



**INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS  
DEPARTAMENTO DE BIOFERTILIZANTES Y NUTRICION DE LAS PLANTAS**

**EFECTO DE FRECUENCIAS DE INOCULACION  
MICORRIZICA Y EL LABOREO SOBRE UNA  
SECUENCIA DE CULTIVOS EN UN SUELO  
PARDO MULLIDO CARBONATADO.**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestro  
en Ciencias en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes.**

**Autor: Ing. Yosnel J. Marrero Cruz**

**Tutores: Dr.C. Ramón A. Rivera Espinosa  
Dr.C. Luis Ruíz Martínez**

**LA Habana  
2010**

## **DEDICATORIA**

- **A la memoria de mi hermana.**
- **A mis padres.**
- **A mi sobrina**
- **A mi mujer**
- **Y a todos aquellos que confiaron siempre en mi.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis padres por guiarme por el camino correcto en cada momento de la vida.**

**A mis amigos Mr.s Jaime Simó y Dr.C Luís Ruiz por haber sido los coordinadores del experimento en el INIVIT y sus evaluaciones.**

**Al Dr.C Ramón Rivera por soportar mi carácter y tener la paciencia necesaria para orientarme en cada situación del trabajo.**

**Al Mr.s Jorge Corbera por hacer una revisión excelente del documento y ayudarme en su confección.**

**A todos los trabajadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas en especial a los trabajadores del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las plantas por contribuir de una forma u otra a la confección de este documento.**

**A mi mujer por darme la fuerza necesaria para levantarme cada día.**

## RESUMEN

El estudio se desarrolló en el área experimental del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT) del municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara sobre un suelo Pardo mullido carbonatado, con el objetivo de estudiar la influencia del laboreo sobre la frecuencia de aplicación del inoculante micorrízico y la efectividad del efecto de permanencia de este en la secuencia de cultivo yuca – boniato - malanga. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con cuatro repeticiones por tratamiento, donde se estudiaron dos variantes de laboreo (Convencional y Mínimo sin inversión del prisma), así como la frecuencia de inoculación micorrízica con una cepa de HMA eficiente en la secuencia de cultivos, yuca - boniato - malanga (inocular siempre, inocular el primer y tercer cultivo, inocular solo el primer cultivo). Además de tres tratamientos testigos, ambos sin inocular, un testigo absoluto, la dosis óptima de NPK para una micorrización efectiva (DOM) y uno correspondiente al 100% de la fertilización mineral establecida para cada cultivo. En todos los tratamientos inoculados, la yuca recibió un 25% de la fertilización mineral, mientras que los restantes cultivos recibieron el 50% de la fertilización mineral establecida para los mismos. Para los tratamientos micorrizados la inoculación se realizó con la cepa *Glomus intrarradices*, vía recubrimiento para cualesquiera de los cultivos, en dosis de 13 kg.ha<sup>-1</sup>, 35 kg.ha<sup>-1</sup> y 58 kg.ha<sup>-1</sup> para la yuca, el boniato y la malanga respectivamente. Los resultados se evaluaron a través de un análisis de varianza (paquete estadístico SPSS 11.5 para Windows), donde se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para discriminar la diferencia entre las medias. Las variables analizadas fueron: colonización micorrízica (%) y rendimiento agrícola (t.ha<sup>-1</sup>). Los resultados corroboraron no solo la respuesta de cada uno de estos cultivos a la inoculación de cepas eficientes de HMA, sino también la efectividad de la inoculación vía recubrimiento de la semilla vegetativa en estos cultivos. Se demuestra asimismo que se obtiene un positivo efecto de “permanencia del inoculante” sobre el primer cultivo posterior al cultivo inoculado, expresado en altos y similares rendimientos y porcentajes de colonización propios de un funcionamiento micorrízico eficiente y sin diferencias significativas a los indicadores obtenidos con el tratamiento que siempre se inoculó. Los valores

de rendimientos obtenidos en estos tratamientos micorrizados fueron similares a los obtenidos con los tratamientos que recibieron el 100 % de la fertilización mineral, indicando una alta efectividad de la inoculación micorrízica. El laboreo mínimo reflejó un ligero incremento sobre el rendimiento, la colonización micorrízica y el efecto de permanencia del inoculante, que se hizo significativo en el último cultivo de la secuencia y que parece indicar un efecto acumulativo en el tiempo. La mejor variante de inoculación que se comportó en la secuencia desde el punto de vista económico fue el tratamiento “inocular el primer y tercer cultivo” con laboreo mínimo dado esto por el ahorro de una dosis del inoculante de  $35 \text{ kg.ha}^{-1}$  y por el empleo de menor cantidad de labores de preparación de suelo en el mismo.

## I. INTRODUCCION

Frente a la perturbación del suelo y competencia entre las plantas es muy importante el uso de herramientas biológicas que aseguren el establecimiento exitoso de las especies vegetales, como los microorganismos del suelo, que cumplen un rol preponderante debido a las variadas funciones que realizan (Heredia, 2003). Algunos de ellos desarrollan interacciones benéficas como las micorrizas pertenecientes al *phylum* Glomeromycota (Schüssler et al., 2001), simbiosis que establecen ciertos hongos del suelo con las raíces de las plantas vasculares (Guadarrama et al., 2004).

Los HMA interactúan con suelo, planta, patógenos y otros microorganismos del suelo y así mejoran la nutrición y sanidad de la planta (Jeffries et al., 2003).

Esa respuesta obedece a factores originados de la simbiosis, como el que las hifas sean capaces de explorar mayor volumen de suelo y llegar a sitios donde la raíz no puede acceder; disminuir los efectos de condiciones abióticas diversas para las plantas; facilitar la absorción de nutrientes de lenta movilidad, tales como el P, K, Cu y Zn; producir glomalina que adhiere y aglutina partículas del suelo e inducir acción protectora contra algunos patógenos del suelo, (Rillig, 2005).

Además los beneficios que aportan los HMA a los cultivos en lo fundamental los hacen competitivos con los fertilizados (Rivera, 2006).

A partir del año 90 se comenzaron a desarrollar en Cuba un grupo de trabajos que permitieron establecer las bases para el manejo de las asociaciones micorrízicas, partiendo de tres presupuestos principales: *la inoculación de especies eficientes de HMA, la importancia del medio edáfico en la selección de cepas eficientes y la influencia del suministro de nutrientes sobre la efectividad de la simbiosis* (Rivera y Fernández, 2003).

Los positivos resultados obtenidos en la inoculación micorrízica condujeron al modelo de sistemas agrícolas micorrizados eficientemente, siendo necesario conocer la influencia de diferentes prácticas culturales sobre la efectividad de la inoculación para poder implementar exitosamente estos (Rivera et al. 2003), siendo el laboreo o los sistemas de labranzas un importante factor a estudiar

sobre la efectividad de la inoculación y el manejo de esta en secuencias de cultivos, sobre el cual prácticamente no existe información.

Indudablemente las prácticas de manejo agrícola del suelo afectan el número y actividad de los propágulos fúngicos (Castillo, 2005; Castllo et al., 2006). En sistemas de rotación la importancia que tienen dichos propágulos (micelio, trozos de raíces colonizadas y esporas) es que sirven como una fuente de inóculo para el cultivo siguiente lo cual ha sido comprobado en el país en diferentes secuencias de cultivos, incluyendo los abonos verde como precedentes, en dos tipos de condiciones edáficas y en los cuales se ha encontrado un funcionamiento micorrízico efectivo en el primer cultivo posterior al inoculado, (Ruiz, 2001; Riera, 2003; Martín, 2010).

En el caso específico de las secuencias con raíces y tubérculos tropicales los trabajos de manejo de la inoculación micorrízica realizados fueron ejecutados con altas dosis de inoculantes (Ruiz 2001), no existiendo información experimental sobre el manejo de la inoculación en la secuencias utilizando el recubrimiento como vía de inoculación para este tipo de cultivos (Ruiz et al., 2006).

Sin dudas el fenómeno de la permanencia de la efectividad del inóculo en el suelo, esta vinculado a un complejo de factores en el cual el laboreo del suelo no debe ser la excepción y puede desempeñar un efecto negativo asociado con un laboreo excesivo y con la inversión del prisma sobre todo cuando el período entre un cultivo y otro se extiende.

Teniendo en cuenta los antecedentes expuestos se formuló la siguiente Hipótesis de trabajo:

“La inoculación efectiva de HMA y la utilización del laboreo mínimo garantizan un eficiente funcionamiento micorrízico en las secuencias de cultivo, reflejándose positivamente dicho efecto sobre los rendimientos, el funcionamiento micorrízico y en el efecto de permanencia del inoculante aplicado”.

Para dar respuesta a dicha hipótesis, se realizó un estudio de campo dirigido a alcanzar los **objetivos** que se relacionan a continuación:

### **Objetivo general.**

- Estudiar la influencia del laboreo sobre la frecuencia de aplicación del inoculante micorrízico y la efectividad del efecto de permanencia de este en la secuencia de cultivo yuca – boniato - malanga sobre un suelo pardo mullido carbonatado.

### **Objetivos específicos:**

1. Establecer la factibilidad de la inoculación vía recubrimiento en la secuencia yuca-boniato-malanga sobre un suelo pardo mullido carbonatado, para dos tipos de laboreo (Convencional y Mínimo sin inversión del prisma).
2. Evaluar la factibilidad del efecto de permanencia del inoculante micorrízico aplicado en la secuencia de cultivo yuca – boniato - malanga en un suelo Pardo mullido carbonatado y el grado de influencia del laboreo sobre el mismo.
3. Caracterizar el funcionamiento micorrízico de la secuencia de cultivos yuca - boniato – malanga, micorrizada eficientemente, sobre un suelo pardo mullido carbonatado.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Requerimientos nutricionales de los cultivos estudiados en la secuencia.

Las investigaciones realizadas en Cuba en suelos Pardos con carbonatos han demostrado que las raíces y tubérculos extraen y exportan grandes cantidades de nutrientes del suelo, como se observa en la Tabla 1 (Portieles et al., 1982, 1983 y 1986; Milián et al., 1992; Batista et al., 1993).

**Tabla 1. Extracción y exportación de nutrientes de la yuca, el boniato y la malanga en suelos Pardos con carbonatos.**

Cultivo	Rdto. (t.ha <sup>-1</sup> )	Extracción (kg.ha <sup>-1</sup> )			Exportación (kg.ha <sup>-1</sup> )		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Yuca	36,7	110	88	177	44	35	113
Boniato	35,7	240	98	470	62	34	114
M. Colocasia	34,9	150	113	412	91	73	242

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

Los datos anteriores muestran que a pesar de ser las raíces y tubérculos grandes exportadores de nutrientes, se observan claramente las diferencias que existen entre estos cultivos, tanto para las cantidades que se exportan, como para sus relaciones internutrientes, haciéndolos diferentes en este sentido.

Unido a esto también debe tenerse en cuenta que son muchos los factores que pueden limitar la absorción de nutrientes y por tanto disminuir el aprovechamiento de los mismos; entre ellos se tiene el antagonismo entre elementos, pérdidas por lixiviación o volatilización, fijación o inmovilización, inadecuada forma y momento de aplicación de los fertilizantes, pH inadecuado y suelos mal aireados, entre otros (Caballero, 1973). Esto hace que el aprovechamiento de los fertilizantes minerales sea bajo, siendo del orden de 30-50 % para el N, del 10-30 % para el P y del 15-45 % para el K (Sminorv y Muravin, 1981).

## **2.2. Sistemas de fertilización para los cultivos estudiados en la secuencia.**

Durante las últimas cuatro décadas, los sistemas de fertilización para las raíces y tubérculos han tenido varios cambios motivados por dos razones fundamentales: por el avance de las investigaciones realizadas en el campo de la nutrición vegetal y por el desarrollo económico del país.

En los últimos 40 años, en Cuba las recomendaciones de fertilizantes minerales para estos cultivos han pasado por tres etapas o períodos principales: la primera abarcó los años 1960-1980 y se caracterizó por la utilización de sistemas de fertilización basados fundamentalmente en la experiencia práctica de los productores (Cuba - MINAGRI, 1978), pues no se contaba con resultados experimentales terminados para realizar recomendaciones de dosis de N, P y K por cultivo, tipo de suelo y niveles de fertilidad a través del Servicio Agroquímico.

Los mayores avances en este sentido se tenían en el cultivo de la papa en suelos Ferralíticos Rojos, debido a las investigaciones realizadas por el Instituto de Suelos (IS); para el resto de las raíces y tubérculos, sobre todo en los suelos Pardos con carbonatos, las recomendaciones se realizaban basadas en dosis de fertilizantes de fórmula completa, que en ocasiones variaban en cuanto a la relación de los nutrientes, trayendo como consecuencias dosis desbalanceadas con excesos o deficiencias de algunos elementos, pues no se tenía en cuenta el tipo de suelo y su nivel de fertilidad (Tabla 2).

En la segunda etapa (1981-1990) se incrementaron las investigaciones realizadas por el INIVIT, el IS y otras instituciones; donde se establecieron las dosis óptimas de N, P y K por cultivo, tipo de suelo y nivel de fertilidad (Tabla 2); basadas en el conocimiento entre otros aspectos de las extracciones y exportaciones de nutrientes (Tabla 1), coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y la tecnología de aplicación de los mismos, lo que permitió el uso del Servicio Agroquímico y la inclusión de los resultados en los Instructivos Técnicos de los cultivos (Cuba - MINAG, 1990) .

**Tabla 2. Sistemas de fertilización para la secuencia de raíces y tubérculos estudiados en suelos Pardos con carbonatos.**

Cultivo	Etapa 1960-1980 (kg.ha <sup>-1</sup> )			Etapa 1981-1990 (kg.ha <sup>-1</sup> )				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
					B-M*	A-MA*	B-M	A-MA
<b>Yuca</b>	120	70	221	140	62	50	208	166
<b>Boniato</b>	120	60	180	61	52	42	155	124
<b>Malanga</b>	140	75	230	260	70	56	280	221

\* B-M = Fertilidad baja a media.

\* A-MA = Fertilidad alta a muy alta.

La tercera etapa, comprendida entre 1991-2000, ha estado matizada e influenciada por las dificultades económicas del país, produciéndose una reducción considerable de la adquisición y aplicación de fertilizantes minerales, que marcó su nivel crítico en el año 1993, con 80 % de disminución con respecto al nivel de aplicación del año 1990.

En la actualidad, aunque existe una tendencia a una recuperación sostenida, sólo se le aplica fertilizantes minerales al 30 % de las áreas que se siembran de raíces y tubérculos, con excepción de la papa, donde la protección es al total de las áreas (Asociación Nacional de Cultivos Varios, 2000).

### **2.3. Sistemas de cultivos.**

En la época actual muchos agricultores se enfrentan con rendimientos declinables, infecciones elevadas de malezas, enfermedades e insectos, y un notable deterioro de la fertilidad así como de la estructura de los suelos. Esta situación se atribuye a varios factores y uno de los más importantes ha sido la siembra consecutiva del mismo cultivo por muchos años o la siembra de la misma secuencia de cultivo cada verano o cada invierno.

La sucesión de cultivos diferentes en un mismo terreno contribuye a mantener el equilibrio de los nutrientes del suelo y aumenta la fertilidad. Se plantea que la economía general de la explotación agrícola se beneficia como consecuencia de la diversificación de los cultivos y de las posibilidades de salida de los distintos productos. Ello contribuye a una mejor y más racional utilización de los medios de producción, dígase semillas, abonos, insecticidas y máquinas (Hernández, 1997 y 1999).

Según Primavesi (1990) y Da Costa (1991), los beneficios de la rotación de cultivos están asociados a los siguientes puntos básicos:

- Cobertura y protección del suelo.
- Mejora de sus condiciones físicas, químicas y biológicas.
- Regulación de la temperatura y humedad del suelo.
- Incremento de su contenido en materia orgánica, así como del aporte, reciclaje y movilización de nutrientes.
- Combate de nemátodos, plagas y enfermedades.
- Control de plantas invasoras.

La secuencias de cultivos influye en características físicas de los suelos tales como la estructura, la capacidad de retención del agua, la densidad, las velocidades de infiltración y aireación, dependiendo estos efectos de la calidad, cantidad, tipo de manejo, factores climáticos y de las características intrínsecas del tipo de sustrato (Cancio et al., 1989).

El efecto rotacional del cultivo se refiere al hecho de que la mayoría de las rotaciones aumentarán los rendimientos a niveles superiores a los obtenidos mediante cultivo continuo bajo similares condiciones.

Se piensa que son muchos los factores que contribuyen al efecto rotacional, incluyendo mayor humedad del suelo, mayor control de plagas y enfermedades y mejor disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, se ha llegado al consenso de que el componente más importante en este sentido está relacionado con los beneficios obtenidos de un mejor control de plagas y enfermedades durante la rotación.

El aumento de la materia orgánica del suelo, especialmente en rotaciones que integran rastrojos, puede ser la base para el mejoramiento de las características físicas del suelo, lo cual puede explicar en parte los aumentos en el rendimiento. Ciertos cultivos con raíces profundas pueden utilizar nutrientes ubicados más profundamente en el perfil de suelo y, como resultado de dicho proceso, exportan los nutrientes a la superficie, volviéndolos disponibles para cultivos de raíces más superficiales, si los rastrojos no se sacan del terreno.

El control de plagas y enfermedades se logra principalmente a través del cambio estacional de la fuente de alimento (el cultivo), el que usualmente impide el establecimiento de niveles productivos de plagas y enfermedades. A medida que el daño a las raíces se reduce, las raíces más sanas están en mejores condiciones para absorber nutrientes en el suelo, lo que puede reducir las dosis de fertilizantes necesarias. Los sistemas de raíces sanos también pueden absorber más eficientemente, reduciendo la probabilidad de lavado de nutrientes desde la zona de raíces.

Con una secuencia de cultivos se favorece el aumento de los microorganismos del suelo entre los cuales no están ajenos los HMA, que para la producción agrícola su función sobre los cultivos ha sido ampliamente reconocida y fundamentada (Hamel y Plenchette, 2007).

## **2.4. Principales ventajas o beneficios con el uso de los HMA.**

Mayea (1995) señaló que los microorganismos utilizados como biofertilizantes tienen un triple papel como suministradores de nutrientes, fitohormonas y antagonistas de hongos fitopatógenos.

Por su parte el MES (1995) ha informado que los microorganismos que existen en el suelo no sólo son capaces de fijar el nitrógeno (N) atmosférico, aumentar la capacidad extractiva de nutrientes por parte del sistema radical de las plantas y solubilizar fósforo (P), sino que también producen sustancias promotoras del crecimiento vegetal y tienen en general un sin número de funciones en la microbiota del suelo, de gran interés teórico y práctico para la producción agropecuaria.

Martínez y Hernández (1995) en el trabajo titulado "Los biofertilizantes en la agricultura cubana" se refieren a las ventajas que producen estos microorganismos, mencionando como principales, las siguientes:

- ◆ Incrementan los procesos microbianos y las plantas se benefician en breve tiempo.
- ◆ Consumen escasa energía no renovable.
- ◆ Son productos "limpios" que no contaminan el medio ambiente.
- ◆ Pueden mejorar la eficiencia de los fertilizantes minerales.
- ◆ Producen sustancias activas estimuladoras del crecimiento vegetal.
- ◆ Actúan sobre diversos microorganismos fitopatógenos, controlándolos.

Son muchos los beneficios o bondades que brindan los HMA, sin embargo en ocasiones se subestiman debido al poco conocimiento o promoción que se realiza sobre este aspecto entre técnicos y productores.

### **2.4.1. Beneficios en la nutrición de la planta.**

Sobre las ventajas de los HMA han informado varios autores. El INCA (1998) ha señalado que los HMA incrementan el crecimiento de las plantas y los rendimientos agrícolas, los cuales oscilan por lo general entre 20 y 60 %; también aumentan el aprovechamiento de los fertilizantes y de los nutrientes del suelo, y por consiguiente, disminuyen los costos por concepto de aplicación

de estos insumos, no degradan los suelos, contribuyendo a la regeneración de los mismos.

Por su parte Ferrer y Herrera (1991) indicaron que la utilización de los HMA en los cultivos no implica que se deje de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y se puede disminuir la dosis entre el 50 y 80 %.

Se plantea que de las cantidades de fertilizantes minerales aplicados, sólo se aprovecha alrededor del 50 %, sin embargo con la utilización de los HMA puede ser recuperado por la planta un porcentaje mayor. Mientras que un pelo radical puede poner a disposición de las raíces los nutrientes y el agua que se encuentra hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio extramático de los HMA pueden hacerlo hasta 80 mm, lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor.

Son varios los autores que han indicado el aporte realizando por los HMA en la nutrición de la planta, cuando se logra una eficiente simbiosis hongo - raíz. Safir (1980) y Primavesi (1990) han señalado que los HMA en condiciones favorables, aumentan la capacidad de la planta de movilizar y absorber fósforo (P), nitrógeno (N), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu) y cinc (Zn), además de defender el espacio radical con las excreciones de antibióticos.

Sánchez et al. (2000), en viveros de cafetos, comprobó que cepas eficientes de HMA producen incrementos significativos en las extracciones de N y P por la planta, obteniendo índices de eficiencia (IE) de las extracciones entre 30 y 45 % en dependencia del tipo de suelo y su fertilidad.

Por su parte, Fernández (1999), encontró que los incrementos obtenidos en la absorción fueron similares en los tres macronutrientes (NPK), no indicando preferencia de los HMA por un elemento u otro.

Lo anterior permite plantear que una de las vías principales del efecto agrobiológico de la micorrización es el mejoramiento de la absorción de nutrientes y que los HMA disminuyen los índices críticos de los mismos, en el suelo (Siqueira y Franco, 1988).

También se mencionan otros beneficios no menos importantes como:

El papel de los HMA sobre las poblaciones microbianas del suelo para mejorar el traslado del nitrógeno (N) entre las plantas micorrizógenas, aspecto que fue demostrado mediante el N<sub>15</sub> (Hamel et al., 1991).

El efecto de los HMA como reguladores de la absorción de metales pesados por la planta tales como cinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni) y cadmio (Cd) en dependencia de su concentración y movilidad, lo que implica el enorme potencial que representa la utilización de los hongos micorrizógenos para la inoculación de plantas en suelos degradados y suelos ácidos con altos tenores de metales pesados y otras áreas de estrés (Nogueira y Harris, 1994).

Ahiabor e Hirata (1994) comprobaron que en un suelo con 72 ppm de fósforo (P) en la capa arable y menos de 0,1 ppm de fósforo (P) en el subsuelo, el incremento de las raíces debido a la micorrización fue mayor en el subsuelo, además los HMA aumentaron la concentraciones de fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) en las raíces.

Larez et al. (1992) determinaron el efecto de varios niveles de los HMA contenidos en la rizosfera con dos niveles de fósforo (0 y 50 ppm) sobre la micorrización, el contenido de fósforo, cinc, cobre y algunos componentes del rendimiento de la yuca. Indicaron que porcentajes de colonización de raíces de 5 % o más al inicio es suficiente para que la planta alcance al final niveles por encima del 70 % y que con o sin fósforo, la ausencia de los HMA afecta drásticamente el rendimiento.

#### **2.4.2. Beneficios en la protección del sistema radical contra organismos fitopatógenos.**

En los últimos años ha ganado interés entre los científicos e investigadores el efecto benéfico de los HMA como biocontrol de organismos fitopatógenos en el sistema suelo - planta.

Por ejemplo, se informa por varios autores el efecto controlador, inhibidor, protector o reductor de las poblaciones de nemátodos parasíticos de varios cultivos por los HMA. Se señala una disminución de los niveles poblacionales de *Meloidogyne incognita*; *Meloidogyne hapla*; *Meloidogyne javanica*; *Pratylenchus brachyurus*; *Glodobera solanacearum* y otros. Se continúa examinando las interacciones nemátodos - HMA y el uso de estos hongos

como posibles agentes de biocontrol de importancia económica (Lovato et al., 1994; Baker, 1994).

También se han reportado otros efectos de control como es el caso de los resultados obtenidos en el CIAT (1991) en Colombia, donde se encontró que la especie *Glomus manihotis* provee a la planta de cierta barrera mecánica contra el patógeno *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae* al incrementar el sistema radical de la yuca, favoreciendo el balance de fósforo (P) y la acumulación de lignina. Resultados similares fueron encontrados por García et al. (1993) en Cuba donde se utilizaron las especie *Glomus fasciculatum* y *Glomus manihotis* para controlar el mismo patógeno en tabaco. *Glomus fasciculatum* controló al 100 % la infección y en el testigo no micorrizado el 75 % de las plantas murieron por la enfermedad.

Por otra parte se estudió la posibilidad de utilizar los HMA en el control biológico del "Damping off" causado por *Fusarium moniliforme*, *Pythium vexans* y *Rhizoctonia spp.* en la India. Sólo el *F. moniliforme* causó la enfermedad y los resultados demostraron, en una escala de 0 a 3 en orden creciente de la enfermedad, que el control no inoculado mostró cero, las plantas inoculadas con *F. moniliforme* 2 y las que se inocularon con *F. moniliforme* + *Glomus fasciculatum* presentaron un registro de 0,5 (Thomas et al., 1994).

Sin embargo, no siempre se tiene total conocimiento entre los productores de las ventajas que ofrece este microorganismo y se le atribuye casi exclusivamente el efecto como aportador de nutrientes, sin considerar el resto de los beneficios que el mismo pueda brindar.

#### **2.4.3. Beneficios en la estabilización de los suelos.**

En la actualidad los HMA parecieran tener un rol protagónico en el almacenamiento de C y en la agregación del suelo al producir las hifas del hongo una glicoproteína denominada glomalina, con fuerte capacidad cementante y alta estabilidad en el suelo (Wright y Upadhyaya, 1998; Rillig et al., 2002). El comportamiento recalcitrante de la glomalina junto a su naturaleza glicoproteica y su aparente característica hidrófoba que protege las hifas de las pérdidas de nutrientes y agua, sugieren que es una biomolécula muy estable (Wright y Upadhyaya, 1998) con una vida media entre 6 y 42 años (Rillig et al.,

2001) y lenta velocidad de degradación, la cual depende del suelo de origen (Rillig et al., 2002 y 2003).

## **2.5. Algunos factores que influyen en la eficiencia de los HMA.**

Son múltiples los factores que influyen o condicionan la eficiencia de este microorganismo dentro del sistema suelo - planta, algunos han sido más estudiados que otros y en muchos casos las investigaciones se han realizado de forma aislada o no enfocadas directamente hacia ese objetivo, no obstante, a continuación se hace referencia a algunos de ellos que están dentro de los más importantes y estudiados.

### **2.5.1. El suelo.**

El efecto del suelo y su fertilidad sobre la eficiencia de los HMA, ha sido un aspecto investigado a nivel mundial, donde se han reportado numerosos criterios:

La mayoría de los autores indican que la eficiencia de los HMA está estrechamente vinculada a los suelos pobres de baja fertilidad y que la aplicación de altos niveles de nutrientes sobre todo de fósforo, disminuyen o inhiben su efecto beneficioso (Siqueira y Franco, 1988; Sieverding, 1991; Orosco y Gianinazzi-Pearson, 1993); sin embargo, Fernández (1999), encontró respuesta a la inoculación con especies eficientes de HMA en suelos Pardos y Ferralíticos para condiciones de media a alta fertilidad de los mismos. De forma similar, Fernández (2003), basado en los resultados de un amplio programa de trabajo en suelos de diversas fertilidades, entre estos los Pardos con carbonatos, señaló que, siempre se encontró efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA.

En Cuba (Ruíz, 2001) trabajando en un programa de raíces y tubérculos sobre un suelo Pardo con carbonato, con la cepa de HMA *Glomus intrarradices* y diferentes dosis de fertilizante mineral por cultivos encontró, que para este tipo de suelo y dicha cepa de HMA las dosis de fertilizante mineral para los cultivos de la yuca, boniato y malanga fueron de 25% de la dosis óptima para alcanzar altos rendimientos para la yuca y de 50% de las dosis óptimas para alcanzar altos rendimientos en el boniato y la malanga.

En Brasil (Ezeta y Carvalho, 1981) señalaron que la capacidad de la yuca para crecer y producir en suelos de baja fertilidad se debió a la eficiencia de los HMA asociados, que le permitieron extraer nutrientes de los suelos pobres.

Aún cuando la información sobre el efecto de la materia orgánica (MO) en los HMA a nivel internacional es limitada, algunos prestigiosos investigadores (Martínez, 1986; Herrera, 1991) han informado que la MO constituye un elemento importante a considerar en la efectividad de los HMA, además de contribuir con la fertilidad y propiedades físicas de los suelos.

Se ha reportado además la influencia de los HMA como aglutinadores de microagregados y mejoradores de la estabilidad estructural donde se sugiere que el mecanismo agregador está dado por las hifas del hongo y la producción de polisacáridos extracelulares (Rillig, 2005).

### **2.5.2. La planta.**

Los HMA son encontrados naturalmente en todos los ecosistemas terrestres, reportándose que aproximadamente el 95% de todas las especies del reino vegetal son micotróficas (Sieverding, 1991). Sin embargo, Trappe (1987) después de haber consultado más de 3000 publicaciones y reportes, consideró que en las especies vegetales tropicales sólo el 13,4% no forman micorrizas, el 70,9%, forman micorrizas con HMA y el 15,7% la forman con otros grupos no arbusculares.

Por su parte Tester et al. (1987) y Primavesi (1990) han señalado que existen unas pocas familias de plantas que no forman usualmente micorrizas, debido a la existencia de posibles compuestos fungitóxicos en los tejidos de sus raíces, entre otras causas.

Mientras que Siqueira y Franco (1988) han informado que los factores relacionados con la planta, especie, variedad, cultivar, estado nutricional, edad y presencia de compuestos fungistáticos o alelopáticos; ejercen gran influencia sobre la micorrización. Los HMA en general son poco específicos, cuando se comparan con otros sistemas biotróficos, o sea que son considerados universales.

La especificidad de los HMA está definida como la capacidad para establecer asociaciones y no debe confundirse con la efectividad o eficiencia simbiótica,

que es la capacidad del hongo de producir crecimiento u otro beneficio para la planta, bajo determinadas condiciones. Varias especies de hongos producen elevada infectividad, pero son poco efectivos para incrementar el crecimiento y la absorción de nutrientes por la planta, así como reducir los daños causados por microorganismos fitopatógenos.

Siqueira y Franco (1988) definieron la dependencia micorrízica como: “El grado en que la planta depende del hongo, para su crecimiento o producción máxima, a un nivel de fertilidad determinado”; teniendo en cuenta este concepto agruparon las plantas en:

**Micorrízicas obligatorias:** Son aquellas que tienen crecimiento extremadamente reducido en ausencia de HMA. Cuando se inoculan, presentan alto grado de colonización y beneficio mutuo con la simbiosis. Incluye plantas con raíces cortas, gruesas y de poco desarrollo de los pelos absorbentes; como por ejemplo la yuca, los cítricos y las leguminosas tropicales entre otras.

**Micorrízicas facultativas:** Poseen un sistema radical más desarrollado y eficiente para la absorción de agua y nutrientes. Generalmente presentan más bajo grado de colonización que las del grupo anterior, las gramíneas son consideradas en este grupo.

**No micorrízicas:** Incluye las plantas que no forman micorrizas o poseen colonización pasiva; como ejemplo se pueden citar las crucíferas.

Sieverding (1991) consideró como cultivos altamente micotróficos a la yuca, el boniato, la malanga, el ñame, la soya, el maíz, el sorgo, el tabaco y los pastos tropicales entre otros. Mientras que el trigo, el frijol y el tomate pueden colonizarse a un nivel moderado.

Por otra parte Siqueira y Franco (1988) en estudios realizados para determinar la dependencia micorrízica en 20 especies vegetales de interés agronómico, encontraron que la yuca fue el cultivo de mayor dependencia. Ambos investigadores consideraron la dependencia micorrízica de la planta un factor importante en los programas para el uso de las micorrizas a gran escala, pues ella determina la magnitud del beneficio de la micorrización. También determinaron que existe una relación directa entre la dependencia micorrízica

y el nivel de P disponible en el suelo, existiendo un nivel crítico de P en el suelo por encima del cual la planta no se beneficia.

### **2.5.3. La especie de HMA.**

El tipo de cepa de HMA y la especie a que pertenece es uno de los factores fundamentales que condicionan la eficiencia del hongo, sobre todo en su interacción con el cultivo.

A nivel mundial, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas las raíces y tubérculos han tenido distintas respuestas al efecto de una o varias especies de HMA inoculadas.

Aún cuando los reportes de la literatura sobre este aspecto son escasos, el comportamiento por cultivo es el siguiente:

Hernández et al. (1993) determinaron el efecto de los HMA, en combinación con otros microorganismos, sobre la producción de tubérculos de papa a partir de semilla botánica y los mejores resultados en cuanto al número y peso de los tubérculos correspondieron a las especies *Glomus manihotis* y *Glomus* spp.

Por su parte Pérez (1994) y Milián (1995), en suelos Pardos con carbonatos de la región central de Cuba, determinaron el efecto de los HMA, otros biofertilizantes y agua tratada magnéticamente sobre la producción de semilla y papa para el consumo. Los más altos rendimientos se lograron cuando se combinó la especie *Glomus mosseae* con otros biofertilizantes.

Moreno (1988) estudió la respuesta de la inoculación con HMA en papa (var. 'Dto-33'); las especies estudiadas fueron *Glomus caledonicum*, *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* en un suelo con pH 7,8 y 15 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Los resultados mostraron que *Glomus fasciculatum* fue capaz de establecer buena asociación con la papa, observándose un notorio crecimiento de la planta y mejora del estado nutricional.

En la India, Mehrotra y Barjal (1993) reportaron una nueva especie de HMA (*Glomus sterilum*), aislada de las raíces de la planta de papa, con buenas perspectivas.

En Brasil, Matos et al. (1994) evaluaron el efecto de los HMA y otros biofertilizantes sobre la producción de tubérculos en plantas micropropagadas de papa de la var. 'Achat'. Las especies de HMA utilizadas fueron: *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus manihotis* y *Gigaspora margarita*. Los resultados mostraron que el peso total de los tubérculos fue superior con la especie *Glomus clarum*.

Lastres et al. (1993) encontraron que varias especies incrementaron el rendimiento de la yuca significativamente en comparación con los HMA nativos, debido no sólo a la eficiencia del hongo presente en el inóculo, sino también a las mayores concentraciones de propágulos micorrizógenos.

Según CIAT (1984) las especies más eficientes colectadas en Quilichao y Carimagua (Colombia) fueron *Glomus manihotis*, *Entrophospora colombiana* y *Acaulospora mellea* y se señala por Sieverding y Howeler (1985) que estas fueron más eficaces que las nativas.

Se inocularon clones de yuca con *Glomus manihotis*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus microcarpum*, *Gigaspora margarita*, siendo las más eficientes *Glomus manihotis* y *Glomus microcarpum* y la menos efectiva *Glomus fasciculatum* (Sieverding y Gálvez, 1988a), mientras que en otros experimentos (Kato, 1987; Sieverding y Gálvez, 1988b) encontraron (sin la aplicación de fósforo) que la especie *Gigaspora margarita* fue ineficaz en suelo ácido y *Entrophospora colombiana* resultó efectiva en suelo neutro.

Por su parte Sieverding (1984b) señaló que las especies de mayor respuesta al utilizar roca fosfórica fueron *Glomus manihotis* y *Paraglomus occultum*.

Potty (1985) señaló que la yuca puede ser un buen cultivo para la multiplicación de los HMA y comprobó que la cáscara de raíces puede ser de gran utilidad, también comprobó que las especies aisladas de boniato y ñame colonizan a la yuca.

Tatsch et al. (1994) investigaron la multiplicación de los HMA en tres cultivos hospederos, siendo la yuca uno de ellos. Se utilizaron dos especies de HMA, la multiplicación de esporas fue más significativa en la especie *Scutelospora heterogama*, mientras que *Glomus clarum* fue más infectiva.

En el cultivo del boniato, Milián (1994), obtuvo buenos resultados con la especie de HMA *Glomus intraradices* en combinación con Azotobacter y Fosforina, logrando incrementar los rendimientos de 18,75 a 23,69 t.ha<sup>-1</sup> cuando aplicaron los biofertilizantes.

Por su parte García et al. (1994) en Brasil obtuvieron incrementos en la producción de materia seca y de esporas en plantas micropropagadas de boniato cuando utilizaron la especie *Glomus clarum*.

En el cultivo de la malanga *Colocasia*, Milián (1993) obtuvo rendimiento de 23,6 t.ha<sup>-1</sup> utilizando la especie *Glomus fasciculatum* en combinación con otros biofertilizantes.

#### **2.5.4. La fertilización mineral.**

El uso de inóculos comerciales de HMA de alta calidad en países como Estados Unidos, Brasil, Alemania, Reino Unido, entre otros, es una práctica en ascenso dentro de sus paquetes agrícolas, debido a que este tipo de producto, al tener un componente activo biológico, autóctono del suelo, no genera toxicidad y su residualidad redundante en un mejoramiento en la recuperación biológica de la mayoría de los agroecosistemas que han estado expuestos durante mucho tiempo al uso excesivo de fertilizantes minerales y plaguicidas, lo cual ha contribuido al deterioro de los mismos (INCA, 1998).

Gómez et al. (1997) en un conjunto de ensayos y extensiones agrícolas en diferentes empresas de la provincia La Habana, con el cultivo de la yuca, utilizando dosis de 50 kg.ha<sup>-1</sup> de la especie de HMA *Glomus manihotis* más 2 L.ha<sup>-1</sup> de la rizobacteria *Asospirillum brasilense*, obtuvieron rendimientos entre 13 y 25 t.ha<sup>-1</sup>, sustituyendo entre el 25 y 33% del nitrógeno y entre el 50 y 100% del P y K, en dependencia de la fertilidad del suelo.

Sieverding (1984a) planteó que existió gran variabilidad entre la eficiencia de las especies de HMA en dependencia de la fuente de fosfato utilizado, los niveles de fósforo aplicados y el tipo de suelo; mientras que CIAT (1984) señaló que la fuente y el método de aplicar nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), cinc

(Zn) y boro (B) no ejerció efectos negativos sobre la colonización de las raíces por los HMA.

García et al. (1994a) investigaron el efecto de los HMA sobre la efectividad de la roca fosfórica acidulada y no acidulada. Los resultados mostraron que los HMA potenciaron la efectividad de la roca fosfórica acidulada al 20 y 30% con dosis de 300 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y la especie *Glomus manihotis* fue superior a *Glomus fasciculatum* en suelo Ferralítico Rojo.

Con relación al efecto causado por contacto de los HMA con los fertilizantes minerales, Sieverding y Toro (1989) comprobaron que la especie *Glomus manihotis* tolera el contacto directo con los fertilizantes minerales, lo que da la posibilidad de aplicación conjunta.

Borie y Mendoza (1994) determinaron el efecto del encalado sobre la colonización y número de esporas de HMA en un suelo de alto contenido de Al. Se aplicaron 2 t.ha<sup>-1</sup> de dolomita y calcita. Los resultados señalaron que ambas fuentes de cal aumentaron la colonización de las raíces en un suelo con riesgo de acidificación.

Por su parte Sieverding (1984b) obtuvo que las especies de mayor respuesta al utilizar fosfatos triples y roca fosfórica fueron *Glomus manihotis* y *Paraglomus occultum* y que cuando el inóculo se colocó debajo de la estaca de yuca, se incrementó el rendimiento 35% con relación al testigo sin HMA pero con fósforo.

Sieverding y Toro (1988) encontraron en plantas sometidas a estrés hídrico que sólo las inoculaciones de *Glomus manihotis*, *Paraglomus occultum* y *Entrophospora colombiana* mejoraron el crecimiento de la yuca y fueron más efectivas en la absorción de fósforo.

En otros trabajos, CIAT (1981) reportó que *Glomus* es el género que mejor se adapta a suelos ácidos de baja fertilidad. Howeler (1985) encontró que *Glomus manihotis* es la especie más adaptada a varias condiciones edafoclimáticas y que la colonización por HMA disminuyó a medida que aumentó la fertilización con fósforo.

Mientras que Sieverding (1991), señaló que en la literatura existe mucha información sobre el efecto de la fertilización mineral en la eficiencia de los HMA, pero que la mayoría estaba disponible a partir de experimentos en

invernaderos y no de experimentos en condiciones de campo, especialmente con los cultivos tropicales.

En resumen, se puede señalar que son múltiples los factores que condicionan la eficiencia de los HMA y más aún sus interrelaciones. Es importante el conocimiento de los mismos puesto que muchas veces no se tiene en cuenta el efecto aislado o integrado de estos factores, lo que conduce a criterios erróneos sobre las cualidades y beneficios de los HMA, haciendo que se pierda el interés por su uso como una alternativa para mejorar la eficiencia de la fertilización en los cultivos.

## **2.6. El laboreo del suelo.**

Se entiende por laboreo cualquier acción mecánica sobre el suelo, realizada para que éste ofrezca las condiciones ideales para el desarrollo de la vida vegetal. En este sentido, deberá considerarse que estas condiciones deben ser óptimas, primero, para la germinación de las semillas y, después, para el desarrollo de la actividad radical.

En los medios naturales, estas acciones son ejercidas por los agentes climáticos (hielo y deshielo, variaciones de temperatura, cambios de humedad, etc.) y biológicos (galerías de animales y raíces, movimientos de partículas por animales, etc.), pero, aunque en nuestro suelo se dan también estos procesos y debemos potenciarlos, nosotros podemos acelerarlos o modificarlos a nuestra conveniencia, aunque no debemos olvidar la vocación del conjunto suelo - clima, para adaptar a ella el cultivo y las técnicas culturales.

De todos los factores en áreas con fines productivos que influyen en la dinámica de las comunidades de HMA y su asociación con las plantas, los más importantes son las prácticas agrícolas. Así, el laboreo del suelo o largos períodos de barbecho, como también secuencias de rotación de cultivos incluyendo plantas hospederas y no hospederas afectan el desarrollo, la actividad y diversidad de los HMA (Jansa et al., 2003; Oehl et al., 2003, 2004 y 2005).

Frente a la perturbación del suelo y competencia entre las plantas es muy importante el uso de herramientas biológicas que aseguren el establecimiento

exitoso de las especies vegetales, como los microorganismos del suelo, que cumplen un rol preponderante debido a las variadas funciones que realizan (Heredia, 2003). Algunos de ellos desarrollan interacciones benéficas como las micorrizas, simbiosis que establecen ciertos hongos del suelo con las raíces de las plantas vasculares (Guadarrama et al., 2004). Un tipo particular son los hongos micorrizicos arbusculares que realizan dicha simbiosis con la mayoría de los cultivos agrícolas (Smith y Read, 1997). Los hongos micorrizicos arbusculares influyen en la estabilización del suelo y determinan la composición vegetal, productividad, diversidad y sustentabilidad en los ecosistemas (Van Der Heijden et al., 1998). El efecto positivo de los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) se observa en la planta hospedera, al mejorar su adaptación (reproducción y supervivencia) y producción de biomasa (Fisher y Jayachandran, 2002).

En ambientes oligotróficos, la asociación de las plantas con HMA es muy importante, ya que las plántulas dependen de la simbiosis para su establecimiento (Cuenca et al., 1998). La perturbación del suelo tiene un impacto directo sobre los propágulos de HMA y también un efecto indirecto a través de cambios en las propiedades del suelo, lo que puede reducir la diversidad de especies por disminución en el número de esporas viables junto con la destrucción de las redes hifales disminuyendo así, la cantidad de propágulos para el cultivo siguiente (Jasper et al., 1989; [Douds et al., 1993](#)).

Los recursos en el suelo no están homogéneamente distribuidos, lo que representa un alto costo energético para las plantas en búsqueda de nutrientes produciéndose una alta competencia por ellos (Sánchez - Gallén y Guadarrama, 2003). La presencia de HMA puede cambiar el balance competitivo entre los hospederos y así aminorar la intensidad (Allen y Allen, 1990), al actuar como extensiones del sistema radical, por lo que la planta hospedera puede favorecer la parte epigea (Eissenstat y Newman, 1990), debido a la optimización del proceso fotosintético y con ello su crecimiento y supervivencia.

Además, la utilización en los ecosistemas agrícolas de sistemas de manejo tradicionales altera las condiciones edáficas de los suelos; sin embargo, en las últimas décadas en algunos agroecosistemas en el mundo se están aplicando

sistemas de labranza conservacionista que es la principal práctica de manejo agrícola que contribuye a la estabilidad de los suelos, entre ellas, el laboreo mínimo que produce un mejoramiento de las propiedades físico - químicas y biológicas del suelo, beneficiando la fertilidad con incrementos en la producción y reducción de costos; también, disminuye la contaminación ambiental de aguas residuales por una menor erosión y por la baja cantidad de insumos que requiere. La utilización de maquinaria menos destructiva produce una menor pérdida de suelo, en contraste con el arado de disco que además, daña su estructura (Fainguenbaum, 2003).

El arado corta e invierte total o parcialmente los primeros 15 cm permitiendo que el suelo se suelte, airee y mezcle facilitando el ingreso de agua, la mineralización de materia orgánica (MO) y la reducción de plagas y enfermedades en superficie (Riquelme, 1992). Con este sistema, el suelo se deteriora por pérdida de elementos nutritivos principalmente por erosión, compactación y degradación de la MO (Fainguenbaum, 2003).

En el laboreo convencional se tiende a producir una distribución homogénea de nutrientes en los primeros 20 cm de suelo, con un contenido total de elementos nutritivos menor, producto de una mayor pérdida por erosión (Sierra, 1990).

Ambos sistemas de labranza difieren en las labores de preparación de suelo; así mientras el laboreo mínimo prepara el rastrojo del cultivo anterior, cortándolo, picándolo y distribuyéndolo en forma homogénea sobre el suelo ( $2 - 10 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) con una preparación de la cama de semillas mínima y controlando las malezas con herbicidas (Halvorson et al., 1999), la labranza convencional generalmente quema el rastrojo o los saca del campo antes del proceso de arado y discado.

## **2.7. Bases para el manejo de la simbiosis en secuencias de cultivos.**

### **2.7.1. Suministro óptimo de nutrientes para una micorrización efectiva.**

Sobre efectividad micorrízica y disponibilidad de nutrientes diversos autores coinciden en que para obtener una eficiente simbiosis micorrízica la disponibilidad de nutrientes en el sistema debe ser inferior a la comúnmente utilizada para cualquier cultivo (Packovsky et al., 1986b; Siqueira y Franco, 1988; Barea et al., 1991).

Fernández (1999) y Sánchez (2001) plantean que la alta disponibilidad de nutrientes disminuyó las estructuras micorrízicas en el interior de las raíces, expresadas tanto como masa del endófito, como por porcentaje de colonización.

Sánchez (2001) trabajando con diferentes relaciones de suelo / abono orgánico (7/1,5/1 y 3/1), sobre la efectividad micorrízica de cepas eficientes en la obtención de posturas de café con dos tipos de suelos (Luvisoles crómicos y Cambisoles éutricos de muy alta fertilidad, CIC > 25 cmol.kg<sup>-1</sup>) encontró ineficiente la relación 3/1 para los dos tipos de suelos, siendo eficiente la relación 5/1 para los Luvisoles crómicos y 7/1 para los Cambisoles éutricos.

Ruiz (2001) obtuvo para la yuca, el boniato y la malanga las dosis óptimas de fertilizantes en presencia de una cepa eficiente de HMA en suelos Pardos con carbonatos siendo estas de 25% para la yuca y 50% para el boniato y la malanga.

### **2.7.2. Especificidad cepa eficiente de HMA - suelo.**

Según Sieverding (1991) los posibles determinantes de la eficiencia simbiótica están relacionados con el tipo de hongo micorrizógeno (tasa de crecimiento, translocación de nutrientes y metabolismo del P en el micelio externo, capacidad infectiva, tasa de crecimiento del endófito arbuscular y la producción de arbusculos en el micelio interno), con la planta hospedera (morfología de la raíz, tasa de crecimiento de las raíces, requerimientos nutricionales de las plantas, tasa fotosintética y tolerancia a las situaciones de estrés) y la interfase simbiótica (área de contacto entre los simbiosistas, tasa de toma de nutrientes y tasa de eflujo de carbohidratos).

Por otra parte, Fernández (1999); Ruiz (2001) y Rivera et al. (2003) consideran que otro factor determinante en la efectividad simbiótica lo constituye el tipo específico de suelo o sustrato, o más aún las concentraciones o el equilibrio de

nutrientes en la solución del suelo, la velocidad de mineralización de la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y en especial los niveles de  $\text{Ca}^{++}$ .

Es decir, las especies fúngicas reportadas en esos trabajos, no presentaron el mismo comportamiento en las diferentes condiciones edáficas estudiadas, lo cual es una consecuencia de la especificidad HMA - suelo que se reporta (Siqueira y Franco, 1988) y que conlleva precisamente a la necesidad de encontrar cuales son las especies y cepas más efectivas en una condición edafoclimática dada.

Ruiz (2001) trabajando sobre un suelo Pardo con carbonatos con distintas cepas de HMA obtuvo como la más efectiva para ese tipo de suelo la cepa *Glomus intraradices* en cultivos de raíces y tubérculos.

### **2.7.3. Baja especificidad cepa eficiente HMA - cultivo.**

Algunos autores se han referido a uno de los aspectos de mayor repercusión en el manejo de la simbiosis, el referente a la poca especificidad cepa – cultivo. En este sentido Siqueira y Franco (1988) consideraban que las diferentes especies de HMA no presentaban una especificidad manifiesta frente a diferentes hospederos en condiciones favorables para la simbiosis.

En la recopilación presentada por Siqueira y Franco (1988) este fenómeno se fundamentaba sobre todo basado en la poca cantidad de especies y cepas de HMA (142 reportadas en aquel entonces) que se asociaban con una amplia cantidad de especies vegetales (300 000).

Según Rivera (2006) la baja especificidad se traduce en que una cepa eficiente para una condición edáfica dada, establece micorrización efectiva con cualquiera de los cultivos que son dependientes de la micorrización y por supuesto los diferentes cultivos responden diferentes a la micorrización, pero la cepa adecuada lo es con cualquiera de los cultivos.

#### **2.7.4. Permanencia en el sistema suelo - planta de la efectividad de los HMA en secuencias de cultivos.**

La permanencia de los HMA inoculados, a partir de la baja especificidad cepa – cultivo en el suelo, dentro de un sistema de rotación de cultivos determinado ha sido muy poco investigada a nivel mundial y precisamente es en Cuba donde más ha sido estudiado este efecto, aunque todavía de una forma insuficiente.

Se destacan en este sentido los trabajos de Ruiz (2001) sobre suelos Pardos con carbonatos, donde obtuvo, trabajando en una secuencia de raíces y tubérculos, resultados que dejaron claro la permanencia del inoculante micorrízico en el cultivo posterior a la inoculación, pero este efecto se obtuvo empleando altas dosis (20 a 50 g.planta<sup>-1</sup>) del inoculante, aplicadas directamente sobre el suelo.

Posteriormente Riera (2003) obtuvo similar efecto de permanencia del inoculante micorrízico trabajando con la cepa *Glomus clarun* y en diferentes combinaciones de secuencia de cultivos sobre un suelo Ferralítico rojo lixiviado.

También Martín (2010) trabajó este efecto de la residualidad o permanencia del inoculo aplicado sobre el primer cultivo posterior a la inoculación, pero en este caso utilizando abonos verdes como cultivo inoculado, lo cual fortalece el uso de los abonos verdes, no solo como fuente de nutrientes y carbono, sino como una vía para potenciar los propágulos de cepas eficientes en el suelo.

Es importante señalar que de forma general las investigaciones sobre el uso de los HMA han estado dirigidas fundamentalmente hacia el aislamiento y la clasificación de especies, la determinación de las más eficientes por cultivo y tipo de suelo, dosis de inóculos y su combinación con fertilizantes minerales, peletización o recubrimiento de semillas y el establecimiento de tecnologías para la producción certificada y comercial de inóculos de HMA para su aplicación a escala de producción (Howeler, 1983; Potty, 1984; Ferrer y Herrera, 1991; Furrzola et al., 1992; Fernández et al., 1997; Gómez et al., 1997; INCA, 1998; Sánchez et al., 2000, Rivera y Fernández, 2003).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Aspectos generales.

Teniendo en cuenta los objetivos de este trabajo de estudiar la influencia del laboreo sobre la frecuencia de aplicación del inoculante micorrízico en una secuencia de cultivos y la efectividad del efecto de permanencia de este en la misma, se desarrolló un experimento en condiciones de campo. La secuencia de cultivos utilizada fue yuca (*Manihot esculenta* Crantz) - boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) - malanga (*Colocasia esculenta* Schott) y el experimento fue realizado en el área agrícola del Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), ubicado a 22° 35' N, 80° 18' W y 40 msnm en el municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara.

#### 3.2. Tipo y características químicas del suelo.

Las investigaciones se realizaron sobre un suelo Pardo mullido carbonatado (Hernández, 1999) siendo este suelo representativo de las condiciones edáficas en que se desarrollan estos cultivos en Cuba, cuyas principales características químicas se muestran en la Tabla 3.

A partir de los criterios de interpretación nacionales de los análisis químicos de los suelos (Cuba - MINAGRI, 1984) utilizados para los diferentes métodos, se pueden caracterizar los mismos de la siguiente forma:

En lo que respecta al pH hay que señalar que el suelo Pardo con carbonatos presentó una reacción ligeramente alcalina, debido a la presencia de carbonatos libres lo cual es una característica representativa de este tipo de suelos.

Atendiendo a los valores de materia orgánica (MO), se pueden caracterizar como de contenidos bajos a medios. La fertilidad para el fósforo fue alta y el potasio ( $K_2O$ ) tuvo valores medios, pero relativamente bajo al interpretarse de acuerdo con el equilibrio  $K / K + Ca + Mg$  en el suelo (Rivera, 1999). El calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) muestran tenores normales, típicos para estos suelos, los cuales son muy altos para el calcio y medios para el magnesio, pero en todos los casos significantes para la nutrición de estos cultivos.

Es importante señalar que en estos suelos, tanto en condiciones de baja como de media disponibilidad de nutrientes, se ha encontrado una positiva respuesta de estos cultivos a la aplicación de fertilizantes minerales NPK (Portieles et al., 1982; 1983 y 1986; Cuba - MINAG, 1984; Ruiz et al., 1987 y 1990; Milián et al., 1992; Batista et al., 1993).

**Tabla 3. Algunas características químicas iniciales del suelo del área experimental. (0 - 20 cm de profundidad).**

Área	pH		MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K
	H <sub>2</sub> O	KCl		Asimilable					
			(%)	(mg.100 g <sup>-1</sup> )		(cmol.kg <sup>-1</sup> )			
LM	7,72	7,17	1,78	6,37	81,9	43,48	4,06	0,66	0,56
LC	7,71	7.22	1.98	6,22	83,0	44,14	4,89	0,70	0,62

LM – Laboreo mínimo

LC – Laboreo convencional

### 3.3. Condiciones climáticas.

*Los datos climáticos de los valores de precipitación (mm), temperatura (°C) y humedad relativa (%) durante todo el período experimental, así como el promedio de estos valores en le periodo experimental y la media histórica de 36 años se presentan en los anexos 2, 3 y 4.*

Los datos promedios anuales en le periodo experimental se correspondieron con el 89% para la media histórica de precipitación; 101 %, 99,6% y 100,6% para la media histórica de temperatura mínima diaria, temperatura media diaria y temperatura máxima diaria y de 98,4% en relación con la media histórica del porcentaje de humedad, indicando que los experimentos fueron desarrollados bajo condiciones representativas del clima existente en la región, con valores anuales muy similares a la media histórica excepto en la precipitación pero aun en este caso fue del orden del 90% de la misma.

### **3.4. Condiciones experimentales.**

#### **3.4.1. Tratamientos.**

El experimento abarcó todo el sistema de rotación y los tratamientos estudiados (Tabla 4) correspondieron a los métodos de laboreo (mínimo y convencional) combinados con tres tratamientos de manejo de la inoculación micorrízica incluyéndose asimismo tres tratamientos sin inocular, los cuales fueron: el tratamiento control que no recibió fertilización mineral, el tratamiento que siempre recibió la fertilización mineral (100% N, P, K) recomendada para altos rendimientos en cada uno de estos cultivos (Cuba - MINAG, 1984) y un tratamiento que recibió en cada cultivo la fertilización mineral que recibieron los tratamientos inoculados.

En los tratamientos que recibieron la aplicación del inoculante micorrízico, cada cultivo se fertilizó con la dosis obtenida por Ruiz (2001) para máxima efectividad de la inoculación (DOM). En los experimentos discutidos por Ruíz (2001), los cuales se efectuaron con la misma cepa eficiente de HMA, tipo de suelo, cultivos y portadores que este experimento, la dosis de fertilizantes minerales obtenidos para una micorrización efectiva (DOM) fueron de 25% de la dosis NPK recomendada para altos rendimientos en el cultivo de la yuca y del 50% para los otros dos cultivos.

Las dosis de fertilizantes minerales identificadas como el 100% de N, P, K corresponden a las dosis obtenidas en las campañas de experimentos de fertilización mineral para cada uno de estos cultivos en este tipo de suelos (Portieles, 1982, 1983 y 1986) e incluidas en los Instructivos Técnicos de 1984 (Cuba - MINAG, 1984).

**Tabla 4. Tratamientos estudiados y fertilización utilizada para cada uno de los cultivos de la secuencia estudiada.**

Tratamientos	Yuca		Boniato		Malanga	
	LC	LC	LM	LC	LM	LC
Inocular en todos los cultivos +DOM	X 25% NPK	X 25% NPK	X 50% NPK	X 50% NPK	X 50% NPK	X 50% NPK
Inocular el primer y tercer cultivo + DOM	X 25% NPK	X 25% NPK	50% NPK	50% NPK	X 50% NPK	X 50% NPK
Inocular solo el primer cultivo + DOM	X 25% NPK	X 25% NPK	50% NPK	50% NPK	50% NPK	50% NPK
Sin inocular +DOM	25% NPK	25% NPK	50% NPK	50% NPK	50% NPK	50% NPK
Sin inocular + 100% NPK	100% NPK	100% NPK	100% NPK	100% NPK	100% NPK	100% NPK
Sin inocular y sin fertilizar	0% NPK	0% NPK	0% NPK	0% NPK	0% NPK	0% NPK

**X:** cultivos que recibieron aplicación de inoculantes micorrízicos vía recubrimiento.

**DOM:** Dosis óptima de NPK para una micorrización efectiva (Ruíz, 2001).

### 3.4.2. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en las cuales los dos tipos de laboreo (mínimo y convencional) se utilizaron como parcelas principales y los tres tratamientos de manejo de la inoculación y los otros tres

tratamientos sin inoculación se situaron dentro de cada parcela principal con cuatro repeticiones.

### **3.4.3. Preparación del suelo.**

Se realizaron dos tipos de preparaciones del suelo: laboreo mínimo y convencional. En el área con laboreo mínimo solo se realizó solamente una labor de preparación de suelo (surcar) y dicha preparación se puso en práctica a partir del segundo cultivo (boniato), ya que al cultivo de la yuca se le aplicó el mismo tipo de laboreo para los dos bloques, y consistente en el laboreo convencional en el cual se realizaron cinco labores (roturación, grada, cruce, grada, surcadora).

En todos los casos las diferentes especies vegetales recibieron labores de cultivo y escardas después de la siembra, según las normas técnicas para cada uno de los cultivos de la secuencia (Cuba - MINAG, 1984, 1988 y 1990).

### **3.4.4. Inoculación con HMA.**

La cepa de HMA utilizada fue *Glomus intraradices* contenida en el biofertilizante comercial EcoMic®, que resultó la cepa mas eficiente en estos suelos según Ruíz, (2001) y recomendada para la inoculación micorrízica de cultivos diferentes de la micorrización sobre este tipo de suelo y basado en la baja especificidad cepa eficiente HMA - cultivo (Rivera et al., 2007) y en los propios resultados encontrados por Ruíz (2001) al trabajar con estos cultivos y diferentes tipos de especies de HMA.

El inoculante micorrízico empleado se obtuvo a partir de inóculo micorrízico certificado (Fernández et al., 2001) procedente del cepario del INCA y fue producido mediante la tecnología de producción de EcoMic® producido en el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, conteniendo no menos de 20 esporas.g de sustrato<sup>-1</sup>.

Todos los cultivos se inocularon vía recubrimiento de las semillas agrícolas, utilizando una mezcla con proporciones de 1Kg de EcoMic®.600ml H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>,

aplicando para la yuca, el boniato y la malanga cantidades de inoculante micorrízico de 13, 35 y 58 Kg. ha<sup>-1</sup> respectivamente (Ruíz et al, 2006).

La estaca del cultivo de la yuca se inoculó completamente con la pasta elaborada, de igual manera se realizó con la semilla agrícola de la malanga, pero en el caso del cultivo del boniato se inoculó solamente los dos tercios del esqueje que quedan en contacto directo con el suelo. Todo este proceso se efectuó a la sombra para evitar que la incidencia de los rayos solares afectara el material biológico del producto.

### **3.4.5. Fertilización**

La fertilización aplicada en los diferentes tratamientos y cultivos aparece en la tabla 5, correspondiendo el 100% de N P K con 171.6, 174.2 y 227.8 Kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> para el cultivo de la yuca; con 67.5, 97.5 y 127.5 Kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> para el cultivo del boniato y con 271.2, 154.7, 202.2 Kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> para el cultivo de la malanga.

Los portadores utilizados para la fertilización de los tres cultivos fueron fórmula completa (9 - 13 - 17) y en el caso de la yuca y la malanga se utilizó además Urea (46 - 0 - 0) para complementar las cantidades de nitrógeno exigidas por el cultivo (tabla 5).

Es de destacar que las dosis de nutrientes por ha aplicadas estuvieron dimensionadas para el fósforo de acuerdo con los resultados obtenidos en los experimentos de definición de la dosis fertilización mineral (Portieles 1982, 1983 y 1986) y fueron consecuencia de la no existencia de portadores simples y de utilizar la fórmula completa 9-13-17.

En los diferentes cultivos se garantizaron los requerimientos de potasio. Como las relaciones de los requerimientos nutricionales K<sub>2</sub>O/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de los cultivos son mayores que los de la fórmula, se aplicó P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en exceso.

El fertilizante se aplicó en bandas, después de la plantación, con humedad adecuada en el suelo, entre los 50 y 60 días para la yuca y la malanga y entre los 25 y 30 días para el boniato.

**Tabla 5. Aplicación de Fórmula Completa y Urea para cada tratamiento y cultivo.**

Cultivo	Tratamientos 1, 2, 3 y 4		Tratamiento 5	
	FC (t.ha <sup>-1</sup> )	UREA (t.ha <sup>-1</sup> )	FC (t.ha <sup>-1</sup> )	UREA (t.ha <sup>-1</sup> )
<b>Yuca</b>	0,34	0,02	1,34	0,11
<b>Boniato</b>	0,37	-	0,75	-
<b>Malanga</b>	0,60	0,18	1,19	0,357

### 3.4.6. Clones o variedades utilizadas, distancia de siembra y densidad de plantación.

Los cultivos y variedades o clones utilizadas, así como las distancias de siembras y densidad de plantación referentes a cada cultivo se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6: Clones o variedades utilizadas, distancias de siembra y densidad de plantación por cultivo.**

Cultivo	Variedad o Clon	Distancia de siembra (m)	Densidad de plantación (# de Plantas.ha <sup>-1</sup> )
<b>Yuca</b>	Señorita	0,90 x 1	11100
<b>Boniato</b>	INIVIT 98-2	0,90 x 0,30	36963
<b>Malanga</b>	Camerún 14	0,90 x 0,35	31635

### 3.5. Evaluaciones realizadas.

Durante el período experimental se realizaron las siguientes evaluaciones en cada tratamiento y cultivo del experimento:

#### 3.5.1. Muestras de suelo.

Para todas las evaluaciones se utilizaron muestras compuestas tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

Para todas las evaluaciones se utilizaron muestras compuestas tomadas en forma de cruz. Al inicio del experimento las muestras fueron compuestas por 10 submuestras y tomadas en cada bloque del área experimental. Con posterioridad las muestras fueron compuestas por 5 submuestras que se tomaron en cada parcela experimental.

### **3.5.2. Análisis químico de suelo.**

El análisis químico se realizó solo al inicio del experimento, en las muestras tomadas de los dos bloques experimentales, se analizó el PH, MO (%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, Na y K (Tabla 3).

Se utilizaron los métodos establecidos por NRAG (1987 y 1988), consistentes en:

- pH en KCl y H<sub>2</sub>O: método potenciométrico, relación suelo - solución de 1:2,5.
- Materia orgánica (MO): método colorimétrico de Walkley – Black.
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O: método de Machiguin. El P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se determinó por la técnica de colorimetría, utilizando el molibdato de amonio como solución colorante; mientras que el K<sub>2</sub>O se realizó por fotometría de llama.
- Cationes (Ca, Mg, Na y K): método de AcNH<sub>4</sub> 1N a pH 7,0; utilizando para el Ca y Mg la espectrofotometría de absorción atómica y para el Na y K la fotometría de llama.

### **3.5.3. Análisis microbiológico.**

1. Colonización de raíces con HMA (Col), expresada en %: Se realizó a los 120 días de la plantación para cada uno de los cultivos, tomando una muestra compuesta de raíces finas de 10 plantas en cada parcela y utilizando la técnica de tinción según Phillips y Hayman (1970).
2. Conteo de esporas de HMA: Se procedió según la modificación realizada por Herrera et al. (1995) del protocolo descrito por Gerdemann y Nicholson (1963), tomando muestras compuestas de suelo por parcela a una

profundidad de 0 – 20cm al inicio del experimento y después previamente a la plantación de cada cultivo estudiado.

#### **3.5.4. Rendimiento.**

Rendimiento comercial ( $t.ha^{-1}$ ): se obtuvo a través de la cosecha de cada parcela, la que se realizó a los 11 meses para la yuca, 4 meses para el boniato y 12 meses para la malanga. Se evaluó el peso de las raíces o tubérculos por unidad de área y se expresó en  $t.ha^{-1}$  a partir de los marcos de plantación utilizados.

#### **3.6. Análisis estadístico.**

Los resultados se evaluaron a través de un análisis de varianza (paquete estadístico SPSS 11.5 para Windows) de acuerdo al diseño experimental empleado, donde se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan al 5% de significación para discriminar la diferencia entre las medias.

#### **3.7. Análisis económico.**

La valoración económica se realizó calculando algunos indicadores utilizados en el análisis económico propuesto por Ruíz (2001). Calculándose algunos indicadores en cada uno de los tratamientos. Los indicadores evaluados fueron los siguientes:

- 
- Ingresos (Venta de cosecha) ( $\$. ha^{-1}$ ): se obtuvo multiplicando el rendimiento de cada cultivo.  $ha^{-1}$  por el precio de venta de una tonelada para cada cultivo y sumando los valores correspondientes de cada cultivo por tratamiento.
- Costos ( $\$. ha^{-1}$ ): Gastos incurridos por la aplicación de los fertilizantes minerales, las labores de preparación de suelo, el inoculante EcoMic® y otras actividades en cada uno de los cultivos y sumando los valores en cada tratamiento.

- Beneficio (\$· ha<sup>-1</sup>): se obtuvo a partir de la resta entre los ingresos y los costos en cada tratamiento.
- Relación B/C: Cociente obtenido de dividir el beneficio entre los costos en cada tratamiento.

Para el cálculo de estos indicadores, se utilizó como información básica:

1) Precio de los fertilizantes minerales.

**Tabla 7. Precios de los fertilizantes minerales,** (Cancio, 2009-comunicación personal).

<b>Fertilizantes</b>	<b>CUP. t<sup>-1</sup></b>
Urea	312
Fórmula completa (9-13-17)	512

2) Precio de venta del biofertilizante (CUP· kg<sup>-1</sup>), según Listado de Precios del INCA (Cuba - INCA, 2000).

- ◆ EcoMic®. (HMA)..... 2,50

3) Precios de producto acopiado (CUP·t<sup>-1</sup>), (Hernández, 2009-comunicación personal)

- ◆ Yuca.....991,00
- ◆ Boniato..... 660,00
- ◆ Malanga..... 3744,00

4) Tarifas de preparación de suelos (CUP· ha<sup>-1</sup>), según Listado Oficial de Precios de Servicios Agropecuarios y Resolución No. 244 - 99 del MINAG (Cuba – MINAGRI, 1999).

- ◆ Rotura.....31,60
- ◆ Cruce.....17,28
- ◆ Grada.....4,80
- ◆ Surcar.....7,28

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efectos de los tratamientos sobre el rendimiento y la colonización micorrízica para cada cultivo de la secuencia estudiada.

En las tablas 8 y 9 se presentan los resultados del análisis estadístico en las variables rendimiento ( $t\cdot ha^{-1}$ ) y porcentaje de colonización micorrízica para cada uno de los cultivos de la secuencia estudiada.

Todos los cultivos presentaron una respuesta positiva y significativa a la inoculación micorrízica y solo se encontró un efecto significativo de los tratamientos de laboreo en el último cultivo, en el cual además fue donde único se presentó una interacción significativa entre los factores en estudio.

**Tabla 8. Influencia del laboreo y el manejo de la inoculación micorrízica sobre el rendimiento ( $t\cdot ha^{-1}$ ) para cada cultivo de la secuencia yuca – boniato - malanga.**

Tratamientos	Yuca	Boniato		Malanga	
	LC	LM	LC	LM	LC
Inocular siempre	34,4 a	28,8 a	28,2 a	31,25 ab	28,50 c
Inocular primer y tercer cultivo	34,8 a	28,2 a	27,8 a	30,71 b	28,71 c
Inocular solo el primer cultivo	34,6 a	27,9 a	28,1a	24,62 d	24,82 d
DOM	21,8 b	18,9 b	17,5 b	18,56 e	18,47 e
100% de FM	35,1 a	28,1 a	28,6 a	32,23 a	30,78 b
Testigo absoluto	16,0 c	6,1 c	5,8 c	7,39 f	5,99 f
Ex	0,28*	0,28*		0,26*	

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$

**Tabla 9: Influencia del laboreo y el manejo de la inoculación micorrizica sobre la colonización (%) para cada cultivo de la secuencia yuca – boniato – malanga.**

Tratamientos	Yuca		Boniato				Malanga			
			LM		LC		LM		LC	
	% col	Arcsen x	% col	Arcsen x	% col	Arcsen x	% col	Arcsen x	% col	Arcsen x
Inocular siempre	69	0,99 a	71	1,00 a	69	0,98 b	74	1,03 a	70	0,99 c
Inocular primer y tercer cultivo	69	0,98 a	67	0,96 c	65	0,94 e	72	1,01 b	69	0,98 c
Inocular solo el primer cultivo	70	0,99 a	66	0,95 d	65	0,94 e	58	0,87 d	56	0,84 e
DOM	5	0,23 b	5	0,22 f	4	0,21 fg	4,7	0,22 gh	4,5	0,21 gh
100% de FM	5	0,23 b	5	0,21 fg	5	0,22 f	5,7	0,24 f	5	0,23 fg
Testigo absoluto	4	0,20 b	4	0,19 g	3	0,18 gh	4	0,21gh	4	0,20 h
<b>ESx</b>	0,20*		0,18*				0,16*			

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ .

Para simplificar y lograr una mejor comparación de los resultados y su relación con los objetivos planteados, pasaremos a una discusión para cada uno de los objetivos y en función de esta discusión se seleccionaron los tratamientos a valorar en cada caso.

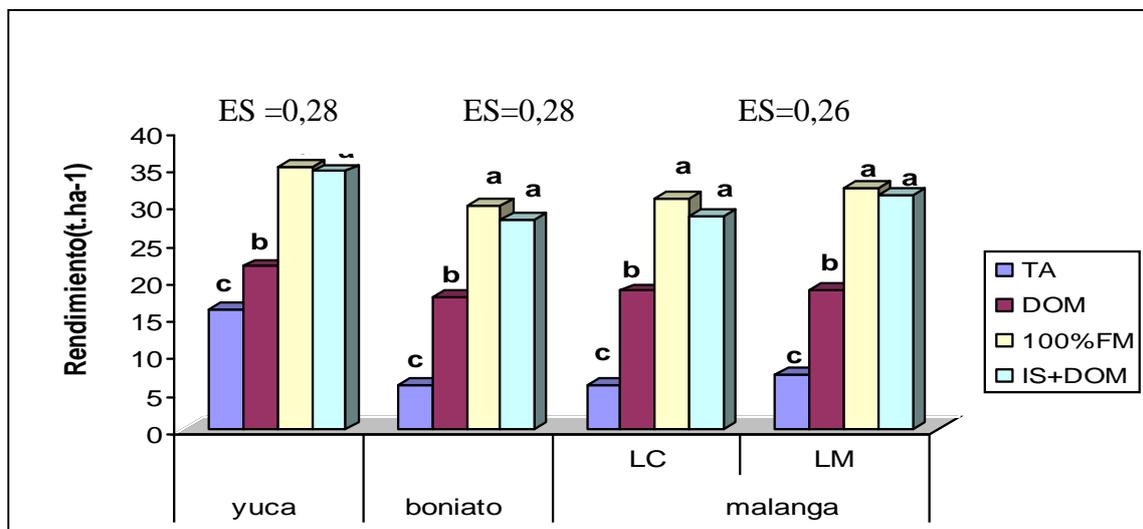
#### **4.2. Influencia del laboreo y la inoculación micorrízica sobre el rendimiento y la colonización micorrízica en la secuencia estudiada yuca – boniato - malanga.**

Para darle respuesta a este objetivo se seleccionaron los tratamientos testigo absoluto, 25 o 50% de NPK (DOM en dependencia del cultivo), 100 % de NPK y el tratamiento de inoculación micorrízica en todos los cultivos y en presencia del porcentaje de fertilización mineral (DOM) que garantizó una micorrización efectiva, de acuerdo con Ruiz (2001).

Se utilizó la información de los tres cultivos y como para la yuca y el boniato no existió interacción estadísticamente significativa, los datos presentados en la figura 1 corresponden a las medias de los tratamientos seleccionados en ambos tipo de laboreo relacionados, mientras que para la malanga se presentó la información de los dos tipos de laboreos. La docimación corresponde a la del análisis estadístico realizado de parcelas divididas con todos los tratamientos.

En cada uno de los cultivos se encontró una fuerte respuesta a la fertilización mineral incrementándose el rendimiento en la medida que se incrementaron las dosis de nutrientes, alcanzándose diferencias significativas entre el 100% de NPK, el porcentaje de la dosis de acuerdo al cultivo(DOM) y el tratamiento sin fertilización, corroborando que se trabajó en condiciones de respuesta al suministro de nutrientes y por tanto que las condiciones experimentales fueron adecuadas para evaluar los efectos e importancia de la inoculación micorrízica sobre el aprovechamiento de los nutrientes y los requerimientos de fertilizantes. En relación con la inoculación micorrízica se encontró un efecto significativo en cualquiera de los cultivos expresado en el significativo incremento de los

rendimientos cuando se compara con el tratamiento inoculado (IS+DOM) con el tratamiento homólogo que recibió misma dosis de fertilización mineral (DOM).



**Figura 1. Efecto de la inoculación micorrizica y las dosis de fertilización mineral sobre el rendimiento de los cultivos (IS-tratamiento de inoculación HMA en todos los cultivos).**

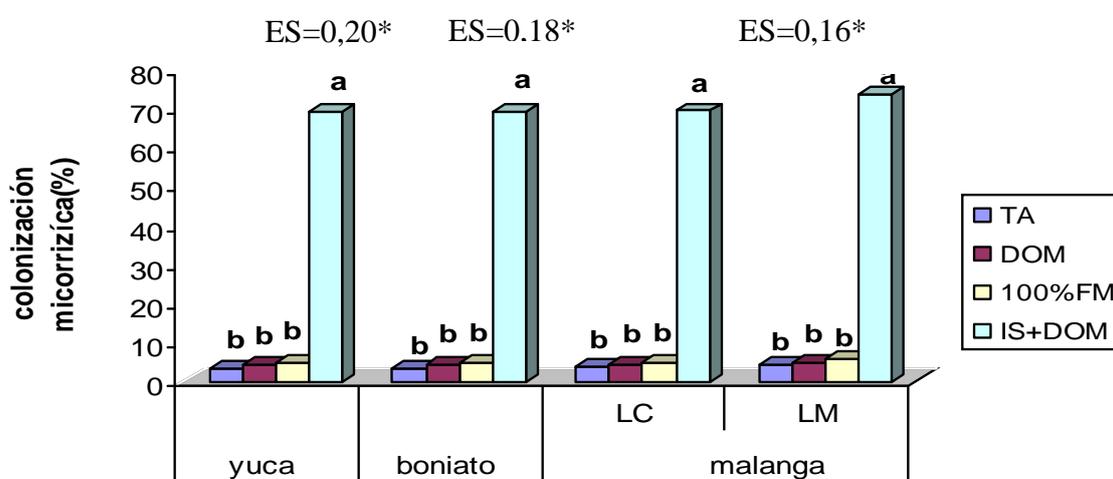
Asimismo los rendimientos obtenidos en cada cultivo inoculado fueron similares a los rendimientos obtenidos en el tratamiento 100 % de NPK, con esto se corrobora la eficiencia de la inoculación con la cepa *G. intrarradices* recomendada como cepa eficiente de HMA para la inoculación micorrízica en condiciones de suelos Pardos con carbonatos (Rivera y Fernández, 2003), así como la efectividad de las dosis de la fertilizantes recomendadas por Ruiz (2001) para garantizar una micorrización efectiva en cada uno de estos cultivos en estas condiciones.

En relación con el porcentaje de colonización micorrízica (Figura 2) se demuestra la efectividad de la inoculación, estimada en base al comportamiento de esta variable. El tratamiento inoculado en cada uno de los cultivos presentó valores significativamente superiores ( 70%) a los no inoculados ( 10%), explicable no solo por la eficiencia de la cepa inoculada, sino también por los bajos valores de esporas nativas encontradas en estos suelos que originó bajos porcentajes de colonización en los tratamientos no inoculados. Estos valores son comparables con los obtenidos por Ruiz (2001)

al inocular esta cepa de HMA en los mismos cultivos sobre suelos Pardos con carbonatos.

Los resultados obtenidos en los tratamientos inoculados, con rendimientos similares a los que recibieron el 100% de la dosis de fertilizante mineral y con altos porcentajes de colonización micorrízica, dejan claro asimismo la efectividad del recubrimiento como vía de inoculación para estos cultivos, tomando en consideración que en los trabajos de Ruiz (2001) la vía de inoculación utilizada fue la aplicación de 20 y 50g del inoculante.planta<sup>-1</sup>, aplicados debajo de la semilla en el momento de la plantación, con lo que se aplicaron altas cantidades de inoculante estimadas en 550 kg.ha<sup>-1</sup> para la yuca, 760 kg.ha<sup>-1</sup> para el boniato y 640 kg.ha<sup>-1</sup> para la malanga.

Es decir en este estudio se obtuvieron similares resultados producto de la inoculación micorrízica vía recubrimiento en los diferentes cultivos, con similar funcionamiento micorrízico efectivo al encontrado por este autor.



**Figura 2. Efecto de la inoculación micorrízica y las dosis de fertilización mineral sobre el porcentaje de colonización micorrízica de los cultivos (IS-tratamiento de inoculación HMA en todos los cultivos).**

Los resultados experimentales demuestran la efectividad del recubrimiento de las raíces y tubérculos como vía de aplicación de los inoculantes micorrízicos,

ya que se logra una efectividad de la inoculación en cada cultivo y además se obtienen resultados similares, en ahorros de la fertilización mineral, a los obtenidos por Ruiz (2001).

Los resultados también corroboran que cuando se aplican dosis más bajas del fertilizante mineral en presencia de una cepa eficiente de hongos micorrízicos arbusculares se obtienen adecuados o altos rendimientos, permitiendo en nuestro caso un ahorro para la yuca, el boniato y la malanga de un 25, 50 y 50 % de las dosis de fertilizantes NPK recomendadas para altos rendimientos en estos cultivos y como consecuencia no solo deben obtenerse mejores índices económicos y disminución de insumos externos sino además deben disminuir las contaminaciones al medio debido al lavado de nutrientes en el perfil del suelo y a la escorrentía lateral (Rivera y Fernández, 2003).

#### **4.3. Efecto de permanencia del inoculante micorrízico aplicado en la secuencia de cultivo yuca – boniato - malanga en un suelo Pardo con carbonatos y el grado de influencia del laboreo sobre el mismo.**

Una vez discutido el objetivo de la influencia de la inoculación micorrízica sobre cada uno de los cultivos que conforman la secuencia, la efectividad de este y de la vía de recubrimiento para obtenerla, así como la disminución de las dosis de fertilizantes necesarias para obtener altos rendimientos y una micorrización efectiva pasaremos a discutir el objetivo correspondiente a la influencia del laboreo sobre el manejo de la inoculación micorrízica en la secuencia de cultivo y el efecto de la permanencia del inoculante aplicado sobre los cultivos posteriores.

Para dar cumplimiento a este objetivo se utilizaron los resultados de los tratamientos de frecuencia o manejo de la inoculación micorrízica en la secuencia en ambas variantes de laboreo, cuyos resultados en cuanto al rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica se pueden observar en la tabla 10.

Se seleccionaron estos tratamientos debido precisamente a que son los que permiten evaluar, después de ya establecido y confirmado el efecto positivo de

la inoculación micorrízica sobre cada uno de los cultivos, el manejo de la inoculación micorrízica en las secuencias de cultivos, la cual conlleva a la no necesidad de inocular todos los cultivos basados en la propia reproducción de los propágulos micorrízicos que se alcanza con el establecimiento efectivo de la simbiosis micorrízica en los tratamientos inoculados, así como en la baja especificidad cepa eficiente de HMA - cultivo.

**Tabla 10. Efecto del laboreo y la frecuencia de inoculación sobre el rendimiento en los diferentes cultivos de la secuencia estudiada.**

Tratamientos	Yuca	Boniato		Malanga	
	LC	LM	LC	LM	LC
<b>Inocular siempre</b>	34,4	28,8	28,2	31,25 a	28,51 b
<b>Inocular primer y tercer cultivo</b>	34,8	28,2	27,8	30,71 a	28,72 b
<b>Inocular solo el primer cultivo</b>	34,6	27,9	28,1	24,62 c	24,82 c
<b>ESx</b>	0,35ns	0,34ns		0,45*	

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ . Todos los tratamientos recibieron el mismo sistema de fertilización.

En la Tabla 10 se puede observar que en los primeros dos cultivos no se encontraron diferencias entre los factores en estudio, a saber: frecuencia de inoculación micorrízica y tipo de laboreo; solo encontrándose efectos significativos, en este caso de ambos factores, en el tercer cultivo, el cual mostró interacción significativa entre los factores.

En el primer cultivo (yuca), no se establecieron diferencias significativas entre los tratamientos, ya que desde el punto de vista de la inoculación los tres niveles del factor frecuencia de inoculación fueron iguales y resultó factible en la inoculación del primer cultivo, asimismo en este primer cultivo tampoco se establecieron diferencias entre los dos tipos de laboreo y por ende no existió interacción entre los

factores. La igualdad de valores encontrados entre los diferentes tratamientos fue un indicador de la reproducibilidad y efectividad de la inoculación vía

recubrimiento sobre el cultivo de la yuca, destacándose además los altos rendimientos obtenidos.

En el segundo cultivo de la secuencia estudiada (boniato) al igual que para el cultivo de la yuca, tampoco se manifestó interacción entre los factores, laboreo y frecuencia de inoculación en cuanto a los rendimientos obtenidos. No se establecieron diferencias significativas entre el tratamiento “inocular siempre” y los de “inocular el primer y el tercer cultivo” y el de “inocular solo el primer cultivo” ambos no inoculados en este cultivo, en lo que respecta al rendimiento agrícola en ninguno de los dos tipos de laboreos (Tabla 10). Esta conducta se observó en cualquiera de los dos tipos de laboreo, aunque los rendimientos en los tratamientos con laboreo mínimo fueron ligeramente superiores.

Sobre el efecto en la colonización micorrízica (Tabla 11) se puede decir que el comportamiento fue similar a lo encontrado para el rendimiento del cultivo, donde no existió interacción entre los factores estudiados, aunque si existió un ligero efecto de las frecuencias de inoculación y del laboreo sobre los porcentajes de colonización.

El ligero efecto encontrado de las frecuencias de inoculación sobre los porcentajes de colonización micorrízica viene dado por la no inoculación de este cultivo en los tratamientos de “inocular el primer y el tercer cultivo” y el de “inocular solo el primer cultivo” lo cual provoca que exista una ligera diferencia entre los porcentajes de estos tratamientos y el de “inocular siempre” en cada una de las variantes de laboreo.

Sin embargo en cualquiera de los tratamientos inoculados los porcentajes de colonización micorrízica se encontraban entre 66 y 70 %, con valores altos e indicativos de una micorrización eficiente de acuerdo con los resultados informados por Ruíz (2001).

**Tabla 11. Efecto del laboreo y la frecuencia de inoculación sobre el porcentaje de colonización en los diferentes cultivos de la secuencia estudiada.**

Tratamientos	Yuca		Boniato				Malanga			
	LC	Arcsen x	LM	LC	X	Arcsen x	LM	Arcsen x	LC	Arcsen x
<b>Inocular siempre+DOM</b>	70	0,99	71	69,25	70	0,99 a	74	1,04 a	70	0,99 c
<b>Inocular primer y tercer cultivo+DOM</b>	69	0,98	67,25	65,25	66	0,95 b	72	1,01 b	69	0,98 c
<b>Inocular solo el primer cultivo+DOM</b>	70	0,99	66,25	65	66	0,95 b	58	0,87 d	55	0,84 e
<b>X</b>			68,2	66,5			66			
<b>Arcsen x</b>			0,97 a	0,95 b						
<b>ESx</b>	0,25ns		0,18*		0,22*		0,27*			

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ .

Asimismo al encontrarse altos y similares rendimientos entre estos tratamientos, sin diferencias con el tratamiento que recibió el 100% de fertilización mineral, indica un funcionamiento micorrízico eficiente en cualquiera de esos tres tratamientos.

Es decir que, aunque el porcentaje de colonización micorrízica en el segundo cultivo disminuyó ligeramente en los tratamientos en que se inoculó el primer cultivo (yuca) y en el cual el segundo no se inoculó, esta disminución no impidió una micorrización efectiva y es una consecuencia del efecto de permanencia del inoculante sobre el cultivo posterior no inoculado, efecto encontrado por Ruíz (2001) para estos cultivos y tipo de suelo, pero aplicando cantidades muy superiores de inoculante.

También el factor laboreo comenzó a mostrar ligeros efectos con el tratamiento de laboreo mínimo sobre los porcentajes de colonización, siendo significativamente diferentes para los cultivos posteriores boniato y malanga, y aunque estas diferencias no se lograron reflejar sobre los rendimientos de los cultivos, si se observó un ligero efecto positivo de la influencia de la disminución de las labores de preparación de suelo sobre el funcionamiento de la simbiosis, expresado como porcentaje de colonización micorrízica.

La obtención de rendimientos y porcentajes de colonización micorrízica del tratamiento “inocular el primer y tercer cultivo” similares al tratamiento de “inocular siempre” deben ser resultado del efecto de permanencia o residualidad del inoculante micorrízico, provocado por el eficiente funcionamiento y colonización micorrízicas del cultivo inoculado (yuca) y correspondiente reproducción de propágulos micorrízicos que logran colonizar eficientemente al cultivo posterior, en este caso al boniato.

Resultados similares se encontraron en trabajos realizados en el programa de raíces y tubérculos (Ruiz, 2001) en el cual se señala que al aplicar el inoculante micorrízico al primer cultivo de la secuencia se obtuvo un efecto de permanencia sobre el primer cultivo posterior a la inoculación.

En trabajos posteriores realizados por Riera (2003) en condiciones de experimentos de campo sobre Ferralsoles éutricos, aplicando *Glomus clarum* y

trabajando con diferentes secuencias, se corroboró de forma general la permanencia de la efectividad del inóculo aplicado sobre el primer cultivo posterior.

También Martín (2010) utilizó este efecto de permanencia del inoculante micorrízico para a través de la inoculación de los abonos verdes lograr una eficiente colonización micorrízica en el cultivo posterior, alcanzando altos rendimientos con esta variante en el cultivo económico, similares a los alcanzados en los tratamientos que recibieron el 100% de los fertilizantes minerales.

En el tercer cultivo de la secuencia (malanga) se encontró una interacción significativa de los factores analizados sobre las variables rendimiento y colonización micorrízica (Tablas 10 y 11).

El tratamiento “inocular siempre” en la variante de laboreo mínimo no presentó diferencias significativas cuando se comparó con el tratamiento “inocular el primer y tercer cultivo” con la misma variante de laboreo y a su vez estos dos superaron significativamente en cuanto a los valores de rendimiento al tratamiento “inocular solo el primer cultivo ” y los tratamientos del laboreo convencional.

De una forma similar los tratamientos de “inocular siempre” e “inocular el primer y el tercer cultivo” en la parcela principal de laboreo convencional, no presentaron diferencias entre ellos y a su vez estos fueron superiores significativamente al tratamiento de “inocular solo el primer cultivo”, el cual presentó los menores valores en cualquiera de los dos tipos de laboreo evaluados.

Los resultados encontrados dejan claro tres aspectos:

- a) El efecto positivo del laboreo mínimo sobre el rendimiento y el porcentaje de colonización micorrízica de la malanga, expresado en que los tratamientos en que se inoculó en este cultivo presentaron un comportamiento significativamente superior en las parcelas con laboreo mínimo que con laboreo convencional.
- b) La desaparición del efecto de permanencia del inoculante aplicado en el primer cultivo sobre el tercer cultivo de la secuencia (malanga),

expresado en las diferencias significativas en el rendimiento y el porcentaje de colonización micorrízica que se encontraron entre los tratamientos en que se inoculó la malanga con el tratamiento de “inoculación solo el primer cultivo”, en el cual solo se inoculó el cultivo de la yuca y la malanga fue el segundo cultivo continuo sin inoculación.

- c) Los similares rendimientos obtenidos en los tratamientos de “inocular siempre” e “inocular el primer y el tercer cultivo”, explicables en que de acuerdo con la secuencia utilizada, ambos tratamientos coincidieron en la inoculación micorrízica de la malanga dejando claro no solo el efecto positivo de esta, sino la alta reproducibilidad de los efectos alcanzados para la inoculación y el funcionamiento micorrízico efectivo.

Fueron además interesantes las pequeñas diferencias en porcentajes de colonización micorrízica entre los tratamientos de “inocular siempre” y de “inocular el primer y el tercer cultivo” a favor del tratamiento de “inocular siempre”, efecto obtenido en cualquiera de los dos laboreos, pero que sin embargo no se reflejó sobre el rendimiento. Los valores de porcentajes de colonización micorrízica entre 72 y 74 % fueron indicativos de una inoculación efectiva.

A su vez los tratamientos con la variante de “inocular solo el primer cultivo” presentaron un comportamiento inferior en cuanto a rendimiento y porcentaje de colonización micorrízica con respecto a las demás frecuencias de inoculación, siendo esto consecuencia de la no inoculación en los cultivos del boniato y la malanga y por ende de la pérdida del efecto de permanencia.

Es decir si bien el tratamiento de “inocular solo el primer cultivo” presentó un funcionamiento micorrízico muy superior al de los tratamientos no inoculados (Tabla 9) e inclusive los rendimientos fueron superiores significativamente al del tratamiento homólogo (Tabla 8) que no recibió inoculación en ningún cultivo y que recibió la misma dosis de fertilizantes (DOM), este funcionamiento micorrízico no llega a corresponder con los indicadores o funcionamiento micorrízico efectivo en la malanga, presentando porcentajes de colonización inferiores a 60 % y con rendimientos significativamente inferiores a los tratamientos en que este cultivo se inoculó.

Por tanto el efecto de permanencia del inoculante aplicado sobre el segundo cultivo posterior al cultivo inoculado, deja de garantizar una micorrización efectiva y no se recomienda para el manejo de la inoculación micorrízica en secuencias desarrolladas sobre suelos Pardos con carbonatos.

Es importante destacar que esta desaparición del efecto de permanencia del inoculante aplicado sobre el segundo cultivo posterior en la secuencia, se encontró en cualquiera de los dos laboreos estudiados.

Con estos resultados se establece que este manejo, es decir la frecuencia de “inocular solo el primer cultivo” no fue adecuado para la inoculación micorrízica de la secuencia sobre el suelo Pardo con Carbonatos, ya se trabaje en presencia del laboreo mínimo o del convencional, ya que estas variantes no difirieron entre si.

Los sistemas con laboreo mínimo en ensayos a largo plazo, han presentado un efecto positivo sobre las comunidades nativas de hongos micorrizicos arbusculares, comparados con los del laboreo convencional (Douds et al., 1995; Mader et al., 2000; Jansa et al., 2003).

En Chile, se ha encontrado que suelos sometidos al laboreo mínimo, presentan mayor colonización por hongos micorrízicos arbusculares en las raíces, más alto número de esporas y mayor cantidad de micelio (Borie y Rubio, 1990; Borie et al., 2000).

Los resultados encontrados indican de forma similar un efecto benéfico del laboreo mínimo sobre el funcionamiento micorrízico pero en estas condiciones de aplicación de inoculante micorrízico, reflejándose incluso sobre el efecto de permanencia del inoculante aplicado sobre el primer cultivo posterior no inoculado, efecto que se obtuvo para las dos variantes de laboreo.

La información internacional sobre laboreo y funcionamiento micorrízico esta circunscrita a efectos del laboreo sobre la micorrización nativa de los agrosistemas, ampliándose con este trabajo a la influencia de la práctica del laboreo sobre el manejo de la inoculación micorrízica en secuencias de cultivos. No obstante el presente trabajo no agota la temática, aunque la introduce y deja claro la importancia de la misma, señalando los efectos positivos de la

inoculación micorrízica e incluso del efecto de permanencia sobre el primer cultivo posterior en ambos tipos de laboreo.

#### **4.4. Número de esporas en la secuencia estudiada yuca –boniato - malanga.**

En la tabla 12 aparecen las medias de los valores obtenidos de número de esporas por 50 g de suelo en la cual se puede observar que siempre los tratamientos inoculados presentaron valores muy superiores a los tratamientos no inoculados, por lo que este indicador logró reflejar los efectos de la inoculación micorrízica, no solo expresada en los mayores porcentajes de colonización y altos rendimientos (Tablas 8 y 9), sino también en un mayor número de esporas.

En el cultivo de la malanga la producción de esporas logró reflejar el menor funcionamiento micorrízico de la frecuencia de inoculación cada tres cultivos, expresado no solo en menores rendimientos y porcentajes de colonización que el resto de los tratamientos inoculados (Tablas 10 y 11), sino en el menor número de esporas alcanzados en comparación con las otras dos frecuencias de inoculación.

Los resultados obtenidos indicaron como la producción de esporas se encontró en correspondencia con los porcentajes de colonización obtenidos, de forma tal que a medida que el funcionamiento micorrízico resultó ser más efectivo, conllevó a mayores porcentajes de colonización micorrízica y por ende a mayor reproducción de propágulos micorrízicos expresados por las esporas.

El indicador número esporas en 50 g de suelo, reflejó asimismo que la continuidad de los cultivos en la secuencia incrementaron las esporas micorrízicas nativas en los tratamientos no inoculados (Tabla 12), las cuales aunque siempre fueron inferiores a las encontradas en los tratamientos inoculados, si se incrementaron en relación con las bajas cantidades de esporas iniciales de estos suelos.

**Tabla 12. Número de esporas por 50 gramos de suelo en la secuencia estudiada yuca - boniato – malanga.**

Tratamientos	Yuca	Boniato		Malanga	
	LC	LM	LC	LM	LC
Inocular siempre +DOM	46	110	136	430 a	241 bc
Inocular el primer y tercer cultivo +DOM	40	96	124	479 a	246 bc
Inocular solo el primer cultivo +DOM	61	68	70	314 b	217 bc
DOM	25	34	38	291b	150 c
100% de FM	24	56	34	225 bc	131 c
Testigo absoluto	24	51	61	271 b	131 c
Ex	3,9 ns	19,3 ns		14,2*	

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ .

El incremento de los propágulos micorrízicos nativos y la propia colonización micorrízica nativa por la utilización de secuencias de cultivos ya había sido encontrado por diversos autores, algunos de ellos trabajando con abonos verdes como precedentes (Espindola et al., 1998; Sousa et al., 1998; Karasawa et al., 2002; Dejuchien et al., 2007) y otros específicamente en secuencias de cultivos (Ruiz, 2001; Riera, 2003), no obstante los trabajos de Sánchez (2001) y Martín (2010) dejan claro que estos incrementos en los propágulos o esporas nativas de HMA no impiden la respuesta a la inoculación de cepas eficientes.

Este incremento de las esporas en los tratamientos no inoculados no permitió el establecimiento de índices críticos de esporas en el suelo para conocer cuando podemos estar o no en presencia de una cantidad de esporas micorrízicas que presentan un efecto de permanencia del inoculante aplicado sobre los cultivos posteriores al inoculado.

Hay que señalar que el indicador esporas por 50 g de suelo es inespecífico y por tanto no diferencia las esporas producto de la aplicación y reproducción de una cepa eficiente aplicada, de la reproducción de las cepas nativas no necesariamente eficientes, lo cual impide utilizar este criterio como indicador del potencial de inculo del suelo o como criterio de en que condiciones habrá respuesta o no a la inoculación de cepas eficientes.

Resultados similares obtuvo Martín (2010) trabajando en una secuencia canavalia - maíz en diferentes condiciones de manejo de los inoculantes micorrízicos y de contenidos de propágulos nativos de HMA en el suelo.

Para analizar la influencia del laboreo y las frecuencias de inoculación sobre el indicador de esporas por 50 g de suelo se seleccionaron, al igual que en las variables de rendimiento y porcentaje de colonización, solamente los tratamientos inoculados.

No se encontró interacción de los factores en ninguno de los tres cultivos y solo en el último cultivo estudiado (malanga), se encontró un efecto significativo para cada uno de los factores, frecuencia de inoculación y laboreo (Tablas 13 y 14).

Precisamente en el cultivo de la malanga, en el tratamiento donde se inoculó el primer y tercer cultivo podemos observar (Tabla 13) una semejanza estadística con respecto a la frecuencia “inocular siempre” la cual debe ser consecuencia de la aplicación en este cultivo del inoculante micorrízico, lo contrario sucede al “inocular solo el primer cultivo”, donde sus valores presentaron una declinación desde el segundo cultivo con diferencias significativas en el último cultivo con el resto de los tratamientos inoculados.

**Tabla 13. Efecto de la frecuencia de inoculación sobre el número de esporas en la secuencia de cultivos estudiada.**

Frecuencia de inoculación	Número de esporas.50g de suelo <sup>-1</sup>		
	Yuca	Boniato	Malanga
<b>Inocular siempre</b>	46	127	335 a
<b>Inocular el primer y tercer cultivo</b>	40	118	363 a
<b>Inocular solo el primer cultivo</b>	43	103	266 b
<b>X</b>	43	116	321
<b>ESx</b>	5,6 ns	27,2 ns	20,1 *

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ .

Esta disminución de las esporas en dicha frecuencia de inoculación fue consecuencia de que el efecto del inoculante aplicado en el primer cultivo no persistió hasta el segundo cultivo posterior a la inoculación lo cual se expresó, como se señaló anteriormente, tanto en el porcentaje de colonización micorrízica como en el rendimiento (Tablas 10 y 11).

El efecto del laboreo mínimo sobre las esporas fue positivo ya que casi duplico el número de esporas por 50 g de suelo en relación al laboreo convencional (Tabla 14), siendo esto consecuencia de un menor número de labores de preparación de suelo desarrolladas en el laboreo mínimo en todos los cultivos de la secuencia, lo cual parece incidir positivamente sobre los propágulos micorrízicos, existiendo en este tratamiento un mayor número de esporas después de cosechado el cultivo de la malanga, consecuencia de una eficiente colonización micorrízica de este cultivo, aspecto reflejado además en los rendimientos.

Estos estudios de la influencia del laboreo sobre las cepas de HMA eficientes inoculadas coinciden con la hipótesis de que “los sistemas con laboreo mínimo en ensayos a largo plazo, deben tener un efecto positivo sobre las comunidades de hongos micorrizicos arbusculares, comparados con los del laboreo convencional” (Douds et al., 1995; Mäder et al., 2000; Jansa et al., 2003).

**Tabla 14. Efecto del laboreo sobre el número de esporas por 50g de suelo en la secuencia de cultivos estudiada.**

Laboreo	Número de esporas.50g de suelo <sup>-1</sup>		
	Yuca	Boniato	Malanga
<b>Laboreo mínimo</b>	42	118	408 a
<b>Laboreo convencional</b>	44	115	235 b
<b>X</b>	43	116	321
<b>ESx</b>	5,6 ns	27,2 ns	20,1 *

Medias con letras comunes en una misma columna no difieren significativamente a  $p < 0,05$ .

#### 4.5. Evaluación económica

Los cálculos agro-económicos se realizaron integralmente para la secuencia estudiada, tomando como testigo de comparación, en los tratamientos evaluados, al testigo de producción que recibió el 100% de la fertilización mineral para cada uno de los cultivos estudiados (Tabla 15).

Primeramente se observa un marcado efecto beneficioso de la inoculación micorrízica tanto en los tratamientos que recibieron laboreo mínimo como en los que recibieron laboreo convencional en comparación con el tratamiento que recibió el 100% de la fertilización mineral, dado por los significativos ahorros en fertilizantes minerales que se alcanzan con la inoculación de una cepa eficiente.

**Tabla 15. Evaluación económica de los resultados.**

Tratamientos		Yuca – Boniato – Malanga			
		Venta de Cosechas (Pesos)	Costos (Pesos)	Beneficio (Pesos)	Relación B/C (Pesos)
LM	100% de FM	173991,0	6523,1	167467,9	25,67
	Inocular siempre	170431,3	5705,5	164725,7	28,87
	Inocular el primer y tercer cultivo	168224,2	5549,9	162674,2	29,31
LC	100% de FM	169857,7	6637,4	163220,3	24,50
	Inocular siempre	159425,7	5662,6	153763,1	27,15
	Inocular el primer y tercer cultivo	160466,3	5574,0	154892,3	27,78

Este efecto económico de la inoculación se observó tanto en el tratamiento “inocular siempre” como en el tratamiento “inocular el primer y tercer cultivo”, siendo mas marcado en este último en cuanto a las relación B/C, en el que

debido al efecto de permanencia del inoculante aplicado sobre el boniato, segundo cultivo de la secuencia, se ahorró además una aplicación del inoculante micorrízico correspondiente a  $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  del producto aplicado.

Asimismo los beneficios encontrados fueron superiores en los tratamientos con laboreo mínimo que en el convencional dado por el empleo de un menor número de labores y por ende menores costos en correspondencia con los resultados discutidos a lo largo del trabajo.

#### **4.6. Consideraciones generales.**

El funcionamiento micorrízico efectivo no es incompatible con la aplicación de fertilizantes minerales, pero si requiere de dosis óptimas de fertilizantes para alcanzarlo, que serán menores que las recomendaciones de fertilización para altos rendimientos (Rivera y Fernández, 2003) puesto que con la misma se logra mejorar la eficiencia de la absorción de nutrientes y de la fertilización, corroborándose con este trabajo los resultados anteriores sobre dosis de fertilizantes para cultivos micorrizados obtenidos con estos cultivos (Ruiz, 2001).

Con la situación económica del país y la carencia de financiamientos para adquirir fertilizantes minerales y los resultados aquí obtenidos, el manejo de los inoculantes micorrízico es una alternativa adecuada para hacer un uso mas eficiente de estos recursos e incluso con las mismas cantidades de fertilizantes incrementar significativamente las áreas beneficiadas.

Es importante señalar que la aplicación de inoculantes micorrízicos más que una alternativa, es un modelo para hacer agricultura, su justo valor está en lograr que se alcance una simbiosis efectiva a través del papel de los HMA en la potenciación de la nutrición de las plantas ya que cuando éstas están micorizadas aumentan su capacidad para absorber nutrientes, agua y su protección contra organismos fitopatógenos.

Los resultados obtenidos, no solo en cuanto a la existencia del efecto de permanencia del inoculante sobre el primer cultivo posterior de la secuencia, sino al hecho que este efecto se encontró utilizando el recubrimiento como vía de inoculación de los diferentes cultivos, le dan un alto valor práctico al trabajo,

dejando claro la efectividad del recubrimiento para estos cultivos, lo que inicialmente había sido obtenido por Ruiz et al. (2006) pero solo estudiando el efecto de la inoculación sobre el cultivo en cuestión.

El efecto de permanecía del inoculante sobre el primer cultivo posterior en la secuencia, aunque ya había sido obtenido por otros autores (Ruiz, 2001; Riera et. al, 2003; Martín, 2010) necesita aún de diferentes investigaciones que dejen claro su alcance y los factores que lo condicionan.

Como aspecto practico en la utilización de este efecto de permanencia sobre el primer cultivo no inoculado y para aprovechar mejor los inoculantes micorrízicos se debe tener en cuenta que, el cultivo inoculado requiera de dosis relativamente bajas de inoculante micorrízico para su recubrimiento (hasta  $10 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) y situar como primer cultivo posterior a un cultivo que requiera de altas cantidades de inoculante micorrízico como el boniato ( $35 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) y la malanga ( $68 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), y la eficiencia en la toma de nutrientes, con lo cual los beneficios serian muy importantes, no solo por mantener los rendimientos sino por ahorrar cantidades apreciables de inoculantes micorrízicos, que podrían beneficiar entonces cantidades muy superiores de áreas de cultivos, a manera de ejemplo: los granos se inoculan con dosis entre 2 y  $6 \text{ kg.ha}^{-1}$  y por tanto con el producto que se inocula 1 ha de boniato se podrían inocular entre 6 y 15 ha de granos dependiendo del cultivo en cuestión .

Los resultados sobre la influencia practica del laboreo mínimo sobre el funcionamiento micorrízico de los cultivos inoculados y los beneficios de la inoculación son novedad y esta práctica debe incrementar la efectividad del efecto de permanencia del inoculante sobre el primer cultivo posterior en secuencias de cultivos, no obstante hay que dejar claro que el efecto de permanencia se alcanzó también en condiciones de laboreo convencional.

El laboreo mínimo mostró un efecto positivo sobre la efectividad de la simbiosis micorrizica reflejadas en los porcentajes de colonización, número de esporas y los rendimientos.

Si bien la dinámica de las esporas refleja las diferencias en el manejo de la inoculación, los valores obtenidos incluso en los tratamientos no inoculados impide que podamos obtener una especie de “índice crítico de esporas” para predecir la respuesta a la inoculación basado en las poblaciones totales de esporas, una situación similar fue encontrada por Martín (2010) trabajando con el manejo de inoculantes micorrízicos en una secuencia canavalia – maíz en varias fincas con diferentes historiales de manejo de inoculantes micorrízicos y por ende diferentes cantidades iniciales de esporas de HMA en el suelo. .

Esta es una de las problemáticas que tenemos en este momento y que precisa de las técnicas de biología molecular para el seguimiento de las cepas inoculadas y las nativas.

## V. CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un positivo efecto de “permanencia del inoculante” sobre el primer cultivo posterior al cultivo inoculado en condiciones de experimentos de campo sobre un suelo Pardo con carbonatos.
2. Se corroboró, pero con la aplicación de la tecnología de recubrimiento de la semilla agrícola, la respuesta de cada uno de estos cultivos a la inoculación de cepas eficientes de HMA, así como ahorros del fertilizante mineral de 75%, 50% y 50% para la yuca, el boniato y la malanga respectivamente.
3. El laboreo mínimo reflejó un ligero incremento sobre el rendimiento, la colonización micorrízica, el número de esporas y el efecto de permanencia del inoculante micorrízico.
4. Los incrementos obtenidos en el indicador esporas.50g<sup>-1</sup> en los tratamientos no inoculados impidieron el establecimiento de un índice crítico de esporas/g asociado al efecto de permanencia.
5. La interacción de los factores laboreo y frecuencia de la inoculación micorrízica solo resultó significativa para el tercer cultivo (malanga) de la secuencia estudiada.
6. Los tratamientos inoculados (“Inocular siempre” e “inocular el primer y tercer cultivo”) mostraron un efecto beneficioso para ambos tipos de laboreo, por ahorro de los fertilizantes minerales, con resultados superiores para el laboreo mínimo. Se destaca el tratamiento “Inocular el primer y tercer cultivo” con laboreo mínimo, porque además permite el ahorro de una aplicación del inoculante micorrízico (35 kg.ha<sup>-1</sup>).

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Recomendar el empleo del inoculante micorrízico (EcoMic®) como alternativa que aumenta el coeficiente de aprovechamiento de los fertilizantes y por ende disminuye las dosis de los mismos, ante la problemática que presenta el país del déficit de fertilizantes minerales por sus precios en el mercado mundial.
2. Recomendar el empleo de la tecnología de recubrimiento de las semillas agrícolas con EcoMic® como una alternativa factible, dado los incrementos logrados en el rendimiento de los cultivos, así como el ahorro de las cantidades de inculo a aplicar.
3. Recomendar el empleo de la tecnología del laboreo mínimo como una alternativa que aumenta los propágulos micorrizicos en el suelo sin afectar los rendimientos.
4. Recomendar la frecuencia de inoculación micorrízica con EcoMic® “inocular el primer y tercer cultivo”, en una secuencia yuca-boniato-malanga sobre suelos Pardos con carbonatos.
5. Continuar el desarrollo de las investigaciones con estos sistemas de labranza y la frecuencia de inoculación en otros cultivos y suelos, incluyendo su efecto a largo plazo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
6. Que los resultados de este trabajo se utilicen como material de consulta para estudiantes de pre y postgrado, productores e investigadores de la rama agrícola.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Ahiabor, B. D. and H. Hirata. Characteristic responses of VAM fungi in Andosol soil with different fertilities. *Mycorrhiza* 5(1): 63-70, 1994.
2. Allen, B.E., Allen, M.F. The mediation of competition by mycorrhizae in successional and patchy environments. In: Grace, J.B., Tilman, D. (eds.). *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, London. 484.1990.
3. Baker, T. Musanews. *Rev. Infomusa* 3(2): 28, 1994.
4. Barea, J.M., Azcón, R. and Azcón-Aquilar. C. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen fixing systems. En: *Methods in Microbiology*. Vol 24: 391-346, Academic Press, New York. 1992.
5. Batista, M. Ileana Torres Y Katia Rodriguez. La fertilización de la papa en los suelos Pardos con carbonatos.-- Santo Domingo: INIVIT. VIII Forum de Ciencia y Técnica, 1993.31p.
6. Borie, F. y J. Mendoza. Efecto del encalado sobre la colonización y el número de esporas de hongos MA en un suelo con alto contenido de aluminio.-- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994. p.39.
7. Borie, F., Rubio, R. Micorrizas vesículo-arbuscular y otros organismos en la disponibilidad del fósforo. En: 1º Jornadas Binacionales de Cero Labranza, Temuco, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Carillanca. 1990. pp. 96-109.
8. Caballero, D. El cultivo del boniato. -- Las Villas: UCLV, 1973. 47 p.
9. Cancio, T., Peña, J.L. y Peña, F. Uso de los abonos verdes en áreas tabacaleras de la región del Escambray. *Centro Agrícola (Cuba)*, 16 (4): 59-67. 1989.
10. Cancio, R. Comunicación personal. Ministerio de la agricultura. 2009.
11. Castillo, C.G. Biodiversidad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares en ecosistemas agro-forestales del centro sur de Chile. [Tesis de doctorado]; Universidad de la Frontera. Temuco. Chile. 2005. 141 p.

12. Castillo, C.G., Rubio, R., Rouanet, J.L., Borie, F. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules as affected by tillage and crop rotation in an Ultisol of southern Chile. *Biol. Fert. Soils*.2006. (en prensa).
13. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Pudriciones radiculares de la yuca. *Progresos de su control. Actualidades de la Sanidad Vegetal* 1(3): 21-23, 1991.
14. Cuba INCA. Listado de Precios de los Biofertilizantes, La Habana. 2000.
15. Cuba, Minagri (Ministerio de la Agricultura). Instructivo técnico para las viandas. Ciudad de la Habana: CIDA, 1990. 56 p.
16. Cuba, Minagri. (Ministerio de la Agricultura). Instructivo técnico para las viandas.-- La Habana: CIDA, 1978. 117p
17. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Agrinfor, 1999. 79 p.
18. Cuenca, G., de Andrade, Z., Escalante, G. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. *Biol. Fertil. Soils* 26: 107 – 111. 1998.
19. Da Costa, M.B. Adubacao verde no sul do Brasil, Río de Janeiro. 1991.
20. Douds DD Jr, RR Janke & Se Peters. VAM fungus spore populations and colonizations of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 43:325-335. 1993.
21. Douds, D.D., Galvez, L., Janke, R.R., Wagoner, P. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Agric. Ecosyst. Environ.* 52: 111-118. 1995.
22. Eissenstat, D.M., Newman, E.I. Seedling establishment near large plants: effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on intensity of plant competition. *Functional Ecol.*4: 95-99.1990.
23. Espindola, J. A. A. et al. Influência da adubação verde sobre a simbiose micorrízica e a produção da batata-doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, 1998, p. 339-347.

24. Faiguenbaum, H. Labranza, siembra y oproducción de los principales cultivos de Chile. Impresora y Editora Ograma S.A. Santiago, Chile. 2003. 760 p.
25. Fernández, F. Uso, manejo y comercialización de los hongos micorrízicos VA. Conferencias en Curso de Maestría de Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana. 1997.
26. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares (MA) sobre la producción de posturas de cafetos (*C. arabica* L.) en algunos tipos de suelos. (Tesis de Doctorado). La Habana: INCA, 1999. 118 p.
27. Fernández, F., Gómez, R., Martínez, M.A. y de la Noval, B.M. Producto inoculante micorrizógeno. Patente No. 22 641. Cuba. 2001
28. Ferrer, R. Y R. Herrera. Breve reseña sobre los biofertilizantes. Ciudad de la Habana: IES-CITMA, 1991. 50 p.
29. Fisher, J.B., Jayachandran, K. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance seedling growth in two endangered plant species from south Florida. J. Plant Sci. 163:559-566. 2002.
30. Furrázola, E.; R. Herrera Y R. L. Ferrer. Ubicación taxonómica de cinco cepas de hongos micorrizógenos vesículo- arbusculares cultivados en el cepario del IES-ACC. Resúmenes de BIOFERTRO'92.-- Ciudad de la Habana: IES, 1992.p. 37.
31. Garcia Margarita; A. Fernandez; R. Herrera; A. Hernandez; E. Pouyu y E. furrázola. Influencia de las MA sobre la resistencia del tabaco ante el ataque de la "Pata Prieta" (*Phytophthora nicotianae* var. *nicortianae*). Resúmenes de BIOFERTRO'93. Ciudad de la Habana: IES-INISAV-MINAG, 1993. p. 230.
32. García, A.; R. Rivera; Blanca De La Noval y A. Nuviola. Efecto de la MA sobre la efectividad de roca fosfórica y roca fosfórica parcialmente acidulada. Cultivos Tropicales 15(3): 68, 1994a.

33. Garcia, J. C.; M. A. de Paula; E. M. R. da Silva; D. L. de Almeida e A. C. P. P. de Carvalho. Fungos micorrízicos -VA e bacterias diazotróficas em plantas micropropagadas de batata-doce (*Ipomoea batatas* Lam.).-- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Sta Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994b. p. 92.
34. Gerdemann, J.W. and Nicholson, T.H. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., 46: 235-244. 1963.
35. Gomez, R.; F. Fernandez; Ana N. Hernanadez; M. A. Martinez; R. Castro Y D. Suarez. La biofertilización de los cultivos de importancia económica como parte integral de la agricultura sostenible en las condiciones tropicales de Cuba. Resúmenes de III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.-- Villa Clara: INCA, 1997.p. 75.
36. Guadarrama, P., Sánchez-Gallén, I., Álvarez-Sánchez, J., Ramos-Zapata, J. Hongos y plantas, beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. Ciencia 73:38-45.2004.
37. Hamel, C. y Plenchette, C. Mycorrhizae in CropProduction . Binghamton Haworth Press, 2007. 311p.
38. Hamel, C.; C. Nesser; U. Barrantes-Cartin and D. L. Smith. Endomycorrhizal fungal species mediate N transfer from soybeen to maize in non-fumigated soil. Plant and Soil 138:41-47, 1991.
39. Heredia, A.G. Los hongos microscópicos en la descomposición de las hojas. En: Álvarez-Sánchez, J., Naranjo-García, E. (eds.). Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México. Instituto de Ecología AC, Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM .Xalapa. 2003. 316 pp.
40. Hernández .A, Comunicación personal. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2009.
41. Hernández, A. Irene Moreno; R. Espinosa; Maria de los A. Pino Y J. Cabrera. Influencia de los biofertilizantes en la producción de tubérculos de papa a partir de semilla botánica. Resúmenes del I Taller Nacional de Producción de Papa en los Trópicos. La Habana: INCA, 1993. p. 23.

42. Hernández, T. Cultivos alternativos para sistemas de rotación en el arroz. 1. Uso de plantas leguminosas y oleaginosas. *Cult. Trop. (Cuba)*, 18 (2): 24-27, 1997.
43. Hernández, T. La rotación de cultivos. Una alternativa para la producción sostenible de arroz en las condiciones de P. del Río. Tesis de Maestría en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. INCA, La Habana, 1999.
44. Herrera, R. A. /et al./ Estrategia de Funcionamiento de las Micorrizas VA en un Bosque Tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales (Eds.: Maximina Monasterio). Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1995.
45. Herrera, R. H. Comunicación personal. Instituto de Ecología y Sistemática del CITMA (IES-CITMA).-- Ciudad de la Habana, 1991.
46. Howeler R, R. H. Aspectos prácticos de la investigación de micorrizas vesículo-arbusculares demostrados en el cultivo de la yuca. Cali: CIAT, 1985. p. 44-61..
47. INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). Dossier del producto EcoMic®. Resultados de las campañas de validación.-- La Habana: INCA, 1998. 45 p.
48. Jansa, J., Mozafar, A., Khun, G., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I.R., Frossard, E. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecol. Appl.* 13: 1164-1176. 2003.
49. Jasper DA, LK Abbott & AD Robson. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of VA mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 112: 93-99. 1989.
50. Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., Barea, J.M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils* 37:1-16. 2003.

51. Karasawa, T. et al. Differences in growth responses of maize to preceding cropping caused by fluctuation in the population of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biol. Biochem.**, v. 34, p. 851–857, 2002.
52. Kato, O. R. Efeito de MA no crescimento e nutrição da mandioca em solo adubado com doses crescente de superfosfato triple. Brasil: Escola Superior de Agricultura Lavras, 1987. p. 197.
53. Larez, C. R.; A. Sotillo e Isabel Mimbela. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* C.) a la aplicación de micorrizas, P y K en condiciones de invernadero. Resúmenes de BIOFERTRO'92. Ciudad de la Habana: Univ. Oriente, Venezuela, 1992. p. 46.
54. Lastres, L.; Esther Collazo; Maritza Portier y E. Furrázola. Influencia de varios tipos de MICOFERT sobre la producción de yuca cultivada en campos con micorrizas nativas de alta eficiencia. Resúmenes de BIOFERTRO'93. Ciudad de la Habana, 1993. p. 233
55. Lovato, P. E.; J. P. Guillemín; A. Trouvelot; V. Gianinazzi-Peaerson e S. Gianinazzi. Micorización de plantas micropropagadas. Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994. p. 97.
56. Mader, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wienken, A., Niggli, U. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biol. Fertil. Soils* 31: 150-156. 2000.
57. Martín, G. manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, la *Canavalia ensiformis* y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivados sobre suelos Ferralíticos Rojos de la Habana. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas - Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. 2010. 101p.
58. Martínez Viera, R. Y G. Hernández. Los biofertilizantes en la agricultura cubana. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.-- La Habana: ACAO, 17-19 de mayo de 1995. p. 43.

59. Matos, R. M. B.; E. M. R. Silva e A. C. P. Carvalho. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e bactérias diazotróficas em plantas micropropagadas de batata inglesa (*Solanum tuberosum* L.) variedad "Achat". Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994. p. 109
60. Mayea, S. Los biofertilizantes y su acción fitopatógena. Memorias del III Encuentro Nacional Científico Técnico de Bioplaguicidas y EXPOCREE. Ciudad de la Habana: INISAV, 1995. p. 41.
61. Mehrotra, V. S. and U. Barjal. *Glomus sterilum* a new species of VA-mycorrhiza isolated from potato roots. **Philippine Journal of Science** 121(3): 305-316, 1993.
62. Mes (Ministerio De Educación Superior). Programa de biofertilizantes y bioestimuladores de uso agrícola. Ciudad de la Habana: MES, 1995. 8 p.
63. Milian Morales, O. Efecto de algunos biofertilizantes en la malanga isleña (*Colocasia esculenta* Schott) irrigada con agua tratada magnéticamente. Resúmenes de BIOFERTRO'93. Ciudad de la Habana: INIVIT, 1993. p. 242.
64. Milian Morales, O. Empleo del agua magnetizada en la producción de semilla de papa con diferentes formas nutrimentales. Santo Domingo: INIVIT, (Fondo Nacional de Manuscritos). 1995. 10 p.
65. Milian Morales, O. Empleo del agua tratada magnéticamente en el cultivo del boniato con diferentes tipos de fertilizantes. Santo Domingo: INIVIT, (Fondo Nacional de Manuscritos). 1994. 8 p.
66. Milian Morales, O.; L. Ruiz Martínez Y M. Portieles Rodríguez. Y A. de la Nuez. Consumo y coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la malanga (*Xanthosoma violaceum*). *Agrotecnia de Cuba* 24(2): 1992.
67. Moreno Díaz, Patricia. Micorrizas VA en papa (*Solanum tuberosum*). Respuesta en el crecimiento y nutrición de plantas inoculadas en invernadero y campo. *Revista Latinoamericana de la Papa* 1(1): 84-103, 1988.

68. Nogueira, A. V. e P. J. Harris. Micorrizas e metais pesados.- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994. p. 80.
69. NRAG. 837-87. Suelos. Análisis químico. Reglas generales.--Ciudad de la Habana: MINAGRI, 1987.
70. NRAG. 892-88. Suelos. Análisis químico. Reglas generales. Ciudad de la Habana: MINAGRI, 1988.
71. Oehl, F.; Sieverding, E.; Ineichen, K.; Mäder, P.; Boller, T. y Wiemken, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 69, 2003. p. 2816-2824.
72. Oehl, F.; Sieverding, E.; Ineichen, K.; Ris, E. A.; Boller, T. Y Wiemken, A. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytol.*, vol. 265, 2005. p. 273-283.
73. Oehl, F.; Sieverding, E.; Mäder, P.; Dubois, D.; Ineichen, K.; Boller, T. y Wiemken, A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, vol. 138, 2004. p. 574-583.
74. Orozco, M. O. y V. Gianinazzi-Pearson. Estudio sobre la actividad fisiológica fosfatasa alcalina y succinato deshidrogenasa de las MA en términos de nutrición fosfatada en plantas de soya. Resúmenes de BIOFERTRO'93. Ciudad de la Habana: IES-INRA-SGAP, 1993. p. 226.
75. Perez Martinez, J. E. Efecto del agua magnetizada en el cultivo de la papa con diferentes formas de fertilizantes. Tesis de Ing. Agrom. universidad Central de Las Villas, Cuba, 1994. 45 p
76. Phillips, J. M.; and D .S. Hayman. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55, 1970.
77. Portieles, J. M.; L. Ruiz Y Edy Sanchez. Estudio del consumo y coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*) *Cienc. Téc. Agric. V. Trop.* 6(1-2): 85-100, 1983.

78. Portieles, J. M.; L. Ruiz; A. de la Nuez y Valentina Gutierrez. Estudio del consumo y los coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la malanga isleña (*Colocasia esculenta*). Cienc. Téc. Agric. V. Trop. Suplemento 33-44, 1982.
79. Portieles, J. M.; L. Ruiz; Adalia Berenguer y Valentina Gutierrez. Estudio del consumo y los coeficientes de aprovechamiento de los nutrientes de los fertilizantes y del suelo y en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas*). Cienc. Téc. Agric. V. Trop. 9(1), 1986.
80. Potty, V. P. Cassava as an alternate host for multiplication of VAM fungi. Plant and Soil 88(1): 135-137, 1985
81. Primavesi, A.. Manejo ecológico do solo. Agricultura em regioes tropicais, Sao Paulo, 1990.
82. Riera, M. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre un suelo Ferralítico Rojo. [Tesis de doctorado]; INCA. 2003. 109 p.
83. Rillig, M. A connection between fungal hydrophobins and soil water repellency? Pedobiología. 49: 395-399. 2005.
84. Rillig, M., Ramsey, P.W., Morris, S., Paul, E.A. Glomalin, an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. Plant Soil. 253: 293-299. 2003.
85. Rillig, M., Wright, S.F., Eviner, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. Plant Soil. 238:325-333. 2002.
86. Rillig, M., Wright, S.F., Nichols, K.A., Schmith, W.F., Torn, M.S. Large contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. Plant Soil. 233: 167-177. 2001.
87. Rivera R, Fernández F, Fernández K, Ruiz L, Sánchez C, Riera M. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. Pages 151-196 In: Mycorrhizae in Crop Production (eds.) Chantal Hamel and Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton,

NY. Hard Cover ISBN: 978-1-56022-306-1; Soft Cover ISBN: 978-1-56022-307-8. 2007.

88. Rivera R, Fernández. K. Capítulo 2. Bases Científico – Técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: Rivera, R.; Fernández, K. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: INCA, p. 166, 2003.
89. Rivera, R.; F. Fernández y C. Sánchez. Manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción de posturas de cafeto.--La Habana: INCA, 1999.-- 40 p.
90. Rivera, R.; Fernández, F. Chapter 33: Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. In: Uphoff, N. et al., (Eds.). Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida ,USA. 2006. p 479-489.
91. Ruiz .L, Simó. J Rivera. R y Carvajal. D. Nuevo método de inoculación con micorrizas en raíces y tubérculos tropicales. Memorias del XV Congreso Científico Internacional INCA. 2006
92. Ruiz Martínez, L. A.; E. Rodríguez; J. O. Milian Morales Y J. M. Portieles. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio sobre los rendimientos del boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) en suelos Pardos con carbonatos de Holguín. Cienc. Tec. Agric. V. Trop. 13(1), 1990b.
93. Ruiz Martínez, L.; J. M. Portieles Rodríguez Y J. O. Milian Morales. Efecto de diferentes portadores y niveles de nitrógeno sobre los rendimientos del boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) en la época de primavera y frío. Ciencia Tec. Agric. V. Trop.: 10(2): 63-77, 1987a.
94. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. [Tesis de doctorado]; INCA. 2001. 117p.
95. Safir, G. R. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and crop productivity.-- New York: Academic Press, 1980.
96. Sánchez, C. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares y abonos verdes en la producción de posturas de cafeto en algunos tipos de

suelos. Tesis de Doctorado. 105 p. INCA. Cuba. 2001.

97. Sanchez, C.; R. Rivera; C. Gonzalez; R. Cupull; R. Herrera Y M. Varela. Efecto de la inoculación de HMA sobre la producción de posturas de cafetos en tres tipos de suelos del macizo montañoso de Guamuaya. *Cultivos Tropicales* 21 (3): 5-13, 2000a.
98. Sánchez-Gallén, I., Guadarrama, P. El papel de las asociaciones micorrízicas en el crecimiento y la competencia de plántulas. En: Álvarez-Sánchez, J., Naranjo-García, E. 10 (eds.). *Ecología del Suelo en la Selva Tropical Húmeda de México*. Instituto de Ecología AC, Instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa. 2003. 316 pp.
99. Schussler, D., Schwarzott, A., Walker, C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421. 2001.
100. Sieverding, E. and A. L. Galvez. Performance of different cassava clones with various mycorrhizal fungi. *Angewandte Botanik* 62(5-6): 273-282, 1988.
101. Sieverding, E. and A. L. Galvez. Soils and phosphate sources affect performance of VA-mycorrhizal fungi with cassava. *Angewandte Botanik* 62(5-6): 283-293, 1988.
102. Sieverding, E. and R. H. Howeler. Influence of species of VA-mycorrhizal fungi on cassava yields response to phosphorus fertilization. *Plant and Soil* 18(2): 213-221, 1985.
103. Sieverding, E. and T. S. Toro. Effect of mixing VAM inoculum with fertilizer on cassava nutrition and VAM fungal association. *Agriculture Ecosystems and Environment* 29(1-4): 397-401, 1989.
104. Sieverding, E. and T. S. Toro. Influence of soil water regimens on VA-mycorrhiza. Performance of different VAM fungal species with cassava. *Journal of Agronomy and Crop Science* 161(5): 322-332, 1988.
105. Sieverding, E. Posibilidades de aumentar la producción de yuca en suelos ácidos de regiones montañosas con el uso de hongos micorrízicos. *Suelos Ecuatoriales* 14(1): 190-198, 1984a.

106. Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Federal Republic of Germany. 1991. 371 p.
107. Sieverding, E. Yield response of cassava to field inoculation with VA-mycorrhiza in acidic soils. USA: North American Conference on Mycorrhizae, 1984. p. 241.
108. Siqueira, J. O. e A. A. Franco. Biotecnología do solo. Fundamentos e perspectivas.--Brasília: Ed. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. p.125-177.
109. Smirnov, P. Y E. Muravin. Agroquímica. Moscú: Ed: Kolos, 1981.
110. Smith, S., Read, D.A. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press.605 pp.
111. Souza F, S. et al. Efeito de pré-cultivos sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção da mandioca. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, n.10, 1999, p.1913-1923.
112. Tatsch, R.; O. Randing e Z. I. Antonioli. Multiplicação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em milho, mandioca, cornichão e brachiária. Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994.-- p. 7.
113. Tester, M.; S.E. Smith and F. A. Smith. The phenomenon of nonmycorrhizal plants. Ca. J. Bot. 65: 419-431, 1987.
114. Thomas, L.; B. C. Mallesha and D. J. Bagyarat. Biological control of Damping off of Cardamon by the VA mycorrhizal fungus *G. fasciculatum*. Microbial. Research 149(4): 413-417, 1994.
115. Trappe, J. M. Phylogenetic and ecologic aspect of mycotrophy in the Angiosperms from an evolutionary standpoint. Boca Ratón: CRC Press, 1987. p. 5-25.
116. Van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity ecosystem variability and productivity. Nature 396: 69-72. 1998.

117. Wright, S.F., Upadhyaya, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198: 97-107. 1998.

**Anexo 1. Precipitaciones (mm) registradas en la Estación Agrometeorológica del INIVIT en el período experimental (2004 - 2006) y la media de (1970 - 2006).**

<b>Años</b>					
<b>Meses</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>qX (2004 - 2006)</b>	<b>qX histórica (1970 – 2006)</b>
<b>Enero</b>	38,50	1,00	19,50	19,67	38,60
<b>Febrero</b>	19,50	8,10	18,80	15,47	45,70
<b>Marzo</b>	52,80	30,40	17,00	33,40	64,60
<b>Abril</b>	16,50	4,50	67,80	29,60	62,30
<b>Mayo</b>	17,30	176,70	249,70	147,90	185,90
<b>Junio</b>	288,30	191,40	92,00	190,57	215,50
<b>Julio</b>	279,20	394,80	186,50	286,83	163,10
<b>Agosto</b>	200,60	160,50	121,40	160,83	155,70
<b>Septiembre</b>	61,40	169,30	153,30	128,00	193,40
<b>Octubre</b>	75,30	255,90	83,20	138,13	124,60
<b>Noviembre</b>	6,50	15,80	46,80	23,03	64,20
<b>Diciembre</b>	11,70	27,80	36,60	25,37	33,40
<b>Acumulado anual</b>	<b>1067,60</b>	<b>1436,20</b>	<b>1092,60</b>	<b>1198,80</b>	<b>1347,00</b>

Porcentaje de la media histórica = 89,00%

**Anexo 2. Humedad relativa (%) registrada en la Estación Agrometeorológica del INIVIT en el período experimental (2004 - 2006) y la media de (1970 - 2006).**

<b>Años</b>					
<b>Meses</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>qX (2004 - 2006)</b>	<b>qX histórica (1970 – 2006)</b>
<b>Enero</b>	79,00	75,00	81,00	78,33	81,00
<b>Febrero</b>	76,00	72,00	79,00	75,67	78,00
<b>Marzo</b>	75,00	72,00	73,00	73,33	75,00
<b>Abril</b>	70,00	70,00	73,00	71,00	73,00
<b>Mayo</b>	72,00	76,00	76,00	74,67	77,00
<b>Junio</b>	79,00	84,00	78,00	80,33	81,00
<b>Julio</b>	82,00	82,00	80,00	81,33	80,00
<b>Agosto</b>	81,00	81,00	82,00	81,33	81,00
<b>Septiembre</b>	81,00	84,00	82,00	82,33	84,00
<b>Octubre</b>	82,00	87,00	83,00	84,00	84,00
<b>Noviembre</b>	80,00	84,00	81,00	81,67	84,00
<b>Diciembre</b>	77,00	81,00	83,00	80,33	82,00
<b>X anual</b>	<b>77,83</b>	<b>79,00</b>	<b>79,25</b>	<b>78,69</b>	<b>80,00</b>

Porcentaje de la media histórica = 98,37 %

**Anexo 3. Temperaturas (°C) registradas en la Estación Agrometeorológica del INIVIT en el período experimental (2004 - 2006) y la media de (1979 - 2006).**

<b>Años</b>	2004			2005			2006			2004-2006			1979-2006		
<b>Meses</b>	<b>Min.</b>	<b>Med.</b>	<b>Max.</b>												
Enero	13,70	20,30	27,60	14,00	20,10	27,80	15,20	20,90	27,40	14,30	20,43	27,60	14,90	20,90	27,50
Febrero	16,60	22,50	29,50	13,30	20,50	28,50	13,40	20,30	27,40	14,43	21,10	28,47	15,20	21,60	28,50
Marzo	16,80	22,20	29,00	16,60	23,50	31,90	14,70	21,60	29,50	16,03	22,43	30,13	16,50	22,70	29,80
Abril	17,30	23,50	31,10	17,30	24,00	31,20	17,40	23,80	31,80	17,33	23,77	31,37	17,60	24,20	31,20
Mayo	20,30	25,80	32,70	20,80	25,80	32,70	19,60	25,20	32,60	20,23	25,60	32,67	20,00	25,50	32,10
Junio	22,20	27,00	34,50	23,10	26,70	32,00	22,50	26,70	32,90	22,60	26,80	33,13	21,80	26,60	32,80
Julio	22,30	26,60	33,60	23,30	27,40	32,90	22,70	26,80	33,40	22,77	26,93	33,30	21,90	26,90	33,30
Agosto	22,70	27,00	33,70	23,20	27,10	33,60	22,50	26,80	33,40	22,80	26,97	33,57	22,00	26,80	33,40
Septiembre	22,60	26,80	33,20	22,60	26,70	32,90	22,40	26,50	33,50	22,53	26,67	33,20	21,80	26,20	32,70
Octubre	20,30	25,10	31,70	21,70	25,20	30,00	21,40	25,40	31,50	21,13	25,23	31,07	20,60	25,20	31,20
Noviembre	17,30	22,80	29,80	19,00	23,40	28,90	17,80	22,50	28,60	18,03	22,90	29,10	18,40	23,50	29,30
Diciembre	15,60	21,20	28,20	15,50	21,40	28,40	20,30	23,70	28,60	17,13	22,10	28,40	16,50	21,80	28,00
<b>X anual</b>	<b>18,98</b>	<b>24,23</b>	<b>31,22</b>	<b>19,20</b>	<b>24,32</b>	<b>30,90</b>	<b>19,16</b>	<b>24,18</b>	<b>30,88</b>	<b>19,11</b>	<b>24,24</b>	<b>31,00</b>	<b>18,93</b>	<b>24,33</b>	<b>30,82</b>

**Porcentaje del periodo experimental con respecto a la media histórica. Tem Min = 100,95  
 Tem Med= 99,63  
 Tem Max = 100, 59**