



**Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero
Agrónomo**

**Título del trabajo: Evaluación de *Morus alba* L. a la
inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en
un suelo de baja fertilidad en el Área demostrativa del CUM,
Cumanayagua, Cienfuegos**

Autor: Yasmani M. Duardo Ruíz

**Tutor: Dr. C. Lázaro J. Ojeda Quintana
Cotutor: Ing. Juan J. de la Rosa Capote**

Curso 2023

Cumanayagua, 1ero de noviembre 2023
"Año 65 de la Revolución"

AVAL

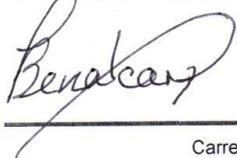
El trabajo de Tesis: "*Respuesta de Morus alba L. a la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en un suelo de baja fertilidad*" del estudiante Yasmani Moisés Duardo Ruíz, con tutoría del Dr. C Lázaro J. Ojeda Quintana se ejecutó en el Centro Universitario Municipal de Cumanayagua durante el período 2018-2019, como parte del Proyecto Nacional: "*Establecer un sistema para uso del biofertilizante micorrízico EcoMic® y otros bioproductos, así como su integración en las tecnologías de diferentes cultivos en la producción de alimento humano y animal en diferentes tipos de suelos y provincias del país*", que pertenece al Programa asociado: Producción de alimentos y su agroindustria, con el Código: P13LH001.036 (2021-2023), dirigido por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Se destaca en el presente documento la participación correcta del estudiante en el montaje del experimento, conducción, toma de datos y seguimiento del mismo hasta su evaluación final. Se cumplió debidamente la entrega de la información técnica al ejecutor responsable del Proyecto.

Los resultados de esta investigación se han presentado en eventos y talleres del proyecto, espacio de debates e intercambios con productores del municipio, así como constituyen una información científica disponible para consultas. Participó en Fórum estudiantiles en el 2022 y 2023.

Y para que así conste, firma la presente

MCs. Yanorys Bernal Carrazana
Presidente Consejo Técnico
UCTB Suelos Cienfuegos



EXERGO

”Que la enseñanza científica vaya, como la savia en los árboles, de la raíz al tope de la educación pública”

José Martí

DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.

Betty mi esposa, por su amor paciencia y dedicación.

Idania mi suegra, quien con sus consejos sabios, me apoyo en este empeño

Marilis y Moisés mis padres, porque son mi mayor tesoro.

Juan Jesús mi suegro, por su asesoría y tiempo dedicado en este trabajo contribuyendo a mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Universitario Municipal Cumanayagua por contribuir en el montaje del experimento.

Al Dr. C. Lázaro Ojeda Quintana, por su sabiduría, el apoyo ofrecido y su disposición incondicional.

A los profesores del Centro Universitario Municipal por los conocimientos brindados.

Al profesor Armando Perdomo Hernández por la lectura crítica del informe escrito.

RESUMEN

La investigación se realizó en un área experimental del Centro Universitario Municipal de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, Cuba, con el objetivo de evaluar la respuesta de *Morus alba* L. a la inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en un suelo Pardo Grisáceo. El experimento se condujo en bolsas con capacidad para 2 kg de suelo. Se evaluaron un tratamiento fertilizado con N.P.K de base y aplicación fraccionada de nitrógeno en cada corte, un testigo e inoculación con HMA, en un diseño de Bloques al azar con 4 tratamientos y 3 réplicas. Se realizó el corte de establecimiento y cinco cortes sucesivos, con un promedio de 45 días entre los mismos y un tiempo de explotación de las plantas de 264 días. La mayor tasa de multiplicación se produjo en la variante con fertilización mineral (20,97). *M. alba* respondió favorablemente a la inoculación con HMA, con incrementos de biomasa entre 36,75 y 22,31% en relación al testigo. *F. mosseae* mostró mayor dependencia micorrízica. Resultó evidente la disminución del efecto de la micorrización en el tiempo. El valor más elevado de proteína bruta se obtuvo en la variante con la fertilización N.P.K, mientras que las variantes inoculadas superaron al testigo. Los tratamientos inoculados incrementaron el pH y el fósforo en la rizosfera de la planta en relación al testigo. No se puede suponer una influencia directa de la micorrización en la modificación del pH y la materia orgánica, y sí un efecto favorable en la disponibilidad de fósforo asimilable.

Palabras clave: Simbiosis, forrajera arbustiva, rebrotes, biomasa, proteína bruta.

ABSTRACT

The investigation was carried out in an experimental area of the Municipality University Center of Cumanayagua, Cienfuegos province, Cuba with the objective of evaluating the response of *Morus alba* L. the inoculation of different arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) strains. The experiment was carried out in bags with capacity for 2 kg of Brown Gray low fertility soil. The experiment was carried out using random blocks with four treatments and three repetitions that include the two AMF strains inoculated *M. alba*, application of NPK and a witness without inoculating. Was carried out the establishment cut and five successive courts, with an average of 45 between the same ones and 264 days exploitation time of the plants. The quantity of biomass production and the content of gross protein of *M. alba* in each court. This specie responded positively to the inoculation with *F. mosseae*, with increments of biomass production for courts between 36, 75 y 22, 31%. *F. mosseae* showed bigger mycorrhizal dependence. It was evident the decrease of the mycorrhizal effect in the course of time. The highest value in gross protein was obtained in the variant with the mineral fertilization and the inoculated variants overcame the witness. All the treatments increased the pH and the content of organic matter in the soil of the rhizosphere of plants, although without statistical differences to each other.

Keywords: Symbiosis, fodder shrubs, sprouts, biomass, gross protein.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
• Problema científico.....	3
• Hipótesis.....	3
• Objetivo general.....	3
• Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Manejo sostenible del suelo en la explotación agropecuaria.....	4
1.2. Morus alba (L.) acercamiento a la botánica, fenología, cultivo y uso agropecuario.....	8
1.3. Los Hongos Micorrizícos Arbusculares en la nutrición de las plantas.....	13
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y METODOS.....	22
• Localización, suelo y clima.....	22
• Diseño, procedimiento y muestreo.....	22
• Mediciones realizadas.....	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la autosuficiencia alimentaria en el planeta es consecuencia, entre otras razones, de la adopción de modelos tecnológicos basados en el empleo irracional de insumos que no están acordes con las exigencias de nuestros países. Dichos modelos han provocado daños ecológicos en las áreas rurales de las zonas tropicales y subtropicales, con el consiguiente agotamiento de los recursos naturales, la erosión y la pérdida natural de la fertilidad de los suelos, así como la reducción alarmante de la biomasa y de la diversidad biológica (Martín, 2009).

Ante esta situación, resulta impostergable desarrollar alternativas más apropiadas sobre la base de un uso razonable de los recursos endógenos, manejados a partir del conocimiento de cada uno de los elementos que los integran, con un enfoque holístico que fortalezca la sostenibilidad de los agroecosistemas (Ferrera y Alarcón, 2001).

La ganadería de leche y carne en el trópico, depende fundamentalmente de la producción de pastos, la cual está sometida a condiciones ecológicas diversas que la afectan, no solo en cuanto al volumen de biomasa producida, sino también a una distribución estacional, determinada por variaciones ambientales, dependiente de la distribución de las precipitaciones que ocurren anualmente. Estas características, junto a las de múltiples especies forrajeras y a las razas animales y su mestizaje, conforman un inmenso complejo de factores que, en forma aislada o interaccionada, afectan la productividad de estos ecosistemas (Murgueitio, et al., 2015).

Las investigaciones en el manejo de los pastos para la producción de leche bovina en Cuba comenzaron en la década del 70 a partir de los estudios de gramíneas pratenses y forrajeras en monocultivo, con altos y bajos insumos, hasta la década del 90, que se inicia un nuevo concepto del manejo de la pradera en el que se insertan los árboles sobre el estrato herbáceo con gramíneas y leguminosas herbáceas, con bajos insumos. Los resultados con altos insumos permitieron generar los principios esenciales para el buen manejo de la pradera ajustados al nuevo concepto de pastizal, que incluyó los árboles sin fertilización ni riego, sobre la base de una concepción agroecológica a partir de un enfoque sistémico en armonía con el medioambiente que mitigue los procesos degenerativos del suelo (Blanco et al., 2012).

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

Hasta hace pocos años, los estudios sobre la fertilización de los pastos se enfocaban, principalmente, en el incremento de la producción de biomasa por unidad de superficie y la evaluación del impacto económico del uso de los fertilizantes. Actualmente, sin perder de vista el aspecto económico dado el aumento creciente de los precios de los fertilizantes, se le concede gran importancia a la preservación del ambiente; de modo que se ha acrecentado la necesidad de diseñar estrategias de fertilización que garanticen una nutrición adecuada de los pastos y a la vez, aseguren la protección de los recursos naturales (Richardson *et al.*, 2009).

Dentro de esas estrategias se puede considerar el uso de biofertilizantes es una de las técnicas empleadas por el hombre para obtener elevados rendimientos en los cultivos, sin causarle daños al ambiente. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) constituyen uno de los elementos del entorno agrícola, y forman parte de una amplia gama de microorganismos del suelo utilizados en la producción de biofertilizantes. Entre ellos pueden encontrarse *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (bacterias o simbióticos fijadores de N₂), rizobacterias de vida libre o asociadas (fijadores de N₂ y/o estimuladores del crecimiento vegetal), *Azotobacter*, *Azospirillum* y bacterias solubilizadoras de P (Calderón y González, 2007).

La efectividad micorrízica arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras. Se relaciona más con el rendimiento de un determinado cultivo, o sea, la efectividad de un endófito en el crecimiento de la planta; con la transferencia de nutrientes por unidad de carbohidratos intercambiados durante la simbiosis y con el número de propágulos en el ecosistema natural. Su alto impacto se garantiza con prácticas de manejo que estimulan la multiplicación de propágulos infectivos y su permanencia (González et al., 2008). A nivel mundial, inóculos comerciales que incluyen propágulos de HFMA están disponibles para la industria agrícola y diferentes experimentos se han realizado para analizar su funcionalidad (Elliott et al., 2020 y Frew, 2020).

Hoy día, se ha comprobado en diversas especies de plantas de interés agrícola, forestal y pecuario, que las interacciones ecológicas, como las establecidas con hongos micorrízicos arbusculares contribuyen al cuidado del ambiente y pueden disminuir el uso de fertilizantes químicos así como los costos de producción de forrajes. En Cumanayagua se cuenta con antecedentes de evaluación del MicoFert Agrícola en *Leucaena leucocephala* L. (Ojeda et al., 2015). A pesar de lo anterior, existen vacíos de información relacionada con la simbiosis entre los hongos micorrízico arbusculares y *Morus alba* L. Lo expuesto anteriormente permite plantear el siguiente problema científico:

Problema científico:

¿Se favorece el rendimiento y la calidad del forraje de *Morus alba* L. con la inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA)?

Hipótesis:

La inoculación de *Morus alba* L. con HMA en un suelo de baja fertilidad natural podría incrementar el rendimiento y calidad de la biomasa en cortes sucesivos para forraje.

Objetivo general:

Evaluar la producción y calidad de la biomasa de *Morus alba* L. inoculada con especies de HMA en un suelo Pardo Grisáceo de la región centro sur de Cuba.

Objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de la inoculación con diferentes especies de HMA en la producción de rebrotes de *Morus alba* L. en el tiempo.
2. Seleccionar la cepa de HMA que propició mayor producción y calidad de la biomasa
3. Verificar indicadores agroquímicos a nivel de rizosfera de la planta previo a la inoculación y posterior a los cortes de forraje.

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Manejo sostenible del suelo en la explotación agropecuaria

A pesar de una gran preocupación por un manejo sostenible de tierras en la comunidad internacional, la degradación de las mismas tanto en términos de la biodiversidad, como de los recursos de suelo y agua, continúa. El uso agrícola, fundamento de la producción de alimentos y la sobrevivencia de la especie humana, contribuye a esta degradación de los ecosistemas, tanto en las áreas de uso para cultivos, como de pastos (MEA, 2005).

Por la necesidad de producir alimentos, se han hecho muchos compromisos con respecto a la “sostenibilidad”, pensando, que la misma es un sueño inalcanzable. La degradación continua, la pérdida del potencial productivo de los suelos y la expansión de áreas desérticas y salinas ha resultado en una creciente preocupación y ha creado un interés en el suelo. Como resultado las Naciones Unidas nombraron el año 2015 como Año Internacional de los Suelos (FAO, 2015). Cuestionando la necesidad de prácticas que se puede identificar como causas básicas de degradación, se llega a un nuevo paradigma de la agricultura, expresado en la “Intensificación Sostenible”, alcanzando no solo en teoría, sino también en la práctica la sostenibilidad en el manejo de las tierras sin sacrificar la seguridad alimentaria (FAO, 2011).

La parte fundamental de este concepto es la observación de ecosistemas naturales y su funcionamiento. En estos ecosistemas el suelo es un elemento clave, que funciona como un mediador de servicios de ecosistemas. En convertir estos ecosistemas naturales como un bosque primario en tierras manejadas a fines agrícolas, los suelos pierden estas características. El impacto ambiental, que inicia la degradación de tierras en el caso de la deforestación, no es la tala de árboles, sino el manejo del suelo. La intervención más crítica, que es la culpable principal de la degradación de suelos y que en la naturaleza no está prevista, es la labranza mecánica de los suelos (Montgomery, 2007).

Como resultado, la biodiversidad del suelo se reduce. Con la desaparición de la meso y macro fauna del suelo, los procesos de estructuración del mismo terminan (Castellano et al., 2012). Con la

disminución de la materia orgánica, el suelo pierde su estabilidad física y su capacidad de manejar y almacenar minerales solubles en agua. La consecuencia de esto es una disminución de la capacidad de infiltración y retención de agua en los suelos y la lixiviación de los nutrientes de suelo. Los suelos pierden su capacidad productiva, requieren cada vez más fertilizantes. Además, se interrumpen las redes alimenticias y de control natural del ecosistema, dando oportunidad a la proliferación de especies dañinas a los cultivos como plagas y enfermedades. Al final, la degradación física de los suelos llega a ser visible en la erosión de los mismos, la desaparición de la capa “fértil” y finalmente la desertificación de tierras (Montgomery, 2007).

Para las condiciones de Cuba estos procesos son claramente visibles. La actual situación de precipitaciones por debajo de la norma causa los problemas de la sequía actual, resultado de un desaprovechamiento de las precipitaciones en años normales. Más aún, una baja en los acuíferos de agua dulce tiene como consecuencia la intrusión de aguas marinas, llevando a la salinización de los acuíferos costeros (Friedrich 2015).

En áreas de pastura, incluso cuando no son roturados, pueden sufrir iguales procesos de degradación. En este caso es más la afectación de la vegetación, que puede en caso de un manejo inadecuado llevar a una selección de pocas especies, resultando en una degradación de la biodiversidad y finalmente un “monocultivo”. Esto puede ser resultado de una acción voluntaria, como la siembra de una especie muy productiva, pero puede también resultar de un manejo inadecuado de nutrientes, manejo mecánico de la vegetación, tanto por corte como por pastura y de la compactación del suelo por tráfico de maquinaria o animales. Como resultado, pastos degradados pueden llevar a la desertificación por similares razones como áreas de cultivos (Friedrich, 2014).

El desarrollo tecnológico en el último medio siglo ha demostrado, que se puede evitar las prácticas dañinas al medio ambiente, sin sacrificar los logros productivos de una “agricultura intensiva”, llegando al nuevo paradigma de la “intensificación sostenible”. Este paradigma se fundamenta en la Agricultura de Conservación (AC), un concepto agrícola, caracterizado por tres principios básicos, que copia las características de un ecosistema natural: 1. La perturbación mínima del suelo

en forma continua, 2. Una cobertura permanente de la superficie del suelo con materiales orgánicos y 3. La diversificación de especies cultivadas en secuencia y/o asociaciones (Friedrich, 2014).

Según la definición de FAO, “los principios de la AC son universalmente aplicables a todo tipo de paisajes agrícolas o uso de la tierra con las prácticas correspondientes adaptadas localmente. La AC se basa en el fortalecimiento de la biodiversidad y procesos biológicos naturales encima y debajo de la superficie del suelo. Intervenciones en el suelo como la perturbación mecánica del suelo están reducidas a un mínimo absoluto o completamente abandonadas mientras otros insumos como agroquímicos o abonos de origen orgánico o sintético están usados en su óptimo de una forma y cantidad que no interfiera o haga daño a los procesos biológicos (Friedrich 2015).

(Kassam et al. 2014). Aseguraron que la Agricultura de Conservación está creciendo en todo el mundo de forma exponencial, cubriendo en 2014 un área de 155 millones de hectáreas, correspondiendo a 11 % del área agrícola. En algunas de estas áreas existen experiencias de 50 años de aplicación continua del concepto, permitiendo valorar los impactos productivos y ecológicos del concepto.

El concepto de diversidad que está incluido en la definición de la AC refiere no solo a diversidad de cultivos, sino también de sistemas de producción. Por lo tanto, la AC facilita la integración de agricultura con ganadería y silvicultura. Los conceptos de la diversidad se aplican no solo a cultivos de forrajes, sino a las mismas áreas de pastura. Pastos permanentes deberían tener una diversidad de especies y el manejo de estas áreas debe mantener esta diversidad. Según las especies en el pasto es preferible, en caso de pastura directa de animales, de exponer pequeñas áreas de pasto a altas densidades de animales con tiempos de exposición corta. Esto resulta en un mejor aprovechamiento del pasto con menos movimiento de los animales y mejor recuperación del pasto (de Faccio Carvalho et al., 2010).

Otra forma complementaria de diversificación es la integración de árboles en el paisaje agrícola, tanto en los linderos de los campos, como dentro de los mismos. Los árboles aportan un alimento adicional de alta calidad en las áreas de pastoreo, mejorando entre 5 y 7 % los contenidos de proteína bruta de la biomasa que consume el ganado, favorecen la calidad del pastizal, propician el

desarrollo de la fauna, fijan y reciclan nutrientes, mejoran y protegen el potencial hídrico del sistema, purifican el aire, contribuyen a la conservación del suelo, aportan producciones agregadas (frutos, combustible, aceite) y madera, sirve de abrigo ante las inclemencias del clima (sombra), soportan mayor intensidad de pastoreo, embellecen el entorno y son más resistentes a las plagas y enfermedades.

Yado et al., (1996) definen como “pastizal” cualquier área que produce pastos para el consumo del ganado. Según estos autores se reconocen dos clases fundamentales de pastizales, cuya diferencia principal reside en la intensidad de manejo y los tratamientos culturales a que son sometidos. Estas dos clases son los pastizales naturales, que son aquellas tierras que asientan pasto nativo o autóctono para el consumo animal y los pastizales artificiales, que son aquellas tierras de pastoreo con manejo intenso, que usualmente tienen especies forrajeras introducidas y reciben prácticas culturales.

Los pastizales, independientemente del tipo, están constituidos por elementos bióticos y abióticos que conforman una unidad indisoluble, de cuya dinámica y armonía depende el adecuado funcionamiento del ecosistema. Entre los componentes abióticos se encuentran las sustancias inorgánicas, que intervienen en los ciclos materiales, el régimen climático, el suelo, la topografía y la altitud. Entre los bióticos se ubican las plantas u organismos autótrofos, los consumidores de materia orgánica y los desintegradores como las bacterias, hongos, nemátodos y otros. Todos los componentes poseen funciones específicas e interactúan entre sí, por lo que la estabilidad productiva del pastizal y su persistencia en el tiempo están influidas por el equilibrio dinámico existente entre las partes del sistema (Quirós, 2002).

El suelo, es componente fundamental de estos agroecosistemas y según Milera (2010) es la base de la pirámide para lograr su adecuado manejo ecológico. La conservación del suelo es el mantenimiento de su salud y calidad, es decir, lograr que funcione adecuadamente, lo que se manifiesta mediante el estado de sus propiedades físicas, químicas y biológicas y permite lograr su productividad agrícola sostenible con impacto ambiental positivo.

Los factores que afectan la resiliencia del suelo son fundamentalmente el clima y el manejo. La conservación del suelo se determina a partir de la determinación de propiedades específicas del mismo (el contenido en materia orgánica) y por la observación de su estado (la fertilidad). La manifestación de procesos como la compactación, la pérdida de materia orgánica, pérdida de sus estructuras, salinización, acidificación son indicadores de la degradación del suelo (Kumar y Kafle, 2009).

Los sistemas silvopastoriles son un tipo de sistema agroforestal en el cual interactúan en forma simultánea plantas leñosas perennes (árboles o arbustos), plantas herbáceas o volubles (pastos, leguminosas herbáceas y arvenses) y animales domésticos principalmente bovinos, équinos, ovinos y caprinos (Montagnini, 2011). Combina en el mismo espacio varios estratos de plantas destinadas a la alimentación animal, forrajeras como gramíneas y leguminosas rastreras, con arbustos y árboles.

Desde el año 2010 se dispone de la Agenda Global por la Ganadería Sostenible, una iniciativa que busca cumplir con el reto de incrementar la producción de alimentos de origen animal a la vez que se reduce su impacto sobre los recursos naturales, se incrementa la eficiencia y se protegen los medios de vida de productores en diferentes partes del mundo. La agenda espera influir de manera determinante en las políticas e iniciativas que afectan la producción de proteína animal en el mundo y sus efectos sociales, ambientales, éticos y de salud en función de garantizar una explotación ganadera sostenible que permita una mejor distribución de los alimentos entre los diferentes sectores y estratos sociales comprometidos (Murgueitio et al., 2015).

1.2. *Morus alba* (L.) acercamiento a la botánica, fenología, cultivo y uso agropecuario

La morera es una planta originaria de Asia de las regiones del Himalaya, China e India en donde se encuentra la mayor biodiversidad de este género ya que se registran 950 especies y cientos de variedades. Pertenece a la clase Dicotiledónea, subclase Urticales, familia Moraceae, género *Morus*, con varias especies entre las cuales se encuentran: *M. alba*, *M. nigra*, *M. indica*, *M. bombycis* entre otras. El género comprende arbustos y árboles de porte medio, sin espinas, que producen látex y se encuentran distribuidas alrededor del mundo (Soria et al. 2001).

El género y especie *Morus alba* L, se caracteriza por presentar hojas grandes y delgadas, de 11 a 36 cm de largo por 9 a 23 cm de ancho. Es de forma ovalada con ápice terminado en punta, borde aserrado, con una superficie ligeramente corrugada, de color verde claro en los crecimientos nuevos y verde oscuro en las hojas maduras. Los entrenudos son largos y de bajo número de hojas por rama que es compensado por el gran tamaño de estas.

La morera es una especie que se adapta a las más variadas condiciones, ya que puede desarrollarse entre 50° de latitud Norte y 35° de latitud Sur, es decir tiene la capacidad de crecer bien en las zonas templadas y tropicales. Se reportan buenos crecimientos con temperaturas que oscilen de 13 a 38°C, siendo el rango entre 22 y 26°C el óptimo para su desarrollo. Asimismo, con precipitaciones entre 600 y 2500 mm, con un fotoperíodo de 9 a 13 horas/día, una humedad relativa de 65 a 80% y una altitud desde el nivel del mar hasta 4000 msnm, se reportan muy buenos rendimientos (Soria et al. 2001).

Es una especie que se adapta a condiciones edáficas variables, pero prefiere suelos de textura media como los franco-arcillosos, francos o franco-arenoso, con estructuras de tipo granular, ya que tiene un sistema radicular profundo en donde sus raíces llegan a alcanzar más de 6 metros. Los suelos deben tener también un buen drenaje porque esta especie no resiste las condiciones de encharcamiento, pero al mismo tiempo exige que tengan buena retención de humedad con un 50 a un 60% y un contenido de materia orgánica entre 2 y 3% (Ting-Zing et al. 1988).

Con relación al relieve de los suelos, está plenamente demostrado que aquellos que se encuentran con menos de 20% de pendiente son los óptimos para el establecimiento de este cultivo. Sin embargo, en suelos con más pendiente, lo aconsejable es la construcción de terrazas sobre la base de curvas de nivel (Castro, 2005).

La morera se propaga tanto por semilla sexual como por semilla vegetativa (estacas, acodos y yemas). La propagación con semilla sexual permite la obtención de plantas con mayor resistencia a enfermedades y mayor longevidad, con más desarrollo de la raíz pivotante, así como también, un número elevado de plantas en el almácigo para transplante. En promedio 1 gramo de semilla sexual permite producir 1200 plantas.

La cantidad de plantas por hectárea oscila entre 20 000 y 25 000 plantas. En terrenos con pendiente se deben utilizar las distancias de siembra de 1 m entre hileras y 50 cm entre plantas. En terrenos completamente planos se utilizan distancias de siembra de 75 cm entre hileras y 40 cm entre plantas. La densidad de siembra tiene un marcado efecto sobre la producción de biomasa, ya que conforme aumenta la distancia de siembra, los rendimientos disminuyen porque hay menos plantas por hectárea (Boschini et al. 1999).

La poda es una de las prácticas más importantes de manejo del cultivo de la morera, porque de ella depende el que se obtenga buena producción tanto en calidad como en cantidad. La falta de poda periódica desencadena la aparición de enfermedades, especialmente la *Cercospora moris* sobre las hojas viejas las que posteriormente se constituyen en fuente de contagio para las hojas jóvenes. En el primer año la plantación de morera produce hasta un 35 % del rendimiento potencial, en el segundo año hasta un 65 % y a partir del tercer año alcanza y mantiene su máximo potencial de producción. Se deben practicar tres tipos de poda, a saber, poda de formación, de cosecha y de rejuvenecimiento (Rodríguez, 1978).

El ganadero debe de tener la visión de que la plantación de morera es la fábrica de concentrado en su propia finca, la cual puede producir mayor cantidad de ingresos por hectárea, debido a que sus animales producirán mayores ganancias de peso o altos niveles de producción de leche. También debe de saber que la presencia de malezas en el cultivo de morera es uno de los problemas más graves que se debe afrontar, especialmente al momento del establecimiento del cultivo, ya que ellas afectan su desarrollo al competir directamente por luz, agua y nutrimentos. No es posible un buen establecimiento del cultivo con alta presencia de malezas. Asimismo, la productividad de la plantación disminuye en presencia de malezas, por tanto, debe de establecerse un buen programa de control (Rodríguez, 1978).

Respecto a las plagas y enfermedades, las plantas bien nutridas y vigorosas, permiten que fácilmente el productor pueda detectar cualquier aparición de una plaga y proceder rápidamente a eliminarla, sin que ésta se extienda en el cultivo. Generalmente se observan daños causados por insectos en el lado inferior de las hojas. Esto ocasiona manchas de color café en las puntas o en las

nervaduras de las hojas. Sin embargo, no causa gran perjuicio a la plantación. Se recomienda realizar revisiones periódicas al cultivo para determinar la magnitud de los daños, para en caso de ser necesario, proceder con el control. Para esto se debe de consultar con los expertos (Castro, 2005).

La morera se puede ofrecer a los animales en forma fresca, ensilada o como harina. En México para hacer harina usan un proceso que consiste en secar el material cosechado (hojas y tallos tiernos), extendiéndolo sobre una superficie de cemento en capas de 10 cm de alto. Se procede a darle vuelta diariamente para favorecer el secado hasta que llegue a 85% de materia seca, luego es pasado por un molino de martillos con malla de 5 mm y el material obtenido se coloca en sacos de polietileno para ser almacenado por períodos no mayores a una semana (Mata et al. 2006).

Dado que los forrajes son la base de la alimentación de los rumiantes, es fundamental conocer la calidad nutricional de los mismos. Entender cómo se estima la calidad de un forraje o por qué se dice que es bueno o malo para la alimentación animal, es muy difícil. Pero hay algunos conceptos que son básicos para ese entendimiento. La calidad de los forrajes está dada por el contenido de proteína, energía, minerales y vitaminas de su materia seca (MS). El contenido MS de un forraje es inversamente proporcional al contenido de agua. O sea, entre más agua tenga un forraje, menor cantidad de MS tiene y por lo tanto, menor capacidad de almacenar nutrientes. Por eso es tan importante este componente en la alimentación animal (Parker, 2010).

La morera contiene 3,8 mega calorías de energía, lo cual la hace comparable a un cereal, por lo tanto, perfectamente puede usarse como un concentrado. Otra característica de la morera es su alto contenido de minerales con valores de cenizas de hasta 17%. Los contenidos típicos de calcio son entre 1,8 y 2,45%; los de fósforo entre 0,14 y 0,24%; los de potasio entre 1,90 y 2,87% en hojas y entre 1,33 y 1,55% en los tallos tiernos y contenidos de magnesio entre 0,47 y 0,64% en hojas y entre 0,26 y 0,35% en tallos tiernos (Castro, 2005).

Los ensilajes tradicionalmente se hacen con gramíneas tropicales o con maíz y en los últimos años se ha estado haciendo con *Cratylia* (*Cratylia argentea*) y con alguna leguminosa como la rabiza (*Vigna unguiculata*). Una excelente alternativa de ensilaje es el uso de la morera, la que, debido a

su poca fibra y alto nivel de carbohidratos en su follaje, puede ensilarse sin aditivos, con pocas pérdidas en proteína cruda (entre 16 y 21% de Proteína Cruda) y con una digestibilidad entre 66 y 71% (Vallejo, 1995 y González 1996). Estos son parámetros muy superiores a los de ensilajes hechos con forrajes tropicales. El elevado contenido energético de la morera posibilita el ensilaje con alto contenido de nutrimentos, lo que puede redundar en mayores niveles de consumo que el observado con el ensilaje de gramíneas.

La morera (*M. alba* L.) es una especie sobresaliente por sus elevados rendimientos de biomasa comestible, digestibilidad, aceptabilidad, valor nutricional y perennidad frente al corte (Martín et al., 2007). Asimismo, la variedad tigrada es considerada como una de las de mejor respuesta productiva en las condiciones edafoclimáticas de Cuba, en áreas de secano (Martín, 2004). Los principales resultados con esta variedad enfatizan en su empleo como alimento para el ganado cunícola, porcino, ovino y vacuno (Martín et al., 2013).

El intervalo de corte es uno de los factores determinantes en la producción de forraje de la morera, y está influenciado, a su vez, por la fertilización y la época del año (Martín et al., 2013). Los reportes hallados en la literatura científica sobre este aspecto se han generado en plantaciones en monocultivo con intervalos de corte de 45, 60, 75, 90 y 120 días (Martín, 2004; Rojas, 2005; García et al., 2011).

Los estudios sobre arreglos espaciales de las plantaciones de *M. alba* L. sugieren una gran amplitud de opciones, determinadas por las condiciones de suelo y clima y por la finalidad de la producción de forraje. En este sentido, se han recomendado densidades de plantación en surcos sencillos de 20 000 y 25 000 plantas ha⁻¹ (Martín et al., 2002) y hasta 27 777 plantas ha⁻¹ (Boschini et al., 1999). Rojas (2005) estudiaron densidades más altas (entre 40 000 y 100 000 plantas ha⁻¹). En las condiciones de Cuba, Martín et al. (2014) demostraron la efectividad del arreglo espacial de la plantación con 50 000 plantas ha⁻¹ y un marco de plantación de 1 m x 0,20 m.

Los estudios de Martín (2009) y García (2014) demostraron las ventajas del manejo conjunto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la *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 este caso *M. alba*.

Las altas dosis de fertilizantes implican 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 hayan resultado efectivas en otros cultivos, tales como el uso de abonos verdes (CIDICCO, 2004) y de inoculantes micorrízicos (González, 2014).

Resulta significativo que la morera es el alimento tradicional del gusano de seda, ha sido seleccionada y mejorada por calidad y rendimiento de hojas en diversos ambientes y actualmente se encuentra presente en varios países alrededor del mundo. Su importancia para la industria de la sericultura es fundamental. Estos gusanos se crían hoy en muchas regiones del mundo para aprovechar el capullo que protege a su crisálida constituido por un largo filamento de seda, producido por la oruga, y se alimentan exclusivamente de las hojas de morera (Leyva, 2012).

1.3. Los Hongos Micorrízicos Arbusculares en la nutrición de las plantas

Las micorrizas arbusculares son el resultado de la asociación mutualista entre algunos hongos del suelo y la raíz de la mayoría de las plantas. En ella, el micelio del hongo coloniza la corteza radical a modo de endófito y proyecta sus hifas tanto al interior como al exterior de la raíz). Frank, en el año de 1885, nombró a la simbiosis entre hongos y las raíces de las plantas como "Micorriza", término que procede del griego —mykos], hongo y —rhiza], raíz. Entre las asociaciones de micorrizas, la asociación micorriza arbuscular es la más común (Forero et al., 1996). Se estima que más del 80% de las plantas terrestres forman este tipo de asociación. Estas incluyen muchas especies de cultivo importantes en la agricultura y horticultura (Smith y Read, 2009)

En la naturaleza pueden reconocerse diversos tipos de micorrizas, los cuales se presentan en el ecosistema en función de características relacionadas con la presencia de fósforo y nitrógeno, tanto orgánico como inorgánico, y su relación con el tipo de vegetación dominante. Dentro de estos se

encuentran: a) micorriza orquideoide; b) micorriza ericoide; c) micorriza monotropoide; d) micorriza arbutoide; e) ectomicorriza, y f) micorriza arbuscular (Alarcón, 2007).

1.Micorriza Orquideoide: Se forman en las plantas de la familia Orchidaceae, y hongos del phylum Basidiomicetos, algunos de ellos pueden ser parásitos de otras plantas. Sin embargo, en su condición micorrízica con orquídeas, estos hongos contribuyen en mutualismo a transferir carbono orgánico y nutrimentos minerales a esta planta (Smith y Read, 2009).

2.Micorriza ericoide: Plantas de la familia Ericaceae, los falsos pelos radicales son envueltos por abundantes hifas, las cuales penetran las células de la raíz, pero no llegan a formar manto fúngico (Allaway y Ashford, 1996). Los hongos formadores de este tipo de micorriza corresponden al grupo de los Ascomicetos. Estos son responsables de manera importante de la movilización de nutrimentos, ya que muchas ericáceas crecen en hábitats donde la mayoría de los nutrimentos del suelo se encuentran en forma orgánica (Alarcón, 2007).

3.Micorriza monotropoide: Este tipo de micorriza se forma también en plantas sin clorofila, aunque sus estructuras son similares a las formadas por la ectomicorriza y la micorriza arbutoide; es decir, forman manto fúngico y red de Hartig. Además, forman estructuras altamente especializadas del tipo de haustorios llamados clavos fúngicos, que penetran las células epidérmicas de tal forma que se van originando diversos hábitos de desarrollo de acuerdo con el crecimiento y la floración de la planta (Alarcón, 2007).

4.Micorriza arbutoide: Este tipo de micorriza se caracteriza por formar manto fúngico, hifas externas y, usualmente red de Hartig bien desarrollada. Además, se presenta un desarrollo extensivo de hifas intercelularmente. Los hongos formadores de esta simbiosis pertenecen al grupo de los basidiomicetos (Smith y Read, 1997).

5.Ectomicorriza: Establecen una asociación mutualista con las raíces de gimnospermas y angiospermas, principalmente leñosas, aunque solo alrededor del 3% de las plantas forman esta asociación. Estos hongos pertenecen a los tres grandes grupos de hongos terrestres, los Zygomycetes, los Ascomycetes y los Basidiomycetes, encontrándose en este último la mayor

diversidad de géneros y especies que forman este tipo de asociación, se caracteriza principalmente porque las hifas del hongo limitan su desarrollo a los espacios intercelulares del córtex, sin penetrar las células vegetales de la raíz, dando lugar a una estructura característica denominada red de Hartig ((Palfner, 2001).

6. Micorriza arbuscular: Los hongos formadores de micorriza arbuscular pertenecen al phylum Glomeromycota. Se consideran biótrosos obligados, ya que para su desarrollo y reproducción requieren el sistema radical del hospedero. La principal característica morfológica de la colonización de la corteza de la raíz por estos hongos es su ramificación dicotómica repetida una vez que han penetrado en las células (Schüßler et al., 2010).

Esta íntima asociación entre hongos micorrízicos y plantas terrestres tiene una antigüedad de más de 460 millones de años (Redecker et al., 2006), lo que ha condicionado decisivamente la biología de estos hongos. No se les conoce ninguna fase de reproducción sexual, pero sí la formación de esporas de resistencia sobre hifas vegetativas. Se trata de esporas multinucleadas, con un número de núcleos que oscila desde los 720 en *Scutellospora castanea* a 2600 para especies del género Gigaspora. Así mismo, estos hongos, especialmente los miembros del género Gigaspora, pueden ser hospederos de bacterias endosimbióticas de función y origen desconocidos hasta el momento, e incapaces, al igual que los propios hongos que los albergan, de una fase de vida independiente (Gargeat et al., 2004).

La clasificación de los HFM es complicada y ha sufrido numerosos cambios a lo largo de las últimas décadas. Hasta finales del año 2000 los HFMA formaban parte de la clase de los Zigomicetos, y se agrupaban en un solo orden, los Glomales. Este orden estaba constituido por dos subórdenes (Glominae y Gigasporinae), tres familias (Glomaceae, Acaulosporaceae y Gigasporaceae) y seis géneros (Glomus, Sclerocystis, Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora y Scutellospora). Actualmente se considera que pertenecen al Phylum Glomeromycota (Schüßler et al., 2010), con más de 150 especies descritas.

Tradicionalmente, la identificación de los HFMA se ha basado en las características morfológicas de las esporas, aunque no han sido descartadas otras técnicas de amplio uso internacional, y que

juegan un papel importante. Sin lugar a duda estas estructuras contienen una información taxonómica importante (Sieverding y Oehl, 2006), pero esta puede llegar a ser limitada y confusa. Este nuevo Phylum es creado mediante estudios filogenéticos y a través de la secuencia de genes de la subunidad pequeña del ARNr.

La aplicación de las técnicas moleculares ha permitido estructurar la taxonomía de estos hongos en cuatro órdenes en los que se incluyen nueve familias. Con base en estos estudios, separan a los hongos de un Phylum polifilético (Zygomycota) hacia otro que es aparentemente monofilético (Glomeromycota) (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007). La formación de la micorriza arbuscular implica una serie de pasos a partir del reconocimiento de la superficie de la raíz por el hongo hasta la formación de un apresorio, la penetración de células epidérmicas, desarrollo de hifas intrarradicales y arbusculares, y en algunos casos, la formación de vesículas. Todos estos pasos están, sin duda bajo un control genético (Peterson et al., 2004).

Los HMA se caracterizan por ser biótrosos obligados (Declerck et al., 2008), con un ciclo de vida que incluye reconocimiento, colonización e intercambio de nutrientes con la planta hospedera, y producción de estructuras reproductivas como esporas y esporocarpos y de reserva como vesículas (para los géneros que forman estas estructuras, como los pertenecientes a la familia Glomeraceae (Bashan et al., 2007). El principal efecto de la micorrización en las plantas está relacionado con el aumento del volumen de suelo explorado mediante el incremento del área superficial subterránea combinada entre el sistema radical y los HFMA, orientado a mejorar la absorción de agua, nutrientes y formar puentes hifales con las raíces de las plantas cercanas como mecanismo de transferencia de nutrientes entre hospederos (Peterson et al., 2004).

Es la primera fase de desarrollo de la simbiosis en donde múltiples señales permiten que las esporas de los HFMA germinen y comience el desarrollo de las hifas (Parniske 2010). Las plantas sometidas a estrés por falta de fósforo disponible emiten señales bioquímicas a través de las raíces. Las estrigolactonas son compuestos químicos identificados en las plantas sometidas a bajos niveles de fósforo, estos compuestos cumplen una función importante de estimular e inducir la germinación de las esporas y la ramificación de las hifas de los HFM (Akiyama et al., 2006).

Otros compuestos como el CO₂ liberado por las raíces es fundamental para la germinación de esporas y el crecimiento de las hifas, igual que algunos metabolitos secundarios de la planta como los flavonoides que están involucrados en la ramificación de las hifas, todos ellos juegan un papel preponderante en los diferentes procesos que se suceden a nivel tisular durante la simbiosis (Vierheilig et al., 2006).

La percepción de estas señales causa en el hongo alteraciones en la fisiología y en la actividad mitocondrial, en especial cuando la espora entra en contacto con las estrigolactonas, las cuales son responsables de la respiración fúngica y el catabolismo de los lípidos (Besserer et al., 2006). En las raíces se produce un conjunto de señales que inducen la simbiosis y algunas respuestas específicas que se conocen con el nombre de factor Myc. En este momento se activan la expresión de genes ENDO11 producidos en el hospedero (Akiyama y Hayashi 2006).

Este grupo de genes permite dar inicio a la siguiente fase de desarrollo de la endosimbiosis (Bonfante y Requena, 2011). Ya en la fase simbiótica, una serie de cambios en las células de la raíz estimulados por el gen ENDO11 y los factores Myc permiten que se forme el aparato de pre-penetración (APP), el cual es una estructura subcelular que predetermina la senda de crecimiento del hongo a través de la célula de la planta e ir conformando las hifas (Genre et al., 2007).

Las principales señales para la ramificación y crecimiento de las hifas son los exudados de las raíces, los cuales contienen diferentes tipos de compuestos y hormonas que favorecen no solo el crecimiento y ramificación de la hifa en el suelo, sino también la germinación de las esporas (Requena et al, 2011), quienes señalan además, que uno de los exudados que estimulan el crecimiento de las hifas son los metabolitos secundarios o señales tigmotróficas que indican que una hifa de un HFMA puede crecer a una tasa de 5,6 mm por día.

La ramificación de las hifas forma una red que permite tomar de una manera más eficiente los nutrientes y el agua del suelo; dentro de este proceso la amplia variedad de nutrientes involucrados, han obligado a que las hifas desarrollen diferentes estrategias en la toma y el transporte de éstos, a través de las redes comunes de micorrizas CMNs (Common mycorrhizal networks) que hace referencia al conjunto de señales químicas y nutrientes que viajan por las hifas (Barto et al., 2012).

Las rutas posibles de transporte de la información química y nutrientes que las hifas fúngicas pueden realizar son: a) Transporte citoplasmático, después de la captación activa por las hifas o movimiento pasivo a través de las membranas celulares de los hongos, b) Transporte por difusión a través de la pared celular fúngica (apoplástica), debido a la naturaleza hidrofóbica de la pared de las hifa (Allen 2014), c) Movimiento por disolución en agua de los compuestos solubles, en las capas superficiales de la hifa no hidrofóbicas, d) las hifas de los HFMA pueden formar pequeños “cordones” que salen de las raíces de la planta, creando canales en el interior de la hifa que acumula aire y agua que son los encargados de llevar sustancias solubles en agua, e) Modificación del ambiente en el suelo que rodea la hifa, aumentando la agregación del suelo, la conductividad y la población de microorganismos de la rizósfera que acelera el movimiento de nutrientes y señales químicas (Barto et al., 2012).

La movilización de fósforo de la solución del suelo hasta la raíz de la planta es el principal beneficio de la simbiosis, y la extensa red de hifas de los HFMA influye en las propiedades físico – químicas del suelo y directamente o indirectamente contribuyendo en la liberación de fosfato, a partir de complejos inorgánicos de baja solubilidad (Finlay 2013).

Las hifas permiten la toma de nutrientes que son escasos en el suelo como el fósforo, el nitrógeno inorgánico, y el Zinc (Atul-Nayyar et al., 2009). Sin embargo, estos hongos también pueden ser importantes en la toma de otros nutrientes necesarios como el Cu y Fe. El micelio externo de los HFMA explora el suelo y toma el PO_4 inorgánico o lo hidroliza gracias a las fosfatasas el PO_4 forma cadenas de polifosfato en la vacuola del micelio externo de la hifa, la vacuola viaja al micelio interno hasta el arbusculo donde el polifosfato libera el PO_4 y las proteínas transportadoras de la MPA llevan formas fosfatadas al citosol en donde se trasloca al sistema vascular (Kim et al., 2012).

El efecto de las micorrizas que primero se describió, y que hasta los años 90 fue el principal objeto de estudio de esta simbiosis microbio-planta, fue su influencia en la captación de nutrientes. La clave de esta actividad, como se esbozó anteriormente, radica en que, cuando la colonización interna está bien establecida, las hifas del hongo pueden crecer externamente desde la raíz de la planta hacia el suelo (micelio externo). Concretamente, se sabe que cada cm de raíz puede sustentar

más de 1 m de hifas externas, que se extienden más de 10 cm de la superficie de la raíz. Esto les permite explorar un volumen de suelo considerablemente superior y captar nutrientes en zonas alejadas de la raíz (Barea et al., 2013).

Así mismo facilitan la captación de agua por la planta. Adicionalmente, las micorrizas confieren a las plantas una mayor capacidad de resistencia/tolerancia a situaciones que pueden causarles estrés, como son salinidad, sequía, contaminación, ataque de patógenos, etc. Por estas razones el uso racional de los hongos micorrízicos como inoculantes en agricultura puede representar una reducción sustancial de agroquímicos tales como fertilizantes y productos fitosanitarios etc., por lo se les reconoce un gran potencial en el contexto de la agricultura sostenible. (Azcón-Aguilar y Barea., 2015).

Dentro de los presupuestos que han acelerado la aplicación de las micorrizas en las plantas, se encuentran el impacto que estas producen en su protección contra plagas y enfermedades, ya que las plantas son capaces de adaptarse a condiciones hostiles en su entorno mediante mecanismos de percepción y respuesta de su sistema inmune. Como consecuencia de una estimulación previa, la respuesta del sistema basal de defensa ante el ataque por un patógeno o insecto es más rápida y contundente, respuesta que es potenciada por la micorrización y que permite una defensa natural más fuerte en las plantas que han sido micorrizadas, en relación a las que no asimilan la simbiosis, y favorece la protección fitosanitaria (Prager et al., 2011).

En el caso concreto del ataque de patógenos o insectos, tal potenciación de las defensas naturales de las plantas por micorrizas traen como consecuencia una mayor resistencia de la planta frente a enfermedades y plagas. Se puede hablar, por tanto, de una Resistencia Sistémica Inducida (RSI) por micorrizas, fundamental en el control biológico de patógenos, insectos y plantas parasitas. Se conocen los mecanismos moleculares implicados en la RSI (Pozo et al., 2015).

La aplicación práctica de las micorrizas en la agricultura (y en la restauración de ambientes degradados mediante revegetación) ha estado limitada por la dificultad para la producción masiva de inoculantes del hongo micorrízico. Sin embargo, recientemente se está progresando eficientemente en el desarrollo de las técnicas apropiadas. Las tecnologías para la producción de

formulados micorrízicos se desarrollan en invernadero, usando sustratos ligeros en los que se hacen crecer plantas para que activen la multiplicación del hongo. También el hongo se puede multiplicar *in vitro*, en el laboratorio. Diversas empresas se dedican a la producción de inoculantes, actualmente disponibles comercialmente (Cornejo et al., 2013).

Dentro de los beneficios más visibles de la formación de la micorriza arbuscular, se encuentra la capacidad de los hongos para estimular en las plantas hospederas un mayor tamaño y producción de semillas, a través de la incorporación de fósforo y otros nutrientes (Baijukya et al., 2006), adicionalmente, se conoce que la producción de fitohormonas por parte del hongo mejora la estructura del suelo, favorece la resistencia a plagas y a la sequía.

En el suelo, el micelio de los hongos micorrízicos arbusculares participa en la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas de glomalina, contribuyendo a darle estructura y estabilidad, reduciendo la erosión y mejorando la capacidad de retención del agua por el suelo (Ruiz et al., 2011). Por tal razón, los efectos a nivel edáfico son claves para el mantenimiento de la diversidad vegetal y de los microorganismos del suelo, para la productividad y para la restauración de ecosistemas perturbados. En aquellas plantas con un sistema poco desarrollado, esta simbiosis se puede superar con la ayuda de los hongos formadores de micorrizas, y los resultados podrán incrementarse en efectos favorables al rendimiento de los cultivos.

Los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente son aquellos donde, a través de la inoculación de cepas eficientes de HMA, las plantas logran un mejor funcionamiento de la simbiosis micorrízica, reflejado en un mayor crecimiento, absorción de nutrientes y rendimientos, en comparación a aquellas plantas que no fueron inoculadas (Rivera et al., 2006). Por lo tanto, el uso de estos microorganismos edáficos en la agricultura constituye una alternativa frente a los fertilizantes minerales. Desde el punto de vista ecológico, su utilización permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preserva la biodiversidad.

Estos sistemas son válidos para condiciones de bajos insumos y para una agricultura tecnificada que permita obtener altos rendimientos y se potencie la vida del suelo. Al mismo tiempo se

disminuyen las contaminaciones por aplicaciones excesivas de fertilizantes y los efectos negativos de la sequía. Aquellos suelos dominados por hongos nativos con elevada efectividad no son indicados para la inoculación. En este caso los HMA precisan ser manejados para mantener su población en niveles altos, lo que permitirá ser utilizados en programas de inoculación (Siqueira y Freanco, 1988)

El mayor número de especies e inóculos de HMA se encuentra en los sistemas de bajos insumos (Franke et al., 2001). Muchas prácticas agrícolas empleadas en los sistemas de altos insumos tienen relativamente poca población de HMA nativos, mientras que los sistemas orgánicos aumentan su población pues evitan el uso de agroquímicos y favorecen la biodiversidad (Gosling et al., 2006) La utilización de las micorrizas como biofertilizantes no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar en rangos de 50-80%, en compatibilidad entre la simbiosis micorrízica y el manejo adecuado de la fertilización.

Actualmente no debe dejar de prestarse atención la presión de las actividades antropogénicas como los cultivos comerciales extensivos e insostenibles, que ha llevado a una pérdida de la microbiota afectando la disposición de materia orgánica esencial para el crecimiento vegetal y, en consecuencia, ha ocasionado una alteración del equilibrio ecosistémico, De igual forma, el uso de pesticidas y fertilizantes inorgánicos en agroecosistemas ha generado problemas ambientales por la contaminación de cuerpos de agua y su posterior eutroficación, todos estos elementos influyen en la estabilidad de los ecosistemas e inciden en la biota común de los microorganismos del suelo, lo que también conlleva a la degradación de los hábitats naturales. Esto ha llevado a un creciente interés por la implementación de una fertilización ecológica (Bajwa, 2012).

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y METODOS

Localización, suelo y clima

La investigación se realizó desde el 21 de diciembre del 2018 hasta el 11 de septiembre del 2019 en un área demostrativa del Centro Universitario Municipal (CUM), Cumanayagua, con las coordenadas: 22° 15' de latitud norte y 80° 19' de longitud oeste a 60 msnm.

Se emplearon bolsas de polietileno horadadas con capacidad para 2 kg, en las que se depositó suelo del tipo Pardo Grisáceo (Hernández et al., 2015) con pH (KCl) 5.25, fósforo y potasio asimilable 1.43 y 6.77 mg 100g⁻¹ respectivamente y 2.06 % de materia orgánica.

La plantación se realizó por estacas, las mismas fueron extraídas de ramas maduras con más de 120 días de edad, la longitud de las estacas fue de 25 a 30 cm y alrededor de tres a cuatro yemas visibles y plantadas de forma vertical. En el momento de la siembra se eliminó la costra superficial del suelo en las bolsas y se introdujeron 2 estacas por bolsas, las que se apretaron cuidadosamente de forma uniforme, sin permitir bolsas de aire.

Diseño, procedimiento y muestreo

El experimento se condujo en un diseño de Bloques al azar con 3 réplicas, y los siguientes tratamientos:

1. Suelo (Testigo)
2. Suelo + *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2
3. Suelo + *Glomus cubense*/INCAM-4
4. Suelo + fertilización NPK (Control)

Las especies de HMA probadas se clasifican taxonómicamente de acuerdo a los siguientes autores: *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 (Schüßler et al., 2011) y *Glomus cubense*/INCAM-4 (Rodríguez et al., 2011), ambas procedentes de la colección de cepas de HMA del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y producidas en el propio año del montaje del experimento.

Los inoculantes utilizados se multiplicaron en un sustrato arcilloso (Fernández et al., 2000) esterilizado en autoclave a 120 °C por una hora durante 3 días, con el uso de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk como planta hospedera. Cada inóculo contiene 30 esporas por gramo de sustrato de la especie de HMA a evaluar, así como abundantes cantidades de fragmentos de raicillas e hifas.

La inoculación con los HMA se realizó por el método del recubrimiento, para lo cual la parte basal de estas se sumergieron en una pasta fluida, elaborada mediante la mezcla de una cantidad de inóculo sólido equivalente al 10% del peso de las mismas y agua, en una proporción de 60 ml de agua por cada 100 g de inóculo (Simó *et al.*, 2016).

La fertilización mineral con NPK se realizó 15 días después de la siembra, a razón de 25, 40 y 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Posterior a cada corte se aplicó nitrógeno al 70 % de la dosis inicial, únicamente en el tratamiento con la fertilización mineral. Las bolsas se rotaron cada 10 días entre replicas y tratamientos para contrarrestar el efecto de bordes y cualquier falta de uniformidad en iluminación e igualar efectos del viento que pudo existir en el área del montaje.

El corte de establecimiento fue a los 40 días de brotadas las estacas. Se realizaron 5 cortes sucesivos a 5 cm sobre el suelo, en dependencia del comportamiento de los rebrotes en la planta madre.

Mediciones realizadas

Objetivo 1

Cantidad de rebrotes por plantas en cada corte. Apreciación visual y conteo por independiente

Objetivo 2

A partir del rendimiento y calidad de la biomasa obtenida se seleccionaron las cepas de HMA con mejor respuesta para continuar la investigación en condiciones de campo.

Se determinó la masa fresca foliar en cada corte (g), materia seca (%) por gravimetría, así como nitrógeno en la biomasa (%) por digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y colorimetría con el reactivo de Nessler y el contenido de fósforo por digestión con H₂SO₄ + Se, mediante el método del molibdo-

vanadato (Paneque *et al.*, 2010). Se calcularon la producción de Biomasa (g bolsa⁻¹), porcentaje y producción Proteína bruta (g planta⁻¹) como sigue:

1. Producción de biomasa (g bolsa⁻¹) = (Masa Verde (g bolsa⁻¹) x % Materia seca /100
2. Proteína bruta (%) = nitrógeno en biomasa (%) x el factor de conversión 6,25
3. Producción de proteína bruta (g planta⁻¹) = Producción de biomasa (g bolsa⁻¹) x Proteína bruta (%) /100
4. Eficiencia Micorrízica (EM), según Jano (2007), donde

$$EM = \frac{\text{Biomasa variante inoculada} - \text{Biomasa variante Testigo}}{\text{Biomasa variante Testigo}} \times 100$$

Objetivo 3

A inicios del experimento y al final se tomaron muestras del suelo para determinar: pH en cloruro de potasio, por el método potenciométrico (NC ISO-10390, 1999a), materia orgánica por el método Walkley-Black colorimétrico (NC ISO-51, 1999b), fósforo (método colorimétrico de Oniani y potasio asimilable y, ambos por la Norma Cubana ISO-52 (ONN, 1999c).

Análisis estadísticos:

Todos los caracteres cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por lo cual se procedió a efectuar un ANOVA. Para la discriminación de medias se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$), en los casos en que el ANOVA resultó significativo. Como herramienta de uso, el programa estadístico Statgraphics Centurion (2010).



Figura 1. Vista general del área experimental

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La secuencia de cortes realizada se aprecia en la Tabla 1. Las plantas estuvieron sometidas al proceso de cortes durante 264 días con una frecuencia promedio entre cortes de 45 días.

Tabla 1. Secuencia de cortes de *Morus alba* L.

Establecimiento Morera	I corte	II corte	III corte	IV corte	V corte	Media y días totales.
29/1/19	4/3/19	28/4/19	14/6/19	31/7/19	11/9/19	Final
40 días	34 días	56 días	47 días	47 días	41 días	45 días
Total	74 días	130 días	176 días	223 días	264	264

Los primeros brotes de las estacas ocurrieron entre los 14 y 16 días posteriores a la plantación, y a los 28 días el porcentaje de prendimiento de las estacas alcanzó el 100 %. Por otra parte, Castro (2005) recomienda descortezar o pelar la base de la estaca que se va a plantar unos cinco centímetros, ya que esta práctica puede crear una mayor superficie de exposición lo que garantiza una rápida aparición de raíces. Este procedimiento que no fue realizado en el trabajo, sin embargo observaciones visuales mostraron buena presencia de raíces desde las etapas iniciales de brotación de las mismas.

En la Figura 2 se muestran los rebrotes laterales obtenidos al final del período de cortes y el coeficiente de multiplicación de la planta madre.

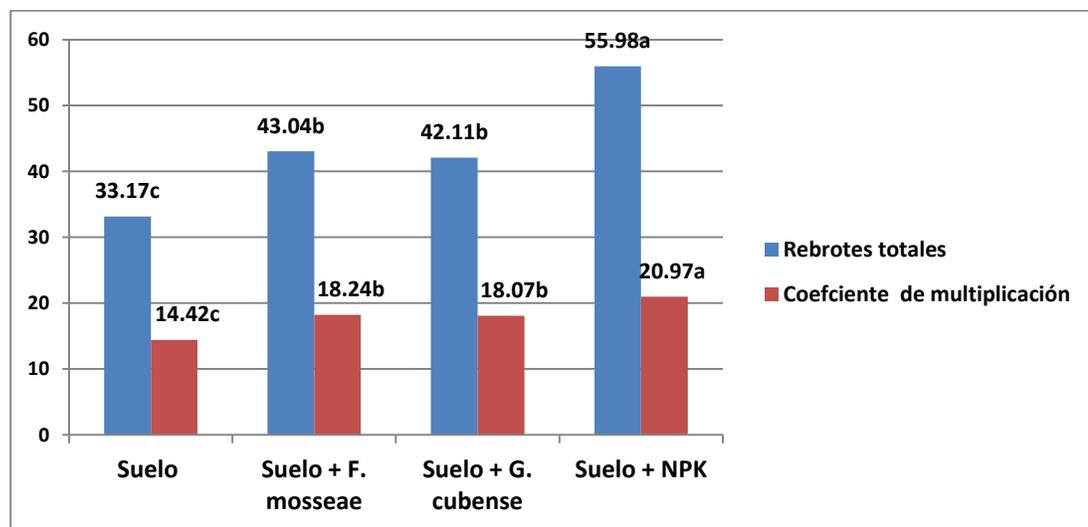


Figura 2. Cantidad de rebrotes por plantas al final de los cortes

ES±: 0,250*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

La mayor cantidad de rebrotes por plantas se alcanzó en el tratamiento con la fertilización N.P.K con 55,98, con diferencias significativas del resto, seguida del tratamiento inoculado con *F. mosseae*/INCAM-2 con 43,04, que no difirió ($p \leq 0,05$) de *G. cubense*/INCAM-4 con 42,11, mientras que ambos mostraron diferencias con el testigo con 33,17 rebrotes.

Se alcanzó un coeficiente de multiplicación por tratamientos de 14,42, 18,24, 18,07 y 20,97 respectivamente. Las variantes inoculadas superaron al testigo. Señalar que la mortalidad de los rebrotes resultó muy baja en todos los tratamientos, así como, no hubo incidencia de plagas ni enfermedades durante el período en que las plantas estuvieron sometidas a cortes.

Estrada, (2022) en estudios con *M. oleífera* inoculada con las especies de micorrizas arbusculares *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4 en un suelo Pardo Grisáceo de baja fertilidad y en condiciones experimentales similares al presente trabajo reportaron una frecuencia de cortes de 34, 20 días, y la explotación de las plantas se extendió hasta 266 días. Por su parte la variante inoculada con *F. mosseae* /INCAM-2 produjo más cantidad de rebrotes que *G. cubense*/INCAM-4, pero ambas superaron al testigo.

El autor anteriormente citado refiere además que se alcanzó un coeficiente de multiplicación de 9.56, 8.25, 8.83 y 7.36 por tratamientos, cantidad inferior al del presente trabajo, con independencia de que son especies de plantas diferentes. De igual forma, Rodríguez (2022) en investigación similar con la leguminosa *L. leucocephala* obtuvo un coeficiente de multiplicación por tratamientos de 16,60, 18,01, 16,91 y 18,48 respectivamente.

Aunque el propósito del trabajo fuese evaluar el efecto de la inoculación en la producción de forraje, considerar la tasa de multiplicación de las plantas también resulta importante, al facilitar información que se toma en cuenta para establecer programas de reproducción en viveros comerciales, por lo que el efecto de la micorrización en la producción de esquejes no debe soslayarse. En los tres casos de estudio con las especies *M. oleífera*, *L. leucocephala* y *M. alba* hubo un efecto superior de la producción de rebrotes en relación al testigo.

Autores como Boshini et al. (1999) encontraron en Costa Rica que el mejor momento de corte del rebrote en condiciones de campo se obtiene entre 75 y 90 días, cuando la producción de hoja es superior a la de tallo. En frecuencias de 112 días se invierte la tendencia, concluyen que la morera se debe cortar antes de los 90 días para aprovechar un balance entre producción de material verde y el mayor valor nutritivo de la biomasa, por otra parte, Castro (2005) reportó que en condiciones de campo, el número de ramas emitidas de *M. alba* después de la poda varía entre tres y seis, con una poda a 30 cm. sobre el nivel del suelo.

En el presente trabajo se observó un crecimiento medio de los brotes, que se hizo más lento a partir del cuarto corte, sin embargo las plantas mantuvieron hasta este momento buen vigor, con una tendencia a disminuir el diámetro de los brotes al final de período, debe tenerse en cuenta que las condiciones semi-controladas de bolsa reducen el área vital que puede producir un efecto de compensación en los diferentes órganos de la planta.

Pentón et al. (2016b) realizaron un estudio de campo en la Estación Experimental Indio Hatuey, con el propósito de determinar el efecto del arreglo espacial de la plantación y del intercalamiento de canavalia inoculada con HMA (CeHMA), en la respuesta agroproductiva de la morera, con un intervalo de corte de 90 días, a una altura, de 0,30 m sobre el suelo. Los cortes se enmarcaron en la época lluviosa entre los meses de agosto y noviembre, y en la época poco lluviosa, entre febrero y mayo. Los resultados alcanzados en el presente trabajo, aun en condiciones semi-controladas de bolsas mostraron un comportamiento marcado de la producción de rebrotes entre ambos períodos lluviosos. Esto pudo indicar una respuesta en el comportamiento de la fenología de *Morus alba* durante el ciclo de la planta que derivó en un tiempo promedio de 45 días entre los cortes.

La Figura 3 refleja la producción de biomasa en el corte de establecimiento. Se aprecia como todos los tratamientos difirieron estadísticamente entre sí ($p \leq 0,05$), con la mayor producción de biomasa en el tratamiento con la fertilización mineral de base y en cada corte ($3,97 \text{ g}^{-1}$), la cual superó estadísticamente al resto de las variantes. En orden decreciente estuvieron los tratamientos inoculados con *Funneliformis mosseae*/INCAM-2 ($2,58 \text{ g}^{-1}$), *Glomus cubense*/INCAM-4 ($2,15 \text{ g}^{-1}$), y finalmente el testigo ($3,97 \text{ g}^{-1}$). Aunque en condiciones semi-controladas de bolsas, los resultados alcanzados indicaron una respuesta favorable de *M. alba* a la inoculación con estas especies de HMA en su fase de

establecimiento, lo que podría representar una alternativa de nutrición para los productores, al permitir una emergencia de las plantas madres y un establecimiento de la misma, que permitió realizar el corte de emparejamiento con los resultados anteriormente descritos.

Una de las opciones para incrementar la producción mediante el enfoque orgánico sustentable es, el empleo de microorganismos rizosféricos que promuevan el crecimiento vegetativo y ayuden a las plantas frente a diversos escenarios de producción. Al respecto, los hongos formadores de micorrizas, son microorganismos simbióticos obligados que colonizan la raíz de la mayoría de especies de plantas y su relación simbiótica promueve el crecimiento de las plantas hospederas y hace que las raíces de estas puedan convivir con más de una especie de HMA (Turrini et al., 2018).

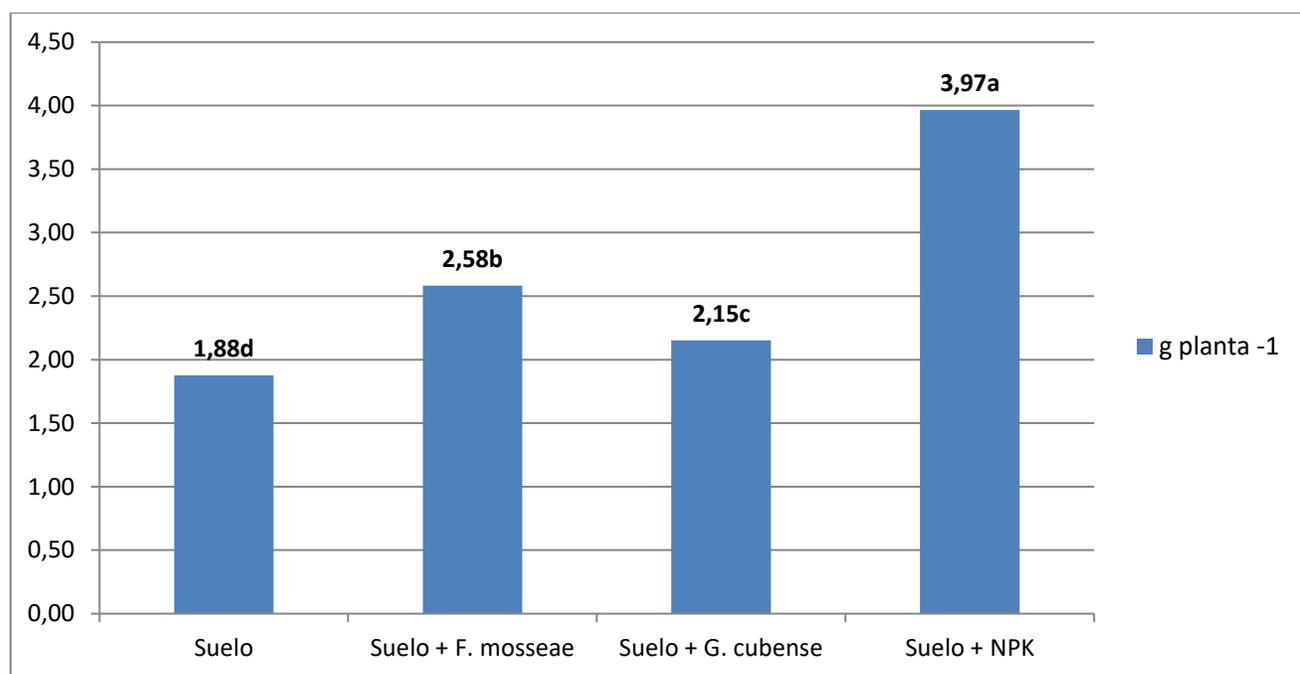


Figura 3. Producción de biomasa en el corte de establecimiento

ES_{x±}: 0.955*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey (P ≤ 0,05)

Aplicar alternativas que permitan mejorar la nutrición de morera resulta fundamental, ya que según (Martín et al., 2007) *M. alba* es una especie que se destaca por sus elevados rendimientos de forraje destinados a la alimentación de rumiantes y monogástricos, y por su alta aceptabilidad, digestibilidad, las hojas son muy palatables y digestible (70-90 %) en los rumiantes. De igual forma

valor nutricional y perennidad frente al corte; también puede ser empleada como forraje verde y conservada en forma de ensilaje o harina para garantizar una alimentación suplementaria. Se potencia, además por su rusticidad de adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas, que la pueden ubicar en diferentes zonas físico-geográficas.

La influencia de las raíces de las plantas en la rizósfera, constituye una zona de interacciones únicas y dinámicas entre las raíces y los microorganismos atraídos hacia ellas por los exudados radicales (Perin et al., 2006), lo que pudiera resultar comprensible en el análisis de la figura anterior, si se tiene en cuenta que el crecimiento de la planta de morera se desarrolló en bolsas, con un área vital limitada, y donde estas interacciones podrían ser más marcadas e incluso a nivel de “hifosfera micorrízica”, donde ocurren procesos en las etapas previa de reconocimiento planta-hongo y la posterior colonización de la raíz, lo que propicia una mayor capacidad de exploración de las raíces, con la consiguiente posibilidad de captar elementos nutricios disponibles en zonas más distantes del área vital de la plantas, y de esta forma contribuir a un mejor desarrollo de las plantas.

En la Tabla 2 se refleja la producción de biomasa por planta (g planta^{-1}) en los cortes realizados, así como el acumulado.

Tabla 2. Producción de biomasa (g planta^{-1}) por cortes y acumulado

Tratamientos	I Corte	II Corte	III Corte	IV Corte	V Corte	Acumulado
Suelo	4,20d	3,72d	3,12d	2,61d	2,47d	16,12d
Suelo + <i>F. mosseae</i>	5,75b	5,21b	4,99b	4,84b	4,71b	25,50b
Suelo + <i>G cubense</i>	4,65c	4,36c	4,19c	3,93c	3,62c	20,75c
Suelo + NPK	6,56a	6, 27a	5,89a	5,41a	5,15a	29,28a
ESx±	0,934*	1,223*	0.618*	1,469*	1,459*	1, 987*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

En la tabla anterior se aprecia un decrecimiento de la producción de biomasa en el tiempo en todos los cortes y tratamientos. Se manifiesta de forma general la mayor producción de biomasa en la variante con la fertilización mineral de base y en cortes sucesivos, con diferencias estadísticas del resto. Los tratamientos inoculados con las cepas de HMA siempre superaron al testigo

estadísticamente, y a su vez difirieron entre sí ($P \leq 0,05$), con mejor respuesta la cepa *F. mosseae*/INCAM-2. Este comportamiento por cortes de los tratamientos en estudio se mostró similar al analizar el acumulado de los cinco cortes, donde todos difieren entre sí, con el mayor acumulado en la variante N.P.K (29, 28 g⁻¹), seguido del tratamiento Suelo + *F. mosseae*/INCAM-2 (25,50 g⁻¹), Suelo + *G cubense*/INCAM-4 (20, 75 g⁻¹) y el Suelo solo (16, 12 g⁻¹).

Martín et al. (2002) estudiaron los rendimientos de forraje de morera en condiciones de campo con diferentes intervalos de corte, y obtuvieron las mayores producciones de masa seca comestible con 120 y 90 días, respectivamente, por su parte Martín et al. (2000) observaron que, aunque con intervalos de corte de 45 y 60 días hubo mayores proporciones de biomasa comestible respecto a la biomasa total (85 y 74 %, respectivamente), los valores absolutos de biomasa comestible fueron superiores con el intervalo de 90 días; con lo cual coinciden Almeida y Fonseca (2002).

En relación con el manejo de la nutrición de la morera, se conoce que las altas dosis de fertilizantes que requiere este cultivo implican elevados costos de producción (Elizondo, 2007), y en función de reducir dichos insumos resulta importante evaluar prácticas que han sido efectivas en otros cultivos, tales como el uso de abonos verdes y de inoculantes micorrízicos (Riera, 2002; González, 2014). En Cuba y en la región de Centroamérica son insuficientes las experiencias con morera manejada con inoculantes micorrízicos.

Según la literatura procedente de América Latina, el rendimiento de masa seca comestible de esta planta puede llegar a 30-40 t ha⁻¹ por año cuando ocurren altas precipitaciones con distribución uniforme, en suelos de elevada fertilidad o con un manejo adecuado de la nutrición vegetal (Dingle et al., 2005; Sanginés et al., 2006). En Cuba este cultivo se encuentra en fase de extensión y se obtienen rendimientos en secano que varían entre 8 y 12 t ha⁻¹ por año de biomasa seca comestible (Martín et al., 2007).

En relación a lo expresado por Martín et al., (2007), la importancia de asumir en Cuba un mayor uso de plantas proteicas en la alimentación animal como suplemento, justifica la necesidad de buscar alternativas que mejoren su nutrición, en este caso la micorrización. Al evaluar el efecto que ejerce en la producción de biomasa (Tabla 2), hay incrementos, por lo que una vez introducida esta práctica

en campo, a partir de una selección de cepas, podría favorecer el mismo a escala mayor.

Los estudios en plantaciones de morera intercalada con cultivos temporales, usados como abonos verdes o vehículo para incorporar hongos micorrízicos arbusculares (HMA), son insuficientes; aunque existen algunas experiencias de intercalamiento de leguminosas herbáceas, con marcos de plantación en surcos dobles, en las que el rendimiento de forraje se incrementó hasta un 16 % en comparación con el alcanzado cuando se emplearon surcos sencillos (Shankar et al., 2006; Hadimani et al., 2004), lo anterior corrobora la necesidad de evaluar en condiciones locales el uso de este microorganismo en la especie de *M. alba*.

La Figura 4 refleja la Efectividad Micorrízica (EM) en relación a un testigo sin inocular (Suelo), tanto en el corte de establecimiento, como en el acumulado de los cinco cortes. Se aprecia una mayor EM en la fase de establecimiento, mientras que en el acumulado de los cinco cortes efectuados la misma disminuyó. La mejor producción de biomasa en relación a la especie de HMA inoculada mostró mayor dependencia de la micorrización en *Funneliformis mosseae* (INCAM-2), tanto en el establecimiento, como en el acumulado con porcentajes entre 37,26 y 52,78 % respectivamente y diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$).

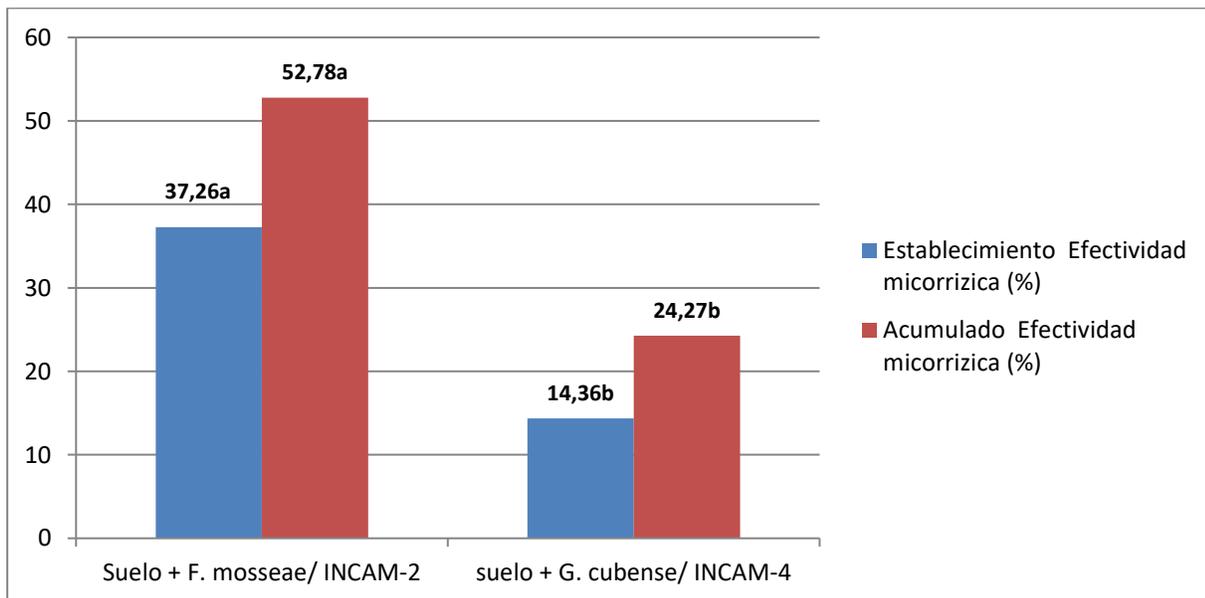


Figura 4 Efectividad Micorrízica en el establecimiento y acumulado de cortes

ES \pm : 2,629*, 3,617*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Estrada, (2022) y Rodríguez (2022) en estudios con *M. oleífera* y *L. leucocephala* inoculada con *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4 en un suelo Pardo Grisáceo de baja fertilidad y en condiciones experimentales similares al presente trabajo obtuvieron mayor dependencia micorrízica en la fase de establecimiento, con la cepa *F. mosseae*/INCAM-2, sin embargo la misma disminuyó en el tiempo, alcanzando menor EM en el acumulado de los cinco cortes. Los resultados alcanzados en el trabajo coinciden respecto al mejor comportamiento de la especie *F. mosseae*/INCAM-2, pero difieren en cuanto a la dependencia micorrízica en el tiempo, la cual fue mayor en el acumulado de *M. alba*, que en las dos especies de plantas evaluadas por estos autores.

La poca especificidad que muestran las asociaciones micorrízicas en la naturaleza, donde las hifas que emergen de raíces micorrizadas vivas son capaces de conectar plantas de iguales o diferentes especies a través de extensas redes de micelio puede considerarse fundamental para garantizar una buena eficiencia de la inoculación en condiciones de campo (Voets et al., 2009 y Herrera, et al., 2011). En los resultados que se discuten, las especies de HMA evaluadas pertenecen al mismo género, y sin embargo hubo diferencias en la respuesta de la planta hospedera (rendimiento y eficiencia micorrízica).

Con respecto a los HMA, son numerosos los resultados que abordan los beneficios de los inoculantes micorrízicos en diferentes cultivos y tipos de suelo, ya que se establece una simbiosis efectiva, que aumenta la toma de nutrientes, garantiza altos rendimientos y disminuye los requerimientos de fertilizantes (González, 2014). En tal sentido la morera, como cultivo micótrofo (Ram Rao et al., 2007), no constituye una excepción; aunque son escasos los trabajos que estudian la importancia de la inoculación en este cultivo.

Hay especies de plantas que no son dependientes de los HMA en las primeras etapas de crecimiento debido a que tienen semillas o material vegetativo con grandes reservas alimenticias, suficientes para las primeras fases de desarrollo, no obstante, en etapas posteriores, cuando las reservas se han acabado, ellas pueden convertirse en plantas micotróficas dependientes (Saggin Lovato, 1999).

Smith y Read (1997); y Van der Heijden (1997), citados por Quilambo (2003), refieren que las

especies de HMA no tienen especificidad en la elección de sus hospederos, sin embargo, diferencias en los efectos que causan sobre el crecimiento de los individuos que colonizan, indican que estas responden a especies específicas de HMA, y consecuentemente, hay un aumento en la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema determinado, criterios que deben ser tomados en cuenta para seleccionar cepas promisorias y la aplicación de HMA a escala de producción, y que se manifiestan en este trabajo con una mejor respuesta de *F. mosseae* en relación a *G. cubense*.

Ojeda et al., (2015), al evaluar el efecto que ejerce la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola (250, 500, 750 y 1000 g m lineal⁻¹) sobre el rendimiento de biomasa en *Leucaena leucocephala* cv. Perú en condiciones de campo en un suelo Pardo Grisáceo Perú, y tras realizar ocho cortes en dos años, con una frecuencia de 90 y 60 días en el período poco lluvioso y lluvioso respectivamente, a una altura de 25 cm sobre el suelo, concluyeron que la aplicación de MicoFert agrícola incrementó el rendimiento de biomasa de *L leucocephala* en la variante micorrizada en relación al testigo y alcanzó una Eficiencia micorrízica entre 13 y 40 %, de forma proporcional al aumento de las dosis aplicadas del MicoFert.

Ojeda et al., (2019), en una selección de especies de HMA en *Crotalaria juncea* (L.) en un suelo Pardo Grisáceo de baja fertilidad natural con fines de abono verde y para forraje, encontraron la mayor producción de biomasa en la fertilización mineral, mientras que *Funneliformis mosseae* (INCAM-2), *Glomus cubense* (INCAM-4), *Rhizogloium irregulare* y *Claroideogloium claroideum* superaron al testigo. Los autores anteriormente citados reportaron una DM mayor en *Funneliformis mosseae*/INCAM-2 (58,74 %), seguido de *Glomus cubense*/INCAM-4 con 52,09 %.

En la Figura 5 se aprecia el contenido de proteína bruta de *Morus alba* alcanzado en el establecimiento. El comportamiento muestra que la inoculación con *F. moseeae*/INCAM-2 y Suelo + *G. cubense*/INCAM-4 superaron al tratamiento Suelo, sin que ambas cepas de micorrizas mostraran diferencias significativas ($P \leq 0,05$). El valor más elevado se obtuvo en el Control N.P.K con 30% de proteína bruta.

Benavides, (1999), reportó que el contenido de proteína de las hojas y tallos varía entre el 15 y 28% dependiendo de la variedad, valores que resultaron discretamente superior en las variantes

inoculadas y el tratamiento con la fertilización mineral.

En cultivo para la producción de forraje, la morera ha mostrado excelentes características organolépticas y un alto consumo por el ganado en forma de forraje fresco, que ha superado a otras especies forrajeras de mayor uso (Benavides et al. 1994, Ortiz, 1992 y Castro, 1989), citados por Boschini, (1999). Este autor refiere además que el contenido proteico de la planta entera varía de 14 a 26% de proteína cruda en base seca, y que incluso puede ser superado bajo condiciones de fertilización mineral.

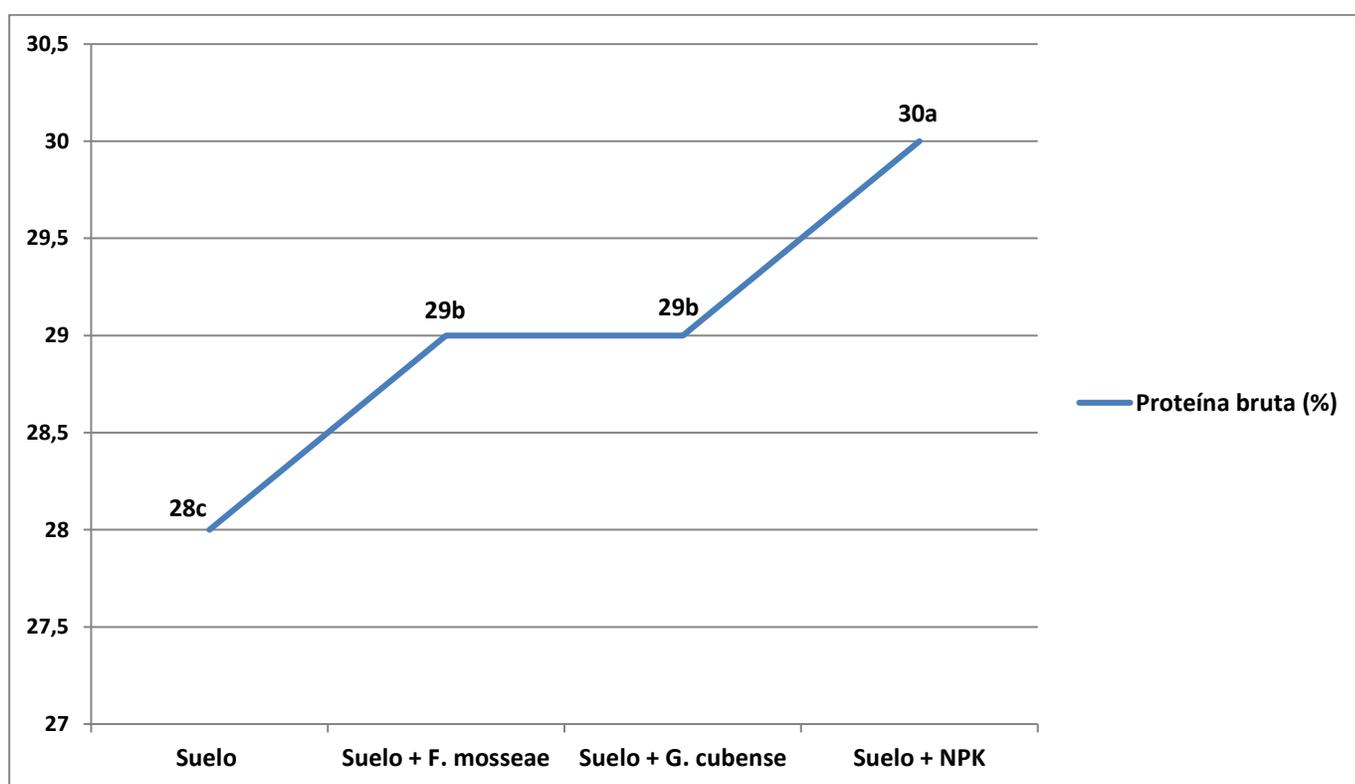


Figura 5 Contenido de proteína bruta en el establecimiento de *Morus alba* L.
ES±: 2,057*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Estrada, (2022) y Rodríguez (2022) en estudios con *M. oleífera* y *L. leucocephala* inoculada con *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4 en un suelo Pardo Grisáceo de baja fertilidad y en condiciones experimentales similares al presente trabajo también obtuvieron en el corte de establecimiento el mayor porcentaje de proteína bruta en la variante con fertilización mineral. Por su parte, las variantes inoculadas con las cepas *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4,

aunque ambas superaron al testigo (Suelo), el porcentaje de proteína bruta alcanzado en *L. leucocephala* (25,1- 24,77%) y *M. oleífera* (22,02-21,21) resultaron inferiores al obtenido en *M. alba* como se observa en la figura 5.

La Tabla 3 muestra el porcentaje de proteína bruta por cortes. Se aprecia que *F. mosseae* superó en todos los cortes a los tratamientos Suelo y Suelo + *G. cubense*. El tratamiento Suelo + N.P.K mostró el mayor contenido de proteína bruta en cada corte foliar realizado. De forma general, el contenido de proteína bruta disminuyó en el tiempo en todos los tratamientos, con la misma tendencia. Sin embargo en el cuarto y quinto corte la caída de la proteína bruta en los tratamientos inculados y el testigo en relación a la variante con fertilización mineral fue muy alta, entre un 53 y 57%.

Tabla 3. Contenido de proteína bruta (%) por cortes

Tratamientos	I Corte	II Corte	III Corte	IV Corte	V Corte
Suelo	26.25d	19.38d	13.19d	8.56c	6.88d
Suelo + <i>F. mosseae</i>	28.13b	25.00b	17.25b	8.88b	7.50b
Suelo + <i>G. cubense</i>	27.50c	21.88c	16.00c	8.50b	7.31c
Suelo + NPK	31.88a	26.50a	21.56a	18.75a	16.00a
ES±	3,726*	2,466*	2,632*	2,691*	2,487*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey (P≤0,05)

En relación a lo discutido anteriormente, Estrada, (2022) y Rodríguez (2022) en estudios con *M. oleífera* y *L. leucocephala* inoculada con *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4 en las mismas condiciones experimentales del presente trabajo reportaron una tendencia similar en la respuesta de la fertilización N.P.K, y en la disminución del contenido de proteína bruta en el tiempo en todos los tratamientos, pero con valores inferiores a los registrados en el caso de *Morus alba* (9,19-35,3% en *M. oleífera*) y 24,4 y 30,3% en *L. leucocephala*).

Castro, (2005), refiere que siempre se consideró a la morera como una planta altamente extractora de nutrientes del suelo, sin embargo debido a las grandes profundidades que alcanzan sus raíces, se ha demostrado que no perjudica las condiciones de fertilidad del suelo, esto se determinó mediante un estudio de suelos que se realizó en la Estación Experimental “El Alto” perteneciente al Ministerio de la Agricultura de Costa Rica desde el año 1991 hasta el año 2004.

Lo referido por el autor anteriormente citado, pudiera justificar la caída del contenido de proteína bruta en el cuarto y quinto corte, lo que se corresponde con el tiempo de permanencia de las plantas en las bolsas (223-264 días respectivamente) sin haber recibido una fertilización mineral de base, lo que conlleva a una pérdida de materia seca en la composición de sus tejidos y un crecimiento más limitado del área foliar. Se conoce que el desarrollo de las estructuras de hongos micorrízicos depende, en gran medida, de la disponibilidad de los nutrientes necesarios para complementar los requerimientos de las plantas (Pentón et al., 2013). En su mayoría pueden suplirse con alternativas orgánicas, y no propiamente con fertilizantes minerales de la industria química.

Los estudios en plantaciones de morera intercalada con cultivos temporales, usados como abonos verdes o vehículo para incorporar hongos micorrízicos arbusculares (HMA), son insuficientes; aunque existen algunas experiencias de intercalamiento de leguminosas herbáceas, con marcos de plantación en surcos dobles, en las que el rendimiento de forraje se incrementó hasta un 16 % en comparación con el alcanzado cuando se emplearon surcos sencillos (Shankar et al., 2006; Hadimani et al., 2004), lo anterior corrobora la necesidad de evaluar en condiciones locales el uso de este microorganismo en la especie de *M. alba*.

En relación con lo planteado anteriormente sobre la necesidad de disponer de nutrientes necesarios para una mejor micorrización, Pentón et al., (2013) en un ensayo de campo en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, sobre un suelo Ferralítico Rojo de buen drenaje superficial e interno, con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización mineral y el intercalamiento de *Canavalia ensiformis* inoculada con HMA, en la multiplicación de propágulos infectivos en una plantación de morera (*Morus alba* L.) encontraron que la combinación de la fertilización mineral con la incorporación de HMA a través del intercalamiento de canavalia constituye una vía eficaz para multiplicar los propágulos infectivos HMA hasta niveles intermedios en el suelo.

De igual forma, Ojeda et al., (2019) evaluaron el efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el rendimiento y calidad de biomasa del cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169 en una investigación desarrollada en un suelo de baja fertilidad natural de la Unidad Científico Tecnológica de Base Suelos, Barajagua, Cienfuegos, Cuba cuyos

resultados sugieren una combinación favorable del abono verde de *C. ensiformis* micorrizada y *C. purpureus* vc Cuba CT-169, al propiciar incrementos del rendimiento de biomasa y proteína bruta de *C. purpureus* vc Cuba CT-169.

La Figura 6 refleja la producción de proteína cruda (g planta^{-1}) en el corte de establecimiento y en el acumulado de los cinco cortes. Se aprecia una tendencia similar en el comportamiento de los tratamientos en ambos momentos, con una mayor producción en Suelo + NPK, con diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) de resto de los tratamientos. Por su parte, Suelo + *F. mosseae*/INCAM-2 superó a Suelo + *G. cubense*/INCAM-4 y ambos tratamientos mostraron mayor producción de proteína bruta que el tratamiento Suelo. Este comportamiento de las variantes inoculadas con las cepas de HMA en relación se ha manifestado en las diferentes variables evaluadas.

La producción de proteína bruta (PB) en términos forrajeros constituye una variable muy importante para caracterizar la oferta de forraje que se le ofrece al animal, ya que contempla el rendimiento de biomasa sobre base seca de la planta forrajera a nivel de área, y el contenido de proteína bruta obtenido del análisis foliar en el laboratorio, ambos representan cantidad y calidad del forraje, por lo que constituye un indicador fundamental a tener en cuenta para la selección de las cepas con mejor respuesta.

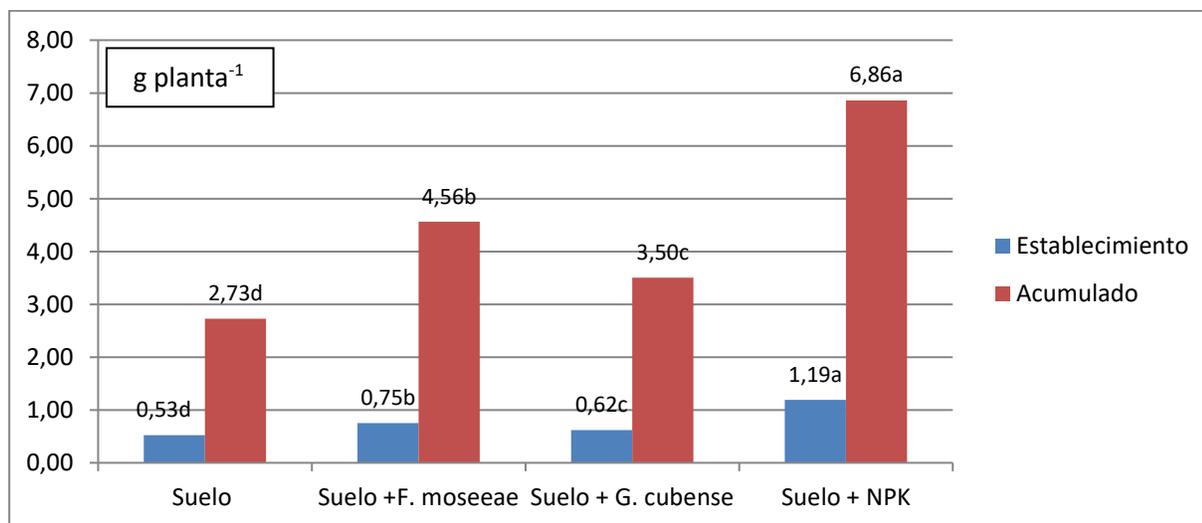


Figura 6. Producción de proteína bruta en el establecimiento y el acumulado de cinco cortes. ES \pm : 0,361*, 1,133*
Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

García (2003), señaló que entre los factores de mayor influencia en el rendimiento de proteína se encuentra la época del año y el intervalo de corte, seguidos de la fertilización nitrogenada y potásica. En el trabajo que se discute se aprecia el comportamiento de las variantes estudiadas tanto en el corte de establecimiento y el acumulado de los cinco cortes, lo que indica cómo fue la respuesta a lo largo del tiempo en que estuvieron las plantas sometidas a los cortes.

En relación a la producción de proteína bruta, Estrada, (2022) en estudios con *M. oleífera* inoculada con *F. mosseae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4 en las mismas condiciones experimentales del presente trabajo reportó resultados similares al presente trabajo en cuanto al comportamiento estadístico de los tratamientos, pero con valores inferiores de proteína bruta producida en el acumulado (4,69 y 2,23 g planta⁻¹) y superiores en el establecimiento (1,38 y 0,88 g planta⁻¹), en las variantes NPK y la inoculada con la cepa *F. mosseae* respectivamente.

Por su parte, Penton et al., (2016a) en estudios realizados en un suelo Ferralítico Rojo lixiviado con el objetivo de evaluar los intervalos de corte (30, 60 y 90 días) y el manejo de la nutrición en la Morera en los tratamientos: sin fertilizantes minerales ni Canavalia intercalada e inoculada con HMA (F0); fertilización mineral a razón de 150 y 75 kg ha⁻¹ de N y K₂O con el objetivo de determinar la posibilidad de intercalar las plantaciones de *M. alba* con *C. ensiformis* inoculada con HMA, en interacción con el intervalo de corte y la época del año encontraron que el rendimiento de proteína bruta en la época lluviosa fue mayor en los tratamientos con fertilización mineral en los intervalos de corte de 60 y 90 días.

De igual forma el tratamiento con canavalia intercalada e inoculada con HMA en el intervalo de 90 días fue superior siempre al tratamiento sin fertilizantes minerales ni canavalia intercalada e inoculada con HMA, respuesta similar a la obtenida en el presente trabajo en relación al testigo y las variantes inoculadas con *F. moseeae*/INCAM-2 y *G. cubense*/INCAM-4, lo que podría indicar un efecto favorable de la inoculación con HMA.

En la Figura 7 se aprecia como el tratamiento inoculado con *F. mosseae*/INCAM-2 incrementó su pH, sin diferencias estadísticas de *G. cubense*, mientras que este no difirió del tratamiento Suelo, por su parte los tres difirieron de la variante con fertilización mineral, que resultó sin diferencias del

valor inicial. Este comportamiento indica un efecto favorable de la micorrización en el pH, a nivel de la rizosfera en que se desarrolló la planta de morera extendido en el tiempo. Se debe tener en cuenta que la actividad microbiana genera CO_2 en el suelo y con ello H_2CO_3 y otros ácidos como el HNO_3 y H_2SO_4 que evidentemente pueden acidificar el suelo, por lo cual la modificación del pH pudo ser menor.

Por su parte, la materia orgánica registró un incremento ligero en todos los tratamientos, sin diferencias estadísticas entre las variantes inoculadas y el tratamiento Suelo. La variante N.P.K mostró el valor más bajo entre todos los tratamientos con diferencias estadísticas. La recuperación de la materia orgánica del suelo a nivel de la bolsa alcanzada, pudo resultar en todos los casos, un efecto más del cultivo propiamente, que de la propia micorrización.

En los estudios de selección de especies de HMA con alta eficiencia simbiótica, hay que tener en cuenta el efecto del pH, ya sea sobre la productividad de la asociación o sobre los mecanismos de reproducción fúngicos (Fernández, 2003).

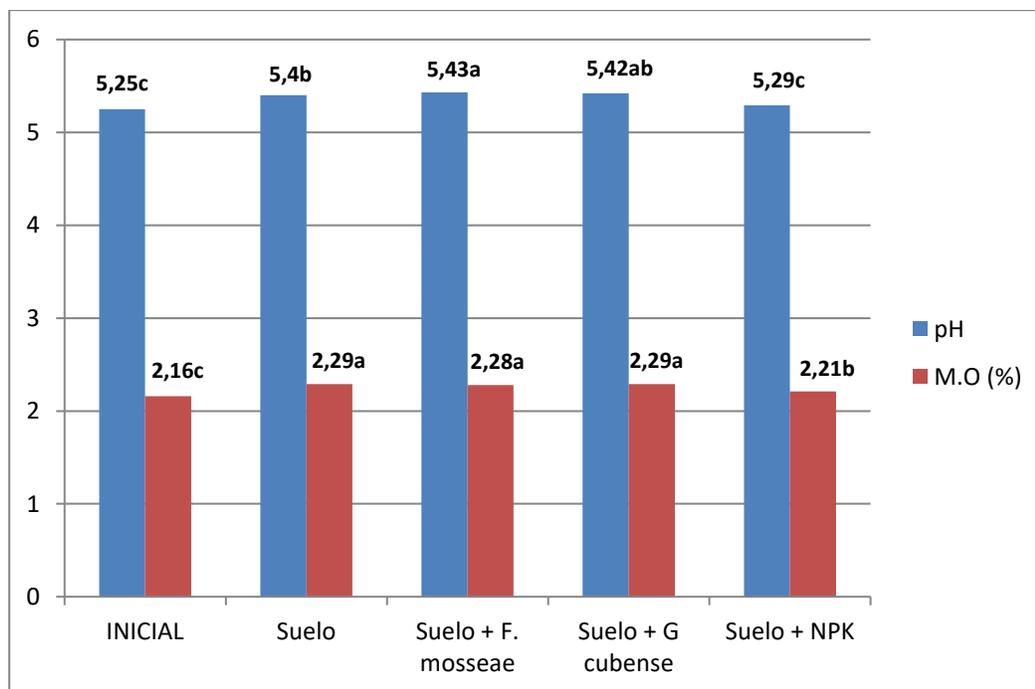


Figura 7. Valor del pH y contenido de materia orgánica del suelo en la rizosfera ES_{\pm} : 0,166*, 0,057*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Rodríguez (1978), reportó que el pH del suelo es una propiedad importante para el cultivo de la morera, siendo el rango de valores óptimo para su crecimiento, aquellos que fluctúen entre 6,5 y 7,0. Refiere, al igual que otros autores, que el principal efecto pernicioso de la acidez del suelo es la toxicidad del aluminio, ya que afecta las funciones biológicas de las raíces y modifica su estado fisiológico y productivo. En la Figura anterior se aprecia, como los valores del pH al inicio y al final del experimento estuvieron por debajo del rango reportado por el autor anteriormente citado.

Trabajos realizados en la Estación Experimental Escambray de Barajagua han demostrado que la acidez del pH del suelo Pardo Grisáceo no está dada por el aluminio, del cual se reportan solamente trazas en los análisis agroquímicos, sino por procesos erosivos a largo plazo. De igual forma Cairo (1995) refiere que los suelos arenosos con relativamente pocas partículas de arcilla (Pardos grisáceos) se acidifican más rápidamente debido a su menor reserva de cationes básicos y a su mayor potencial de lixiviación. Lo anteriormente mencionado pudiera explicar el porqué del crecimiento estable de la morera y su productividad favorable bajo este pH medianamente ácido según Cairo (1995).

Smith y Read, (2009) consideraron que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tienen una gran capacidad de dispersión y un gran número de hospedantes; estos hongos transforman las condiciones físicas, químicas y biológicas de la rizosfera, aunque los resultados alcanzados en el pH no sugieren este comportamiento, fundamentalmente por crecer en condiciones limitadas de bolsas.

El rol del pH del suelo en la micorrización de las plantas constituye un aspecto en el que la literatura científica muestra diferentes puntos de vista, al respecto, Entry et al., (2002), refieren que algunas especies de HMA no se adaptan a condiciones de pH diferentes al suelo nativo de donde fueron aisladas, por eso se considera el pH como un indicador esencial en el establecimiento de especies de HMA por tipo de suelo, aunque la efectividad que puede ser obtenida por la inoculación depende además del manejo dado a la planta, las condiciones ambientales, niveles de nutrientes presentes en el suelo y la propia fenología del cultivo, entre otros.

Así, Rivera et al., (2017), como resultado de varios trabajos en campo, informan que los rangos de pH-H₂O recomendables y las cepas HMA eficientes en los mismos fueron: pH entre 4,7–5,8 *F*.

mosseae (INCAM -2), pH entre 5,6–7,2 *G. cubense* (INCAM– 4) y pH entre 7– 8,3 *R. irregulare* (INCAM-11). La respuesta a los indicadores de producción de biomasa, calidad de la misma y dependencia micorrízica alcanzada por *Funneliformis mosseae* (INCAM-2) en el trabajo coincide con el rango adecuado del pH referido por los autores anteriores para un suelo medianamente ácido, lo que corrobora la eficiencia de esa cepa en las condiciones evaluadas. Por su parte *G. cubense*/INCAM-4 encontró también un pH muy cercano al óptimo y pudo establecer la simbiosis y responder en los indicadores evaluados superior al testigo.

En la Figura 8 se observa el comportamiento del fósforo asimilable en el suelo de la rizosfera de las plantas de *Morus alba*. Se puede apreciar como en todos los tratamientos este valor se incrementó en relación al contenido inicial. Marcó la diferencia el tratamiento con fertilización mineral, seguido de *F. mosseae*/INCAM-2, *G. cubense*/INCAM-4 y el tratamiento Suelo, que no difirió del contenido inicial de fósforo. Este comportamiento sugiere un efecto favorable de la micorrización en el contenido de fósforo asimilable en la rizosfera de la planta.

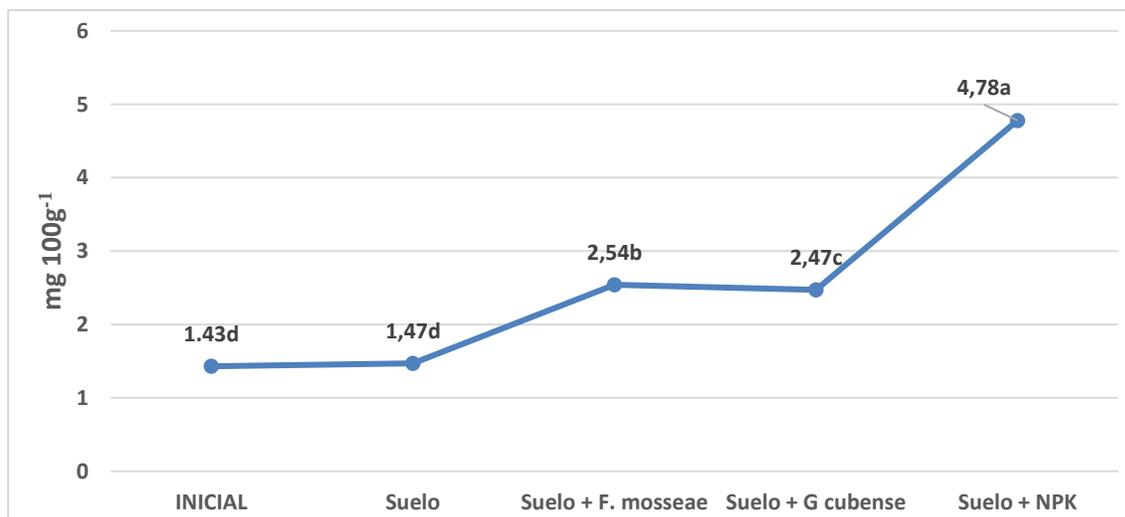


Figura 8. Contenido de fósforo en la rizosfera de *M. alba*

ES±: 0,421*

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Al respecto, Azcón et al., (2003) refieren que los HMA juegan un papel vital en la toma del fósforo presente en los suelos, principalmente en las zonas tropicales donde las cantidades asimilables de este elemento son bajas. El mecanismo para incrementar la absorción vía HMA se desarrolla a partir de la capacidad de explorar un mayor volumen de sustrato y aumentar la capacidad absorbente de

las raíces (interceptación) y por difusión, que es el transporte de nutrientes a lo largo de un gradiente de concentración.

Además, las micorrizas pueden acelerar la absorción de fósforo no disponible para las plantas por la interacción entre los exudados radicales de algunas especies de plantas que son capaces de solubilizar fósforo, a partir de la red del micelio extramático del hongo que se expande a lo largo y ancho del sistema radical (Shibata y Yano (2003)).

CONCLUSIONES

1. Con la fertilización NPK se obtuvo la mayor cantidad de rebrotes y las variantes inoculadas produjeron más rebrotes que el testigo.
2. La producción acumulada de biomasa fue mayor en la fertilización N.P.K, mientras que en *F. mosseae*/INCAM-2 mostró mayor eficiencia micorrízica, tanto en el establecimiento, como en el acumulado.
3. El mayor contenido de proteína bruta foliar en el corte de establecimiento y en los cortes sucesivos se obtuvo en la fertilización mineral.
4. *F. mosseae*/INCAM-2 incrementó el pH y el fósforo del suelo en la rizosfera de la planta en relación al testigo.

RECOMENDACIONES

1. Extender a condiciones de campo la inoculación de *Morus alba* (L.) con la especie *Funneliformis mosseae*/INCAM-2 y evaluar la producción y calidad de la biomasa.
2. Socializar los resultados del trabajo en eventos científicos y técnicos, así como en capacitaciones dirigidas a productores y profesionales del sector agropecuario.
3. Publicar los resultados en revistas especializadas de acuerdo a los compromisos contraídos con el Proyecto al que tributa la investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Akiyama, K., & Hayashi, H. (2006). Strigolactones: Chemical Signals for Fungal Symbionts and Parasitic Weeds in Plant Roots. *Annals of Botany*, 97(6), 925 – 931.
- Alarcón, A. (2007). Micorriza arbuscular. En: Ferrera-Cerrato Ronald, Alarcón Alejandro, Editores, Microbiología Agrícola. Trillas.
- Allen, M. F. (2014). Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zone Journal*, 6(2), 291–297.
- Almeida, J. E. de & Fonseca, Tamara. (2002) *Mulberry germplasm and cultivation in Brazil. Mulberry for animal production.*
- Atul-Nayyar, A, Hamel, C, Hanson, K and Germida J. (2009). The arbuscularmycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. *Mycorrhiza*, 19(4), 239 -246.
- Azcón, R.; Ambrosano, E. y Charest, C. (2003). Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*, 165 (5), 1137-1145.
- Azcón-Aguilar, C. y Barea, J.M. (2015). Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. In: Gianfreda, L. (Guest Editor) Biogeochemical processes in the rhizosphere and their influence on plant nutrition. Special issue of the *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15, 372-396.
- Baijukya, F. P.; Ridder, N. de y Giller, K. E. (2006). Nitrogen Release from Decomposing Residues of Leguminous Cover Crops and their Effect on Maize Yield on Depleted Soils of Bukoba District, Tanzania. *Plant and Soil*, 279 (2), 1-2
- Bajwa, R.; Aslam, N. y Javaid, A. (2012). Comparison of Three Green Manures for Growth and VAMycorrhizal Colonization in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Biological Sciences*, 2 (8), 512-517
- Barea, J.M., Pozo, M. J., López-Ráez, J. M., Aroca, R., Ruíz-Lozano, J. M., Ferrol, N., Azcón, R., Azcón-Aguilar, C. (2013). Arbuscular Mycorrhizas and their significance in promoting soil-plant systems sustainability against environmental stresses. In: Beneficial Plant-Microbial Interactions: Ecology and Applications. En Rodelas, B. and Gonzalez-Lopez, J., Eds.). CRC Press, USA. Chapter 15, pp. 353-387
- Barto E K, Weidenhamer J D, Cipollini D and Rillig M C. (2012). Fungal superhighways: do common mycorrhizal networks enhance below ground communication? *Plant Science*,17(11), 633 – 637.

- Bashan Y, Khaosaad T, Salazar B.G, Ocampo J.A, Wiemken A, Oehl F, Vierheiling H. (2007). Mycorrhizal characterization of the boojum tree, *Fouquieria columnaris* an endemic ancient tree from the Baja California Peninsula, Mexico. *Trees-Struct Funct*, (21),329-335.
- Blanco, F.; Milera, de la C. Milagros y Machado, R. (2012). *Génesis y Evolución. Estación Experimental "Indio Hatuey". Cinco decenios dedicados a la ciencia.*
- Bonfante ,P. y Requema, N. (2011). Dating in the dark: how roots respond to fungal signals to establish arbuscularmycorrhizal symbiosis. *Current Opinion. Plant Biology*, 14(4), 451–457.
- Boschini, C.; Dormond, H. & Castro, A. (1999). Respuesta de la morera (*Morus alba*) a la fertilización nitrogenada, densidades de siembra y a la defoliación. *Agronomía Mesoamericana*. 10 (2), 7-16.
- Calderón, Maida & González, P.J. (2007). Respuesta del pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Likoni) cultivado en suelo Ferralítico rojo lixiviado a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. *Cultivos Tropicales*. 28(33).
- Castellanos, A., Rodríguez, C., de Goede R. G. M., Kooistra M. J., Sayre K.D., Brussaard L., PullemanM.M. (2012). Earthworm activity and soil structural changes underconservation agriculture in central Mexico; *Soil & Tillage Research* 123(20), 61-70.
- Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura (CIDICCO), (2004). Canavalia (*Canavalia ensiformis*). http://www.cidicco.hn/especies_avcc.htm .
- Cornejo, P., Pérez-Tienda, J., Meier, S, Valderas, A., Borie, F., Azcón-Aguilar, C., Ferrol, N. (2014). Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. *Soil Biology y Biochemistry* 57, 925-928.
- De Faccio Carvalho P. C., Anghinoni I., de Moraes A., de Souza E. D., C., Cassol Flores J .P., Terra Lopes M. L., Fontaneli R.S., Bayer C. (2010). Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems; *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.
- Declerck S, Strullu D, Plenchette C. (2008). Monoxenic culture of the intra radical forms of *Glomus* sp., isolated from a tropical ecosystem: a proposed methodology for germoplasm collection. *Mycologia* 90, 579-585.
- Elizondo, J. A. (2007) Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía Mesoam*. 18(2),255-261.

- Elliott, Ashleigh-J; Daniell, Tim-j; Cameron, Duncan-D; Field, Katie-J. A. (2020). Commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *Plants, People, Planet*, Agosto, 2020. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10094>.
- Entry, J. A.; Rygiewicz, P. T.; Watrud, L. S. y Donnelly, P. K. (2002). Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*, 7(1), 123-138
- Estrada, M. C. (2022) Respuesta de *Moringa oleifera* Lam a la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en un suelo de baja fertilidad. (Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo). Centro Universitario Municipal Cumanayagua.
- FAO, (2015). *Agricultura de Conservación. ¿Qué es la Agricultura de Conservación?* <http://www.fao.org/ag/ca/es/1a.html>
- Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; Martínez, M. A.; de la Noval, B. M., Rivera, R. (2000). *Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba*
- Fernández, K., & Rivera, R. (2003). Bases científicos–técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En, R., Rivera y K., Fernández, Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. *Estudio de caso: el Caribe*. La Habana: INCA.
- Ferrera Cerrato, R. & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo*. 8(2),175.
- Ferrera–Cerrato, R., Alarcón, A. (2007). *Micorriza arbuscular. En: Microbiología Agrícola*. Trillas.
- Finlay R D. (2013). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal Experimental Botany*, 62(5), 1115–1126.
- Franke, S. M.; Douds, D. D.; Galvez, L.; Phillips, J. G.; Wagoner, P.; Drinkwater, L. y Morton, J. Frew, Adam. (2020). Contrasting effects of commercial and native arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on plant biomass allocation, nutrients, and phenolics. *Plants, People, Planet*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ppp3.10128> .
- Friedrich, T. (2014). Producción de alimentos de origen animal. Actualidad y perspectivas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 5-6.

- Friedrich, T. (2015). Agricultura Climáticamente Inteligente, una estrategia para la sostenibilidad productiva. (Ponencia). *II Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria*. Varadero, Cuba.
- García, D. E. (2003). *Efecto de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de Morus alba (L.)*. (Tesis presentada en opción al título de Master en Pastos y Forrajes). Univeridad de Matanzas.
- García, D. E.; Medina, María G.; Perdomo, D. A.; Moratinos, P.; Cova, L. J. & Clavero, T. (2011). Efecto de algunos factores que influyen en el rendimiento de proteína bruta de la morera (*Morus alba L.*) en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Trop.* 29(4), 411-420
- García, M. (2014). *Influencia de 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). Universidad Agraria de La Habana.
- Gargeat, P., Cosseau, C., Oulah, B., Jauneau, A., Bonfante, P., Batut, J., Becard, G. (2004). Isolation, free-living capacities, and genome structure of—candidatud *Glomeribacter gigasporarum*, the endocellular bacterium of the mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *J Bacteriol.* 186, 6876-6884.
- Genre, A, Chabaud, M, Timmers T, Bonfante, P & Barkerb D. (2007). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Elicit a Novel Intracellular Apparatus in *Medicago truncatula* Root Epidermal Cells before Infection. *Plant Cell*, 17(12), 3489-3499.
- González, P. J. (2014). *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género Brachiaria*. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
- González, P.J.; Plana, R.; Rivera, R.; Fernández, F. & Arbola, J. (2008). Efectos de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en pastos del género *Brachiaria*, cultivados en suelo Pardo Mullido. *Rev.cubana Cienc. agríc.* 42,101.
- Gosling, P.; Hodge, A.; Goodlass, G. y Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1–4), 17-35.
- Hadimani, D. K.; Patil, G. M. & Alagundagi, S. C. (2004). Impact of legume intercropping in paired row of mulberry on silkworm. *Karnataka J. Agric. Sci.* 17(3),498-501.

- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA.
- Kim Y. B, Kim S M, Kang M K, Kuzuyama T, Lee J K, Park S C, Shin S C, Kim S, U. (2012). Regulation of resin acid synthesis in *Pinus densiflora* by differential transcription of genes encoding multiple 1-deoxy-D-xylulose 5-phosphate synthase and 1-hydroxy-2-methyl-2-(E)-butenyl 4-diphosphate reductase genes. *Tree Physiology*, 34(5), 737–749.
- Kumar, A.A. y Kafle, N. (2009). Land degradation issues in Nepal and its management et hrught agroforestry. *Journal Agricultural and Enviroment*. 10, 115- 123.
- Leyva, E. (2012). Moricultura. Manual Para la Producción y Utilización Forrajera.(Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Martín, G. J.; García, F.; Reyes, F.; Hernández, I.; González, T. & Milera, Milagros. (2000) Estudios agronómicos realizados en Cuba en *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 24(4),323-330.
- Martín, G. J.; García, F.; Reyes, F.; Hernández, I.; González, T. & Milera, Milagros. (2002) *Agronomic studies with mulberry in Cuba*. In: M. D. Sánchez, ed. *Mulberry for animal production*. *FAO Animal Production and Health Papers*.
- Martín, G. J.; Noda, Yolai; Pentón, Gertrudis; Prieto, Marlene; Reino, J. & Herrera-González, R. (2014). *Investigaciones con Morus sp. para el desarrollo de tecnologías sostenibles de alimentación y salud humana y animal en Cuba*. Informe anual del PNAP. Programa de Producción de Alimento Animal. Informe técnico.
- Martín, G. J.; Noda, Yolai; Pentón, Gertrudis; García, D. E.; García, F.; González, E. (2007). La morera (*Morus alba*, Linn.): una especie de interés para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 30(1),3-19.
- Martín, G. J.;** Pentón, Gertrudis; Noda, Yolai; Contino, Y.; Díaz, Maykelis; Ojeda, F. (2013). 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).
- Martín, Gloria M. (2009). *Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, la 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). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

- Milera, Milagros; Hernández, D.; Lamela, L.; Senra, A.; López, O. y Martín, G. J. (2010) *Sistemas de producción de leche*. (Ponencia). *Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos*. EEPF Indio Hatuey, Matanzas, Cuba
- Millennium Ecosystem Assessment, (MEA), (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
- Montagnini, F. (2011). *Restoration of degraded pastures using agrosilvopastoral systems with native trees in the Neotropics*. In: Montagnini, F; Francesconi W; Rossi, E. (Eds.). *Agroforestry as a tool for landscape restoration*. (pp. 55-68). Nova Science Publishers.
- Montgomery, D. (2007) *Dirt: the erosion of civilizations*. *University California Press, Berkeley and Los Angeles*.
- Nair, P.K.R.; Kumar, B.M. y Nair, V.D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nut. Soil Sci.*, 172(10).
- NC-ISO 10390. (1999) *Determinación del pH*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- NC-ISO 51. (1999) *Determinación de materia orgánica en suelo*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- NC-ISO 52. (1999) *Determinación de las formas móviles de potasio y fósforo*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Ojeda, L, Furrázola, E & Hernández, C. (2015) Respuesta de *Leucaena leucocephala* cv. Perú a la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola. *Pastos y Forrajes*, 38(3), 176-182.
- Ojeda, L., Rivera, R., González, P.J., de la Rosa, J.J., Arteaga, O & Rodríguez, C. (2019). Efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169. *Pastos y Forrajes*, 42(4), 277-284.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO), (2011). An international integrated crop-livestock system for development, The way forward for production intensification. *Integrated Crop Management*, (13), 63.
- Palfner, G. (2001). *Taxonomische Studien an Ektomykorrhizen aus den Nothofagus-Wäldern Mitelsüdchiles*, *Biblioteca Mycologica* Band. J. Cramer Berlin, Stuttgart.
- Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T.; Caruncho, M. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba.

- Parniske M. (2010). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature reviews Microbiology*, 6, 763 – 775.
- Pentón, G, Martín, G & Rivera, R. (2016). Efecto del arreglo espacial y el intercalamiento con *Canavalia ensiformis* micorrizada en la respuesta agroproductiva de *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*, 39 (3), 92-99.
- Pentón, G, Oropesa, K & Peñalver, P. L. (2013). Multiplicación de propágulos infectivos HMA en una plantación de morera (*Morus alba* L.). *Pastos y Forrajes*, 36(1), 22-27.
- Pentón, G, Martín, G, Rivera, R, Martín, G, Machado, R & Herrera, J. A. (2016). Efecto del intervalo de corte y el manejo de la nutrición en plantaciones de morera [*Morus alba* (L.)]. Producción de forraje. *Pastos y Forrajes*, 39(2), 111-118.
- Perin, L., L. Martínez-Aguilar, R. Castro-González, P. Estrada-de los Santos, T. Cabellos-Avelar, H. V. Guedes, V. M. Reis, and J. Caballero-Mellado. (2006). Diazotrophic Burkholderia species associated with field-grown maize and sugarcane. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 3103-3110. <https://doi.org/10.1128/aem.72.5.3103-3110>
- Peterson L, Massicote H.B, y Melville L. H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Research press. Ottawa, Canada.
- Pozo, M., López-Ráez, J., Azcón-Aguilar, C., García-Garrido, J. (2015). Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *The New Phytologist* 205,1431-1436.
- Prager M, Victoria JA, Sánchez de Prager M, Gómez ED, Zamorano A. (2011). *El suelo y los Abonos Verdes, una alternativa de manejo ecológico*. Cuadernos ambientales 7. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural.
- Quero, A.R., Enríquez, J, y Leonor Miranda. (2011). Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances y estado actual. *Interciencia*, 32(008), 566-57.
- Quilambo, O. (2003). The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African Journal Biotechnology*, 2(12),539-546. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/14884>
- Quirós, O. (2002). La conservación de suelos en la producción orgánica. (Ponencia). *Memoria del II Encuentro de Investigadores en Agricultura Orgánica*. Agricultura Conservacionista, MAG. San José, Puerto Rico.

- Ram Rao, D. M.; Kodandaramaiah, J.; Reddy, M. P.; Katiyar, R. S. & Rahmathulla, V. K. (2007). 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.
- Redecker, D., Raab, P. (2006). Phylogeny of the Glomeromycota (arbuscular mycorrhizal fungi): recent developments and new gene markers. *Mycologia.* 98(6), 885–895.
- Requena, N, Serrano, E, Ocón ,A and Breuninger, M.(2007). Plant Signals and Fungal Perception During Arbuscular Mycorrhizae Establishment. *Phytochemistry*, 68(1), 33-40.
- Richardson, A. E.; Linch, J. P.; Ryan, P. R.; Delhaize, E.; Smith, F. A.; Smith S. E.; Harvey, P. R.; Ryan, M. H.; Veneklaas, E. J.; Lambers, H.; Oberson, A.; Culvenor, R. A. y Simpson, R. J. (2009). Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil.* 349, 121-156.
- Riera, M. C. (2002). Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo Ferralítico Rojo. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. (2006). *Advances in the management of effective Arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems*. En: *Mycorrhizae in Crop Production, edit.*, (pp. 151–196). Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton
- Rivera, R.; Fernández, K. (2003). *Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente*. En: Rivera, R. y Fernández, K. Eds. *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*. (166 p.) INCA.
- Rivera-Espinosa, R., et al. (2017). *Bases y beneficios del manejo conjunto de Canavalia ensiformis e inoculantes micorrízicos arbusculares en los sistemas de suministro de nutrientes de diferentes cultivos*. Ediciones INCA.
- Rodríguez, V. H., Soto, A., Pérez, J. y Negreros, P. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and their involvement in the production and management of neotropical forest species with emphasis on Meliaceae. *Interciencia*, 36(8), 564-569.
- Rodríguez, Y. (2022). *Respuesta de Leucaena leucocephala Lam a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en un suelo de baja fertilidad*. (Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo). Centro Universitario Municipal Cumanayagua.

- Rojas, Carolina. (2005). *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). Universidad de Chile.
- Ruiz, P. O., Rojas, K. C. y Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, 23, 47-63.
- Saggin, O., & Lovato, P. (1999). *Aplicação de micorrizas arbusculares na propagação de mudas e plantas micropropagadas*. En: Siqueira, J.O et al. (eds.) *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. (pp.725-774). Lavras: SBCS/UFLA,
- Schüßler A, Walker C. (2011). *Evolution of the 'Plant-Symbiotic' Fungal Phylum Glomeromycota. Evolution of fungi and fungal-like organisms*. In: Pöggeler S, Wöstemeyer J, editors. *The Mycota XIV*. (pp. 63-85). Springer- Verlag.
- Shankar, M. A.; Jayaramaiah, M.; Rangaswamy, B. T.; Anitha, P.; Lingappa, B. B. & Mallikarjuna, G. B. (2006). *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*. Central Sericultural Research and Training Institute.
- Shibata, R. y Yano, K. (2003). Phosphorus acquisition from non-labile sources in peanut and pigeonpea with mycorrhizal interaction. *Applied Soil Ecology*, 24(2),133-141.
- Shüßler, A. y Walker, C. (2010). *The Glomeromycota: a species list with new families and new genera. Gloucester: The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew*. Botanische Staatssammlung Munich and Oregon State University.
- Sieverding, E., Oelh, F. (2006). Revision of Entrophospora and description of Kuklospora and Intraspora, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. *J Applied Bot Food Qual*. 80, 69-81.
- Simó-González, J.; Rivera-Espinosa, R.; Ruiz- Martínez, L. A. & Espinosa-Cuellar, E. (2016). Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada con HMA. *Ctro. Agr*. 43(2), 28-35.
- Siqueira, J. O. y Franco, A. A. (1988). Biotecnología do solo: fundamentos e perspectivas. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB>
- Smith, S. y Read, D. (2009). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press: London,

- StatPoint Technologies (2010). *Statgraphics Centurion*. Statgraphics Technologies, Inc.
<http://www.Statgraphics.tidad=1&expresion=mf=118141>
- Turrini, A., L. Avio, M. Giovannetti, and M. Agnolucci. (2018). Functional complementarity of arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbiota: The challenge of translational research. *Front. Plant Sci.* 9, 1407. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01407>
- Vallejo, VE; Averly, Z; Terán, W; Lorenz, N; Dick, RP; Roldán, F. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora*. DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 150,139-148.
- Vierheilig ,H & Pich ,Y.(2006). *Signalling in arbuscular mycorrhiza: facts and hypotheses*. In: *Buslig B, Manthey J Flavonoids in cell function*. Kluwer.
- Yado, R., Salinas, J. y Lerma, E. (1996). *Manejo de recursos naturales*. (Tesis de Maestría de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia). Universidad Autónoma de Tamaulipas.