se realizaron 12 cortes en el año; para los tratamientos de 60 días fueron seis cortes y para 90 días fueron cuatro cortes (anexo 2).

Los cortes de la época lluviosa se enmarcaron entre los meses de junio y noviembre, y

en la época poco lluviosa entre diciembre y mayo. Las fechas de corte para cada intervalo fueron: 30 días (todos los días 1ro de cada mes del año); 60 días (los días 1ro cada dos meses a partir de julio); y 90 días (los días 1ro a partir del mes de agosto); la altura de corte fue de 0,30 m.

Se aplicó fertilizantes nitrogenado y con K en dosis de 150 y 75 kg ha⁻¹ de N y K₂O, en cada época del año. Las aplicaciones se realizaron siempre después del último corte de cada época en los primeros siete días de noviembre y de mayo, aprovechando las precipitaciones para garantizar la suficiente humedad en el suelo. Los fertilizantes se aplicaron en forma manual, sobre la superficie del suelo y en la base del tallo; los portadores utilizados fueron urea (46 %) y cloruro de potasio (60 %).

No se aplicó fertilizante con P, considerando los bajos requerimientos del cultivo de morera (Cifuentes y Kee Wook, 1998) y la concentración inicial media de P disponible en el experimento, en la profundidad de 20 cm del suelo, equivalente a 99,62 kg ha⁻¹.

Se sembró la canavalia, de forma manual, a los 15 días de iniciarse el crecimiento de la morera en cada época del año (15 de noviembre y 15 de mayo), a partir de noviembre 2006, y durante todo el período experimental. La densidad de plantación fue de 25 000 plantas ha⁻¹ (con un marco de 0,4 x 1,0 m), intercaladas en las calles de la morera, a una distancia de 0,50 m con respecto a los surcos, y con 60 plantas en cada parcela.

La canavalia siempre fue inoculada con una cepa de *G. cubense*, que es eficiente para este tipo de suelo (Martín y col., 2010; González 2014). Las semillas se recubrieron mediante el método establecido por Rivera y col. (2006) con 0,15 g de inoculante por semilla, equivalente a 7,5 kg ha⁻¹ en cada época del año. Se sembraron dos semillas y se raleó siete días de la siembra dejando una planta.

El inoculante micorrízico consistió en esporas y otros propágulos, y fue preparado por la tecnología del EcoMic® (Fernández y col., 2000) en el departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

(INCA), Mayabeque, Cuba, con un título de 25 esporas por cada gramo de inoculante como mínimo.

A los 60 días de la siembra de la canavalia, las plantas se cortaron a ras del suelo se fraccionaron en partes iguales y se colocaron en forma de arroje alrededor de la morera en una proporción de 1,25 plantas de canavalia por cada planta de morera.

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.

3.3.2. Experimento 2. Intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización mineral en plantaciones de morera para forraje

Se evaluaron los efectos del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral, tanto en la época lluviosa como en la poco lluviosa, considerando los resultados obtenidos durante el primer año en el experimento 1, relacionados con el intervalo de corte de 90 días, el intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y la fertilización mineral. En este último caso, se aplicaron dos dosis de N y K₂O, una por debajo y otra por encima de la dosis intermedia utilizada en el experimento 1, que ha sido recomendada como más efectiva para el cultivo de morera (Espinosa, 1996; Domínguez, 2002; Martín, 2004); y se incluyó la aplicación de P₂O₅, debido a que la concentración inicial de P disponible en el experimento, en la profundidad de 20 cm del suelo fue baja, equivalente a 36,2 kg ha⁻¹.

La plantación seleccionada se encontraba establecida desde el año 2004, sobre un área de 1 000 m². El marco consistió en surcos dobles (0,50 m x 0,50 m x 1 m) y se correspondió con una densidad de 26 666 plantas ha⁻¹.

Las parcelas experimentales tenían una superficie de 13,5 m² (4,5 m de ancho x 3,0 m de largo) y estaban compuestas por 36 plantas, de las cuales se consideraron 12 en el área de cálculo, con una edad homogénea que corresponden a 4,5 m² (anexo 3). Las fechas y la altura fueron similares a las utilizadas en el experimento 1.

Los factores estudiados (dos) contaban con dos y tres niveles, respectivamente, para un total de seis tratamientos, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas.

- Factor: intercalamiento de canavalia inoculada con HMA (A)

1. Sin canavalia intercalada e inoculada con HMA
2. 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

La inoculación de las semillas de canavalia con HMA se realizó de forma similar a lo descrito en el experimento 1. La densidad de siembra fue de 25 000 plantas ha⁻¹, con un marco de siembra de 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). Las fechas de siembra, corte y arroje de la canavalia resultaron similares a lo descrito en el primer experimento (anexo 2).

Se utilizaron dos dosis de aplicación de N y K₂O, una por debajo y otra por encima de las dosis intermedia utilizada en el experimento 1; se incluyó la aplicación de P₂O₅ debido a los bajos contenidos existentes en este suelo. Los portadores utilizados fueron urea (46 %), superfosfato simple (20 %) y cloruro de potasio (60 %).

El modo y los momentos de aplicación de los fertilizantes, así como las labores de mantenimiento de la plantación fueron similares a lo descrito en el primer experimento (anexo 2).

3.4. Evaluaciones y determinaciones realizadas

3.4.1. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de masa seca de hojas y de tallos tiernos (RMSH y RMSTT) en cada época del año

La masa seca de las hojas y de los tallos tiernos obtenida en cada corte se totalizó, y se expresó como masa seca acumulada en cada época del año (rendimiento estacional). Esta estuvo compuesta, en los tratamientos con intervalo de corte de 90 días, por la sumatoria de la biomasa obtenida en dos cortes; en los tratamientos con intervalo de corte de 60 días por tres cortes; y en los tratamientos con intervalo de corte de 30 días, por seis cortes.

3.4.2. Rendimiento de masa seca de biomasa comestible, RMSBC ($t\ ha^{-1}$ en cada época)

Se determinó a partir de la suma del rendimiento de las masas secas de hojas y de tallos tiernos.

3.4.3. Producción de masa seca comestible por planta, por corte, en los intervalos de 60 y 90 días ($g\ planta^{-1}$)

Se determinó a partir de la suma, por planta, de la masa seca de hojas y de tallos tiernos en cada corte.

3.4.4 Proporción hojas/tallos tiernos

Se determinó a partir de la razón en base seca entre las hojas y los tallos tiernos (RMSH/RMSTT) en cada época del año.

3.4.5. Masa seca de canavalia, MS ($t\ ha^{-1}$ en cada época)

En cada época se realizó un corte de la fracción aérea que estuvo compuesta por hojas y tallos.

Las evaluaciones en que no se identificó el experimento fueron comunes para ambos.

En las determinaciones del rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de masa seca de hojas y de tallos tiernos de morera (RMSH y RMSTT) en cada corte y época del año y de la masa seca de la fracción aérea de la canavalia en cada época, el pesaje de la masa verde de las fracciones aéreas se realizó 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 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 MV y el porcentaje de MS, mediante la fórmula:

$$MS (t \text{ ha}^{-1}) = \{ [MV (kg \text{ en área de cálculo de la parcela}) \times MS (\%) / 100 (\%)] \times 10\,000 \text{ m}^2 \} / \text{área de cálculo de la parcela} / 1000$$

3.4.6. Contenidos de N, P₂O₅ y K₂O en la biomasa seca de la parte aérea de la canavalia (kg ha⁻¹)

En el momento del corte de cada época del año, se determinaron las concentraciones de N, P y K como porcentaje de la masa seca de las hojas y los tallos, según los métodos analíticos descritos por Paneque y col. (2010).

Se calculó el contenido de nutrientes mediante la siguiente expresión matemática:

$$\text{Contenido de N, P}_2\text{O}_5 \text{ y K}_2\text{O (kg ha}^{-1}\text{)} = RMS \times (N \times 10; P \times 2,29 \times 10; K \times 1,20 \times 10) / 1000$$

3.4.7. Concentración de N, P y K en las hojas de morera (g kg⁻¹ MS)

A partir de muestras tomadas en el último corte de cada época se determinaron las concentraciones de N, P y K, como porcentaje de la masa seca de las hojas, según los métodos analíticos descritos por Paneque y col. (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.
- Fósforo (P): determinación colorimétrica con el reactivo molibdato de amonio.

- Potasio (K): determinación por fotometría de llama.

3.4.8. Rendimiento de proteína en la biomasa comestible de morera (kg ha⁻¹ por época)

Se calculó la concentración de N en la biomasa comestible, a partir de las determinaciones en las hojas y los tallos tiernos, mediante la siguiente expresión matemática:

$$N \text{ (g kg}^{-1}\text{) en biomasa comestible} = [(RMSH \times N \text{ en hojas} \times 10) + (RMSTT \times N \text{ en tallos tiernos} \times 10)] / (RMSH + RMSTT)$$

Para determinar el rendimiento de proteína, se estimó a partir de la concentración de proteína en la biomasa comestible. Esta estimación se realizó en ambas épocas del año y a través de la fórmula:

$$\text{Rendimiento de proteína (kg ha}^{-1}\text{)} = RMSBC \times PBBC / 1000.$$

Donde, Proteína bruta (PB) = $N \times 6,25$, según Baterman (1970)

3.4.9. Supervivencia de la plantación de morera (%), experimento 1

Se contabilizó al final del experimento el número de plantas vivas en el área de cálculo de cada parcela, y se expresó como porcentaje respecto a las cantidades iniciales.

3.4.10. Biomasa y distribución de raíces de morera (mg kg⁻¹ de suelo) en el perfil del suelo cada 20 cm hasta 80 cm al final del experimento 2

Al final del experimento 2, durante los últimos días de la época lluviosa del año 2010, 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 las profundidades 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm y 60-80 cm (figura 3).



Figura 3. Extracción de muestras de suelo con raíces a 25 cm de ambos lados de las plantas de morera hasta 80 cm de profundidad en el suelo.

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.

3.4.11. Cuento de esporas HMA en el suelo en tratamientos seleccionados, experimento 2

Se tomaron en cada parcela 10 submuestras de suelo (con raíces), a una profundidad de 0-20 cm y a 10 cm de distancia de la base del tallo de la morera, coincidiendo con los cuatro cortes de la morera en cada año (tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos evaluados para la determinación de esporas de HMA y momentos de muestreo. Experimento 2.

Tratamiento	Febrero	mayo	agosto	noviembre
F0	x	x	x	x
CeHMAF0	x	x	x	x
F1				x
CeHMAF1				x
F2				x
CeHMAF2				x

F0 (sin aplicación de fertilizante); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O en cada época); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100,100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O en cada época). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA).

Estas submuestras se dejaron

en un lugar seco y sin exposición directa a los rayos solares; se maceraron los agregados, se extrajeron las raíces y raicillas, se mezclaron y homogenizaron para formar una muestra compuesta por parcela.

De cada muestra se tomaron 50 g de suelo, de acuerdo con el método de extracción descrito por Gerdeman y Nicolson (1963), modificado por Herrera y col. (citado por González, 2014); este se basa en el tamizado y decantado, por vía húmeda, de los propágulos del hongo. Las esporas se colectaron sobre una malla de 40 y 400 µm de

apertura; posteriormente se separaron por centrifugación con sacarosa y Tween 80, y se realizó su conteo a través de un estereomicroscopio óptico (40-50 x).

3.4.12. Densidad visual (%) entre 0 y 20 cm de profundidad, al final de la época lluviosa, experimento 2

En el segundo trimestre de la época lluviosa se determinó la densidad visual o intensidad de la colonización de las raíces, coincidiendo con el período con mayor acumulado de lluvia caída en el año.

Se separaron 50 g de raicillas, se lavaron con agua corriente para eliminar todo el suelo, se secaron al aire, y se tomaron las raicillas más finas. La determinación se realizó según la metodología descrita por Trouvelot (1986), con la que se evaluó la ocupación fúngica de cada intercepto y se asignó un nivel, en función del porcentaje de ocupación observado (tabla 4).

Posteriormente se realizó el cálculo según la fórmula: $\% DV = \sum W / \sum Z$, Donde:

W: La multiplicación del número de interceptos contados en cada nivel (Z) por el porcentaje de ocupación observada. Z: número de interceptos contados en cada nivel.

Tabla 4. Transformación de los porcentajes de ocupación fúngica intraradical en niveles, según Trouvelot (1986).	
Nivel de evaluación	Coefficiente
0	0
1	1
2	2,5
3	15,5
4	35,5
5	47,5

3.4.13. Extracción de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O) por la biomasa comestible de morera (kg ha⁻¹ en cada época), experimento 2

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:

$$N; P; K \text{ en biomasa comestible (g kg}^{-1}\text{)} = \text{RMSH} \times (N \times 10; P \times 10; K \times 10) + \text{RMSTT} \times (N \times 10; P \times 10; K \times 10) / (\text{RMSH} + \text{RMSTT})$$

Se calculó la extracción a partir de la expresión matemática:

Extracción de N, P₂O₅ y K₂O (kg ha⁻¹) = RMSBC x (g kg de NBC; g kg de PBC x 2,29; g kg de KBC x 1,20) /1000.

3.4.14. Concentraciones de MO, P y K del suelo (0-20 cm) al inicio de las evaluaciones en ambos experimentos y hasta la profundidad de 80 cm en el experimento 2

Se realizó el muestreo de suelo hasta la profundidad de 80 cm y también las determinaciones de K intercambiable (K_i), P y MO. Para ello se emplearon los métodos descritos por Paneque y col. (2010), y se determinó el K difícilmente intercambiable (K_{di}) por el método de extracción con HNO₃, hirviendo 1 mol L⁻¹ durante 10 minutos (Helmke y Sparks, 1996) y realizando posteriormente se realizó la determinación por fotometría de llama.

3.5. Análisis estadístico

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.

Posteriormente se efectuaron en cada corte, época del año y al final del período experimental, los análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental utilizado y según la variable evaluada. La comparación de medias se realizó a través de la prueba de comparación múltiple de Duncan (1955) a $P \leq 0,05$.

Para establecer el efecto de la época y el año en las variables del rendimiento y la composición química de las hojas se realizaron análisis de muestras pareadas (Steel y Torrie, 1992) y posterior prueba de *t*.

En el segundo experimento se establecieron relaciones, a través de análisis de regresión, entre el rendimiento de biomasa comestible y las precipitaciones acumuladas en cada época del año. Para ello se analizaron 16 pares de datos obtenidos en cada tratamiento analizado durante cuatro períodos, correspondientes a dos épocas lluviosas y poco lluviosas, y se consideraron los dos tratamientos más productivos.

Se analizó la relación entre el rendimiento relativo de biomasa comestible (con respecto al tratamiento CeHMAF1) y la concentración de N en las hojas, en las épocas lluviosa y poco lluviosa. Se utilizaron 24 pares de datos.

Además, se evaluó la relación entre la extracción de K en la biomasa comestible (acumulado de dos años) y la producción y distribución de raíces de la morera al final del experimento. Se utilizaron seis pares de datos.

Para los análisis de regresión se consideraron los criterios de Guerra (1986) sobre el nivel de significación, la varianza residual $V(e)$, y el análisis de los residuos (ei).

El paquete estadístico empleado fue Infostat 2008 (Di Rienzo y col. 2008).

3.6 Análisis económico

Se elaboró un presupuesto parcial de los cambios generados dentro del sistema de manejo agronómico. Para ello se contó con los precios de los insumos utilizados, la tarifa de mano de obra vigente en Cuba (anexo 4) y el registro de las actividades realizadas para la atención a los experimentos (tabla 4).

Tabla 5. Gastos de producción por año de una hectárea de morera (CUP ha ⁻¹). Experimento 2.						
Gastos de producción	F0	CeHMA	F1	CeHMAF1	F2	CeHMAF2
Semillas de canavalia	0	944,5	0,0	944,5	0,0	944,5
Producto EcoMic ^R	0	37,5	0,0	37,5	0,0	37,5
Gastos por fertilizante (urea)	0	0	652,2	652,2	1 304,3	1 304,3
Gastos por fertilizante (SPS)	0	0	250,1	250,1	500,0	500,0
Gastos por fertilizante (KCl)	0	0	750,0	750,0	1 500,0	1 500,0
Limpieza manual	1 156,8	771,2	1 156,8	771,2	1 156,8	771,2
Corte y acareo	1 759,3	1 759,3	1 759,3	1 759,3	1 759,3	1 759,3
Fertilización (mano de obra)	0	0,0	96,4	96,4	96,4	96,4
Siembra de canavalia inoculada con HMA	0	192,8	0,0	192,8	0,0	192,8

Se calcularon diferentes indicadores en los tratamientos más productivos, los cuales estuvieron relacionados con el costo de utilización de insumos para producir forraje de

morera y el impacto económico por la sustitución de alimento concentrado comercial para la ceba de ganado porcino.

❑ Costo del fertilizante por unidad de forraje (CUP kg⁻¹)

$$\text{Costo} = \text{Gasto de fertilizantes (CUP ha}^{-1}) / \text{RMSBC (t ha}^{-1}) \times 1\,000$$

$$\text{Costo} = \text{Gasto de fertilizantes (CUP ha}^{-1}) / \text{RPB (t ha}^{-1}) \times 1\,000$$

En los análisis se utilizó el valor promedio del rendimiento de biomasa comestible y de proteína bruta en dos años de evaluación, que incluyeron dos épocas lluviosas y dos épocas poco lluviosas.

❑ Sustitución de alimento concentrado comercial por forraje de morera (RMSBC)

$$\text{Sustitución de alimento concentrado comercial (t)} = \text{RMSBC (t ha}^{-1}) \times [\text{PB (g kg}^{-1}) / \text{PB alimento concentrado comercial (g kg}^{-1})].$$

De manera general, los alimentos concentrados comerciales pueden contener de 150 mg kg⁻¹ a 280 mg kg⁻¹ de PB (Ojeda, 2005); por lo que en el análisis se consideró el valor de 200 g kg⁻¹ de PB del alimento concentrado comercial.

❑ Beneficio económico por la sustitución del alimento concentrado comercial (CUP)

$$\text{Beneficio económico (CUP)} = \text{Alimento concentrado comercial sustituido (t)} \times \text{precio alimento concentrado comercial (CUP t}^{-1}) - \text{Gastos totales de producción del forraje.}$$

Se identificó con el término “alimento concentrado comercial” el producto elaborado a base de granos de cereales y tortas de oleaginosas, el cual representa del 70 al 80 % de los costos de producción animal en especies de monogástricos (Almaguel y col., 2010), se comercializa en Cuba y se distingue por sus características alimenticias y precios, según las especies de ganado vacuno (toro, vaca lechera, ternero), avícola, equino, ovino, caprino, cunícola, porcino, y en dependencia de las categorías de animales en gestación, lactación, destete, inicio, núcleo genético, crecimiento, ceba, entre otras (MFP, 2015).

El alimento concentrado comercial producido en un combinado industrial en Cuba y destinado a la ceba de ganado porcino se caracteriza, según Herrera (2012), por una proporción de afrecho con 61 % de inclusión; maíz (*Zea mays*) y soja con 16 % y 18 % de inclusión, respectivamente; y otros componentes como fosfato y sal común. Los valores de EM, Ca y P son cercanos a 3,29 Mcal kg⁻¹ MS; 6,1 mg kg⁻¹ y 17,4 mg kg⁻¹.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de los intervalos de corte y del manejo de la nutrición en plantaciones de morera para forraje

4.1.1. Indicadores del rendimiento de biomasa

El rendimiento de biomasa, su composición química y la supervivencia de las plantaciones consituyen una expresión de la productividad y la estabilidad de los sistemas de manejo de la morera como arbusto forrajero (Martín y col., 2007). De ahí la importancia de su análisis integral.

- Rendimiento de la biomasa de hojas

En la tabla 6 se muestran los efectos de los factores intervalo de corte y manejo de la nutrición sobre el rendimiento de la biomasa de hojas; se hallaron interacciones entre ambos factores en todas las épocas y años de evaluación.

Los mejores tratamientos en cualquiera de las épocas del año se asociaron con el intervalo de corte de 90 días. En esta condición, los valores más altos se obtuvieron en la época lluviosa con canavalia intercalada e inoculada con HMA, y en la época poco lluviosa, con el tratamiento de fertilización mineral.

Aquellos tratamientos que no recibieron ni FM ni canavalia intercalada e inoculada con HMA siempre se ubicaron entre los de menor rendimiento.

Con independencia de que los mejores tratamientos fueron diferentes entre una y otra época del año, esta influyó sobre el rendimiento de las hojas, de forma tal que en la época lluviosa siempre se alcanzaron los valores mayores.

- Rendimiento de biomasa de tallos tiernos

En el rendimiento de tallos tiernos no existió efecto de la interacción entre los factores en estudio (tabla 7). Sin embargo, en cualquiera de las dos épocas y años se obtuvo una respuesta significativa al factor intervalo de corte a favor del intervalo de 90 días.

Tabla 6. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca de hojas de morera (RMSH).

Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días											
	Época lluviosa 2007			Época poco lluviosa 2008			Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Sin FM ni CeHMA	1,07e	1,99cd	4,99b	0,49e	1,00cd	1,52b	1,06f	1,38ef	3,92c	0,15e	0,48d	1,04c
Fertilización mineral	1,42de	5,72b	5,89b	0,73de	1,72b	2,59a	0,99f	4,40b	4,47b	0,27e	1,46b	1,77a
CeHMA	2,35c	2,27cd	7,91a	0,91cd	1,09c	1,60b	1,58e	2,08d	5,08a	0,49d	0,96c	1,37b
ES(AxB)±	0,29***			0,08***			0,16***			0,05***		
Medias época	3,74			1,29			2,77			0,89		
t	7,55***						9,96***					

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 Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y $K_2O\ ha^{-1}$ en cada época).

En la época lluviosa, los tratamientos con fertilizantes minerales y con canavalia intercalada e inoculada con HMA estuvieron asociados con los más altos rendimientos de tallos tiernos, y ello sugiere que las altas precipitaciones condicionaron un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo; al contrario de la época poco lluviosa, en que el factor manejo de la nutrición no tuvo efecto. Este comportamiento se explica porque las plantas arbustivas y arbóreas, bajo cualquier circunstancia, responden a un crecimiento priorizado de los tallos tiernos a expensas de los restantes componentes del rendimiento; razón por la cual en períodos de escasas precipitaciones, al disminuir el ritmo de crecimiento vegetativo, se observan con más claridad las diferencias de suministro de nutrientes en el rendimiento de hojas; no así en los tallos tiernos. Este fenómeno fue explicado en el cultivo del café por Rivera (1987) y sugiere profundizar en los estudios sobre la fisiología del crecimiento de la morera en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

La coincidencia en la respuesta del rendimiento de tallos tiernos y de hojas a la canavalia intercalada e inoculada con HMA sugiere que dicho tratamiento propició una mayor traslocación de nutrientes a través de las plantas.

Aun cuando los mejores tratamientos fueron diferentes entre una y otra época, esta influyó sobre el rendimiento de tallos tiernos, y siempre los valores más altos se encontraron en la época lluviosa.

- Rendimiento de biomasa comestible (rendimiento de masa seca de hojas más masa seca de tallos tiernos).

Se encontraron efectos significativos de los tratamientos, resultantes de la interacción entre los factores en cualquiera de las épocas y años (tabla 8).

Tabla 7. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca de tallos tiernos de morera (RMSTT).

Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días															
	Época lluviosa 2007				Época poco lluviosa 2008				Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009			
	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B
Sin FM ni CeHMA	0,64	0,87	1,60	1,04b	0,24	0,64	1,22	0,70	0,41	0,81	1,64	0,94b	0,11	0,36	0,68	0,38
Fertilización mineral	0,86	1,27	2,95	1,69a	0,39	0,52	0,97	0,63	0,40	1,30	2,10	1,27a	0,15	0,53	0,75	0,47
CeHMA	0,83	1,24	3,08	1,72a	0,43	0,49	1,20	0,71	0,59	1,31	1,77	1,23a	0,15	0,62	0,80	0,52
Factor A	0,78b	1,13b	2,54a		0,35c	0,55b	1,13a		0,47c	1,14b	1,84a		0,13c	0,50b	0,74a	
ES \pm	(A) 0,14** ; (B) 0,14**				(A) 0,04***; (B) 0,04ns				(A) 0,09***; (B) 0,09*				(A) 0,04**; (B) 0,04ns			
Medias época	1,48				0,68				1,14				0,46			
t	6,42**								8,54**							

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES \pm indica el error estándar de los factores: A (factor Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo. La comparación entre épocas, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y $K_2O\ ha^{-1}$ en cada época).

Siempre los mejores tratamientos estuvieron asociados con el intervalo de corte de 90 días, y ello obedece a que la morera describe una curva de crecimiento y desarrollo que puede alcanzar, en las edades de 90 a 105 días, los mayores rendimientos de biomasa (Pentón y col., 2007). Con dicho intervalo de corte se alcanzaron los mayores rendimientos en la época lluviosa del primer año con canavalia intercalada e inoculada con HMA, y en el segundo año también con canavalia intercalada e inoculada con HMA, sin diferencias respecto a la fertilización mineral. En la época poco lluviosa los mayores rendimientos siempre estuvieron a favor de la fertilización mineral.

Los mejores resultados coinciden con los obtenidos por Rodríguez y col. (1994), Benavides (1994) y Martín y col. (2000), quienes encontraron que el rendimiento de hojas y de tallos de morera en monocultivo fue mayor en la medida que el intervalo de corte aumentó de 45 a 90 días.

En el intervalo de corte de 60 días, el rendimiento de biomasa comestible en la época lluviosa disminuyó con la canavalia intercalada e inoculada con HMA, en comparación con la fertilización mineral. Ello estuvo asociado a la reducción de la producción de biomasa por planta particularmente en el segundo corte de la época lluviosa (figura 4), que sugiere la existencia de un efecto de competencia por parte de la canavalia intercalada, la cual tenía una edad de 45 días a 60 días durante los primeros 15 días del rebrote de la morera, posteriores al primer corte de la época lluviosa.

Se infiere que en el intervalo de corte 60 días la canavalia debió limitar la entrada de luz a los rebrotes de morera, como consecuencia de su forma de crecimiento exuberante y de la amplia superficie de sus hojas, con efectos negativos para el crecimiento de la morera, que es una especie reconocida como heliófila obligatoria. Tal fenómeno no ocurrió con el intervalo de corte de 90 días, pues las ramas de la morera se mantuvieron siempre por encima de la altura de la canavalia, ya que esta última se sembró a los 15

días de rebrote de la morera en los meses de mayo y noviembre, y el corte y el arropo del abono verde se realizó 15 días antes del primer corte de la morera en los meses de agosto y febrero.

Sobre este comportamiento interespecies, Willey y col. (1986) señalaron que el incremento del rendimiento de la morera asociada con leguminosas depende de que las especies difieran en sus necesidades de recursos para el crecimiento. El efecto de competencia se minimiza cuando se ajustan el momento de corte de la morera y la siembra y cosecha de la especie intercalada en beneficio del cultivo principal, lo cual fue satisfactorio en el presente estudio en los intervalos de 30 días y 90 días. Ello refuerza lo planteado al respecto por Shankar y col. (2000), Hadimani y col. (2004 y Srinivas (2005).

El hecho de obtener los mejores resultados con canavalia intercalada e inoculada coincide con lo informado por otros autores, Delgado y Rodríguez (2012), al estudiar morera asociada con frijón y alfalfa, comparada con morera más 75 kg ha⁻¹ de N (nivel de fertilización recomendado según el análisis de suelo), obtuvieron en el tratamiento con frijón un mayor crecimiento de la morera en altura (168 cm), y en la concentración de PB este tratamiento alcanzó el segundo valor después de la fertilización nitrogenada (18 %). En el tratamiento con alfalfa intercalada se obtuvieron los valores más elevados para la mayoría de las variables, cercanos e incluso superiores a los obtenidos con el tratamiento de fertilización nitrogenada.

En la India se han realizado experiencias exitosas de intercalamiento de cultivos económicos temporales en plantaciones de morera, en diferentes condiciones de suelo y arreglos espaciales de la plantación, con intervalos de corte de la morera mayores de 60 días y hasta 90 días.

Tabla 8. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca comestible de morera (RMSBC).

Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días											
	Época lluviosa 2007			Época poco lluviosa 2008			Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Sin FM ni CeHMA	1,71e	2,86de	6,60c	0,72f	1,64d	2,74b	1,47de	2,20d	5,51b	0,26g	0,85e	1,72cd
Fertilización mineral	2,28de	6,99c	8,84b	1,12e	2,24c	3,56a	1,39e	5,70b	6,57a	0,42fg	1,99bc	2,52a
CeHMA	3,19d	3,51d	10,99a	1,34de	1,58d	2,79b	2,18d	3,39c	6,85a	0,64ef	1,57d	2,17b
ES(AxB)±	0,46***			0,14**			0,24***			0,10***		
Medias época	5,22			1,97			3,92			1,35		
t	7,83**						10,54**					
Medias año	3,57						2,63					
t	4,31*											

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 Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y $K_2O\ ha^{-1}$ en cada época).

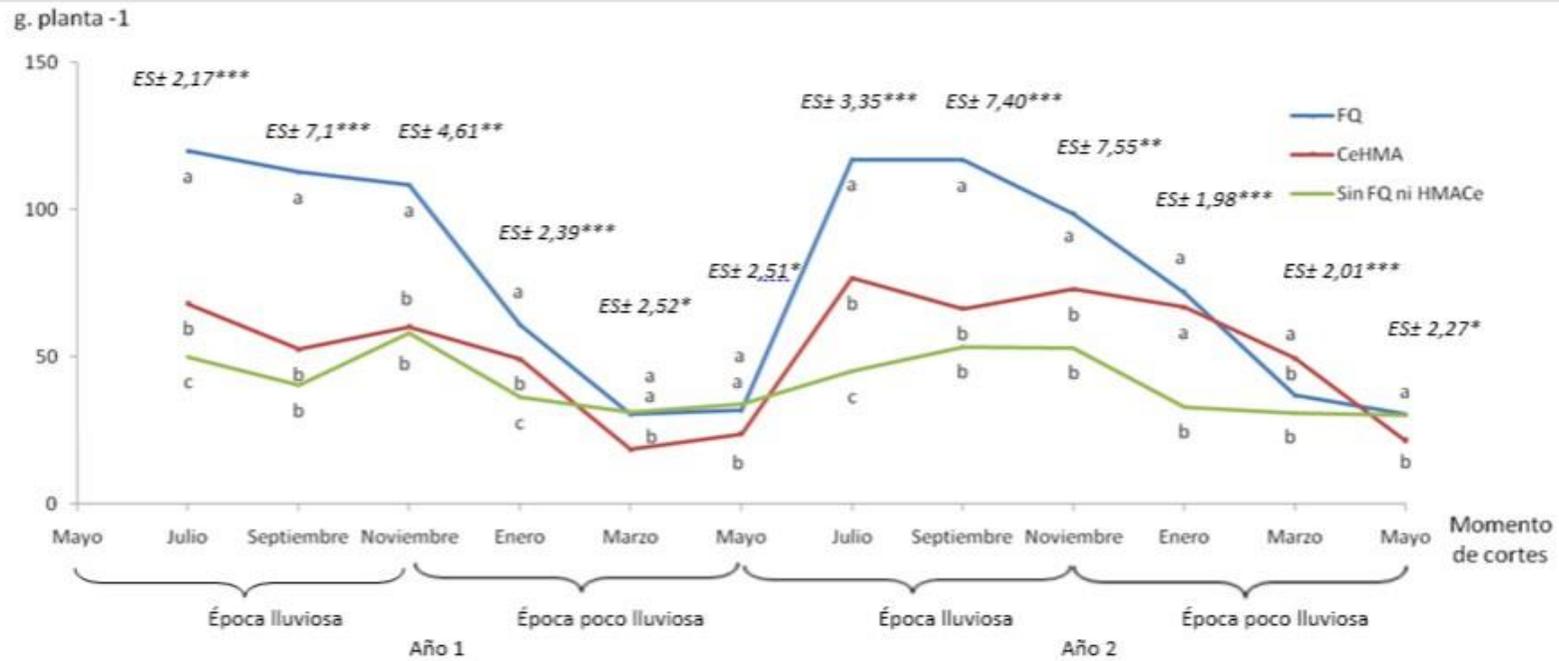


Figura 4. Producción de biomasa comestible por planta, por corte, en el intervalo de 60 días. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$). El análisis fue independiente para cada corte.

Sin FQ ni CeHMA: Sin fertilizantes minerales ni canavalia intercalada e inoculada con HMA. FQ: Fertilización mineral con 150 y 75 kg ha⁻¹ de N y K₂O por época, respectivamente. CeHMA: Canavalia intercalada e inoculada con *G. cubense* al momento de la siembra en cada época. Se fertilizó y se sembró canavalia a los 7 y 15 días de los meses de mayo y noviembre en cada año. El corte y arroje de la canavalia a los 60 dds.

Tikader (1992) intercaló soja en plantaciones de morera con marcos de plantación en surcos sencillos (0,42 m x 0,15 m) y surcos dobles (0,75 m x 0,15 m x 0,15 m), y obtuvo un incremento medio del rendimiento de 7,33 % por efecto del cultivo intercalado. Shankar y col. (1999) con un marco de plantación de 1,20 m x 1,20 m, informaron que el intercalamiento de soja aumentó el rendimiento (8,83 t ha⁻¹ por año) en comparación con el del monocultivo (7,64 t ha⁻¹ por año), lo que representó un incremento de 15,57 %. También Shankar y col. (2000) obtuvieron un incremento del rendimiento de la morera con un marco de plantación de 1,80 m x 0,90 m x 0,60 m, intercalada con soja, y el rendimiento de hojas superó las 30 t ha⁻¹ por año.

Hadimani y col. (2004) observó, durante cuatro años, que el intercalamiento de morera con leguminosas en un marco de plantación de 1,20 m x 0,60 m x 0,30 m incrementó el número de ramas por planta, el número de hojas, el área foliar y el índice de área foliar; asimismo, el rendimiento de hojas fue superior al del monocultivo, y alcanzó un valor medio de 15,94 t ha⁻¹ por año. Por su parte, Srinivas (2005) observó que el intercalamiento de tres surcos de soja (0,30 m x 0,10 m) durante dos años en una plantación de morera (1,20 m x 0,60 m) no afectó el rendimiento de esta última.

El rendimiento de biomasa comestible de morera en el intervalo de corte de 30 días (tabla 8) disminuyó, en comparación con el de los tratamientos más productivos, y ello estuvo relacionado con una baja tasa de crecimiento vegetativo durante las primeras semanas de rebrote. Tal fenómeno fue abordado por Pentón y col. (2007), y es provocado principalmente porque los carbohidratos no estructurales que quedan retenidos en la base del tallo y en las raíces son utilizados en función del rebrote, y solo después de que la planta logra producir nuevas hojas capaces de realizar la fotosíntesis se inicia la etapa de recuperación y producción de biomasa (Stür y col., 1994).

Los mejores resultados tanto en rendimiento de biomasa comestible como en rendimiento de hojas y tallos tiernos de morera, a favor del tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA en el intervalo de corte de 90 días, indican el alcance y la magnitud del cultivo intercalado y colocado en forma de arrope sobre el surco de morera como abono verde, en la época lluviosa.

Los efectos beneficiosos de la canavalia intercalada pueden estar relacionados con la alta concentración de N en su biomasa, entre 4,32 % y 4,64 % (Marín y Viera, 1989), su elevada productividad, con un índice de crecimiento mayor de 10 g m² por día hasta 28 g m² por día, una duración del área foliar medianamente alta entre 127 y 134 días, más del 60 % de la distribución de los asimilados son dirigidos a la producción de hojas, el índice de área foliar es amplio con 3,17 y 4,14; la simbiosis efectiva que establece con rhizobium garantiza la fijación de cantidades de N atmosférico hasta valores de 200 kg N ha⁻¹, que se explica por el desarrollo de un sistema radical con una masa de nódulos de rhizobium que excede la tercera parte del peso fresco total del sistema nódulo- raíz, y puede ser superior a 1000 mg a los 80 días después de la siembra sin fertilización nitrogenada (Barrios y col., 2006); todo lo cual garantiza un aporte y reciclaje de nutrientes al suelo que se revierte en mayor suficiencia de nutrientes para los cultivos económicos asociados.

La especie se caracteriza por su alta tolerancia a condiciones ambientales con precipitaciones acumuladas en el año entre 700 mm y 4000 mm, y temperaturas medias del aire de 14°C a 27°C (Marín, 1993); lo cual permite su uso como abono verde en diferentes períodos del año. El hecho de presentar una alta capacidad de producción de semillas de fácil cosecha, superior de 100 g de semilla planta⁻¹, amplía sus posibilidades de uso.

Además, la cepa eficiente de HMA introducida en la plantación debió garantizar una mayor eficiencia de absorción y capacidad de extracción de los nutrientes del suelo, lo cual fue demostrado por González (2014) con la aplicación de N y el K en el cultivo de especies prateses inoculadas con cepas eficientes de HMA para cada tipo de suelo.

Cabe destacar que los HMA probablemente son los hongos del suelo más abundantes en los sistemas agrícolas, y pueden representar más del 30 % de su masa microbiana. Debido a su ubicuidad, la simbiosis micorrízica ha sido considerada la más importante de todas las que involucran a las plantas (Goransson y col., 2008), ya que incrementa la mineralización de la MO y garantizan un mayor acceso a los nutrientes (Gryndler y col., 2009).

Reddy y col. (2002) señalaron que los HMA duplicaron el rendimiento de hojas y de biomasa comestible de la morera, aun en condiciones semiáridas; mientras que Setua y col. (2005) obtuvieron un incremento notable, 27,4 % del peso seco de la biomasa comestible, con la inoculación de *G. mossea*. Además, notaron durante ocho temporadas una superioridad en la respuesta fisiológica y productiva de las plantas de morera inoculadas con *Glomus fasciculatum*, combinada con una sexta parte de las dosis de fertilizantes minerales que contenía 180 kg P₂O₅ ha⁻¹ por año.

Todo ello corrobora los beneficios de los HMA obtenidos en términos de rendimiento de biomasa en la presente investigación en la que los mejores tratamientos superaron los resultados alcanzados por Martín (2004) y Noda (2005) en el mismo tipo de suelo, en condiciones de secano, aunque con densidades de plantación y manejo de la nutrición vegetal diferentes.

No obstante, los valores de este indicador pueden considerarse bajos, si se comparan con los reportados por Benavides (1996), Shankar y Sriharsha (1999), Shankar y Rangaswamy (1999), Dingle y col. (2005) y Almeida y Fonseca (2002) en plantaciones

de monocultivo sin HMA, pero en condiciones de riego o con un alto régimen de precipitación, y con una mejor calidad física, mineral y biológica del suelo. En la mayoría de estos estudios los suelos eran de origen volcánico.

Como en las variables anteriores, la época del año originó un efecto significativo sobre el rendimiento de biomasa comestible, y en los mejores tratamientos, en la época lluviosa se triplicó el rendimiento de la época poco lluviosa (tabla 8). Ello coincide con lo demostrado por Martín (2004) acerca de la estacionalidad de la morera, que bajo régimen de secano produjo en la época de lluvia el 70 % del rendimiento anual.

La estacionalidad del cultivo reafirma su característica de especie caducifolia, con variaciones en su estado fenológico según la época del año. En la época lluviosa este experimenta un crecimiento vigoroso durante los meses de mayo a noviembre, con abundancia de hojas, de color verde intenso y de apariencia succulenta; mientras que en la época poco lluviosa reduce la tasa de crecimiento vegetativo, lo que se traduce en una disminución del rendimiento de hojas, tallos tiernos y biomasa comestible (Pentón y Martín, 2006), y está relacionado con los menores acumulados de lluvia caída y la disminución ligera de la temperatura media del aire (tabla 2).

En plantaciones bajo riego se aprecia una tendencia a disminuir los efectos marcados de la época del año (Martín y col., 2014), y en condiciones experimentales ello indica una mayor influencia de las precipitaciones que de los cambios de la temperatura media del aire.

Cabe destacar que la morera, en periodos de crecimiento intenso, conserva hasta 60 % de agua. Las hojas contienen 70-75 % de su biomasa en agua, los tallos 58-61 %, el sistema radical 54-59 % y las yemas 45 %. El cultivo requiere entre 280 y 400 mL de agua para producir un gramo de materia seca; por lo que un contenido adecuado de humedad

en el suelo, ya sea proveniente de las precipitaciones o bajo régimen de riego, debe estar en el rango de 70 a 80 % de la capacidad de campo (Cifuentes y Kee Wook, 1998).

Cuando el suelo pierde una tercera parte de la capacidad de campo, las ramas crecen lentamente. Cuando estas pierden las dos terceras partes, detienen casi el crecimiento, anulando la posibilidad de que funcione efectivamente alguna alternativa de manejo de la nutrición.

En la época poco lluviosa no existió influencia de la canavalia inoculada con HMA sobre el rendimiento de la morera, y ello sugiere que disminuyeron las posibilidades para una asociación exitosa entre los cultivos; lo que puede estar relacionado con las menores precipitaciones que caracterizan a esta época, que reducen el acceso de las plantas a los nutrientes del suelo y puede ocurrir una disminución del crecimiento de la canavalia y de sus beneficios, al estar limitada la producción de biomasa y la cantidad de nutrientes incorporados y reciclados por esta vía. La reproducción de propágulos micorrízicos en tales condiciones pudo ser menor, aspecto abordado por Martín (2009) al evaluar la influencia de la época del año sobre la capacidad de la canavalia para reproducir propágulos infestivos de HMA, al ser inoculada y sembrada como cultivo precedente en un suelo del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado.

También, García (1997) indicó que la característica fotoperiódica de la canavalia y la disminución de su tasa de crecimiento en los meses de diciembre a abril no benefician las posibilidades de su uso como abono verde en condiciones de secano; aun ubicándose esta especie entre las más promisorias de las evaluadas en Cuba.

De manera general, los mayores rendimientos de hojas de morera se ubican en el rango de lo obtenido por algunos autores como Gong y col. (1995) en China (8 t ha⁻¹ de MS por año), y Narimatsu y Kiyoshi (1975) en Paraguay (5 t ha⁻¹ de MS por año).

- Biomasa de canavalia intercalada e inoculada con HMA

La biomasa de la canavalia intercalada e inoculada con HMA no superó 1 t ha^{-1} en la época lluviosa (tabla 9); esto puede ser explicado por la baja densidad de siembra utilizada, equivalente a $25\,000 \text{ plantas ha}^{-1}$, con una distancia entre las plantas de canavalia de $0,40 \text{ m}$ y de $0,50 \text{ m}$ con respecto a los surcos de morera. Esta densidad y distancia de siembra resultaron bajas si se compara con lo recomendado por Peña y col. (2003), al señalar que las producciones altas de abono verde en monocultivo de canavalia se obtienen con marcos de siembra de $0,45 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$ y de $0,70 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$, lo que equivale a $111\,000$ y $71\,500 \text{ plantas ha}^{-1}$, respectivamente.

No hubo diferencias significativas en el rendimiento biomasa de canavalia por efecto del factor intervalo de corte de la morera, y ello significó que se colocaron en forma de arroje $33,5$ y $42,5 \text{ g}$ de biomasa seca de la parte aérea de la canavalia sobre cada planta de morera, como valor promedio de la época lluviosa de los años evaluados, y $18,5$ y $19,5 \text{ g}$ de biomasa seca en la época poco lluviosa.

Los resultados confirmaron la alta tolerancia de la canavalia a las condiciones de multiasociación y permitieron demostrar las observaciones realizadas al respecto por CIDICCO (2004).

La época del año tuvo una influencia significativa en la producción de biomasa de canavalia, y los valores alcanzados fueron menores en la época poco lluviosa, lo cual se tradujo en un menor reciclaje y aporte de nutrientes. Este comportamiento estacional coincide con las observaciones de Espíndola y col. (1997), García (1997) y Martín (2009); y corrobora el criterio de Peña y col. (2003) acerca de que la canavalia produce el 75% de su biomasa en la época lluviosa y el 25% en la época poco lluviosa.

Tabla 9. Rendimiento de biomasa seca de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA (t ha⁻¹) en cada época del año.

Factor A	Época lluviosa 2007				Época lluviosa 2008			
	MS (t ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MS (t ha ⁻¹)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
30	0,96	31,69	6,55	30,54	0,61	20,23	4,10	19,43
60	0,82	27,05	5,59	26,06	0,70	23,17	4,69	22,26
90	0,77	25,26	5,22	24,34	0,69	22,80	4,62	21,91
EE±	0,10ns	3,33ns	0,69ns	3,21ns	0,09ns	2,99ns	0,61ns	2,87ns
Media	0,85	28,00	5,79	26,98	0,67	22,07	4,47	21,2
	Época poco lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009			
30	0,49	16,57	3,22	15,77	0,50	16,85	3,40	16,10
60	0,30	10,05	1,95	9,57	0,33	11,23	2,27	10,73
90	0,31	10,94	1,99	9,75	0,33	11,23	2,27	10,73
EE±	0,06ns	1,91ns	0,37ns	1,82ns	0,06ns	1,87ns	0,38ns	1,79ns
Media	0,37	12,28	2,38	11,70	0,39	13,11	2,64	12,52
t	2,84*	2,82*	2,86*	2,83*	2,64*	2,61*	2,62*	2,61*

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES ± indica el error estándar del factor Intervalo de corte. * $P < 0,05$ ns: no significativo. La comparación entre épocas, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992).

- Producción de masa seca de biomasa comestible por planta, por corte, en el intervalo de 90 días

El comportamiento de la producción de biomasa comestible por planta en cada uno de los períodos de crecimiento del intervalo de corte de 90 días (figura 5) permitió profundizar en algunas regularidades que no fue posible explicar a través de los análisis realizados con los acumulados de rendimiento en cada época del año (tabla 8).

Se pudo observar, en la época lluviosa, que en el primer corte la morera con fertilización mineral tuvo un comportamiento superior a los restantes tratamientos, pero en el segundo corte disminuyó, y además fue inferior al tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA.

La producción de morera con canavalia intercalada e inoculada con HMA en el primer corte no difirió del tratamiento sin CeHMA ni FM. Sin embargo, en el segundo corte alcanzó los valores más altos, lo que sugiere una contribución importante de la canavalia intercalada e inoculada con HMA al crecimiento de la morera, que debió estar asociada a la rápida descomposición del tejido vegetal de la canavalia a partir del arroje del abono verde a los 60 días de la siembra (Sánchez, 2001; González, 2002).

Además, la reproducción de propágulos infestivos derivada del funcionamiento micotrófico eficiente de la canavalia intercalada (García, 2014) es una consecuencia del propio desarrollo del cultivo (Sánchez, 2001), y tiende a ser mayor a partir del corte y arroje del abono verde.

El comportamiento diferente de la morera en cada corte indicó un suministro insuficiente de las prácticas de manejo de la nutrición que no permitieron expresar el potencial productivo del cultivo. En el primer corte la morera produjo más con la fertilización mineral, mientras que en el segundo corte produjo más con la canavalia intercalada e inoculada con HMA.

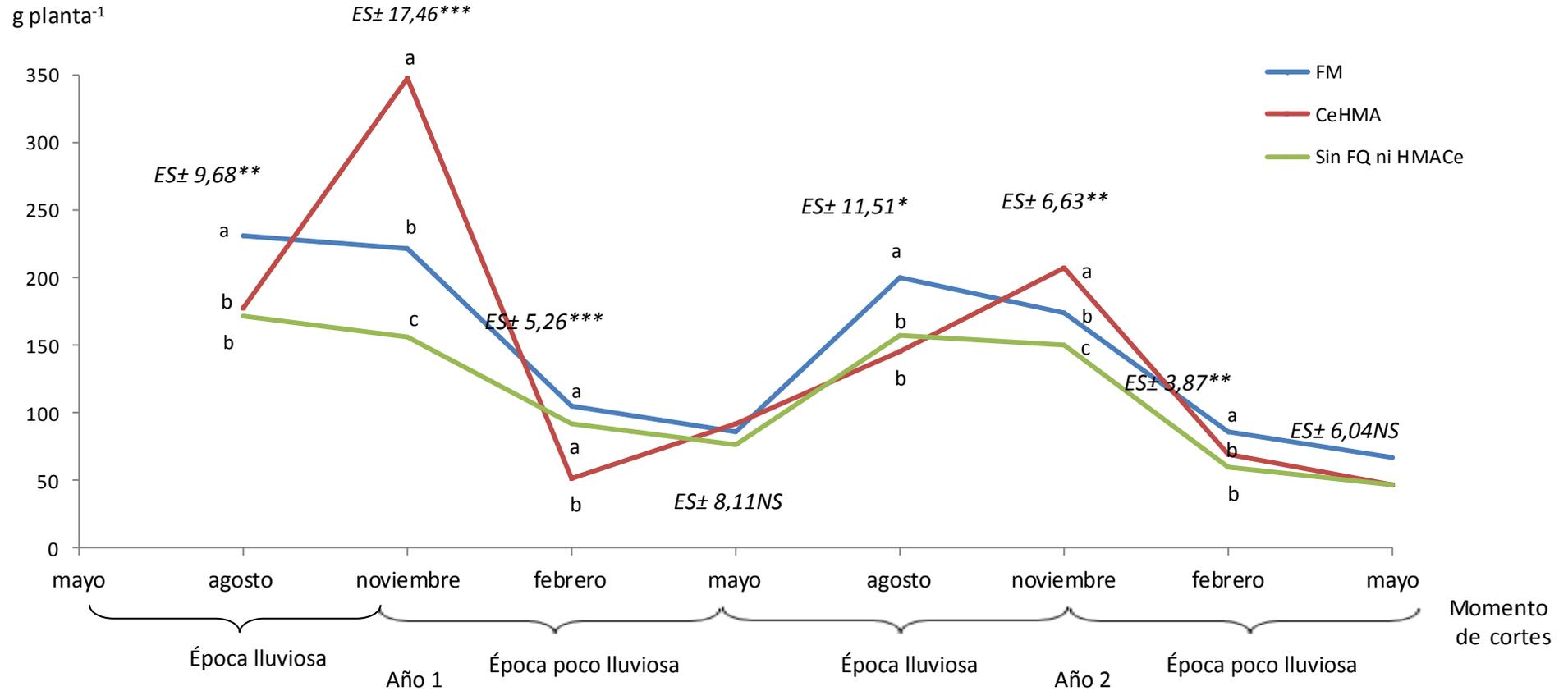


Figura 5. Producción de biomasa comestible por planta, por corte, en el intervalo de 90 días.

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos $P \leq 0,05$. El análisis fue independiente para cada corte. Se fertilizó y se sembró canavalia a los 7 y 15 días de los meses de mayo y noviembre en cada año. El corte y arpe de la canavalia a los 60 dds.

Límite de confianza para $\alpha=0,05$ en cada tratamiento y en cada corte.

Tratamientos	Año 1				Año 2			
	Agosto	Noviembre	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero	Mayo
Corte								
FM	30,61	26,11	10,96	14,96	21,67	14,27	85,45	16,39
CeHMA	68,98	68,24	9,65	22,65	28,89	9,97	9,16	16,70
Sin FM sin CeHMA	16,39	25,12	11,82	6,89	4,46	12,87	14,15	7,08

No obstante, el efecto de canavalia intercalada e inoculada con HMA en el segundo corte de la época lluviosa fue tan intenso que compensó los bajos rendimientos obtenidos en el primer corte y como resultado el tratamiento presentó los mayores rendimientos acumulados en la época.

El hecho de que el tratamiento con canavalia no garantizó una estabilidad productiva y no aprovechó de manera constante las condiciones propicias para el crecimiento de la época lluviosa, sugieren la necesidad de complementar con fertilizantes al menos para el primer corte de la época lluviosa.

En la época poco lluviosa el tratamiento que recibió fertilización mineral tuvo mayor influencia sobre la producción de biomasa en el primer corte (figura 5).

De manera general, los valores medios de biomasa comestible por planta por corte resultaron mayores a los hallaron por Noda (2005) en una plantación de 25 000 planta ha⁻¹, sobre el mismo tipo de suelo, la autora obtuvo una producción por planta en el segundo año de evaluación equivalente a 103,18 g de MS en la época lluviosa y 51,59 g de MS en la época poco lluviosa, utilizando un intervalo de corte de 90 días.

4.1.2. Proporción hojas/tallos tiernos de morera

En todas las condiciones evaluadas la proporción hoja/tallo tierno alcanzó valores superiores a 1,2 que corresponden con los reportados para esta especie (tabla 10). En tal sentido, Iglesias (2003) señaló que el hecho de que en la biomasa comestible de la morera las hojas tengan la mayor proporción, hace de esta planta un forraje de calidad superior a los forrajes convencionales.

En las condiciones de estudio, existió un efecto significativo de la interacción entre los factores intervalo de corte y manejo de la nutrición. El tratamiento de fertilización mineral con el intervalo de 60 días estuvo entre los de mayor proporción de hoja/ tallo tierno, y en la época lluviosa le siguió el tratamiento sin fertilización ni canavalia

intercalada e inoculada con HMA con el intervalo de 90 días. En tales condiciones la proporción de hojas triplicó la proporción de tallos tiernos.

Cabe señalar que Martín y col. (2007) observaron que la proporción de hojas en la biomasa total disminuyó significativamente con el aumento del intervalo de corte: de 63,33 % en el intervalo de 60 días a 55,93 % en el de 90 días en la época poco lluviosa, y de 58,64 % a 49,95 % en la época lluviosa; y la proporción de tallos tiernos también disminuyó con el aumento del intervalo de corte. De igual modo, Shayo (1997) observó en condiciones semiáridas que la proporción de hojas en la biomasa total de morera disminuyó a la mitad (de 40 a 21 %) entre los intervalos de corte de 120 días a 190 días. La mayor proporción de hojas en las parcelas con fertilización mineral e intervalo de 60 días explica en cierta medida la superioridad del rendimiento de biomasa comestible de este tratamiento respecto a los restantes en los intervalos de corte de 60 y 30 días, resultados que fueron observados en tres de las cuatro épocas del año evaluadas.

El tratamiento de canavalia intercalada e inoculada con HMA con el intervalo de 90 días (de mayor rendimiento de forraje en la época lluviosa) alcanzó valores que superaron a la media poblacional en la época lluviosa, no así en la época poco lluviosa; y ello sugiere que en los períodos de mayor pluviometría, la biomasa comestible obtenida con esta práctica de manejo de la nutrición se caracteriza por un aumento significativo de la proporción de hojas, que permite inferir un aumento en la calidad del forraje.

El aumento de la proporción de hojas en la época lluviosa, comparado con la de la época poco lluviosa constituyó, una tendencia general en todos los tratamientos y años evaluados, y difiere de los resultados de Martín y col. (2007), quienes observaron que la proporción de hojas en la biomasa total varió a favor de la época poco lluviosa, en 9 % y 11 % en los intervalos de 60 y 90 días, respectivamente.

Tabla 10. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la proporción hoja/tallo tierno en la biomasa seca comestible de morera.

Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días											
	Época lluviosa 1			Época poco lluviosa 1			Época lluviosa 2			Época poco lluviosa 2		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Sin FM ni CeHMA	1,69e	2,37cde	3,30ab	2,11bcd	1,62cde	1,25e	2,66abc	1,72c	2,49abc	1,39d	1,37d	1,64cd
Fertilización mineral	1,66e	3,62a	2,05de	1,92cde	3,67a	2,73b	2,78abc	3,63a	2,25bc	1,90cd	3,18ab	2,39bc
CeHMA	2,85bc	1,84e	2,66bcd	2,13bcd	2,25bc	1,40de	2,72abc	1,61c	3,13ab	3,40a	1,57cd	1,80cd
ES(AxB)±	0,23***			0,24***			0,38*			0,30***		
Medias época	2,45			2,12			2,55			2,07		
t	1,85**						2,51**					
Medias año	2,28						2,31					
t	0,29ns											

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 Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K_2O ha⁻¹ en cada época).

4.1.3. Concentraciones de N, P y K en las hojas de morera

La concentración de N en las hojas (tabla 11) no mostró interacción entre los factores estudiados. En el primer año se encontraron efectos significativos tanto del factor intervalo de corte como del factor manejo de la nutrición en cada época, y en el segundo año no se observaron diferencias entre ninguno de los factores.

En el primer año las concentraciones de N en el intervalo de corte de 90 días fueron menores comparadas con las de los intervalos de corte de 30 y 60 días. Dicho comportamiento se corresponde con lo informado por Ednilson y col. (2002), Liu y col. (2002), Martín (2004), García y col. (2011a), quienes señalaron que durante las primeras semanas después del corte, las plantas emiten hojas y ramas con altas concentraciones de N; pero los contenidos de masa seca son bajos debido a la restringida cantidad de carbohidratos que quedan como reserva en la base del tallo y en las raíces después del corte, y que son utilizados en la emisión de los rebrotes.

Cabe destacar además que en este período los procesos de renovación y crecimiento radical son lentos, y ello limita el acceso al agua y a nutrientes como el K^+ , que es un catión que participa en la conformación activa de muchas enzimas catalizadoras de procesos de fotosíntesis y respiración y en el transporte de los azúcares solubles; por lo que las bajas concentraciones de K en las hojas, principalmente en las etapas tempranas de crecimiento, se reflejan en limitados contenidos de carbohidratos solubles en el tejido vegetal y mayores concentraciones de N.

Los valores mayores de N en las hojas se obtuvieron con la fertilización mineral, y de manera general estuvieron por debajo del rango óptimo para el cultivo de morera (30 y 40 g N kg⁻¹ MS) reconocido por Liu y col. (2002) y González y col. (2011).

Tabla 11. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la concentración de N en las hojas de morera (g kg ⁻¹ MS).																
Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días															
	Época lluviosa 2007				Época poco lluviosa 2008				Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009			
	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B
sin CeHMA ni fertilizante	28,2	25,9	18,0	24,0b	31,0	28,3	19,7	26,3b	28,2	28,5	25,8	27,5	30,9	31,1	28,3	30,1
Fertilización mineral	33,0	30,2	26,2	29,8a	36,1	33,0	28,6	32,6a	29,0	29,0	26,5	28,2	31,8	31,7	29,0	30,8
CeHMA	23,4	21,4	15,5	20,1c	25,7	23,5	17,0	22,0c	25,6	26,9	23,5	25,3	28,1	29,4	25,7	27,7
Medias del factor A	28,2a	25,8a	19,9b		30,9a	28,3a	21,8b		27,6	28,1	25,3		30,3	30,8	27,7	
ES±	(A) 1,2**;				(A) 1,4**;				(A) 1,5ns;				(B) 1,5ns			
Medias época	24,7				27,0				27,0				29,6			
t	13,47**								44,06**							
Medias año	25,86								28,28							
t	2,51*															

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES ± indica el error estándar de los factores: A (factor Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K₂O ha⁻¹ en cada época).

El tratamiento de canavalia intercalada e inoculada con HMA no favoreció el aumento de las concentraciones de N, y se explica en la época lluviosa por un efecto de disolución del elemento N debido al aumento de rendimiento de biomasa de la morera. En la época poco lluviosa, la influencia de la canavalia inoculada con HMA fue menor debido a las condiciones climatológicas propias de esta época. Los resultados fueron diferentes a los obtenidos por Srinivas (2005), quien reportó un aumento de las concentraciones de N en las hojas de morera al intercalar soja en condiciones de riego.

Existió un efecto significativo de la época del año sobre las concentraciones de N en las hojas (tabla 11), expresado en que cualquiera de los tratamientos presentaron mayores valores de este indicador en la época poco lluviosa, y ello se explica por la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo en esta época, que está relacionada con las escasas precipitaciones, menores extracciones de agua y nutrientes del suelo, menor síntesis de carbohidratos, disminución de los índices de multiplicación y diferenciación celular, y mayor acumulación de N en los tejidos.

Al respecto, González y col. (2011) informaron concentraciones de N en la biomasa comestible de morera equivalentes a 36 g kg⁻¹ de MS en la época lluviosa y 37 g kg⁻¹ de MS en la época poco lluviosa.

Acerca de la concentración de P en las hojas (tabla 12), en el presente trabajo se encontraron efectos significativos de los factores en estudio en todas las épocas y años evaluados; aunque sin influencia de la interacción entre factores.

En lo referido al factor intervalo de corte se alcanzaron los valores mayores en los intervalos de 30 días y 60 días; esto se explica, al igual que en la concentración de N, por el comportamiento fisiológico de las plantas, que acumulan más P en los tejidos jóvenes. La superioridad del intervalo de 60 días con respecto a 90 días confirmó las observaciones realizadas al respecto por Martín (2004).

Tabla 12. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre la concentración de P en las hojas de morera (g kg ⁻¹ MS).																
Manejo de nutrición	Intervalo de corte (A) en días															
	Época lluviosa 2007				Época poco lluviosa 2008				Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009			
	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B
sin CeHMA ni fertilizante	1,6	2,1	1,1	1,6b	2,0	1,9	1,0	1,6b	1,1	1,5	0,7	1,1b	1,3	1,4	0,7	1,1b
Fertilización CeHMA	1,6	1,9	1,1	1,5b	2,0	1,8	1,0	1,6b	1,2	1,4	0,8	1,1b	1,5	1,3	0,8	1,2b
Factor A	2,1a	2,2a	1,4b		2,6a	2,0ab	1,3b		1,4a	1,6a	1,0b		1,8a	1,4a	0,9b	
ES±	(A) 0,3*; (B) 0,3*				(A) 0,4*; (B) 0,4*				(A) 0,1*; (B) 0,1**				(A) 0,1**; (B) 0,1**			
Medias época	1,9				2,0				1,3				1,4			
t	0,59ns								0,73ns							
Medias año	1,93								1,35							
t	9,37**															

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES ± indica el error estándar de los factores: A (factor Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K₂O ha⁻¹ en cada época).

En relación con el factor manejo de nutrición se observaron los valores más altos con el tratamiento de canavalia intercalada e inoculada con HMA; lo cual debió ser un resultado directo de la presencia de estructuras micorrízicas en la rizósfera de la morera, que pudieron facilitar la absorción de P por las plantas y garantizar mayores concentraciones de este elemento en las hojas.

En tal sentido, Marschner y Dell (1994) explicaron que las hifas extrarradicales de HMA se pueden extender varios centímetros en el suelo y ayudan a las plantas a absorber los nutrientes minerales que se encuentran en forma menos disponibles como es el caso del P; además estas son más eficientes que las raíces para absorber los nutrientes, pues debido a su estructura extremadamente larga y fina, pueden explorar volúmenes de suelo inalcanzable para las estructuras radicales de las plantas (Read y Pérez-Moreno, 2003).

Se plantea que la absorción y transferencia de P a la planta mediante las hifas de HMA es un proceso rápido y eficiente, debido a la presencia de transportadores de H_2PO_4 de alta afinidad (Requena y col., 2003). El H_2PO_4 absorbido es rápidamente transformado en polifosfato en el micelio extrarradical (Ezawa y col., 2004), y se ha señalado la presencia de varios transportadores de H_2PO_4 en las células colonizadas por arbusculos que son responsables de la entrada de P en la célula hospedera (Harrison y col., 2002).

La concentración de K en las hojas respondió a un efecto significativo de los factores estudiados, en algunas de las épocas del año evaluadas, aunque en ninguna el efecto fue significativo en términos de interacción (tabla 13). Este macroelemento en las hojas presentó una conducta diferente al N y al P, pues se encontró una respuesta significativa al factor intervalo de corte a favor de 90 días.

El incremento de la concentración de K con el aumento del intervalo de corte se explica porque las plantas de morera requieren de un mayor período de crecimiento para

explorar y absorber el K del suelo. Al respecto, Martín (2004) observó que las concentraciones de Ca y de K en la biomasa comestible de morera tienden a ser mayores en los cortes cada 90 días.

El intercalamiento de canavalia inoculada con HMA debió garantizar un mayor acceso de las plantas al K disponible en el suelo; y aun cuando todo parece indicar que los contenidos en el suelo fueron insuficientes, la presencia de HMA vía canavalia intercalada garantizó aumentos de la concentración de K en las hojas en el período lluvioso del segundo año.

La época en ambos años presentó un efecto significativo sobre la concentración de K, de forma tal que los valores más altos se hallaron en la época lluviosa.

Ninguna de las prácticas de manejo de la nutrición garantizó por si sola un suministro adecuado de K a las plantas, ya que las concentraciones estuvieron por debajo del estado nutricional óptimo del cultivo, entre 25 g de K kg⁻¹ de MS y 30 g de K kg⁻¹ de MS, reportado por Shankar y Sriharsha (1999), García (2003), Martín (2004) y Chen y col. (2009).

El descenso en el estado nutricional de la plantación permite explicar la disminución del rendimiento de biomasa comestible de morera en el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA, el cual descendió de 13,78 t MS ha⁻¹ en el primer año a 9,02 t ha⁻¹ en el segundo año (34,54 %). En el tratamiento con fertilización mineral la disminución de un año a otro fue de 24,90 % (de 12,09 t ha⁻¹ a 9,08 t ha⁻¹).

Los resultados sugieren que existió un agotamiento de los nutrientes disponibles en el suelo en el segundo año (2008), ya que aun siendo este el período más lluvioso, coincidió con los más bajos rendimientos y contenidos nutricionales en las hojas.

Tabla 13. Efecto del intervalo de corte y el manejo de la nutrición sobre la concentración de K en las hojas de morera (g kg ⁻¹ MS).																
Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A) en días															
	Época lluviosa 2007				Época poco lluviosa 2008				Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009			
	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B	30	60	90	Factor B
Sin FM ni CeHMA	6,30	6,10	13,2	8,53	6,00	5,80	12,60	8,13	2,10	4,60	12,50	6,40b	5,50	6,00	12,00	7,83
Fertilización mineral	8,80	7,20	15,5	10,50	8,40	6,90	14,80	10,03	9,10	19,50	12,50	13,70a	7,10	8,60	14,60	10,10
CeHMA	7,10	6,90	14,8	9,60	6,80	6,60	14,20	9,20	2,80	5,90	17,80	8,83ab	6,80	7,00	14,00	9,27
Medias del factor A	7,40b	6,73b	14,50a		7,07b	6,43b	13,87a		4,67b	10,00a	14,27a		6,46b	7,20b	13,53a	
ES±	(A) 1,9*; (B) 1,9ns				(A) 1,8*; (B) 1,8ns				(A) 2,5*; (B) 2,5*				(A) 2,0*; (B) 2,0ns			
Medias época	9,54				9,12				9,65				9,06			
t	7,72**								0,38ns							
Medias año	9,33								9,35							
t	0,03ns															

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES ± indica el error estándar de los factores: A (factor Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K₂O ha⁻¹ en cada época).

La disminución de los indicadores del rendimiento y de composición química de la morera de un año a otro concuerda con las observaciones de Martín (2004), donde el rendimiento promedio de hojas disminuyó al pasar del primer al cuarto año, y alcanzó 8,8 t ha⁻¹; 6,84 t ha⁻¹; 5,91 t ha⁻¹ y 6,11 t ha⁻¹ de MS; puede explicarse también por un fenómeno de estabilización de los patrones productivos del cultivo, que ha sido referido por Boschini (2002), García (2003) y García (2004).

4.1.4. Rendimiento de proteína bruta en la biomasa comestible de morera

Se encontraron efectos significativos de los tratamientos sobre el rendimiento de proteína bruta (tabla 14), siendo significativa la interacción en cada una de la épocas del año.

En la época lluviosa de ambos años los mayores rendimientos correspondieron a los tratamientos de fertilización mineral con los intervalos de corte de 60 días y de 90 días, y con canavalia intercalada e inoculada con HMA con el intervalo de corte de 90 días. En la época poco lluviosa los valores más altos siempre estuvieron asociados con los tratamientos de 60 días y de 90 días con fertilización mineral.

Se encontró un efecto significativo de la época del año a favor de los períodos lluviosos, y corroboró las observaciones de García (2003) al demostrar que entre los factores de mayor influencia sobre el rendimiento de proteína están la época del año y el intervalo de corte, seguidos de la fertilización nitrogenada y con K. El autor obtuvo aportes de proteína bruta por corte mayores de 500 kg ha⁻¹ en la época lluviosa, sin embargo en la época poco lluviosa los valores de rendimiento no superaron 200 kg de PB ha⁻¹ por corte.

Por su parte, Liu y col. (2002), Martín y col. (2002), Martín (2004), García y col. (2011a) y García y col. (2011b) observaron que el rendimiento proteico fue mayor con los intervalos de corte de 90 y 120 días.

Tabla 14. Efecto del intervalo de corte y del manejo de la nutrición sobre el rendimiento estacional de la proteína bruta de morera, t ha⁻¹ en cada época (RPB).

Manejo de la nutrición (B)	Intervalo de corte (A)											
	Época lluviosa 2007			Época poco lluviosa 2008			Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Sin FM ni CeHMA	0,27d	0,39cd	0,71b	0,13e	0,23d	0,32c	0,26e	0,36de	0,81b	0,05f	0,15d	0,26c
Fertilización mineral	0,41cd	1,12a	1,18a	0,23d	0,40b	0,56a	0,26e	1,00a	0,97a	0,09ef	0,38a	0,41a
CeHMA	0,44c	0,39cd	1,05a	0,21d	0,20d	0,29c	0,38d	0,58c	0,97a	0,12de	0,29bc	0,33b
ES(AxB)±	0,05***			0,02***			0,04***			0,015***		
Medias época	0,66			0,28			0,62			0,23		
t	8,67**						11,55**					

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 Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K₂O ha⁻¹ en cada época). RPB (rendimiento de proteína bruta de la biomasa comestible, que se conforma de las hojas y los tallos tiernos).

García y col. (2011a) y García y col. (2011b) lograron una respuesta positiva en rendimiento de proteína a favor de la fertilización. En el tratamiento control sin aplicación de fertilizante se obtuvieron rendimientos de 14,13 y 33,56 kg ha⁻¹ de PB por corte (épocas poco lluviosa y lluviosa, respectivamente); y con la dosis de 150 kg ha⁻¹ de N por año, que no difirió de 300 kg ha⁻¹ de N, el rendimiento fue de 101,71 y 362,71 kg ha⁻¹ de PB por corte (épocas poco lluviosa y lluviosa, respectivamente). Además, Chen y col. (2009) señalaron que la fertilización potásica incrementa el rendimiento de forraje y su contenido de proteína.

4.1.5. Supervivencia de la plantación de morera

En la tabla 15 se observa el porcentaje de supervivencia de la plantación de morera al final del período experimental.

Tabla 15. Influencia del intervalo de corte y del manejo de la nutrición en la supervivencia de la plantación.

Factores		Supervivencia % (\sqrt{x})
Intervalo de corte (días)	30	68,52 (8,21 ^b)
	60	78,24 (8,82 ^b)
	90	93,52 (9,67 ^a)
ES \pm		0,21***
Manejo de la nutrición	SF ni CeHMA	80,09 (8,92)
	Fertilización mineral	78,24 (8,76)
	CeHMA	81,94 (9,02)
ES \pm		0,21ns

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES \pm indica el error estándar de los factores: A (factor Intervalo de corte), B (factor manejo de la nutrición). *** $P < 0,001$ ns: no significativo. Los valores fueron transformados en \sqrt{x} . CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); Fertilización mineral (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 150 y 75 kg N y K₂O ha⁻¹ en cada época).

Aun cuando no existió interacción entre los factores, fue significativa la influencia del factor intervalo de corte. Es de destacar el efecto positivo del intervalo de corte de 90 días, con valores de hasta 93 % de supervivencia en el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA; ello indica que los intervalos de corte más amplios tienden a garantizar una mayor vida útil de la plantación.

En el intervalo de corte de 60 días hubo una supervivencia de 71,28 % en el tratamiento con fertilizantes minerales. De esta manera se corroboró lo señalado por Benavides (2000) acerca de que en plantaciones de morera en monocultivo 60 días es un tiempo adecuado para la recuperación de la planta después del corte, no así en condiciones de asociación donde se evidenció que el intervalo de corte se debe extender. Al respecto, Delgado y Rodríguez (2012) propusieron prolongar el intervalo recomendado para el monocultivo de morera en 10 o 15 días para las asociaciones, debido a la presencia del cultivo intercalado.

En el intervalo de corte de 30 días ninguna alternativa de manejo de la nutrición superó el 31,35 % de supervivencia de la morera. La ventaja que representa este intervalo de corte se relaciona con las mayores concentraciones de N y P en las hojas y su elevada palatabilidad, digestibilidad y aceptabilidad, que ha sido reportada para diferentes especies de monogástricos, entre ellos el gusano de seda (*Bombix mori*).

Sin embargo, los resultados sugirieron que durante los primeros 30 días de rebrote las plantas de morera no son capaces de recuperar sus reservas. Además permitieron confirmar los planteamientos de Stür y col. (1994), González y Cantú (2001) acerca de la limitada cantidad de carbohidratos que queda retenida en la base del tallo y en las raíces después del corte, y el insuficiente desarrollo de las estructuras de absorción y asimilación de nutrientes, fotosíntesis y traslocación de estos durante las primeras semanas de rebrote.

4.1.6. Consideraciones parciales

Los resultados obtenidos permitieron considerar que el intervalo de corte de 90 días en la morera fue el mejor, y en este resultó factible intercalar la canavalia inoculada con HMA en la época de lluvia. La época del año determinó el nivel de producción, y las

producciones de la época lluviosa fueron tres veces mayores que en la época poco lluviosa.

En la época lluviosa y en el intervalo de 90 días la morera respondió mejor en términos de producción de biomasa comestible a la fertilización química en el primer corte y a la canavalia intercalada e inoculada con HMA en el segundo corte, aunque de forma general los rendimientos no fueron altos en este experimento.

Como tendencia, las concentraciones de N foliar en la morera disminuyeron con el intervalo de corte y fueron ligeramente inferiores a los valores óptimos reportados para la especie. Las concentraciones de K foliar presentaron una tendencia significativa al incremento con el intervalo de corte, y fueron bajas aun en los tratamientos con mayor rendimiento de forraje.

4.2. Intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización mineral en plantaciones de morera para forraje

4.2.1. Indicadores del rendimiento de biomasa

- Rendimiento de biomasa de hojas

Los resultados que aparecen en la tabla 16 muestran el efecto de los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización sobre el rendimiento de la biomasa de hojas en cada una de las épocas del año; se hallaron interacciones entre ambos factores.

En la época lluviosa los mayores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis de fertilizante (F1) 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, que no difirieron en el primer año de las dosis (F2) 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O. En los tratamientos que solo recibieron fertilización mineral se encontró una respuesta significativa al aumento de las dosis de N, P y K.

Los menores rendimientos de hojas en la época de lluvia se observaron en aquellos tratamientos que no recibieron fertilizantes minerales y en las parcelas con F1 sin canavalia intercalada e inoculada con HMA, lo que refleja el insuficiente suministro de nutrientes.

En la época poco lluviosa los mayores rendimientos de hojas estuvieron asociados con el tratamiento que recibió las dosis más alta de fertilizantes (F2) sin intercalamiento de canavalia inoculada con HMA. La influencia de la canavalia inoculada con HMA sobre el rendimiento de la morera fue menor, al igual que en el primer experimento, en tanto que disminuyeron las posibilidades para una asociación exitosa entre los cultivos; ello se explica porque se redujo la tasa de crecimiento vegetativo de la morera y de la canavalia, que se puede analizar como rendimiento estacional de masa seca.

Tabla 16. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca de hojas de morera (RMSH).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)											
	Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009			Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	3,51b	3,98b	5,72a	1,29e	1,66cd	2,11a	4,52d	5,16c	7,75b	1,68d	2,20bc	2,74a
Con CeHMA	3,62b	5,91a	5,60a	1,58d	1,76bc	1,83b	4,77cd	8,48a	7,22b	1,95cd	2,33b	2,35b
ES(AxB) \pm	0,24**			0,05***			0,19***			0,11*		
Medias época	4,72			1,71			6,32			2,21		
t	7,99**									7,06**		
Medias año	3,21						4,26					
t	5,15**											

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) según Duncan (1955). ES (A x B) \pm indica el error estándar de la interacción entre los factores: A (factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, B (factor dosis de fertilización). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O).

Independientemente de que los mejores tratamientos fueron diferentes en una y otra época del año, esta influyó de manera significativa en los rendimientos de masa seca; de forma tal que en la época lluviosa, en cualquier condición, estos fueron mayores a los obtenidos en la época poco lluviosa.

Como tendencia los resultados sugieren, que con menores precipitaciones, disminuyeron las extracciones de agua y nutrientes del suelo, se redujo la síntesis de carbohidratos, fue menor la acumulación de N y K en los tejidos, y se afectó la reinoculación de la morera, ocasionado por una disminución en la multiplicación de esporas de HMA o por la intercepción entre las raíces que debieron garantizar la colonización del cultivo acompañante.

También existió un efecto notable de los años a favor del período más lluvioso (año 2); y se reflejó en el análisis de muestras pareadas (tabla 16).

- Rendimiento de biomasa de tallos tiernos

Existió un efecto de los factores estudiados sobre los tallos tiernos (tabla 17), y siempre hubo interacciones entre estos. En la época lluviosa, los mayores rendimientos en el primer año se observaron con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilizante (F1), sin diferencias estadísticas de las dosis mayores del fertilizante (F2). En el segundo año fue necesario complementar con las dosis F2 para garantizar los mejores rendimientos con canavalia intercalada e inoculada con HMA.

Mientras en la época poco lluviosa del primer año el rendimiento de tallos tiernos fue mayor con las dosis intermedias (F1), y en el segundo año no existieron diferencias entre los tratamientos fertilizados con y sin canavalia intercalada e inoculada con HMA.

Tabla 17. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca de tallos tiernos de morera (RMSTT).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)											
	Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009			Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	2,26c	2,76b	3,30a	0,54c	0,98a	0,79b	2,73d	3,30c	4,86b	0,80c	1,31a	1,15ab
Con CeHMA	2,07c	3,64a	3,54a	0,81b	0,84b	0,82b	3,67c	4,72b	5,43a	1,01bc	1,12ab	1,10ab
ES(AxB)±	0,15*			0,02**			0,13*			0,07*		
Medias época	2,93			0,80			4,12			1,08		
t	8,28**						7,51**					
Medias año	1,86						2,60					
t	4,12**											

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). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O).

Al igual que en el rendimiento de hojas, la época del año originó un efecto significativo sobre el rendimiento de tallos tiernos, y siempre en la época lluviosa, en todos los tratamientos, los valores alcanzados fueron mayores que en la época poco lluviosa.

Asimismo, en todas de las épocas del segundo año se encontraron rendimientos mayores que en el primer año. Los incrementos del rendimiento en el segundo año, en el orden de 40 y 35 % para las épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente, fueron comparables con los obtenidos por efecto de los años en el rendimiento de las hojas.

- Rendimiento de biomasa comestible (rendimiento de masa seca de hojas y masa seca de tallos tiernos)

En todas las épocas y años evaluados hubo efectos de los tratamientos (tabla 18), fueron significativos los términos de la interacción.

Se encontraron altos rendimientos en la época lluviosa en los tratamientos que recibieron canavalia intercalada e inoculada con HMA en presencia de las dosis de fertilizantes F1, y en las dosis F2 con y sin canavalia intercalada e inoculada con HMA.

El efecto de las dosis de fertilizantes F1 como complemento de la canavalia intercalada e inoculada con HMA, tanto sobre el rendimiento de biomasa comestible como el de las hojas y tallos tiernos, demostró los beneficios del intercalamiento de la canavalia inoculada con HMA en presencia de un 50 % de las dosis de fertilizantes minerales necesarios para alcanzar altos rendimientos de morera. Este fenómeno fue abordado anteriormente por Martín (2009) en sistemas de rotación de cultivos de canavalia y maíz inoculados con HMA.

Es conocido que la fertilización constituye una herramienta efectiva para incrementar los rendimientos de forraje, mejora la composición química de la biomasa, y garantiza la longevidad de las plantaciones.

Tabla 18. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional ($t\ ha^{-1}$) de biomasa seca comestible de morera (RMSBC).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)											
	Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009			Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	5,77b	6,74b	9,02a	1,82d	2,64b	2,89a	7,25c	8,46b	12,61a	2,48c	3,51a	3,90a
Con CeHMA	5,69b	9,56a	9,17a	2,39c	2,59bc	2,65b	8,44b	13,20a	12,65a	2,97bc	3,45ab	3,45ab
ES(AxB)±	0,37**			0,07***			0,30***			0,16*		
Medias época	7,66			2,50			10,43			3,29		
t	8,12**						7,57**					
Medias año	5,08						6,86					
t	5,04*											

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). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O).

De acuerdo con los estudios de Shankar y Rangaswamy (1999) y Martín (2004), los aportes de nutrientes vía fertilizantes en dosis por debajo de 300 kg de N ha⁻¹ por año y 120 kg de K₂O ha⁻¹ por año no suplen los requerimientos del cultivo de morera. No obstante, en las condiciones del presente estudio las dosis F1 a razón de 100, 50 y 50 kg de N, P₂O₅ y K₂O ha⁻¹ en cada época resultó efectiva al ser utilizada como complemento de la canavalia intercalada e inoculada con HMA. Ello se explica entre otras razones por un posible funcionamiento eficiente de los HMA; los que según Siqueira y col. (2010), en presencia de niveles de suministro de nutrientes por debajo de lo óptimo estimulan el crecimiento de las estructuras micorrízicas y aumentan la eficiencia de absorción y las extracciones de nutrientes minerales; esto último fue demostrado por Solaiman y col. (2014).

De acuerdo con las observaciones de Reynolds y col. (2005); Janos (2007) y Leigh y col. (2009), los HMA absorben y transfieren hacia la planta hospedera grandes cantidades de N, K, Ca, Mg y S; y su influencia está directamente relacionada con el aumento del volumen de suelo que pueden explorar. Además producen fitohormonas y exudan sustancias que estimulan la actividad de otros microorganismos edáficos beneficiosos; por lo que pueden constituir un eslabón fundamental de la rizosfera y garantizar una mayor respuesta productiva del cultivo, en este caso la morera, a las prácticas de manejo de la nutrición.

Los estudios realizados al respecto por Siqueira y col. (2010) indican que la relación sinérgica entre las plantas inoculadas y el HMA radica en que el hongo les garantiza a las plantas un incremento en la absorción de nutrientes, y a través del intercambio a nivel de los arbusculos este consume entre 5 y 10 % de los productos de la fotosíntesis.

Como parte de la práctica de manejo evaluada, la canavalia intercalada en la plantación de morera exhibió ventajas relacionadas con efectos de competencia sobre la morera,

que según Willey y col. (1986) son menores que la competencia entre individuos de la misma especie. El corte de la morera cada 90 días y la edad del corte y el arroje de la canavalia a los 60 días de sembrada condicionaron que el aumento de las demandas de nutrientes para las plantas no coincidiera en el tiempo.

En relación con los rendimientos de biomasa en la época poco lluviosa, en el primer año se obtuvo una respuesta significativa a la mayor dosis de fertilización mineral sin canavalia intercalada e inoculada con HMA, y en el segundo año los mayores valores se encontraron en los tratamientos con fertilización mineral.

La respuesta positiva al aumento de la fertilización mineral en ausencia de canavalia intercalada e inoculada con HMA corrobora la importancia de la fertilización para el mantenimiento de la productividad de las especies de plantas forrajeras; y en tal sentido, Magalhaes y col. (2007) y Martín (2004) concluyeron que la respuesta de estas especies a la fertilización nitrogenada en el trópico es alta, y supera los 1 000 kg N ha⁻¹ por año, pero su eficiencia se reduce considerablemente a partir de 300 kg N ha⁻¹ por año.

Los rendimientos logrados en el presente estudio corroboraron los resultados obtenidos por Shankar y Rangaswamy (1999) en un ensayo en el que se evaluaron dos dosis de N (300 y 400 kg ha⁻¹ por año de N) y tres de K (120, 160 y 200 kg de K₂O), y los mayores incrementos en el rendimiento y la composición química de las hojas se alcanzaron con las dosis más altas (400 kg ha⁻¹ por año de N y 200 kg ha⁻¹ por año de K₂O).

La época del año influyó en el rendimiento de la biomasa comestible de forma similar a los efectos originados sobre las hojas y los tallos tiernos.

Los valores promedios de rendimiento de hojas, de tallos tiernos y de biomasa comestible por época del año indicaron que en la época de lluvia se produjo más del 70 % del rendimiento total del año, y corroboraron las consideraciones de varios autores acerca del comportamiento estacional de la morera como una regularidad en

condiciones de secano. Este fenómeno fue abordado en el experimento anterior, con resultados similares en una condición diferente de densidad de plantación y arreglo espacial, y con una pluviometría mayor.

Se encontró, asimismo, un efecto significativo de los años sobre el rendimiento de biomasa comestible, y si bien los mejores tratamientos para cada época del año fueron similares entre uno y otro año, los valores aumentaron en el segundo año tanto en la época lluviosa como en la época poco lluviosa.

Las diferencias de rendimiento a favor del segundo año de evaluación, comparado con el primer año, indicaron una mayor suficiencia de nutrientes del cultivo cuando hubo más volumen de lluvia caída (en el segundo año); y el hecho de que dichas variaciones resultaran más acentuadas en los tratamientos con fertilización y con canavalia intercalada e inoculada con HMA indicó una garantía, a corto plazo, de las prácticas de suministro de nutrientes.

En la figura 6 se puede observar el efecto de las precipitaciones acumuladas por época del año sobre el rendimiento de masa seca comestible en los tratamientos más productivos, que fueron el de canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con F1 y el de fertilización mineral con F2; con el primero se obtuvieron los mayores rendimientos en la época lluviosa y con el segundo los mejores resultados en la época poco lluviosa.

En ambos tratamientos se encontraron altos y significativos coeficientes de determinación entre el rendimiento y las precipitaciones acumuladas. Cuando estas fueron mayores de 900 mm el rendimiento estacional de biomasa comestible superó las 8 t ha⁻¹; mientras que con acumulados de 338 mm este se mantuvo en valores cercanos a 3 t ha⁻¹.

Los resultados evidenciaron el efecto directo y la importancia de las lluvias para el crecimiento de la morera, en tanto que permitieron considerar la precipitación como la variable fundamental, que incide en que un período sea más productivo que otro, y alerta sobre la importancia del uso del riego en períodos con un bajo régimen de precipitación. En tal condición la plantación en surco doble se considera un sistema avanzado, ya que permite el intercalamiento de cultivos (Srinivas, 2005).

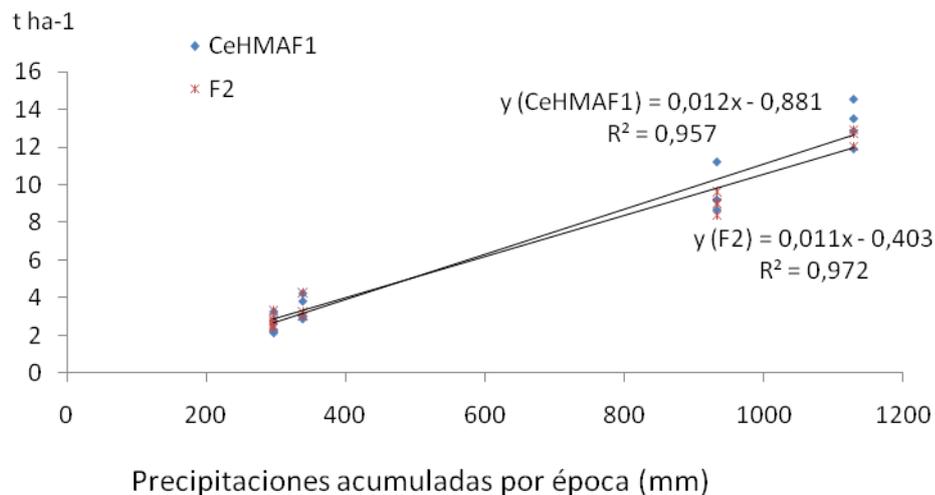


Figura 6. Relación entre el rendimiento de biomasa comestible y las precipitaciones acumuladas en cada época del año. Se analizaron 16 pares de datos obtenidos en cada tratamiento analizado durante cuatro períodos, correspondientes a dos épocas lluviosas y dos épocas poco lluviosas.

En la figura 7 se presentan los rendimientos de biomasa comestible en cada corte en los tratamientos más productivos, los cuales permitieron aclarar algunos de los aspectos generales que se presentan en la tabla 18, asociados a los mayores rendimientos de biomasa comestible.

Se puede observar que en la época lluviosa la morera con fertilización mineral (F2) tuvo un rendimiento superior en el primer corte, pero en el segundo corte este disminuyó y además fue inferior a los tratamientos con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilizantes.

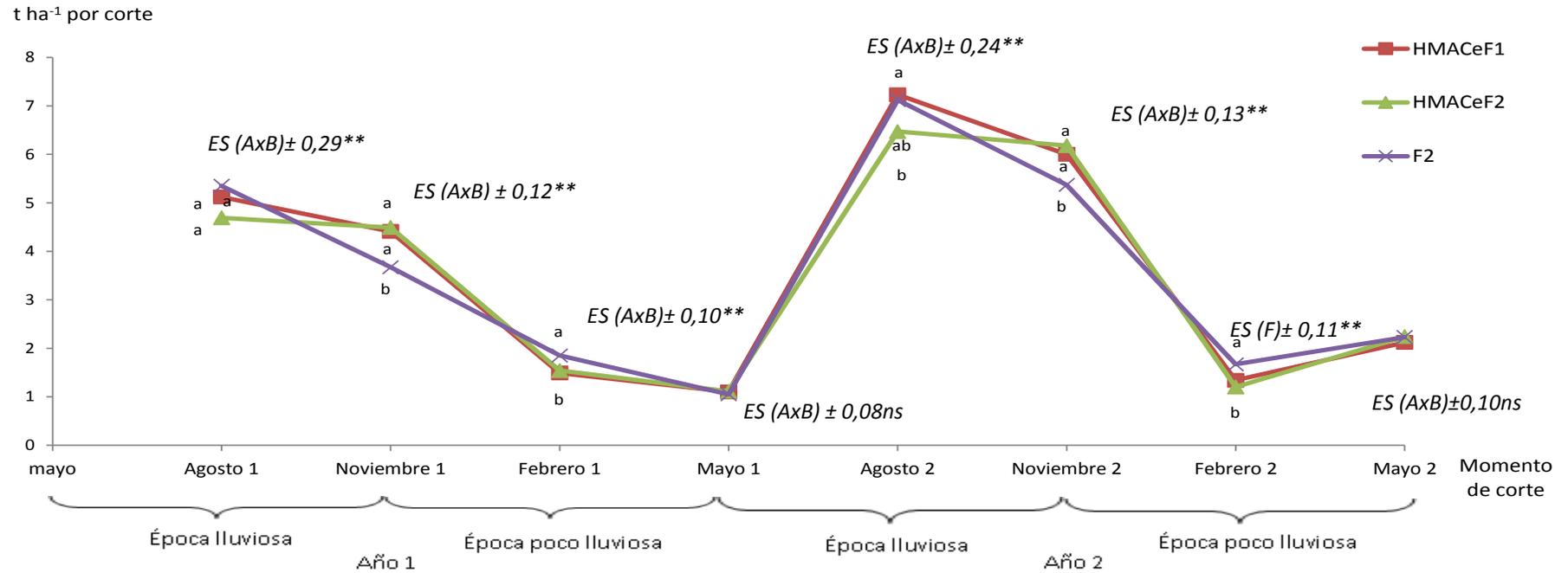


Figura 7. Dinámica de la producción de biomasa comestible por corte en los tratamientos más productivos.

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos $P \leq 0,05$. El análisis fue independiente para cada corte. ES (F) o ES (AxB): indican el error por efecto del factor fertilización mineral o de la interacción entre la canavalia intercalada e inoculada con HMA y la fertilización mineral. Se fertilizó y se sembró canavalia a los 7 y 15 días de los meses de mayo y noviembre en cada año. El corte y arrojado de la canavalia a los 60 dds.

La canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilizantes, logró mantener los rendimientos estables entre los cortes en cada época del año evaluada, y se infiere que la fertilización garantizó una suficiencia de nutrientes del cultivo a corto plazo, que se reflejó en el primer corte, y además debió estimular la inoculación y funcionamiento efectivo de los HMA en la morera, beneficiando así el rendimiento en el segundo corte.

Además la canavalia intercalada e inoculada con HMA, cortada y arropada a los 60 días de crecimiento, propició un reciclaje de nutrientes a partir del abono verde incorporado al suelo, que debió ser aprovechado por la morera durante el segundo período de crecimiento; por lo que se reflejó en el rendimiento del segundo corte. Se infiere que en este período existió además un efecto directo de los HMA en la mineralización de la MO en el suelo y en el aumento de la eficiencia de absorción de los nutrientes por las plantas.

Los HMA estimulan la actividad de una biota edáfica capaz de fragmentar y mineralizar la MO en el suelo, y los estudios recientes han revelado que el micelio extrarradical de los HMA excreta enzimas hidrolíticas involucradas en la descomposición de la MO (Gryndler y col., 2009).

En la época poco lluviosa el tratamiento que recibió las dosis de fertilizantes F2 tuvo mayor influencia sobre la producción de biomasa, aunque las diferencias entre los tratamientos solo ocurrieron en el primer corte debido a la influencia de las menores precipitaciones acumuladas en el segundo período de crecimiento.

- Biomasa de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA

La cantidad de biomasa de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA no superó la $t \text{ ha}^{-1}$ (tabla 19). Los valores más altos de masa seca, N y K_2O

estuvieron asociados a la fertilización de la morera con las dosis intermedias (F1).

Además existió un fuerte efecto estacional, a favor de la época lluviosa.

Tabla 19. Rendimiento de biomasa seca de la parte aérea de la canavalia intercalada e inoculada con HMA ($t\ ha^{-1}$) y extracción de N, P_2O_5 y K_2O en cada época del año ($kg\ ha^{-1}$).

Factor	Época lluviosa 2008				Época lluviosa 2009			
	MS ($t\ ha^{-1}$)	N	P_2O_5	K_2O	MS ($t\ ha^{-1}$)	N	P_2O_5	K_2O
F0	0,48b	15,82b	3,15	15,16b	0,48	15,90b	3,24	15,28
F1	0,65a	21,24a	4,52	20,50a	0,59	19,57a	3,93	18,73
F2	0,40b	13,26b	2,77	12,77b	0,46	15,26b	3,06	14,63
EE \pm	0,05*	1,80*	0,77ns	1,90*	0,03ns	0,80*	0,56ns	0,79ns
Media	0,51	16,78	3,48	16,15	0,51	16,91	3,41	16,22
Época poco lluviosa 2009					Época poco lluviosa 2010			
F0	0,22	7,57	1,50	7,23	0,21	6,97	1,38	6,66
F1	0,22	7,71	1,45	7,33	0,23	7,54	1,51	7,21
F2	0,20	6,84	1,34	6,54	0,17	5,71	1,16	5,47
EE \pm	0,02ns	0,63ns	0,11ns	0,58ns	0,02ns	0,62ns	0,25ns	0,53ns
Media	0,21	7,37	1,43	7,03	0,20	6,74	1,35	6,45
t	5,12**	5,92**	3,89*	5,60**	13,60**	15,93**	9,00**	16,51**

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) \pm indica el error estándar del factor dosis de fertilización. * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ ns: no significativo. La comparación entre épocas mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 $kg\ ha^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O).

Los resultados obtenidos sugieren que la fertilización mineral de la morera con las dosis intermedias (F1) benefició tanto el crecimiento del cultivo principal como el de la canavalia. Sin embargo, la mayor dosis de fertilizantes minerales (F2) debió relacionarse con la inhibición en la canavalia de los procesos de fijación biológica del N y de funcionamiento efectivo de la simbiosis micorrízica, y afectó su crecimiento vegetativo. Este fenómeno puede explicar el escaso efecto del tratamiento con canavalia inoculada complementada con las dosis F2, sobre el rendimiento de la morera.

4.2.2. Proporción hojas/tallos tiernos de morera

La proporción hojas/tallos tiernos en la biomasa comestible de la morera fue mayor a 1,3 en todas las condiciones de estudio (tabla 20), lo cual es característico de esta especie.

Existieron efectos significativos de la interacción entre los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización en tres de las cuatro épocas evaluadas.

En la época lluviosa del segundo año se observó una superioridad del tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilización; lo que sugiere que la suficiencia de nutrientes con esta práctica de manejo en presencia de altas precipitaciones estimuló la producción de hojas; no ocurrió así en la época poco lluviosa en que donde los valores más altos estuvieron asociados a las mayores aplicaciones de fertilizantes.

Los resultados en el presente estudio sobre los efectos de las dosis de fertilización difieren de los obtenidos por Boschini (2002), quienes observaron que los porcentajes de hojas y de tallos tiernos en la variedad tigreada fueron contrastantes, con valores medios de 44,6 % de hojas y 5,1 % de tallos tiernos; y no existieron efectos de la fertilización nitrogenada con aplicaciones entre 180 y 540 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

4.2.3. Biomasa y distribución de raíces de morera en el perfil del suelo y algunos indicadores de la simbiosis micorrízica

En la figura 8 se muestra la influencia de la canavalia intercalada e inoculada con HMA y de las dosis de fertilizantes minerales sobre la biomasa y distribución de las raíces a 25 cm de las plantas de morera hasta 80 cm de profundidad del suelo.

Tabla 20. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la proporción hoja/tallo tierno en la biomasa seca comestible de morera.

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)											
	Época lluviosa 1			Época poco lluviosa 1			Época lluviosa 2			Época poco lluviosa 2		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	1,56	1,46	1,73	2,41b	1,70e	2,71a	1,65b	1,57c	1,34d	2,12ab	1,67b	2,47a
Con CeHMA	1,64	1,62	1,58	1,94d	2,11c	2,23c	1,40d	1,80a	1,33d	1,92bc	2,10b	2,13ab
ES (AxB) ±	0,07ns			0,05**			0,03**			0,11**		
X	1,60			2,18			1,51			2,07		

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). ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo. CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

La biomasa de raíces en cada tratamiento fue mayor en la capa de 0 a 20 cm y disminuyó gradualmente hasta los 80 cm de profundidad.

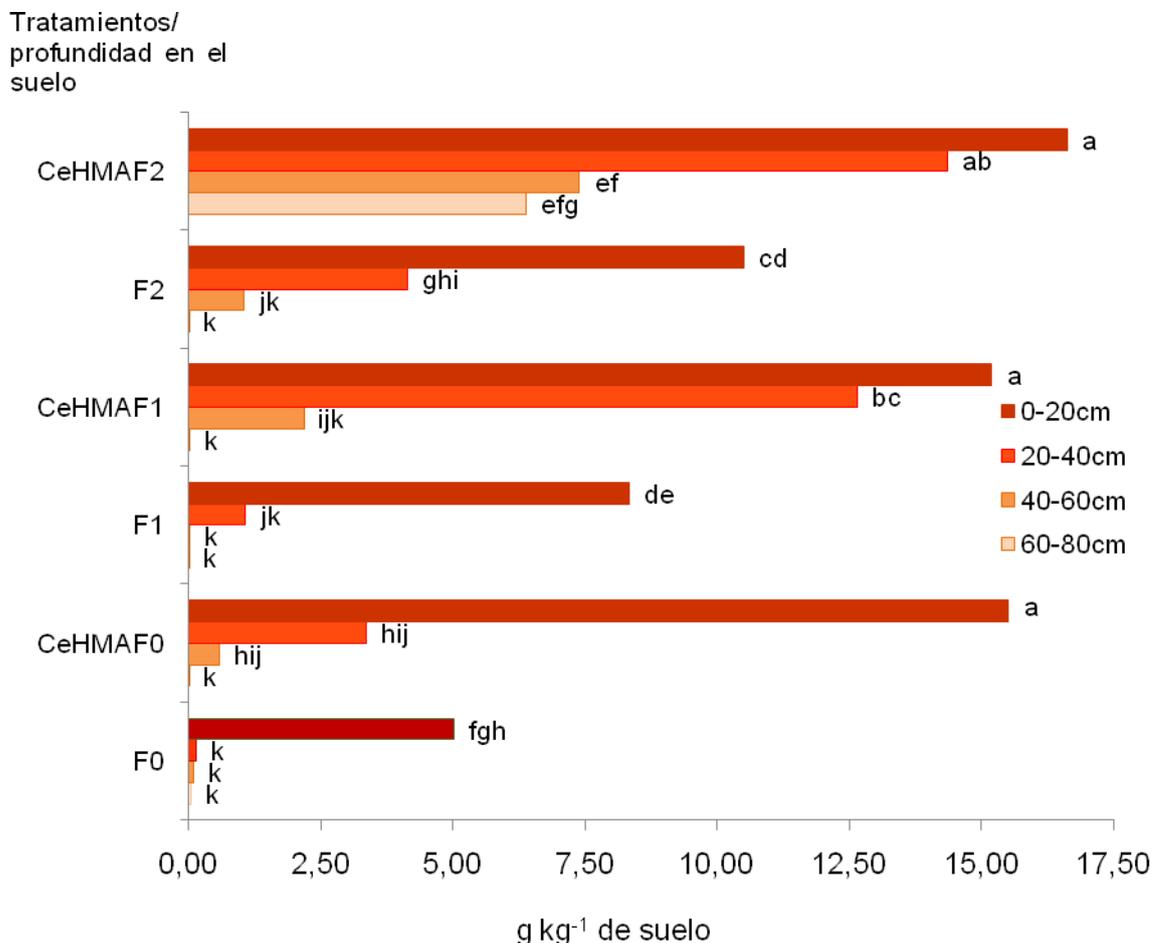


Figura 8. Biomasa y distribución de raíces de morera en el perfil del suelo hasta 80 cm. Las raíces fueron extraídas al final de la época lluviosa, de puntos ubicados (entre surcos y entre plantas) a 25 cm de la base del tallo principal de morera. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan. $**P < 0,01$. $ES \pm (A \times B) 0,88^{**}$ indica el error estándar de la interacción entre los factores: A (factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA), B (factor dosis de fertilización). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

Este gradiente típico entre el suelo superficial y el subsuelo está condicionado por el patrón de crecimiento radical, que en el caso de la morera está representado por el 29 % de la biomasa de raíces y raicillas en los primeros 20 cm, 37 % en la profundidad de 20 y 40 cm, 22 % de 40 y 60 %, y 8 % entre 60 y 80 % (Cifuentes y Kee Wook, 1998).

También inciden en este gradiente las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que comúnmente son más favorables en las capas superficiales, y a su vez garantizan un mayor crecimiento radical hacia los horizontes más profundos.

En ello influye la aplicación del abono verde de la canavalia intercalada y la inoculación con HMA (Rivera y col., 2010), que actúan sobre la compactación, la retención de humedad, la aireación y otras características físicas que favorecen el crecimiento y desarrollo del sistema radical de las plantas. El efecto de las características del suelo sobre la producción de raíces fue demostrado por Rivera (1987) en el cultivo del café para el caso de la MO, y por García (2014) en la producción de tabaco con el uso de canavalia y de inoculantes micorrízicos.

Las mejoras en las condiciones físicas del suelo tienen implicaciones importantes sobre la absorción de nutrientes, pues para satisfacer las demandas de las plantas, los minerales deben alcanzar la superficie de las raíces, principalmente mediante la difusión o el transporte con la solución del suelo, y el crecimiento radical hace que disminuya la longitud de trayectoria de los minerales.

Los mayores volúmenes de raíces se observaron en el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA complementado con las dosis de fertilizantes minerales F2, seguidas de las dosis F1. Además, la canavalia intercalada e inoculada con HMA garantizó mayor producción de biomasa y distribución de las raíces en cada uno de los niveles de fertilización.

En el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA sin fertilización mineral, la superioridad con respecto al tratamiento control sin suministro de nutrientes en cada estrato del suelo corrobora las múltiples ventajas de la presencia de la canavalia intercalada e inoculada con HMA.

Es necesario significar también el efecto del corte del forraje de morera sobre la

renovación radical, que propicia la liberación constante de carbono orgánico al suelo por rizodeposición, y los componentes liberados (ácidos orgánicos, mucílago, células y tejidos mudados) pueden movilizar directamente los nutrientes minerales en la rizosfera; lo que garantiza un mejor estatus nutricional de las plantas en condiciones de suficiencia de nutrientes en el suelo y, por ende, una mayor producción de biomasa y distribución de las raíces. Las hojas nuevas representan fuentes de auxinas y co-factores que contribuyen al desarrollo de las raíces (Hartmann y Kester, 2000) e incrementan su número y extensión, aumentando así su capacidad de absorción efectiva de los nutrientes desde el suelo.

En la figura 9 se presenta el comportamiento del conteo de esporas de HMA en cada época del año, en los tratamientos con y sin canavalia intercalada e inoculada con HMA sin aplicación de fertilizantes minerales. En los dos años de evaluación existió un efecto significativo de los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y momento de muestreo, aunque en el segundo no hubo interacción entre ellos.

Los mayores conteos de esporas coincidieron con el muestreo del mes de agosto, seguido en el segundo año de los muestreos de febrero y noviembre. Los valores más bajos obtenidos en los muestreos de mayo se relacionaron con las escasas precipitaciones que ocurrieron durante el trimestre que precedió al momento del muestreo, 14,1 mm y 207,8 mm; año 2009 y 2010 respectivamente.

El tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA resultó el mejor, excepto en el muestreo de febrero del año 2009 en que no existieron diferencias entre los tratamientos; lo que se explica, entre otras razones, porque en este mes no llovió, y en el trimestre que precedió al momento de muestreo el acumulado de lluvias caídas fue menor de 300 mm, y pudo limitar la reproducción de los propágulos infestivos incorporados a través de la canavalia intercalada e inoculada con HMA.

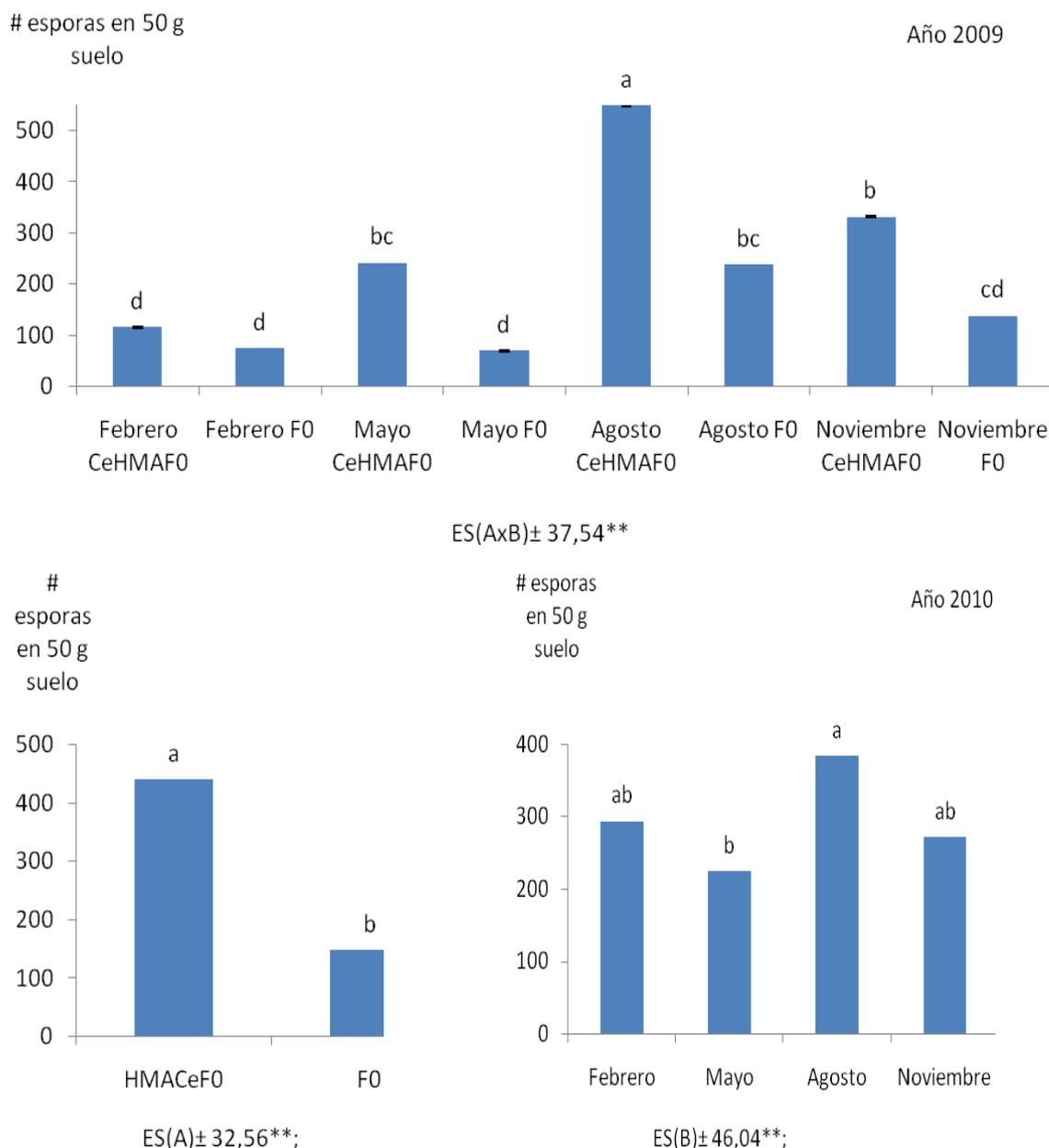


Figura 9. Efecto de la canavalia intercalada e inoculada con HMA sobre la multiplicación de esporas. Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) ± indica el error estándar de la interacción entre los factores: intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y momento de muestreo. ** $P < 0,01$. CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes).

El conteo de esporas en las parcelas sin canavalia intercalada e inoculada con HMA se consideró bajo, en correspondencia con los criterios de Rivera y Fernández (2003). Los autores consideraron como bajo la presencia de esporas de HMA cuando existen menos de 200 esporas en 50 g de suelo; media cuando el conteo es de 300 - 500 esporas en 50 g de suelo, y alta cuando supera las 600 esporas en 50 g de suelo.

En la tabla 21 se presentan los resultados de algunos indicadores de la simbiosis micorrízica en las plantas de morera en la época lluviosa y a los 150 días de aplicados los tratamientos, es decir, 60 días después de haberse realizado el primer corte de esta época.

Los valores más altos de densidad visual se obtuvieron en ambos años con la canavalia intercalada-HMA y complementada con las dosis de fertilizantes F1, los cuales fueron significativamente superiores a los del resto de los tratamientos.

En los otros dos tratamientos con canavalia hubo valores menores de densidad visual, en correspondencia con lo planteado por otros investigadores (Ruiz, 2001; Rivera y Fernández, 2003) acerca de que la efectividad de la inoculación con una cepa eficiente de HMA está condicionada con la disponibilidad de nutrientes. En presencia de un suministro insuficiente (F0), la efectividad se encuentra limitada, y cuando las disponibilidades son superiores al óptimo para la micorrización, ocurre una disminución y en algunos casos puede conllevar la inhibición.

Según el criterio de Mohammad y col. (2004), los altos suministros de nutrientes minerales pueden estimular el crecimiento radical, pero inhiben el funcionamiento fúngico.

A los 150 días de intercalada la canavalia inoculada y/o aplicada la fertilización mineral, se obtuvo un aumento significativo del conteo de esporas para con respecto al tratamiento sin canavalia ni fertilización mineral.

Estos elementos expuestos constituyen argumentos acerca de las ventajas del manejo integrado del suministro de nutrientes a través de la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilizantes minerales en las dosis intermedias (F1).

Tabla 21. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre algunos indicadores de la simbiosis micorrízica en la morera.

Tratamientos	Densidad visual		Conteo de esporas	
	2009	2010	2009	2010
	(%)		(# 50 g de suelo)	
F0	0,39c	0,38e	135c	157c
CeHMAF0	0,67bc	0,77c	325ab	378ab
F1	0,79b	0,96b	275b	317b
CeHMAF1	1,54a	1,77a	421a	489a
F2	0,48c	0,56d	309b	358b
CeHMAF2	0,89b	1,04b	281b	329b
ES±	0,09**	0,05**	33,04**	36,45**

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). ** $P < 0,01$. CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

4.2.4. Concentraciones de N, P y K en las hojas de morera

Los valores más altos de N siempre estuvieron relacionados con la fertilización mineral (tabla 22) y en tres de las cuatro épocas evaluadas existió una influencia significativa de la canavalia intercalada e inoculada con HMA. Solo existió interacción entre los factores en la época lluviosa del primer año; además, la concentración de N en las hojas se ubicó en el rango óptimo reconocido para la especie.

La influencia positiva de la canavalia inoculada intercalada puede ser una consecuencia de las plantas inoculadas con HMA absorben más N proveniente de la MO (Gryndler y col., 2009), además las hifas presentan la capacidad de absorber tanto NO_3^- como NH_4^+ del suelo (Priyadharsini y Muthukumar, 2015).

El efecto de la época del año resultó significativo, y la concentración de N fue mayor en la época poco lluviosa en todos los tratamientos. Este fenómeno fue abordado en el primer experimento con resultados similares, y está relacionado con una menor capacidad de crecimiento del cultivo y la mayor acumulación de N en los tejidos jóvenes o en ausencia de suficiente humedad en el suelo.

En la figura 10 se presenta la relación entre el rendimiento de biomasa comestible y la concentración de N en las hojas en la época lluviosa. Las variaciones del rendimiento en función de la concentración de N fueron significativas, lo que refleja una suficiencia de nutrientes en los tratamientos más productivos, que estuvieron asociados a la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilización mineral.

En la época poco lluviosa las variaciones del rendimiento en función de la concentración de N no fueron significativas, y los coeficientes de determinación se correspondieron con valores de 0,38 y 0,58; por lo que no se procedió a la descripción y discusión de dichos resultados.

Tabla 22. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de N en las hojas de morera (g kg⁻¹ MS).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)														
	Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009				Época lluviosa 2009				Época poco lluviosa 2010			
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	Factor A
Sin CeHMA	26,3c	29,0b	29,1b	28,8	31,7	31,8	30,8b	26,3	28,8	29,1	28,1	28,7	31,5	32,0	30,7b
Con CeHMA	27,4c	31,9a	32,6a	30,0	35,7	34,6	33,4a	27,0	29,6	29,8	28,8	30,0	33,9	33,4	32,4a
Factor B				29,4b	33,2a	32,7a		26,6b	29,2a	29,5a		29,4c	32,7a	32,7a	
ES±	(A x B) 0,4*			(A) 0,4***; (B) 0,5***				(A) 0,3ns; (B) 0,4***				(A) 0,3**; (B) 0,3***			
Medias época	29,4			32,1				28,4				31,6			
t	11,25**							5,47**							
Medias año	30,74							29,77							
t	2,34*														

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. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

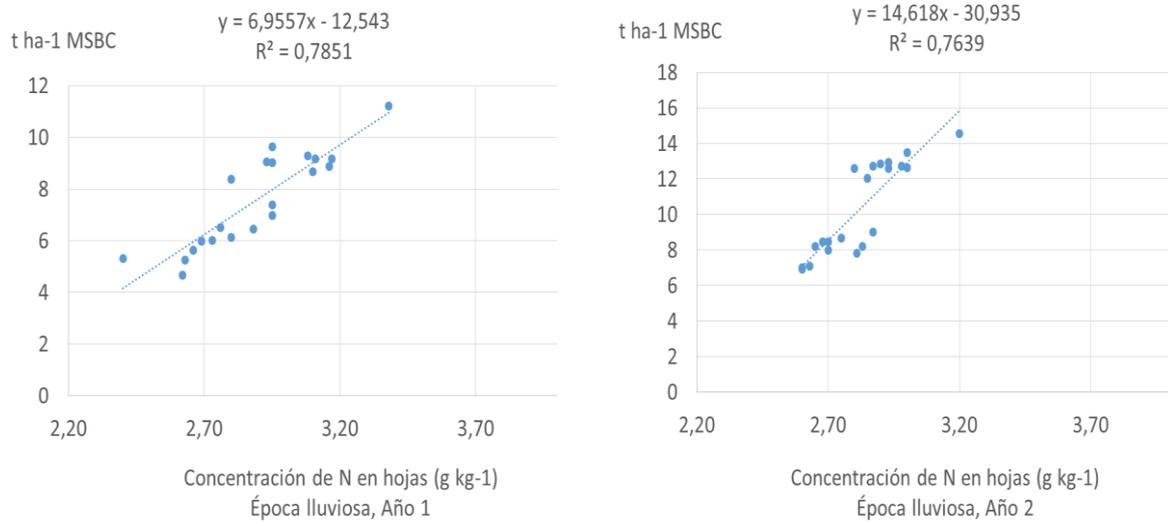


Figura 10. Relación entre el rendimiento de biomasa comestible y la concentración de N en las hojas. Se utilizaron 24 pares de datos.

En todas las épocas y años existió efecto significativo de los tratamientos asociados con el factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA sobre la concentración de P en las hojas (tabla 23). En el segundo año hubo interacción entre los factores en estudio, y los mejores tratamientos estuvieron relacionados con la canavalia intercalada e inoculada con HMA, sin fertilización mineral, lo cual se explica por la presencia de los HMA.

La concentración de P (tabla 23) se mantuvo estable entre el primer y el segundo año, y en este último existió un efecto significativo de la época, de forma tal que en cualquiera de los tratamientos se encontraron mayores concentraciones en la época lluviosa.

Sin embargo, Martín (2004) obtuvo resultados contradictorios en términos de concentración de P en las hojas, que sugieren la existencia de otros factores ajenos al intervalo de corte, la fertilización y la época del año, que pudieron incidir en la respuesta del cultivo. El autor observó que los valores de P en el primer año de evaluación fueron de 2,6 g kg⁻¹ y 1,9 g kg⁻¹ en las épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente, y en el cuarto año resultaron de 2,8 g kg⁻¹ en la época lluviosa y 3,0 g kg⁻¹ en la época poco lluviosa.

Tabla 23. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de P en las hojas de morera (g kg⁻¹ MS).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)													
	Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009				Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010		
	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	1,6	1,2	1,3	1,3b	1,4	1,1	1,2	1,2b	1,7b	1,3c	1,8b	1,5b	1,3c	1,6b
Con CeHMA	2,3	2,2	2,2	2,2a	2,0	2,3	2,3	2,2a	2,4a	1,7b	1,7b	2,1a	1,5b	1,6b
Factor B	1,9	1,7	1,8		1,7	1,7	1,7							
ES±	(A) 0,1***; (B) 0,2ns				(A) 0,2***; (B) 0,2ns				(AxB) 0,05***			(AxB) 0,04***		
Medias época	1,8				1,72				1,77			1,6		
t	1,27ns								3,95**					
Medias año	1,76								1,68					
t	0,60ns													

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). ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

En el presente estudio, los valores mayores de P en las hojas se ubicaron en el rango recomendado para la especie por Martín (2004).

Se encontraron efectos de los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización sobre la concentración de K en las hojas en algunas de las épocas evaluadas; y solo en la época lluviosa del segundo año resultaron significativos los términos de interacción (tabla 24).

En el primer año el intercalamiento de canavalia inoculada con HMA influyó de manera notable en el aumento de la concentración de K en las hojas, tanto en la época lluviosa como en la época poco lluviosa, y ello debió estar relacionado con el funcionamiento efectivo de los HMA y los propios beneficios de la canavalia intercalada e inoculada con HMA. El aumento de las concentraciones de N, P y K en la biomasa de la morera permite inferir que debió existir un incremento en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y que la inoculación con HMA condicionó la movilización de cantidades importantes de N, P y K del suelo hacia las plantas, fenómeno que fue estudiado también por González (2014) en el cultivo de brachiaria en suelos del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado.

En el caso particular de la morera, García (2003) y Chen y col. (2009) demostraron que la fertilización con K incrementa las concentraciones de este elemento en las hojas.

Shankar y Sriharsha (1999) obtuvieron un incremento de la concentración de K en la biomasa de morera con el aumento de las dosis de 120 kg de K_2O ha^{-1} a 240 kg de K_2O ha^{-1} , con valores de 19,0 g de K por kg de MS y 29,5 g de K por kg de MS, respectivamente. Shankar y Rangaswamy (1999), con diferentes combinaciones de N y K a partir de 300 y 400 kg de N ha^{-1} ; 120, 160 y 200 kg de K_2O ha^{-1} y con una dosis basal de P (120 kg ha^{-1} de P_2O_5), obtuvieron un aumento de la concentración de K en la biomasa de morera hasta 23,9 g kg^{-1} en el tratamiento con la mayor dosis de N y K_2O .

Tabla 24. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre la concentración de K en las hojas de morera (g kg⁻¹ MS).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)																			
	Época lluviosa 2008				Época poco lluviosa 2009				Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010								
	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	Factor A	F0	F1	F2	F0	F1	F2	Factor A					
Sin CeHMA	22,4	26,7	26,0	25,0b	23,8	25,4	24,8	24,7b	25,9ab	25,4b	26,4ab	24,4	25,5	25,2	25,0					
Con CeHMA	27,7	29,3	30,1	29,0a	27,8	28,0	27,9	27,9a	22,5c	26,5ab	28,8a	21,5	25,3	26,7	24,5					
Factor B	25,0b	28,0a	28,0a		25,8	26,7	26,4		(A x B) 0,09*			22,9b	25,4a	25,9a						
ES±	(A) 0,8**;				(B) 0,9*				(A) 1,0*;			(B) 1,2ns			(A) 0,06ns;			(B) 0,08*		
Medias época	27,03				26,28				25,92			24,77								
t	1,43ns								3,90**											
Medias año	26,66								25,34											
t	1,70ns																			

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). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ ns: no significativo. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

En el segundo año las mayores concentraciones de K en las hojas se observaron en los tratamientos fertilizados, independientemente del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA. Ello tiene su explicación en las diferencias de los acumulados estacionales y anuales de lluvias caídas entre los años 2009 (932,8 y 156,3 mm en las épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente) y 2010 (1 129,2 y 322,7 mm en las épocas lluviosa y poco lluviosa, respectivamente), que garantizaron, en condiciones de suficiencia de nutrientes en el suelo un incremento notable del rendimiento de forraje en el año 2010; pero quizás condicionaron un efecto de dilución del K, ya que las concentraciones de este elemento en las hojas no variaron de un año a otro.

Las diferencias entre las épocas fueron significativas en el segundo año, y los valores mayores se hallaron en la lluviosa; ello coincide con los resultados de Noda (2005) quienes encontraron valores de K en las hojas de morera de 21,0 y 21,2 g de K por kg en época lluviosa, y 14,0 y 11,2 g de K por kg en la época poco lluviosa.

4.2.5. Rendimiento de proteína en la biomasa comestible de morera

Se observó que tanto en la época lluviosa como en la poco lluviosa existió un efecto marcado de la interacción entre los factores sobre el rendimiento de proteína bruta (tabla 25).

En ambos años el efecto de la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilizantes (F1), originó rendimientos de proteína bruta que se ubicaron entre los mejores en todas las épocas del año.

En la época lluviosa los valores se duplicaron al emplear las dosis F1 como complemento de la canavalia intercalada e inoculada con HMA, comparado con el tratamiento con fertilización sola; y tanto en la época lluviosa como en la poco lluviosa existió una respuesta creciente, en los tratamientos sin canavalia, a las dosis de fertilización mineral. Ello coincide con lo planteado por Martín (2004) acerca de que el rendimiento de proteína aumenta con las dosis de fertilización nitrogenada.

Tabla 25. Efecto del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y de las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento estacional de la proteína bruta de morera, t ha⁻¹ en cada época (RPB).

CeHMA (A)	Dosis de fertilización (B)											
	Época lluviosa 2008			Época poco lluviosa 2009			Época lluviosa 2009			Época poco lluviosa 2010		
	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2	F0	F1	F2
Sin CeHMA	0,82b	0,99b	1,37a	0,29d	0,43b	0,50a	1,01e	1,24d	1,91b	0,38d	0,57b	0,68a
Con CeHMA	0,81b	1,54a	1,42a	0,37c	0,47ab	0,47ab	1,17d	2,10a	1,71c	0,47cd	0,61ab	0,54bc
ES(AxB)±	0,08**			0,02*			0,05***			0,03**		
Medias época	1,16			0,42			1,52			0,54		
t	6,96**						6,64**					
Medias año	0,79						1,03					
t	5,03**											

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). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$ *** $P < 0,001$. La comparación entre épocas y años, mediante prueba de muestras pareadas (valores de cada tratamiento en ambas épocas) y prueba de t correspondiente (Steel y Torrie, 1992). CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O).

A la vez permite demostrar que en las mismas condiciones donde el intercalamiento de canavalia inoculada con HMA garantiza producciones adecuadas de proteína, sin el empleo de ésta práctica de manejo se necesitaría aumentar las dosis de fertilizantes para alcanzar los mismos resultados.

En la época lluviosa se produjo el 74 % del rendimiento anual de proteína bruta y también fue significativamente mayor este indicador en el segundo año (período más lluvioso), comparado con el primer año. Ello demuestra la alta relación que existe entre el rendimiento de proteína bruta y la magnitud de las precipitaciones.

4.2.6. Extracción de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) por la biomasa comestible de morera

Se puede apreciar en la tabla 26 el efecto de los factores intercalamiento de canavalia inoculada con HMA y dosis de fertilización sobre la extracción de N a través de la biomasa comestible, con una interacción significativa entre los factores en los dos años evaluados. Los incrementos en las extracciones estuvieron asociados a los tratamientos con mayor aporte de nutrientes.

En el primer año, las extracciones de N aumentaron en los tratamientos con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con ambas dosis de fertilizantes y las dosis F2 en ausencia de canavalia. En el segundo año, los mejores tratamientos fueron canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis F1, y las dosis F2 en ausencia de canavalia.

Los resultados 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 cuanto a las extracciones de P_2O_5 (tabla 27), en el primer año no hubo efecto de la interacción entre los factores, ni del factor dosis de fertilización. El factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA condicionó diferencias significativas

entre los tratamientos a favor de la canavalia intercalada e inoculada con HMA. En el segundo año existió interacción entre los factores y los mejores tratamientos fueron canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con ambas dosis de fertilizantes, y las dosis F2 en ausencia de canavalia. Ello demostró la efectividad de la simbiosis micorrízica, que favoreció el acceso de las plantas a las fuentes de P disponibles en el suelo a través de su red de hifas.

En términos de extracción de K_2O (tabla 28) se encontró interacción entre los factores en estudio a favor de la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis F1 y F2, y de las dosis F2 en ausencia de canavalia intercalada e inoculada con HMA. Las variaciones entre los años significaron un incremento de aproximadamente 40 % en el segundo año, lo cual parece estar asociado con las mayores precipitaciones.

Las mayores extracciones de K_2O se relacionaron de manera directa con el aumento de la biomasa y la distribución de las raíces de morera (figura 11). En tal sentido, el intercalamiento de canavalia inoculada con HMA jugó 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 y col., 2002).

Los resultados evidenciaron la conveniencia de intercalar canavalia inoculada con HMA, complementada con dosis de fertilización media (F1), pues el volumen de N, P_2O_5 y K_2O exportado en esta condición no difirió de la dosis máxima, y significó una mayor eficiencia de la fertilización.

Al ser elevadas las exportaciones de K_2O y bajas las concentraciones de K intercambiable iniciales del experimento, en la profundidad de 0-20 cm en el suelo ($0,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), se infiere que esta forma de K no es la fundamental para garantizar la nutrición de la morera en estas condiciones.

Tabla 26. 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) \pm	9,94**			6,30***		

Tabla 27. Extracción de P_2O_5 a través de la biomasa comestible de morera (kg ha^{-1} de P_2O_5) 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	Factor A	F0	F1	F2
Sin CeHMA	27,51	25,85	34,65	29,34b	41,37c	39,16c	59,88a
Con CeHMA	37,62	54,12	53,54	48,43a	51,33b	57,69a	55,30ab
Factor B	32,57	39,98	44,09		(A x B) 1,88***		
ES \pm	(HMA) 2,97*** ; (F) 3,64ns						

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) \pm 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. CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O).

Tabla 28. 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 \pm (AxB)	16,15*			21,64**		

Letras distintas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan (1955). ES (A x B) \pm indica el error estándar de la interacción entre los factores: A (factor intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, B (factor dosis de fertilización). * $P < 0,05$ ** $P < 0,01$. CeHMA (canavalia intercalada e inoculada con HMA); F0 (sin aplicación de fertilizantes); F1 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 100, 50, 50 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O); F2 (aplicación de fertilizantes minerales a razón de 200, 100, 100 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O).

Por esa razón, resultaría significativo profundizar en la presente investigación (a corto plazo) y en futuros estudios (a mediano y a largo plazo) acerca de la participación de las formas de K en el suelo en la nutrición de la morera.

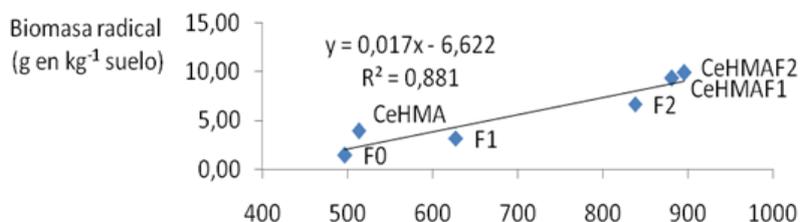


Figura 11. Relación entre la extracción de K en la biomasa comestible (acumulado de dos años) y la producción de raíces de la morera entre 0 y 80 cm de profundidad, al final del experimento. Se utilizaron seis pares de datos.

Las altas extracciones de N y K₂O a través de la biomasa comestible de morera en todas las condiciones evaluadas se corresponden con los informes de la literatura internacional sobre este cultivo, pues según Ito y Takagishi (1997) a través de las hojas de morera son exportados 206, 41 y 192 kg ha⁻¹ por año de N, P₂O₅ y K₂O, y ello es un indicador del alto consumo a expensas de las dosis de fertilizantes y de las reservas del suelo.

Las extracciones de P₂O₅ fueron inferiores a los aportes al suelo a través de la fertilización; lo que indica la posibilidad de reducir las dosis a aplicar, y coincide con los resultados de Shivaprakash y col. (2000), quienes observaron que la cantidad total de P₂O₅ removido a través de la biomasa comestible de morera varió entre 42,28 y 60,32 kg ha⁻¹ por año; resultaron menores las cantidades exportadas que las incorporadas a través de la fertilización que fue de 120 kg ha⁻¹ P₂O₅ por año.

4.2.7. Balance de aportes, extracciones, y concentraciones de MO, P y K del suelo

A partir de las dosis de fertilizantes utilizadas y las extracciones (tablas 26 y 28), los balances tanto del N como de K₂O mostraron una alta participación de los nutrientes del suelo (tabla 29).

Tabla 29. Balance del N y del K₂O en base a exportaciones y aportes de los fertilizantes y del suelo en los tratamientos más productivos.

Tratamientos	RMS BC	K ₂ O			N		
		Exportaciones en la biomasa	Aportes		Exportaciones en la biomasa	Aportes	
	FM		suelo	FM		suelo	
	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
F1	21,35	611,5	200	411,5	516,0	400	116
CeHMAF1	28,8	880,9	200	680,9	744,5	400	344,5
F2	28,4	864,6	400	464,6	712,0	800	-88,0
CeHMAF2	27,93	926,9	400	526,9	697,8	800	-102,0

En relación con el K intercambiable, las concentraciones al inicio (tabla 1) y al final del experimento fueron similares (figura 12), lo cual indica que esta forma de K no fue la que garantizó el suplemento de K a las plantas. Lo anterior no debe ser una conducta general, y pudo ser una consecuencia de los valores bajos de K intercambiable al inicio del experimento.

Obsérvese que no existieron variaciones del K_i por efecto de la profundidad en el perfil del suelo, ni de los tratamientos. Ello indica que los aumentos en la concentración de K en las hojas de la morera, particularmente en los tratamientos con las dosis más alta de fertilización mineral y con la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilizante, estuvieron relacionados con una mayor eficiencia de absorción del K, lo cual fue demostrado para el caso de los HMA por Riera (2002).

Según Gommers y col. (2005), cuando los mecanismos que controlan la absorción del K por las plantas son eficientes, principalmente 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 otras formas del K intercambiable. De acuerdo con lo señalado por Rosolem y Nakagawa (1985), Rosolem y col. (1993), Calonego y col. (2005), Kaminski y col. (2007) y Simonsson y col. (2007), independientemente de que la fertilización con K sea balanceada, el K que se libera de los residuos orgánicos y el K no intercambiable es movilizado hacia las formas disponibles, lo cual contribuye a la nutrición de las plantas a corto, mediano o largo

plazo. De ahí que en los suelos tropicales se mantengan en equilibrio los niveles de K intercambiable independientemente del tipo de suelo (Rosolem y col., 1993).

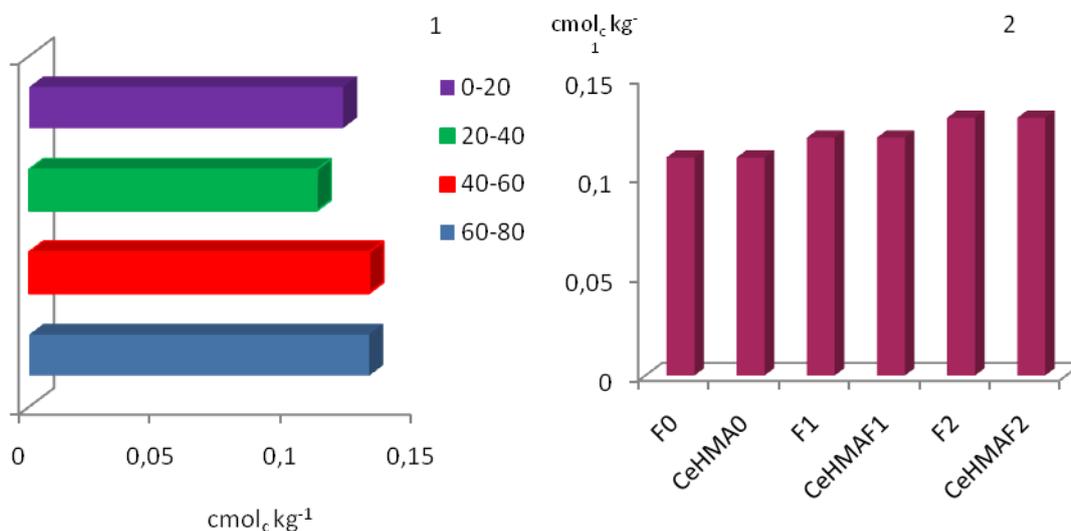


Figura 12. Concentración de K intercambiable (Ki) en el perfil del suelo al finalizar el experimento. La interacción A x B fue ns.1: Efecto de la profundidad ES (A) $\pm 0,004$ ns. 2: Efecto de los tratamientos ES (B) $\pm 0,004$ ns.

La absorción de K por las plantas está relacionada directamente con el contenido y la calidad de la arcilla en el suelo, pero 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 y col., 2010).

El efecto de los tratamientos sobre las concentraciones de K difícilmente intercambiable (Kdi) en las diferentes profundidades (figura 13) 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.

La información existente sobre concentraciones de Kdi en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (González, 2014), ha indicado no solo valores superiores en las primeras profundidades (0-20 cm), de $0,52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ al cabo de seis años en una plantación de brachiaria, sino también que las concentraciones disminuyen con la profundidad.

El comportamiento totalmente diferente que se observó en unión de los valores bajos de Kdi que fueron detectados en los primeros 60 cm y la necesaria alta participación del K del suelo en la nutrición de la morera (tabla 29), sugieren que esta planta en cualquiera de los tratamientos estuvo tomando activamente esta forma de K.

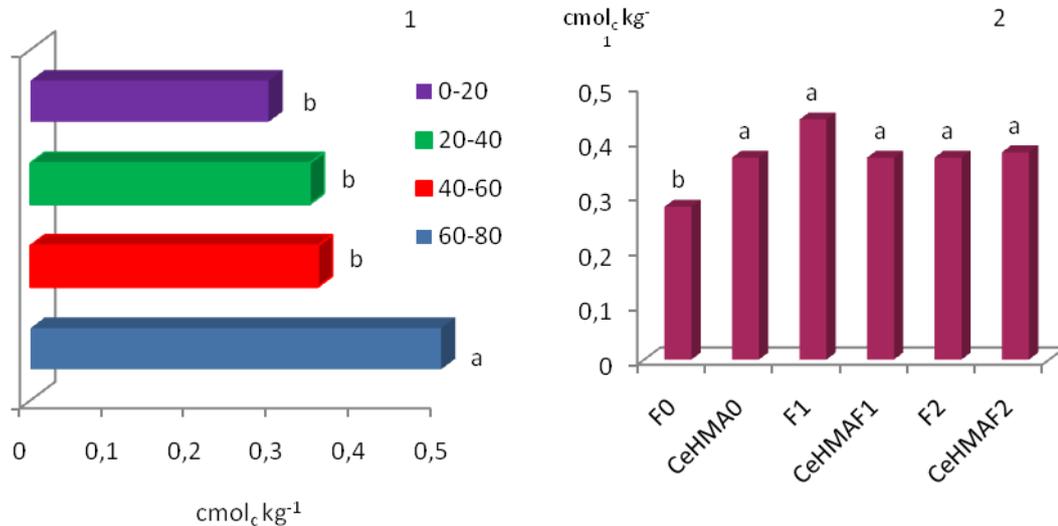


Figura 13. Concentración de K difícilmente intercambiable (Kdi) en el perfil del suelo al finalizar el experimento. La interacción A x B fue ns. 1: Efecto de la profundidad ES (A) $\pm 0,02^{***}$. 2: Efecto de los tratamientos ES (B) $\pm 0,03^{**}$. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan.

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 el tipo de planta es decisivo para lograr esta participación aun en suelos caolíníficos (Kaminsky y col., 2010; Rosolem y col., 2012), y a tales efectos se reporta la habilidad de varias especies del género *Brachiaria*.

En los suelos cultivados con *brachiaria* se produce el agotamiento del K, tanto en las formas intercambiables como no intercambiables, y dicha disminución ocurre en virtud de una elevada acumulación de K por las plantas (Moody y Bell, 2006).

Simonete y col. (2002) estimaron que en el cultivo de *Oryza sativa* (arroz) la contribución del K no intercambiable representó el 30 % del K acumulado por las plantas; mientras que Fraga y col. (2009) verificaron 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 en el primer cultivo, respectivamente. Por su parte, Silva y col. (1995) y Rosolem y col. (1993) constataron que el K no intercambiable fue la principal fuente de K para el cultivo de la soja, independientemente del tipo de suelo.

González (2014), en presencia de la dosis óptima de fertilización potásica y en un suelo del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado, también reportó una alta participación de las formas no intercambiables de K en la nutrición de dos especies de brachiaria, del orden de 45 a 55 %.

Los resultados del presente estudio indican que en el cultivo de la morera también se presentó este fenómeno, y conlleva la necesidad de incluir la determinación y el seguimiento de estas formas de K en el suelo con vistas a su utilización racional y a la definición de los esquemas de suministro de este nutriente y de los índices críticos en el suelo.

Se encontró también en el tratamiento de CeHMAF1 una participación importante del N del suelo (tabla 29), y esto se puede explicar en función de las altas concentraciones iniciales de MO (tabla 1) en el experimento. En los tratamientos con las dosis superior F2, los balances en el suelo resultaron positivos.

En tal sentido, la concentración de MO (figura 14) respondió a un efecto significativo de la interacción entre la profundidad del suelo y los tratamientos evaluados.

Tendió a ser mayor en la capa de 0-20 cm y disminuyó gradualmente hasta la profundidad de 60-80 cm; lo cual coincide con los resultados de Hernández y Morales (2002) quienes observaron en tres condiciones distintas de uso de la tierra que la MO disminuyó de 3 % entre 0 y 20 cm de profundidad del suelo hasta valores cercanos y menores a 1 % entre 60 y 100 cm.

Los valores más elevados se correspondieron con el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilizantes, en el estrato de 20 cm; y como tendencia, en este tratamiento y en los

asociados con las dosis máxima de fertilización existieron mayores concentraciones de MO desde 0 cm hasta 80 cm de profundidad del suelo. Ello es expresión de una estrecha relación suelo-planta en que la estimulación de la actividad biológica del suelo a través de la inoculación de HMA y el suministro de nutrientes vía fertilizantes minerales debieron revertirse en una mejor respuesta agroproductiva, lo cual fue sugerido por Netto (2008).

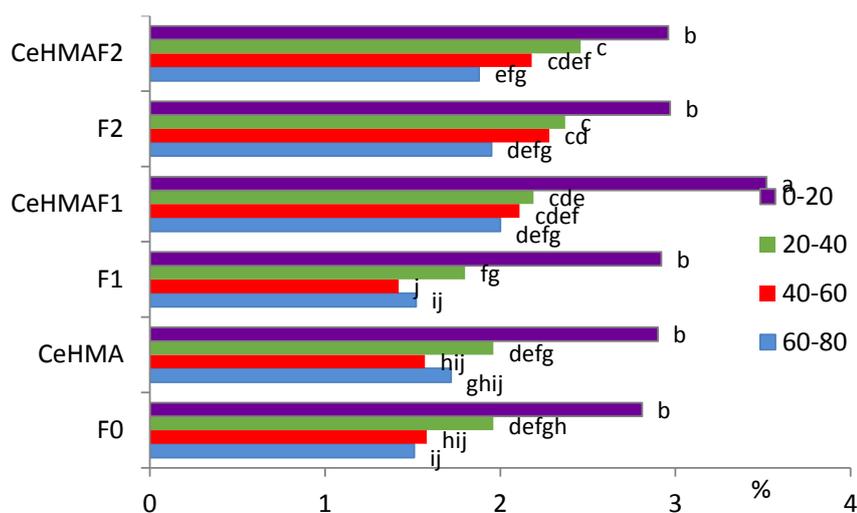


Figura 14. Concentración de materia orgánica (MO) en el perfil del suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan. $ES (A \times B) \pm 0,01^*$ indica el error estándar de la interacción entre la profundidad en el suelo y los tratamientos evaluados.

La concentración de P disponible en el suelo fue mayor en el estrato de 0-20 cm (figura 15). Ello estuvo asociado a las mayores concentraciones de MO en las capas más cercanas a la superficie y a los aportes de P_2O_5 realizados a través de la fertilización mineral, en cuyos tratamientos también fueron mayores los valores promedios de P disponible entre 0 cm y 80 cm de profundidad del suelo.

En el perfil del suelo el P disponible fue mayor en los tratamientos con dosis máxima de fertilizantes minerales, pero no se diferenció entre los tratamientos sin fertilización y con dosis intermedias de fertilizantes minerales; para estos casos (con aplicaciones

entre 0 y 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ por año) se corroboraron los resultados de Ram Rao y col., (2007) referidos a la disminución de la fertilización fosfórica en el cultivo de morera no afecta el estatus nutricional del suelo.

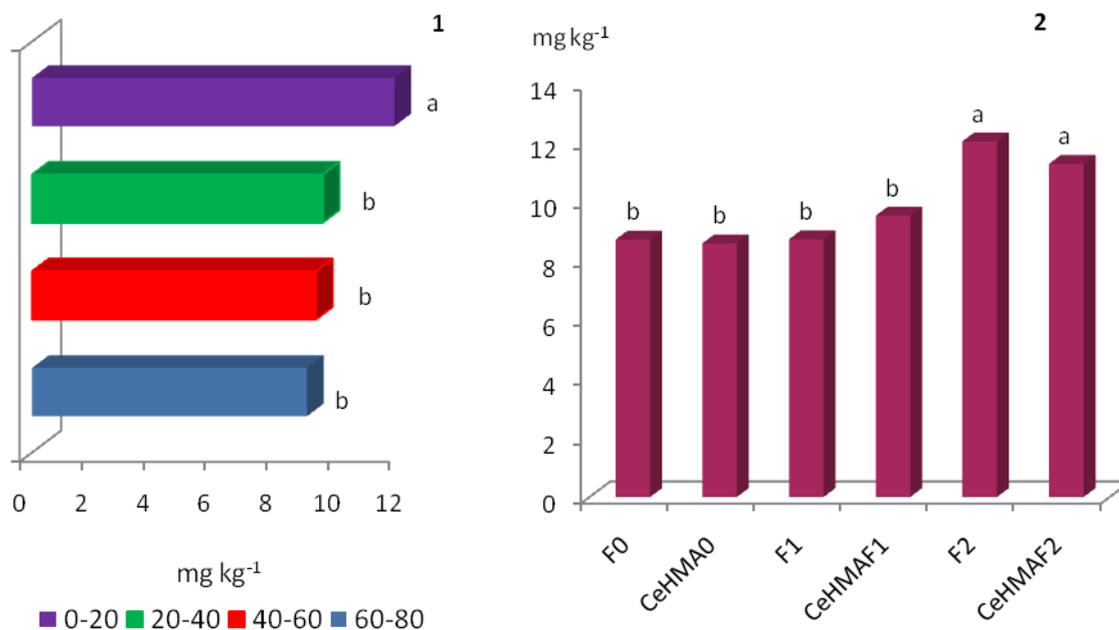


Figura 15. Concentración de P en el perfil del suelo. Letras diferentes indican diferencias significativas $P \leq 0,05$ según Duncan. *** $P < 0,001$ 1: Efecto de la profundidad ES (A) $\pm 0,36^{***}$. 2: Efecto de los tratamientos ES (B) $\pm 0,19^{**}$.

4.2.8. Consideraciones parciales

La producción de biomasa comestible respondió significativamente a la fertilización mineral y al intercalamiento de la canavalia inoculada con HMA, y resultó significativo el término de interacción en ambos años, de forma tal que la combinación de la dosis intermedia de fertilización en presencia de la canavalia inoculada garantizó siempre los mayores rendimientos de biomasa comestible en la época lluviosa y de proteína en ambas épocas. Estos fueron significativamente superiores a los del tratamiento que solo recibió la dosis intermedia y respecto a aquellos que no recibieron fertilizantes, a la vez, fueron similares a los alcanzados en los tratamientos con la mayor dosis de fertilización. El aporte de biomasa y de macronutrientes primarios que hizo la canavalia al sistema fue menor de 1 t ha⁻¹, valor que resulta bajo respecto a cuándo se utiliza este cultivo como precedente. Sin embargo, los resultados obtenidos demostraron que la práctica de

manejo con la canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilizantes contribuyó a la disminución de las dosis de fertilizantes necesarias para que la morera alcance altos rendimientos; y los beneficios estuvieron asociados con el manejo conjunto de los inoculantes micorrízicos y la canavalia, que garantizó el funcionamiento micorrízico de la plantación de morera.

En la época lluviosa la morera respondió de manera estable en términos de producción de biomasa comestible, a través de los cortes cada 90 días, al tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con fertilización mineral.

De manera general, los rendimientos de biomasa comestible y de proteína bruta de morera fueron superiores en este experimento con respecto a los del primer experimento, así como también las concentraciones de N y K foliar.

El tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA en presencia de la dosis intermedia de fertilización garantizó valores altos de K en la biomasa comestible, del orden de 25,5 g kg⁻¹, similares a los obtenidos con los tratamientos que recibieron la mayor dosis de fertilización y superiores respecto a los restantes.

La participación de las formas no intercambiables de K en el suelo fue alta, y estuvo asociada con las concentraciones bajas de K intercambiable que no variaron a lo largo del experimento y, por tanto, prácticamente no existió participación de esta forma.

Si bien las dosis de fertilizante potásico utilizadas debieron haber sido mayores, ello no parece restar posibilidad a la morera para que utilice estas formas de K en su nutrición. Sobre este aspecto no se encontraron reportes publicados; por lo que resultaría necesario profundizar 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, no solo para mantener la fertilidad del suelo, sino para aprovechar conscientemente y de forma racional esta característica que presenta la morera.

4.3 Análisis económico

El análisis de la dimensión económica de las prácticas de manejo agronómico evaluadas permitió llegar a consideraciones acertadas y económicamente viables ya que quedaron establecidos los gastos incurridos en dichas prácticas de manejo de la nutrición, así como el costo de utilización de insumos para producir forraje de morera y el impacto económico por la sustitución de alimento concentrado comercial para la ceba de ganado porcino en los tratamientos más productivos.

Se consideró que el cultivo de morera manejado con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con 100, 50 y 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respondió a las demandas tecnológicas para la alimentación animal en Cuba, ya que garantizó la mayor producción de forraje y de proteína bruta. Para cultivar una hectárea como forraje se requirieron los mayores gastos (tabla 30) en los tratamientos más productivos. Sin embargo, estos alcanzaron una mayor eficiencia en la utilización de los insumos (tabla 31), tanto el costo de utilización de los fertilizantes como el costo total fueron menores.

El manejo con canavalia intercalada e inoculada con HMA, complementada con 100, 50 y 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O por época, resultó ser la práctica de manejo agronómico más factible económicamente (tabla 31).

En términos de sustitución de alimento concentrado comercial por el uso de forraje de morera (tabla 31), los resultados indicaron la superioridad del tratamiento con canavalia inoculada e intercalada, complementada con las dosis intermedias de fertilizante, pues se lograría sustituir con la biomasa producida en una hectárea de morera, 11,8 t de alimento concentrado comercial con un ahorro económico apreciable.

Tabla 30. Rendimiento de forraje y proteína de la biomasa comestible ($t\ ha^{-1}$ por año) y gastos incurridos para la producción de una hectárea de morera ($CUP\ ha^{-1}$).

Año	Prácticas de manejo de la nutrición	RMSBC	RPB	PB (%)	Gastos por fertilizante	Gastos por insumos	Gastos por uso de mano de obra	Gastos totales
1	F0	7,6	1,1	14,6	0,0	0,0	2916,1	2916,1
1	CeHMA F0	8,1	1,2	14,6	0,0	982,0	2723,3	3705,3
1	F1	9,4	1,4	15,1	1652,2	1652,2	3012,5	4664,7
1	CeHMA F1	12,2	2,0	16,5	1652,2	2634,2	2819,7	5453,9
1	F2	11,9	1,9	15,7	3304,4	3304,4	3012,5	6316,9
1	CeHMA F2	11,8	1,9	16,0	3304,4	4286,4	2819,7	7106,1
2	F0	9,7	1,4	14,3	0,0	0,0	2916,1	2916,1
2	CeHMA F0	11,4	1,6	14,4	0,0	982,0	2723,3	3705,3
2	F1	12,0	1,8	15,1	1652,2	1652,2	3012,5	4664,7
2	CeHMA F1	16,7	2,7	16,3	1652,2	2634,2	2819,7	5453,9
2	F2	16,5	2,6	15,7	3304,4	3304,4	3012,5	6316,9
2	CeHMA F2	16,1	2,3	14,0	3304,4	4286,4	2819,7	7106,1

Tabla 31. Costo de utilización de insumos y beneficio económico por la sustitución de alimentos concentrados comerciales para ganado porcino en los tratamientos más productivos.

Tratamiento	RTOBC	PBBC	Costo del fertilizante por unidad de forraje (CUP Kg ⁻¹)		Costo total por unidad de forraje (CUP Kg ⁻¹)		Sustitución de alimento concentrado comercial		
			RMSBC	RPB	RMSBC	RPB	(ton)	(CUP)	Beneficio económico (CUP)
	t ha ⁻¹								
F1	10,7	1,6	0,2	1,0	0,4	2,9	8,1	6 193,5	1 528,8
CeHMAF1	14,4	2,4	0,1	0,7	0,4	2,3	11,8	9 050,6	3 596,7
F2	14,2	2,2	0,2	1,5	0,4	2,8	11,2	8 552,1	2 235,2
CeHMAF2	14,0	2,1	0,2	1,6	0,5	3,4	10,4	7 938,5	832,4

RMSBC: Rendimiento de biomasa seca comestible de morera; RPB: Rendimiento de proteína en la biomasa comestible de morera. La sustitución de alimento concentrado comercial se realizó en base al rendimiento en proteína bruta de cada tratamiento y considerando una concentración de 200 g kg⁻¹ de PB en el alimento concentrado comercial de producción nacional.

Conclusiones

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La productividad forrajera de *M. alba* (L.) en condiciones de secano depende de la época del año, la disponibilidad de nutrientes, la magnitud de las precipitaciones y el intervalo de corte.
2. El intercalamiento de canavalia inoculada con HMA, complementada con las dosis intermedias de fertilizantes minerales y con intervalos de corte de 90 días en la morera, garantiza en la biomasa comestible rendimientos estables, mayores contenidos de proteína bruta y mejores índices económicos.
3. El intercalamiento de la canavalia inoculada con una cepa eficiente de HMA resulta una vía efectiva para incrementar el funcionamiento micorrízico de la plantación de morera y reduce las cantidades de fertilizantes minerales.
4. Los altos rendimiento de forraje de la morera se realizan a partir de altas extracciones de N y K.
5. En la nutrición de la morera, las formas de K difícilmente intercambiables en el suelo tienen una contribución significativa.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. Validar, en escenarios productivos ubicados sobre suelos ferralíticos rojos, la plantación de morera intercalada de canavalia inoculada con HMA, complementada con fertilizantes minerales y con intervalo de corte de 90 días.
2. Realizar estudios que profundicen en el fraccionamiento del fertilizante nitrogenado, así como en la participación del K en la nutrición de la morera a mediano y largo plazo.
3. Sugerir que la tesis sea utilizada como material de consulta por estudiantes de pregrado y posgrado, así como por los especialistas y técnicos encargados del cultivo de la morera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Aldana, J. A. Evaluación de la harina de morera (*Morus alba*) en la dieta para la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*). En: América Hidalgo Campos, comp. *Resúmenes analíticos de los proyectos de graduación 2003-2007*. Costa Rica: EARTH. p. 188, 2008.
- 2 Almaguel, R.E., Mederos, Carmen María, Cruz, Elizabeth, Piloto, J.L., Camino, Yusimy. 2010. Utilización de piensos iniciadores cubano en la alimentación de cerditos hasta los 75 días de edad. REDVET, 11(4):1-18. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030310/031012.pdf>. [Consulta: 6 de junio de 2012].
- 3 Almeida, J. E. de y Fonseca, Tamara. Mulberry germplasm and cultivation in Brazil. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production Health No. 147. p. 73-95, 2002.
- 4 Araújo, A. P. y Machado, C. T. T. Fósforo. In: M. S. Fernandes, ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 253-280, 2006.
- 5 Baqual, M. F.; Das, P. K. y Katiyar, R. S. Influence of co-inoculation with microbial consortium on mulberry (*Morus spp.*). *Indian J. Sericulture*. 44 (2):175-178, 2005.
- 6 Barrios, E.; Mahuku, G.; Navia, J.; Cortés, L.; Asakawa, N.; Jara, C. *et al.* *Green manure impact on nematodes, arbuscular mycorrhizal and pathogenic fungi in tropical soils planted to common beans*. 18th World Congress of Soil Science Philadelphia. USA. p. 166-190, 2006.
- 7 Baterman, J. V. *Nutrición animal. Manual de métodos analíticos*. México: Herrero Hermanos, Sucesores, S. A. 468 p., 1970.

- 8 Becerra, Alejandra G.; Arrigo, Nilda M.; Bartoloni, N.; Domínguez, Laura S. y Cofré, María N. Arbuscular mycorrhizal colonization of *Alnus acuminata* Kunth in northwestern Argentina in relation to season and soil parameters. *Ci. Suelo (Argentina)*. 25 (1):7-13, 2007.
- 9 Bello, R.; García, Mary D.; Martínez, Vivian y Abeledo, C. Efecto de dos abonos orgánicos en el cultivo de la morera (*Morus alba*). *Rev. Comput. Prod. Porc.* 18 (3):203-206, 2011.
- 10 Benavides, J. E. La investigación en árboles forrajeros. En: J. E. Benavides, comp. y ed. *Árboles y arbustos forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Vol. 1. p. 3-21, 1994.
- 11 Benavides, J.E. La morera, un forraje de alto valor nutritivo para la alimentación animal en el trópico. *Pastos y Forrajes*. 23 (1):1-11, 2000.
- 12 Benavides, J. E. Manejo y utilización de la morera (*Morus alba*) como forraje. *Agroforestería en las Américas*. 2 (7):27-30, 1996.
- 13 Benavides, J. E. Utilización de la morera en sistemas de producción animal. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Roma: FAO. p. 275-294, 1999.
- 14 Benavides, J. E.; Lachaux, M. y Fuentes, M. Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de morera (*Morus* sp.). En: J. E. Benavides, comp. y ed. *Árboles y arbustos forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Vol. 2. p. 495-514, 1994.
- 15 Benett, C. G. S. *Produtividade e composição bromatológica do capim marandu a fontes e doses de nitrogênio*. Dissertação (mestrado) Sao Paulo, Brasil: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 48 p., 2007.
- 16 Beyra, Ángela; Reyes, Grisel; Hernández, Laura y Herrera, P. Revisión

taxonómica del género *Canavalia* DC. (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fís. Nat.* (107):157-175, 2004.

17 Black, C. A. *Soil-plant relationships*. 2 ed. New York: Wiley. 762 p., 1968.

18 Boschini, C. Establishment and management of mulberry for intensive forage production. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production Health No. 147. p. 115-124, 2002.

19 Boschini, C.; Dormond, H. y Castro, A. Composición química de la morera (*Morus alba*), para uso en la alimentación animal: densidades y frecuencias de poda. *Agronomía Mesoamericana*. 11 (1):41-49, 2000.

20 Boschini, C.; Dormond, H. y Castro, A. Respuesta de la morera (*Morus alba*) a la fertilización nitrogenada, densidades de siembra y a la defoliación. *Agronomía Mesoamericana*. 10 (2):7-16, 1999.

21 Boschini, C. y Vargas, C.F. Rendimiento y calidad de la morera (*Morus alba*) fertilizada con nitrógeno, fósforo y potasio. *Agronomía Mesoamericana*. 20 (2):285-296, 2009.

22 Bot, Alexandra y Benites, J. *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food and production*. Rome: FAO. 71 p., 2005.

23 Buhman, C. K-fixing phyllosilicates in soils, the role of in herieted components. *J. Soil Sci.* 44:347-360, 1993.

24 Bunch, R. *El uso de los abonos verdes/cultivos de cobertura alrededor del mundo*. Tegucigalpa. Boletín "Cosecha" No. 2, 2000.

25 Calonego, J.; Foloni, J. S. S. y Rosolem, C. A. Potassium leaching from plant cover straw at different senescence stages after chemical desiccation. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 29:99-108, 2005.

26 Cancio, R. *El Servicio Agroquímico*. La Habana: Dirección General de Suelos y

Fertilizantes, MINAG. 17 p., 1982.

27 Chen, F.; Lu, J.; Zhang, M.; Wan, K. y Liu, D. Mulberry nutrient management for silk production in Hubei province of China. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172 (2):245-253, 2009.

28 CIAT. *Improve soil productivity with canavalia*. Uganda: CIAT. http://ppathw3.cals.cornell.edu/mba_project/CIEPCA/exmats/canavalia.html. [23/12/2005], 2001.

29 CIDICCO. *Canavalia (Canavalia ensiformis)*. http://www.cidicco.hn/especies_av_cc.htm. [23/12/2005], 2004.

30 Cifuentes, C. A. y Kee Wook, S. *Manual técnico de Sericultura: Cultivo de la morera y cría del gusano de seda en el trópico*. Colombia: Convenio SENA-CDTS. 438 p., 1998.

31 Costa, Katia A. de P.; Faquin, V.; Oliveira, I. P. de; Severiano, E. C.; Simon, G. A. y Carrijo, M. S. Extração de nutrientes pela fitomassa do capim-marandu sob doses e fontes de nitrogênio. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 10 (4):801-812, 2009.

32 Costa, Katia A. de P.; Oliveira, I. P. de; Faquin, V.; Figueiredo, F. C.; Rodrigues, C. R. y Nascimento, Priscila P. Adubação nitrogenada e potássica na concentração de nutrientes do capim-xaraés. *Ci. Anim. Bras.* 9:86-92, 2008.

33 Crespo, M. *Características agronómicas, composición química y selectividad ingestiva por ganado ovino de tres leguminosas arbustivas: Cratylia argentea (Desv.) Kuntze, Calliandra calothyrsus Meisn. y Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit*. Tesis presentada en opción al título de Maestro en Ciencias. Mención Industria pecuaria. Mayagüez, Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico. 72 p., 2007.

34 Das, P. K.; Katiyar, R. S.; Gowda, M. H.; Fathima, P. S. y Choudhury, P. C. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal inoculation on growth and development of

mulberry (*Morus* spp.) saplings. *Indian J. Sericulture*. 34 (1):15, 1995.

35 Datta, R. K. Mulberry cultivation and utilization in India. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health No.147. p. 45-62, 2002.

36 Delgado, María J. y Rodríguez, C. E. Producción y valor nutricional del cultivo de morera (*Morus alba* L.) con intercalamiento de leguminosas. *Ciencia y Agricultura*. 9 (2):7-14, 2012.

37 Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. *InfoStat, versión 2008*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, 2008.

38 Díaz, Maykelis; Pérez, Y.; Cazaña, Yanet; Prieto, Marlene; Wencomo, Hilda y Lugo, Yudit Determinación de antioxidantes enzimáticos en variedades e híbridos de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 33 (3):301-310, 2010.

39 Díaz, Maykelis; Pérez, Y.; Cazaña, Yanet; Valdivia, Aymara; López, O.; Prieto, Marlene *et al.* Study of the anti-inflammatory activity of *Morus alba* cv. tigreada extracts. *Avances en Biotecnología Moderna*. S8:15, 2011.

40 Dingle, J. G.; Hassan, E.; Gupta, M.; George, D.; Anota, L. y Begum, H. *Silk production in Australia*. Barton, ACT, Australia: Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No 05/145 RIRDC Project No. UQ-96A. 105 p., 2005.

41 Domínguez, A.; Telles, Enidia y Revilla, J. Comportamiento inicial de dos especies de morera en fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes*. 24 (3):203-208, 2001.

42 Domínguez, R. A. *Evaluación agronómica de la morera (Morus alba) como alternativa forrajera para Yucatán*. Tesis de Maestro en Ciencias. Conkal, México: Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. 52 p., 2002.

- 43 Duncan, D. B. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11:1-42, 1955.
- 44 Ednilson, J.; Aparecida, Gisele y Takahashi, R. Produção e qualidade de folhas de amoreira em função da época do ano e de colheita. *Scientia Agricola*. 59 (3):499-504, 2002.
- 45 Elfstrand, Sara; Hedlund, Katarina y Martensson, Anna. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. *Appl. Soil Ecol*. 35:610-621, 2007.
- 46 Elizondo, J. A. Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoamericana*. 18 (2):255-261, 2007.
- 47 Elizondo, J. A. Respuesta de la morera (*Morus alba*) a niveles crecientes de nitrógeno orgánico. *Pastos y Forrajes*. 33 (3):275-284, 2010.
- 48 Entry, I. A.; Rygielwicz, P. T.; Watrud, L. S. y Donnelly, P. K. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Adv. Environ. Res*. 7:123-138, 2002.
- 49 Espíndola, J. A. A.; Almeida, D. L. de; Guerra, J. G. M.; Silva, Eliane M. R. da y Souza, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce 1. *Pesq. Agropec. Bras*. 33 (3):339-347, 1998.
- 50 Espíndola, J. A. A.; Guerra, J. G. M. y Almeida, D. L. de. *Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável*. Seropédica, Brasil: Embrapa Agrobiologia. 20 p., 1997.
- 51 Espinosa, E. y Benavides, J. E. Efecto del sitio y la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad del forraje de tres variedades de morera (*Morus alba*, L.). *Agroforestería en las Américas*. 3 (11-12):24-27, 1996.
- 52 Ezawa, T.; Cavagnaro, T. R.; Smith, S. E.; Smith, F. A. y Ohtomo, R. Rapid accumulation of polyphosphate in extraradical hyphae of an arbuscular mycorrhizal

fungus as revealed by histochemistry and a polyphosphate kinase/luciferase system. *New Phytol.* 161:387-392, 2004.

53 Fabricio, J. A. *Produtividade e composição bromatológica do capim-Tobiatã em função da adubação NPK*. Dissertação (mestrado). Sao Paulo, Brasil: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 56 p., 2007.

54 FAO. *World reference base for soils resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Rome: FAO. World Soil Resources Reports 106. 191 p., 2014.

55 Fernandes, M. S. (Ed.). *Nutricao mineral de plantas*. Vicosa, MG, Brasil: Sociedades Brasileira de Ciencia do Solo. 432 p., 2006.

56 Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; Martínez, M. A.; Noval, Blanca de la y Rivera, R. *Producto inoculante micorrizógeno*. La Habana: Oficina Cubana de Propiedad Industrial. Certificado No. 22641, 2000.

57 Fraga, T.I.; Genro Junior, S.A.; Inda, A.V. y Anghinoni, I. Suprimento de potássio e mineralogía de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. R. Bras. Ci. Solo, 33:497-506, 2009.

58 García, D. E. *Efecto de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de Morus alba (Linn)*. Tesis presentada en opción al título de Master en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". 120 p., 2003.

59 García, D. E.; Medina, María G.; Moratinos, P.; Cova, L. J.; Perdomo, D. A. y Clavero, T. Influencia de la variedad, la frecuencia de corte y la fertilización en el rendimiento de proteína verdadera de morera en el estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28:503-522, 2011a.

60 García, D. E.; Medina, María G.; Perdomo, D. A.; Moratinos, P.; Cova, L. J. y Clavero, T. Efecto de algunos factores que influyen en el rendimiento de proteína bruta

de la morera (*Morus alba* L.) en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 29 (4):411-420, 2011b.

61 García, F. Evaluación agronómica de la morera (*Morus alba* cv. cubana) en suelo Ferralítico Rojo típico. Tesis presentada en opción al título de Master en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". 70 p., 2004.

62 García, M. *Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 100 p., 1997.

63 García, M.; Villalobos, M. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R. y Boddey, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N - isotope techniques. *J. Biotechnol.* 91:105-115, 2001.

64 García, Milagros. *Influencia de la Canavalia ensiformis (L) D. inoculada con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en un sistema de manejo para el cultivo de tabaco negro*. Tesis presentada en opción al título académico de Maestro en Ciencias del Suelo. San José de las Lajas, Cuba: Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana. 95 p., 2014.

65 García-Soldevilla, F. y Fernández, R. Influencia de la frecuencia de poda y la época sobre los rendimientos de biomasa de la morera (*Morus alba*). En: Milagros Milera, ed. *Morera. Un nuevo forraje para la alimentación del ganado*. Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". p. 135-144, 2011.

66 Gerdemann, J. W. y Nicholson, T. H. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *T. Brit. Mycol. Soc.* 46:235-244, 1963.

67 Gommers, A.; Thiry, Y. y Delvaux, B. Rhizospheric mobilization and plant

uptake of radiocesium from weathered soils: I. Influence of potassium depletion. *J. Environ. Qual.* 34 (6):2167-2173, 2005.

68 Gong, L.; Ren, D. J. y Wang, Y. Studies on the solar energy utilization of mulberry fields with different planting densities. *Sericologia.* 35 (3):497-505, 1995.

69 González, E. y Cáceres, O. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. En: Milagros Milera, ed. *Morera. Un nuevo forraje para la alimentación del ganado.* Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". p. 199-207, 2011.

70 González, E.; Martín, G. J.; Albanell, E.; Caja, G. y Rosas, N. 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, ed. *Morera. Un nuevo forraje para la alimentación del ganado.* Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". p. 152-158, 2011.

71 González, H. y Cantú, I. *Drought adaptation in native woody species with silvopastoral potential in Northeastern México.* International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress and Livestock Production in Latin America. (M. Ibrahim, comp.). San José, Costa Rica: CATIE. p. 207-212, 2001.

72 González, Niurca; Galindo, Juana; Aldana, Ana. I.; Moreira, Onidia y Sarduy, Lucía. Effect of four mulberry (*Morus alba* Linn.) varieties on microbial population and fermentative products with rumen liquid from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) under *in vitro* conditions. *Cuban J. Agric. Sci.* 45 (4):23-28, 2011.

73 González, P. J. *Fertilización orgánica y mineral para la producción de semillas de canavalia y maíz en una secuencia de cultivos.* Tesis en opción al grado de Master en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba. EEPF "Indio Hatuey", Universidad de Matanzas. 102 p., 2002.

74 González, P. J. *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. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 167 p., 2014.

75 Göransson, P.; Olsson, P. A.; Postma, J. y Falkengren-Grerup, U. Colonization by arbuscular mycorrhizal and fine endophytic fungi in four woodland grasses variations in relation to pH and aluminium. *Soil Biol. Biochem.* 40:2260-2265, 2008.

76 Goulding, K. W. T. *Potassium fixation and release*. Proceeding of the 20th Colloquium of International Potash Institute. Baden bei Wien, Austria: International Potash Institute. p. 137-154, 1987.

77 Gryndler, M.; Hršelová, Hana; Cajthaml, T.; Havránková, Marie; Řezáčová, Veronika; Gryndlerová, Hana *et al.* Influence of soil organic matter decomposition on arbuscular mycorrhizal fungi in terms of a symbiotic hyphal growth and root colonization. *Mycorrhiza*. 19 (4):255-266, 2009.

78 Guerra, J. *Introducción al análisis estadístico para procesos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 185 p., 1986.

79 Hadimani, D. K.; Patil, G. M. y Alagundagi, S. C. Impact of legume intercropping in paired row of mulberry on silkworm. *Karnataka. J. Agric. Sci.* 17 (3):498-501, 2004.

80 Harrison, M. J.; Dewbre, G. R. y Liu, J. Y. A phosphate transporter from *Medicago truncatula* involved in the acquisition of phosphate released by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Cell*. 14:2413-2429, 2002.

81 Hartmann, H. y Kester, D. *Propagación de plantas. Principios prácticos*. 8 ed. México: Editorial Continental. 760 p., 2000.

82 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. Part

3, Chemical Methods. p. 561-562, 1996.

83 Hernández, A. y Morales, Marisol. *Cambios globales en los suelos: un nuevo paradigma para la pedología y la agricultura en Cuba*. XX Curso-Diplomado Internacional de Edafología. México: UNAM. 28 p., 2002.

84 Hernández, A.; Morales, M.; Borges, J.; Vargas, D.; Cabrera, J. A.; Ascanio, M. O. y col. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la “Llanura Roja de La Habana”, por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias, Proyecto de Innovación Agropecuaria Local. 155p, 2014. ISBN: 978-959-7023-66-1

85 Hernández, A.; Morell, F.; Ascanio, M. O.; Borges, Yenía; Morales, Marisol y Yong, Ania. Cambios globales de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de la provincia La Habana. *Cultivos Tropicales*. 27 (2):41-50, 2006.

86 Hernández A.; Pérez J. M.; Bosch, D.; Castro, N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Instituto de Suelos, Cuba, 91p 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7

87 Hernández, R. *Nutrición mineral de las plantas*. Mérida, Venezuela: Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. 53 p. <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/> [#nutrici%C3%B3n%20mineral](#), 2001.

88 Herrera, R. Sustitución parcial del concentrado comercial por harina de sorgo y forraje fresco de arbustivas proteicas en cerdos mestizos en ceba. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. 61p, 2012

- 89 Herrera, R. A.; Ferrer, R. L.; Furrázola, E. y Orozco, M. O. *Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, evolución y procesos sociales*. Mérida. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica. 28 p., 1995.
- 90 Hodges, Angela y Storer, Kate. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant Soil*. 386:1-19, 2015.
- 91 Huo, Y. Mulberry cultivation and utilization in China. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for Animal Production*. Rome: FAO. Animal Production and Health No. 147. p. 11-43, 2002.
- 92 Iglesias, J. M. *Los sistemas silvopastoriles, una alternativa para la crianza de bovinos jóvenes en condiciones de bajos insumos*. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. La Habana, Cuba: Instituto de Ciencia Animal. 100 p., 2003.
- 93 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Ficha de costo EcoMic®*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2005.
- 94 Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. *Precio oficial de las semillas de pastos y forrajes*. La Habana: Ministerio de la Agricultura. 1 p., 2002.
- 95 Ito, M. y Takagishi, H. *Mulberry*. Tokyo: The Fertilization Research Foundation, Japan International Cooperation System. <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/mulberry.pdf+morus+alba+densityyhl=es>. [11/03/2005], 1997.
- 96 Janos, D. P. Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. *Mycorrhiza*. 17:75-91, 2007.
- 97 Jantalia, C. P. *Estudo de sistemas de uso do solo em rotações de culturas em*

sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo-planta - atmosfera. Tesis de Doctorado. Seropédica, Río de Janeiro, Brasil: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 120 p., 2005.

98 Kaminski, J.; Brunetto, G.; Moterle, D. F. y Rheinheimer, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 31:1003-1010, 2007.

99 Kaminski, J.; Moterle, D. F.; Rheinheimer, D. S.; Gatiboni, L. C. y Brunetto, G. Potassium availability in a Hapludalf soil under long term fertilization. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 34:783-791, 2010.

100 Kolmans, E. y Vásquez, D. *Manual de Agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación*. Ciudad de La Habana: ACTAF. 150 p., 1999.

101 Kumar, O. Investigations into some aspects of high density planting of coffee. *Kenya coffee*. 43:263-272, 1978.

102 Kumar, O. y Tiezzen, L. L. Some aspects of photosynthesis and related processes in *Coffea arabica* I. *Kenya coffee*. 41:309-315, 1976.

103 Lea, H. Z. y Lee, W. C. *Feasibility of the utilization of mulberry leaves as feed in Korea*. Proceedings of a Workshop. Mulberry for animal feeding in China. Hangzhou, China. p. 12, 2001.

104 Leigh, J.; Hodge, A. y Fitter, A. H. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytol*. 181:199-207, 2009.

105 Lekberg, Y. y Koide, R. T. Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. A meta analysis of studies published between 1988 and 2003. *New Phytol*. 168:189-204, 2005.

106 Li, H. Y.; Yang, G. D.; Shu, H. R.; Yang, Y. T.; Ye, B. X.; Nishida, I. *et al.*

Colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* induces a defense response against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in the grapevine (*Vitis amurensis* Rupr.), which includes transcriptional activation of the class III chitinase gene VCH3. *Plant Cell Physiol.* 47 (1):154-163, 2006.

107 Lin, Y. y Hsiek, K. Effect of plant spacing on the yield and chemical composition of mulberry leaves. *J. Agr. Assoc. China.* 167:43-49, 1994.

108 Liu, J.X.; Yao, J.; Yan, B.J.; Shi, Z.Q.; Wang, X.W. y Yu, J.Q. 2002. Mulberry leaf supplement for sheep fed ammoniated rice straw. In: *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper No. 147. p. 189-201, 2002.

109 López-Pedrosa, A.; González-Guerrero, M.; Valderas, A.; Azcón-Aguilar, C. y Ferrol, N. GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal Genet. Biol.* 43:102-110, 2006.

110 Lynd, J. Q. y Ansmann, T. R. Simbiosis nodular tripartita distintiva gobierna la síntesis de componentes altamente nitrogenados en la canavalia (*Canavalia ensiformis* (L) DC). En: R. E. Vargas, A. León y A. Escobar, eds. *Canavalia ensiformis (L) DC. Producción, procesamiento y utilización en la alimentación animal*. San Cristóbal, Venezuela: Editorial Futuro. p. 77-83, 1993.

111 Magalhaes, A. F.; Pires, A. J. V.; Carvalho, G. G. P.; Silva, F. F.; Sousa, R. S. y Veloso, C. M. Influência do nitrogênio e do fósforo na produção do capimbraquiária. *Rev. Brás. Zoot.* 36 (5):1240-1246, 2007.

112 Marín, D. Algunos aspectos ecofisiológicos del cultivo de *Canavalia ensiformis*. En: R. E. Vargas, A. León y A. Escobar, eds. *Canavalia ensiformis (L) DC Producción, procesamiento utilización en la alimentación animal*. San Cristóbal, Venezuela:

Editorial Futuro. p. 65-76, 1993.

113 Marín, D. y Viera, J. Crecimiento, nodulación y fijación de nitrógeno en plantas de *Canavalia ensiformis* (L) DC, bajo diferentes dosis de fertilización con nitrógeno y frecuencias de riego. *Agronomía Tropical*. 40 (1-3):103-124, 1989.

114 Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2 ed. London: Academic Press. 889 p., 1995.

115 Marschner, H. y Dell, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*. 159:89-102, 1994.

116 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 p., 2004.

117 Martín, G. J. y col. *La morera (Morus alba) una planta multipropósito de gran potencial para la producción animal en Cuba*. Memorias. XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana: ALPA. [CD-ROM], 2013.

118 Martín, G. J.; García, F.; Reyes, F.; Hernández, I.; González, T. y Milera, Milagros. Estudios agronómicos realizados en Cuba en *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 24 (4):323-330, 2000.

119 Martín, G. J.; Noda, Yolai; Pentón, Gertrudis; García, D. E.; García, F.; González, E. *et al*. La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 30 (ne):3-19, 2007.

120 Martín, G. J.; Pentón, Gertrudis; García, F.; González, Niurca; Sánchez, Saray; Yolai, Noda *et al*. *La morera (Morus alba L.) una planta exitosa en la recuperación y conservación de los ecosistemas agropecuarios cubanos*. Memorias. IX Convención

Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana. p. 66, 2013.

121 Martín, G. J.; Pentón, Gertrudis; Noda, Yolai; Reino, J.; Arias, Y. y Prieto, Marlene. Investigaciones con *Morus* sp. para el desarrollo de tecnologías sostenibles de alimentación y salud humana y animal en Cuba. Informe anual del proyecto. Programa de producción de Alimento Animal. Matanzas, Cuba: EEPF “Indio Hatuey”. 43 p., 2013.

122 Martín, G. J.; Reyes, F.; Hernández, I. y Milera, Milagros. Agronomic studies with mulberry in Cuba. In: M. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper 147. p. 103-112., 2002.

123 Martín, Gloria M. *Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, a 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. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, UNAH. 131 p., 2009.

124 Martín, Gloria M.; Arias, L. y Rivera, R. Selección de las cepas de HMA más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*. 31 (1):27-31, 2010.

125 Medina, María G.; García, D. E.; Moratinos, P. y Cova, L. J. La morera (*Morus* spp.) como recurso forrajero: Avances y consideraciones de investigación. *Zootecnia Tropical*. 27 (4):343-362, 2009.

126 Mesa, A.; Naranjo, M.; Cancio, R.; Martí, A.; Clemente, B.; Suárez, O. *et al.* *Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos*. 2 ed. Ciudad de La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 1984.

127 Mesa, A. R.; Hussein, S. y García, D. Efecto del Liplant en el rendimiento de materia seca de *Morus alba*. En: Milagros Milera, ed. *Morera. Un nuevo forraje para la*

alimentación del ganado. Matanzas, Cuba: EEPF “Indio Hatuey”. p. 126-134, 2011.

128 Miller, R. G. *Simultaneous Statistical Inference*. 2 ed. Germany: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH y Co. K Publisher. 299 p., 1981.

129 Ministerio de Finanzas y Precios. Resolución No. 236/2015 Anexo Único. 24p, 2015

130 Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. *Resolución de salario de los Auxiliares de Investigaciones Agropecuarias*. La Habana: MTSS. Resolución 3, 2005.

131 Mohammad, A.; Mitra, B. y Khan, A. G. Effects of sheared-root inoculums of *Glomus intraradices* on wheat grown at different phosphorus levels in the field. *Agr. ecosyst. environ.* 103 (1):245-249, 2004.

132 Moody, P. W. y Bell, M. J. Availability of soil potassium and diagnostic soil tests. *Austr. J. Soil Res.* 44:265-275, 2006.

133 Murarkar, S. R.; Tayade, A. S.; Bodhade, S. N. y Ulemale, R. B. Effect of vermicompost on mulberry leaf yields. *J. Soil Crops.* 8 (1):85-87, 1998.

134 Narimatsu, S. y Kiyoshi, K. *Manual para la cría del gusano de seda*. Japan: Japan International Cooperation Agency (JICA). Technical Book. Series No. 20. 78 p., 1975.

135 National Research Council. *Nutrient requirements of swine*. 10th rev. ed. Washington, DC: National Academy Press. 212p., 1998.

136 Netto, Diana V. *Apuntes de clase Biología. Las plantas y los minerales*. Argentina: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. http://www.fisicanet.com.ar/biologia/fisiologia/ap01_absorcion_de_minerales.php, 2008.

137 Noda, Yolai. *Influencia de la frecuencia y la altura de corte en la producción y composición bromatológica de Morus alba (Linn.)*. Tesis presentada en opción al título

- de Master en Pastos y Forrajes: EEPF "Indio Hatuey", Universidad de Matanzas. 95 p., 2005.
- 138 Noda, Yolai; Martín, G. J.; Matos, W. y Pentón, Gertrudis. Efecto de la fertilización mineral y biológica en el rendimiento morfoagronómico de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 36 (2):190-196, 2013.
- 139 Oficina Nacional de Normalización. *Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo*. NC 65 2000. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 10 p., 1999.
- 140 Oficina Nacional de Normalización. *Calidad del Suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio*. NC 52. La Habana: Oficina Nacional de Normalización. 12 p., 1999.
- 141 Oficina Nacional de Normalización. *Calidad del suelo. Determinación del porcentaje de MO*. NC 51. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- 142 Oficina Nacional de Normalización. *Calidad del suelo. Determinación de pH*. NC ISO 10390. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- 143 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". 7 p., 2005.
- 144 Ojeda, F.; Arece, J. y Cáceres, O. Utilización de los hollejos de cítrico ensilados o deshidratados como suplemento de ovinos en crecimiento alimentados con morera (*Morus alba*). En: Milagros Milera, ed. *Morera. Un nuevo forraje para la alimentación del ganado*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. p. 365-370, 2011.
- 145 Palencia, E. J. y Girón, L. E. Utilización de morera (*Morus alba*) en la alimentación de tilapia (*Oreochromis niloticus*). En: América Hidalgo, comp. *Resúmenes analíticos de los proyectos de graduación 2003-2007*. Costa Rica: EARTH.

p. 167, 2008.

146 Paneque, V. M. y Calaña, J. M. *La fertilización de los cultivos aspectos teóricos prácticos para su recomendación. Curso de postgrado.* San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 28 p., 2001.

147 Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. y Caruncho, M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicas.* San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 160 p. http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/folleto_suelos.pdf. [21/05/2011], 2010.

148 Pentón, Gertrudis. Nota técnica: Comportamiento productivo de la morera sometida a dos alternativas de fertilización orgánica. *Pastos y Forrajes.* 30 (4):449-454, 2007.

149 Pentón, Gertrudis y Martín, G. J. Caracterización de la morera (*Morus alba* cv. acorazonada) durante su crecimiento y desarrollo. Predicción de la producción de biomasa. Memorias. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible y III Simposio sobre Sistemas Silvopastoriles para la Producción Ganadera Sostenible. Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". [CD-ROM], 2006.

150 Pentón, Gertrudis; Martín, G. J.; Pérez, A. y Noda, Yolai. Comportamiento morfoagronómico de variedades de morera (*Morus alba* L.) durante el establecimiento. *Pastos y Forrajes.* 30 (3):315-325, 2007.

151 Pentón, Gertrudis y Reyes, F. Nota técnica: Efecto de la sombra de leguminosas arbóreas intercaladas en plantaciones de morera (*Morus alba* L.). *Pastos y Forrajes.* 27 (1):55-58, 2004.

152 Pentón, Gertrudis; Reynaldo, Inés; Martín, G. J.; Rivera, R. y Oropesa, Katerine.

Uso del EcoMic® y el producto bioactivo Pectimorf® en el establecimiento de dos especies forrajeras. *Pastos y Forrajes*. 34 (3):281-294, 2011.

153 Peña, F.; Rivero, M.; Cabrera, E.; Hernández, C.; León, G.; Aguilar, Y. *et al.* *Manual para el manejo del abonado verde en suelos erosionados dedicados a cultivos varios*. La Habana: Instituto de Suelos. 31 p. [CD-ROM], 2003.

154 Peña-Venegas, Clara P.; Cardona, Gladys I.; Arguelles, J. H. y Arcos, Adriana L. Micorrizas arbusculares del sur de la Amazonia Colombiana y su relación con algunos factores físico-químicos y biológicos del suelo. *Acta Amazónica*. 37 (3):327-336, 2007.

155 Pozo, M. J. y Azcón-Aguilar, C. Unraveling micorriza-induced resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:393-399, 2007.

156 Priyadharsini, P. y Muthukumar, T. *Insight into the role of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture*. In: P. Thangavel and G. Sridevi, eds. *Environmental Sustainability*. Germany: Springer. p. 3-37, 2015.

157 Ramos, M. G.; Villatoro, M. A. A.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R. y Boddey, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. *J. Biotechnol.* 91:105-115, 2001.

158 Ram Rao, D. M.; Kodandaramaiah, J.; Reddy, M. P.; Katiyar, R. S. y Rahmathulla, V. K. Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworm cocoon characters under semiarid conditions. *Caspian J. Env. Sci.* 5 (2):111-117, 2007.

159 Read, D. J. y Pérez-Moreno, J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems. *New Phytol.* 157:475-492, 2003.

160 Reddy, B. K.; Ram Rao, D. M.; Reddy, M. P. y Suryanarayana, N. A

comparative study on the effect of FYM and vermicompost on mulberry leaf yield and silkworm cocoon production under semi-arid conditions of Andhra Pradesh.

Proceedings of Advances in Indian Sericulture Research. Mysore, India: Central Sericultural Research and Training Institute. p. 216-219, 2002.

161 Requena, N.; Breuninger, M.; Franken, P. y Ocón, A. Symbiotic status, phosphate and sucrose regulate the expression of two plasma membrane H⁺-ATPase genes from the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Plant Physiol.* 132 (3):1540-1549, 2003.

162 Reynolds, Heather L.; Hartley, Anne E.; Vogelsang, K. M.; Bever, J. D. y Schultz, P. A. Arbuscular mycorrhizal fungi do not enhance nitrogen acquisition and growth of old-field perennials under low nitrogen supply in glass house culture. *New Phytol.* 167:869-880, 2005.

163 Riera, M. C. *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. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 120 p., 2002.

164 Rivera, R.; Sánchez, C.; Caballero, D.; Cupull; R.; González, C. y Urquiaga, S. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de café sobre suelos Ferralíticos Rojos lixiviados. *Cultivos Tropicales.* 31 (3):75-81, 2010.

165 Rivera, R. *Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado para el café en un suelo Ferralítico Rojo compactado.* Tesis presentada en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba: INCA, ISCAH. 154 p., 1987.

166 Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical

ecosystems. In: C. Hamel and C. Plenchette, eds. *Mycorrhizae in crop production*. Binghamton, USA: Haworth Press. p. 151-196, 2007.

167 Rivera, R.; Fernández, F.; Hernández, A.; Martín, J. R. y Fernández, K. *El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe*. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 166 p., 2003.

168 Rivera, R. y Fernández, K. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados. En: R. Rivera y K. Fernández, eds. *El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. p. 49-94, 2003.

169 Rivera, R.; Ruiz, L.; Fernández, F.; Sánchez, C.; Riera, M.; Hernández, A. *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.

170 Rodríguez, C. E. *Efecto del nivel de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y valor nutritivo de morera (Morus alba)*. Tesis concluida Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Tunja, 2009.

171 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. Vol. 2. p. 515-529, 1994.

172 Rojas, Carolina. Efecto de la densidad de plantación y la frecuencia de corte en

el rendimiento y valor nutritivo de *Morus multicaulis*, de un año establecimiento. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo. Mención Producción Animal. Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2005/rojas_cp/html/index-frames.html.

[15/12/2014], 2005.

173 Rosolem, C. A.; Vicentini, J. P. y Steiner, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. R. Bras. Ci.Solo, 36: 1507-1515, 2012.

174 Rosolem, C. A.; Bessa, A. M. y Pereira, H. F. M. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. *Pesq. Agropec. Bras.* 28:1045-1054, 1993.

175 Rosolem, C. A. y Nakagawa, J. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 16:707-726, 1985.

176 Ruiz de la Torre, J. *Flora mayor*. Madrid: ICONA. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Dirección General para la Biodiversidad. 1756 p., 2006.

177 Ruiz, L. *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 para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 117 p., 2001.

178 Sánchez, M. D. Mulberry as animal feed in the world. In: L. Jian; C. Yuyin; M. Sánchez and L. Xingmeng, eds. *Mulberry for animal feeding in China*. Hangzhou, China p. 1-7, 2001.

179 Sánchez, M. D. World distribution and utilization of mulberry and its potential for animal feeding. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper 147. p. 1-9, 2002.

180 Sanginés, G. J. R.; Lara, L. P. E.; Rivera, L. J. A.; Pinzón, L. L.; Ramos, T. O.;

Murillo, J. *et al.* *Avances en los programas de investigación en morera (Morus alba) en Yucatán.*

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/Morera/MORERA20.HTM>. [28/11/2006], 2006.

181 Sannappa, B.; Devaiah, M .C.; Govindan, R. y Krishnaprasad, N. K. Influence of nitrogenous source fertilizers on yield and foliar constituents of rainfed mulberry. *Mysore J. Agr. Sci.* 34:147-152, 2000.

182 Sardi, K. y Debreczeni, K. Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. *Commun. Soil Sci. Plant.* 23:17-20, 1992.

183 Setua, G. C.; Das, N. K.; D., Banerjee N.; Sengupta, T.; Sudhakar, P.; Sen, S. *et al.* Effect of integrated nutrient management on quality leaf production in mulberry (*Morus alba*) under rainfed, alluvial soil conditions. *Indian J. Agri. Sci.* 75 (8):474-478, 2005.

184 Shankar, M. A.; Devaiah, M. C.; Ravi, K. N. y Viswanath, K. P. *Feasibility of growing vegetables as intercrops in mulberry (DD variety).* Eighteenth Indian Science Congress. India: Indian Science Congress Association. p. 30-35, 1999.

185 Shankar, M. A.; Jayaramaiah, M. y Devaiah, M.C. Mulberry as an intercrop in coconut gardens over years. *Mysore J. Agr. Sci.* 32:136-141, 1998.

186 Shankar, M. A.; Jayaramaiah, M.; Rangaswamy, B. T.; Anitha, P.; Lingappa, B. B. y Mallikarjuna, G.B. *Intercropping of pulses and oilseed crop in S13 mulberry under irrigated condition.* Proceedings of the National Conference on Strategies for Sericulture Research and Development. Mysore, India: Central Sericultural Research and Training Institute. p. 35-36, 2000.

187 Shankar, M. A. y Rangaswamy, B. T. Effect of applied nitrogen and potassium

on mulberry leaf yield and quality in relation to silkworm cocoon characters. *Better Crops Int.* 13 (2):20-21, 1999.

188 Shankar, M. A. y Sriharsha, S. A. Potassium for yield and quality of mulberry leaf in relation to silkworm cocoon production. *Better Crops Int.* 13 (2):18-19, 1999.

189 Sharma, A. K. *A handbook of organic farming*. India: Agrobios. 627 p., 2002.

190 Shayo, C. M. Uses, yield and nutritive value of mulberry (*Morus alba*) trees for ruminants in the semi-arid areas of central Tanzania. *Trop. Grasslands.* 31 (6):599-604, 1997.

191 Shivaprakash, R. M.; Bongale, U. D.; Dandin, S. B.; Basavaiah, S. N. y Narayana Gowda, S. N. Nitrogen uptake and shoot yield in three improved varieties of mulberry (*Morus indica* L.) under irrigated field cultivation. *Indian J. Sericulture.* 39 (2):145-148, 2000.

192 Siddiky, M.R.K.; Schaller, J.; Caruso, T. y Rillig, M.C. Arbuscular mycorrhizal fungi and collembola non-additively increase soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 47:93-99, 2012.

193 Silva, D. N.; Meurer, E. J.; Kampf, N. y 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. Ci. Solo.* 19 (3):433-439, 1995.

194 Simó, J.; Ruiz, L.; Rivera, R.; Varela, M.; Fundora, O.; Oliva, M. *et al.* *Contribución micorrízica en los sistemas integrados de nutrición y fertilización de bananos en Cuba*. Memorias. Congreso Científico Internacional del INCA. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. [CD-ROM], 2008.

195 Simonete, M. A.; Vahl, L. C.; Fabres, R. T.; Couto, J. R. R. y Lunardi, R. Efeito residual da adubação potássica do azevém sobre o arroz subsequente em plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 26:721-727, 2002.

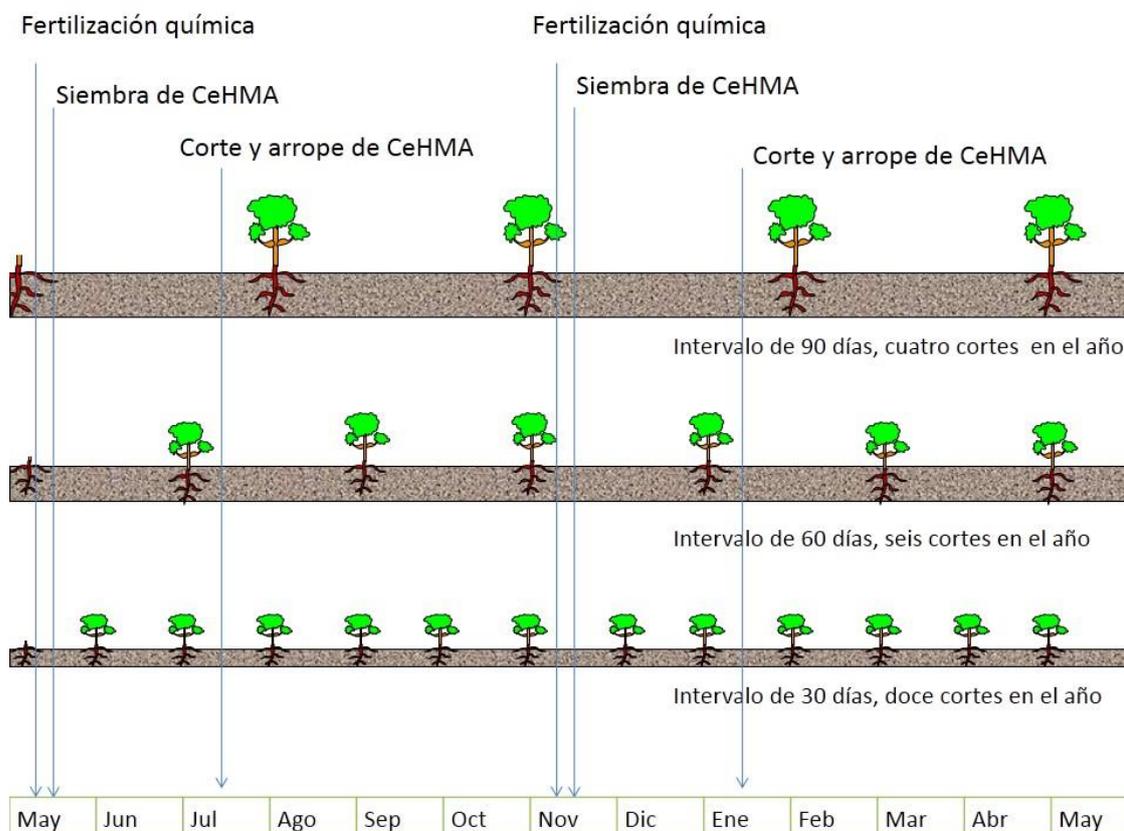
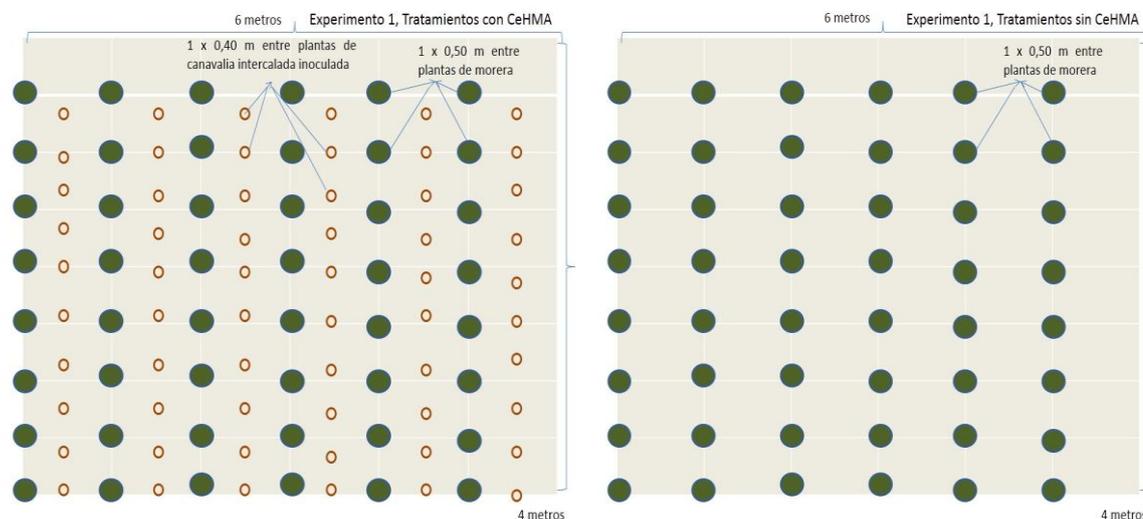
- 196 Simonsson, M.; Andersson, S.; Andrist-Rangel, Y.; Hillier, S.; Mattson, L. y Öborn, I. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma*. 140:188-198, 2007.
- 197 Singh, B. y Makkar, H. P. S. The potential of mulberry foliage as a feed supplement in India. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper 147. p. 139-155, 2002.
- 198 Siqueira, J. O.; Souza, F. A. de; Cardoso, E. J. B. N. y Tsai, S. M. *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: UFLA. 716p. 2010.
- 199 Siswanto, B. Effect of dosage and time of application of nitrogen and potassium fertilizers on the production and quality of mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Agrivita*. 17 (2):86-96, 1994.
- 200 Solaiman, Z. M.; Abbott, Lynette K. y Varma, A. (Eds.). *Mycorrhizal fungi: use in sustainable agriculture and land restoration*. Germany: Springer. 79 p., 2014.
- 201 Soto, S.; Rodríguez, J. C. y Russo, R. Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. *Tierra Tropical*. 5 (1):9-15, 2009.
- 202 Srinivas, N. N. *Studies on V-1 mulberry intercropped with medicinal plant Coleus forskohlii (Briq.) and its impact on cocoon production under inm.* Thesis submitted to the University of Agricultural Sciences, Dharwad in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Agriculture) in Sericulture. 120 p., 2005.
- 203 Steel, R. y Torrie, J. *Bioestadística. Principios y procedimientos*. México: McGraw-Hill. 622 p., 1992.
- 204 Stür, W.W.; Shelton, H.M. y Gutteridge, R.C. Defoliation management of forage tree legumes. In: R. C. Gutteridge and H. M. Shelton, eds. *Forage tree legumes in tropical agriculture*. United Kingdom: CAB International. p. 168-176, 1994.

- 205 Takahashi, R. y Kronka, R. Effects of various fertilizer treatments on mulberry (*Morus alba*) production. *Boletim de Indústria Animal*. 46 (1):157-164, 1989.
- 206 Tikader, A. Intercropping with legumes to increase mulberry production. *Indian Silk*. 30 (1):41-42, 1992.
- 207 Ting, Z.; Yun, F.; Guang, X. y Huaizhong, B. *Mulberry cultivation*. Rome: FAO. Agricultural Services bulletin 73/1. 127 p., 1998.
- 208 Tirelli, M. *Seda natural y artificial*. La Habana: Secretaria de Agricultura de Cuba. 1939.
- 209 Trouvelot, A.; Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. *Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle*. Proceedings of the 1st Europe Symposium on Mycorrhizae. Paris: INRA, 1986.
- 210 Uribe, F. 2002. Mulberry for rearing dairy heifers. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. Rome: FAO. Animal Production and Health Paper 147. p. 203-206, 2002
- 211 Vale, D. W. do; Prado, R. de M.; Gondim, A R. O.; Takahashi, R. y Correia, M A. Curva de crescimento e marcha de absorção de macronutrientes em três cultivares de amoreira (*Morus alba* L.). *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 9 (1):1-13, 2009.
- 212 Valero, Mercedes. *Inicio y ocaso de un cultivo en Cuba. La sericultura*. I Taller Internacional "La Sericultura en el contexto regional y local". Matanzas, Cuba: EEPF "Indio Hatuey". [CD-ROM], 2010.
- 213 Vargas, J. E. y Estrada, J. Evaluación de la producción y la calidad nutricional de cinco especies forrajeras (arbustivas y arbóreas) para corte en condiciones de bosque seco tropical. *Vet. Zootec.* 5 (2):55-67, 2011.
- 214 Willey, R. W.; Natarajan, M.; Reddy, M. S. y Rao, M. R. *Cropping systems with*

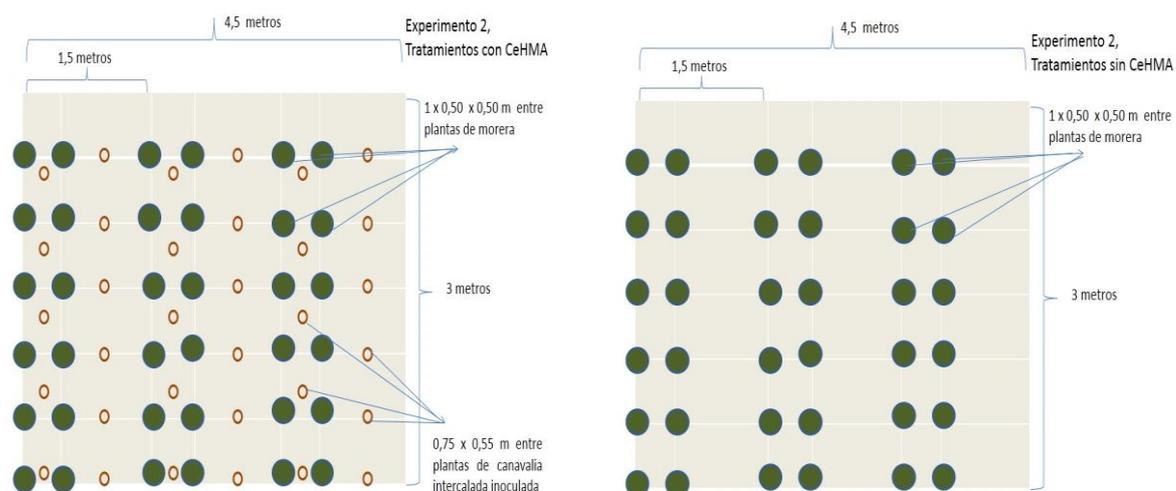
groundnut, resource use and productivity. Agrometeorology of groundnut. Proceedings of an International Symposium. Niger: ICRISAT. 191 p., 1986.

ANEXOS

Anexo 1. Distribución de las plantas de morera en las parcelas del experimento 1, y ubicación de las plantas de canavalia intercalada e inoculada con HMA.



Anexo 2. Intervalos de corte de la morera, momentos de la aplicación de los fertilizantes minerales y del manejo de canavalia intercalada e inoculada con HMA. La fertilización de la morera se realizó a los 7 días de los meses de mayo y noviembre, la siembra de la canavalia 7 días después. El corte y arropo de la canavalia a los 60 dds.



Anexo 3. Distribución de las plantas de morera en las parcelas del experimento 2, y ubicación de las plantas de canavalia intercalada e inoculada con HMA.

Anexo 4. Costo unitario de insumos y tarifa de mano de obra.

Concepto	Unidad	Precio (CUP)	Fuente
Semillas canavalia	kg	6,30	Instituto de Pastos y Forrajes (2002)
Producto EcoMic®	kg	2,50	Ficha de Costo EcoMic® (INCA, 2005)
Urea	kg	1,50	(MFP, 2015)
Cloruro de potasio	kg	1,50	(MFP, 2015)
Superfosfato simple	kg	1,50	(MFP, 2015)
Tarifa de mano de obra.	hora	2,41	Resolución 3 – 2005 (MTSS, 2005)
Alimento concentrado comercial para ceba porcina b granel	t	767,00	(MFP, 2015)