

**RESPUESTA DE LA PALMA ACEITERA A LA APLICACIÓN  
DE MICORRIZAS EN PREVIVERO**

**EILEEN ROCIO MELENDEZ GIL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA DE POSTGRADOS  
VALLEDUPAR  
2010**

**RESPUESTA DE LA PALMA ACEITERA A LA APLICACIÓN DE MICORRIZAS  
EN PREVIVERO.**

**EILEEN ROCIO MELENDEZ GIL**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Especialista en Cultivos Perennes Industriales.**

**Director**

**JAIME TORRES BAZURTO  
Ingeniero Agrónomo, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA DE POSTGRADOS  
VALLEDUPAR  
2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

**El autor expresa sus agradecimientos a:**

**La Universidad Nacional de Colombia y a la Universidad Popular del Cesar, y al cuerpo de profesores que hicieron posible la especialización en cultivos perennes industriales.**

Bernabé Rochels por su amistad, colaboración y apoyo.

Julio Posso por su respaldo, guía y amistad.

Oscar Villamizar, por su oportuna colaboración.

Y a todas las personas que difícilmente puedo enumerar pero que también contribuyeron a la terminación exitosa de este trabajo.

## CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| INTRODUCCION  | 7           |
| 1.JUSTIFICACIÒN   | 9           |
| 2.OBJETIVOS   | 10          |
| 2.1 OBJETIVOS GENERALES                                     | 10          |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS                                   | 10          |
| 3.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                | 11          |
| 4 . MARCO TEÒRICO   | 14          |
| 4.1 MICORRIZAS  | 14          |
| 4.1.1 Tipos de micorrizas                                   | 15          |
| 4.1.2 Micorrizas arbusculares (MA)                          | 16          |
| 4.1.3 Función de las micorrizas arbusculares (MA)           | 18          |
| 4.1 4 Micorrizas y la palma de aceite                       | 23          |
| 5. METODOLOGIA  | 25          |
| 6.RESULTADOS Y DISCUSIONES                                  | 28          |
| 6.1 ALTURA DE LAS PLANTULAS                                 | 28          |
| 6.2 PESO SECO TOTAL   | 33          |
| 6.3 PESO SECO DE RAÍCES                                     | 34          |
| 6.4 NÚMERO DE HOJAS AREA FOLIAR Y PESO SECO DE HOJAS        | 35          |
| 6.5 DIÁMETRO DEL BULBO Y PESO SECO BULBO                    | 35          |
| 6.6 NÚMERO DE RAÍCES  | 36          |
| 6.7 INCIDENCIA DE LAS ESPECIES UTILIZADAS EN LA INOCULACIÒN | 37          |
| 6.8 PORCENTAJE DE COLONIZACIÒN                              | 39          |
| 6.9 REDUCCIÒN DEL TIEMPO                                    | 39          |
| 6.10 SUPERVIVENCIA DE LAS PLÀNTULAS                         | 40          |
| 7. CONCLUSIONES   | 41          |
| RECOMENDACIONES   | 42          |
| BIBLIOGRAFÌA  | 43          |

## LISTA DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Tabla 1.</b> Condiciones climáticas de Palmas Montecarmelo S. A.   | 25          |
| <b>Tabla 2.</b> Tratamientos utilizados.  | 25          |
| <b>Tabla 3.</b> Características químicas del suelo en el cual crecieron las plántulas.                          | 26          |
| <b>Tabla 4.</b> Efecto de la inoculación en plántulas de palma de aceite en fase de previvero luego de 90 días. | 30          |

## **Resumen**

Este trabajo presenta el resultado del efecto de la inoculación de micorrizas sobre plántulas de palma de aceite en fase de previvero. El cual se llevó a cabo en la Plantación Palmas de Montecarmelo, ubicado en el municipio de (Codazzi, Cesar). Para evaluar la respuesta se procedió a realizar una inoculación con cepas de hongos micorrizicos Mycorrizz<sup>®</sup> (M) aplicando 30g/ plántula por contacto directo con la semilla de palma de aceite. Se realizó un diseño experimental con bloques al azar con cinco tratamientos y 3 repeticiones; Los tratamientos evaluados fueron: Un T1 (tratamiento con Inóculo comercial Mycorrizz<sup>®</sup>), T2 (tratamiento M + 20 g/ bomba de Fosfitek Mg), T3 (tratamiento M+ 40 g/ bomba de Fosfitek Mg), T4 (tratamiento M+ 80 g/ bomba de Fosfitek Mg) y T5 (testigo sin inóculo). Se emplearon como variables de respuesta parámetros de crecimiento tales como: número de hojas, número de raíces, altura de las plántulas, diámetro del bulbo, área foliar, peso seco total, peso seco aéreo, peso de las raíces y peso seco del bulbo. Los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas para ningún parámetro evaluado luego de 90 días de ser inoculadas en dicho estudio.

## **Abstract:**

This work presents the results of the effect inoculation of oil palm seedlings with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) during the prenursery phase. Which took place in Montecarmelo Plantation Palms, located in the municipality of (Codazzi, Cesar). To assess response was performed inoculation with mycorrhizal fungi strains Mycorrizz<sup>®</sup> (M) using 30 g / seedling by direct contact with the palm kernel oil. We performed an experimental design with random blocks with five treatments and 3 replications; The evaluated treatments were: A T1 (treatment with commercial Mycorrizz inoculum), T2 (treatment M + 20 g / pump Fosfitek Mg), T3 (treatment M + 40 g / Mg Fosfitek pump), T4 (treatment M + 80 g / Mg Fosfitek pump) and T5 (control without inoculum). Were used as response variables such as growth parameters: leaf number, root number, plant height, diameter of bulb, leaf area, total dry weight, shoot dry weight, root dry weight and dry weight of the bulb. The results indicated no significant differences for any parameter evaluated after 90 days being inoculated in this study.

## INTRODUCCION

Según Munévar, (1998) “La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es un cultivo tropical perenne propio de la zona ecuatorial que tiene gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones del suelo y el clima, pero sólo cuando se desarrolla en condiciones adecuadas expresa su máximo potencial de producción. La mayoría de cultivos de las zonas palmeras del país, se encuentran sembrados en suelos con bajo nivel de fertilidad, limitando en buena medida la productividad del cultivo, haciendo costoso el manejo agronómico del cultivo”.

Todas estas situaciones han generado el planteamiento de estrategias dentro de las que se encuentran el uso de microorganismos benéficos del suelo para estimular el crecimiento vegetal. Dentro de los microorganismos de mayor uso se destacan los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), que son microorganismos del suelo que forman una asociación simbiótica mutualista con aproximadamente un 80% de las plantas terrestres. Los HMA son mediadores biológicos de la nutrición vegetal capaz de aprovechar más eficientemente el fósforo (P) del suelo, razón por la cual no es sustituto sino complementario del fertilizante químico por tanto la aplicación de estos en forma combinada reducen las dosis requeridas de este último, manteniendo el mismo efecto (Cooper, 1984; Abbot y Robson, 1994; pero los efectos de los hongos micorrízicos van más allá del ámbito de la nutrición por fósforo, e incluyen beneficios relacionados con la nutrición por otros elementos (Zn, Cu, N), así como tolerancia a patógenos y un mejor balance hídrico de la planta; es un producto no contaminante y de efectos prolongados y puede producir una mejor adaptación al transplantarse de vivero a campo (Bethlenfalvay, 1992ab; Dhene, 1982; Bahyajaraj, 1984; Perrin, 1990).

La palma de aceite es una planta que forma asociación simbiótica con HMA en su hábitat natural. Sin embargo, es en la etapa de previvero donde se van a probar

sus efectos en esta investigación para las condiciones (tipo de suelo, variedad, clima, etc) de la plantación Palmas de Montercamelo, ubicada a 18 Km de Codazzi, municipio del Cesar correspondiente a la Zona norte. Previamente en esta etapa y en vivero se habían reportado resultados favorables de los HMA sobre el crecimiento de la palma de aceite y absorción de nutrientes (Blal et al., 1990; Chu, 1997; Motta y Munévar, 2005). Si bien los HMA hacen parte de la biota nativa de los suelos, las poblaciones de estos son bajas (Motta y Munévar, 2005), o están conformadas por hongos de limitada eficiencia en un determinado cultivo, razón por la cual, se hace determinante la inoculación de las plantas para así promover el establecimiento de la simbiosis y una mayor eficiencia de la misma. Es por ello que convierte a los HMA en una alternativa para contribuir al establecimiento de sistemas de producción sostenible y aumentar la fertilidad del suelo. Por esta razón el objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la respuesta de las micorrizas en plántulas de palma de aceite en etapa de vivero.

## 1. JUSTIFICACION

Es importante conocer si hay o no una respuesta de la palma de aceite a las aplicación de micorrizas en previvero porque si existe una respuesta positiva se podría disminuir los costos de producción. Debido a que al modificarse el sistema radicular por la asociación simbiótica se podría contribuir a una mejor absorción, transporte de agua y nutrientes del suelo a la raíz, en especial la absorción de P; por el posible incremento del volumen del suelo explorado lo cual se expresaría en el mayor crecimiento vegetal.

Además se podría expresar en una mayor supervivencia de las plántulas, un mayor crecimiento en menor tiempo, una reducción del tiempo de estadía en esta etapa y se solucionarían problemas de sostenibilidad.

Los hongos micorrícicos podrían promover y apoyar el crecimiento de la palma de aceite; dichos hongos no necesariamente pueden estar presentes en el suelo o quizás son insuficientes o ineficientes para el establecimiento de una buena simbiosis; por ello la eficiencia de la micorriza podría ser incrementada ya sea por manejo cultural de los hongos nativos de un determinado suelo, o por la inoculación de hongos más eficientes. Para este caso previo a la siembra, la aplicación de micorrizas podría asegurar que los nuevos cultivos se puedan establecer rápidamente y no agotar los nutrientes del suelo en una forma rápida.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la respuesta de la palma aceitera a la aplicación de micorrizas en previvero.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar el efecto de la aplicación de micorrizas sobre el crecimiento de las plántulas de palma de aceite.
- Determinar el grado de colonización micorrízica sobre las plántulas de palma de aceite.
- Evaluar el efecto de la aplicación de micorrizas sobre la reducción del tiempo en etapa de previvero de las plántulas de palma de aceite.
- Evaluar el efecto de la aplicación de micorrizas en la supervivencia de las plántulas de palma de aceite.
- Evaluar el efecto de la aplicación de micorrizas sobre la cantidad de fertilizantes necesarios para su nutrición sobre las plántulas de palma de aceite.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los hongos formadores de micorriza se perfilan como un promisorio insumo microbiológico para la agricultura sostenible. Su importancia en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como “fertilizantes” biológicos son motivos suficientes para considerarlos como uno de los componentes más valiosos de la diversidad biológica del suelo.

El interés por la micorriza se debe a su enorme potencial que tiene en suelos tropicales, que usualmente exhiben baja disponibilidad de P (Sieverding, 1991), donde los hongos micorrizicos podrían servir como un bioinsumo agrícola no contaminante y de bajo costo. Las micorrizas cumplen un papel como cerradura en los ciclos de nutrientes, además contribuye a mantener la estabilidad y diversidad de los ecosistemas naturales, y amortiguan estreses bióticos y abióticos que afectan la adaptabilidad de las plantas en los suelos en que crecen.

Se podría utilizar las asociaciones de los hongos micorrizicos para producir palma de aceite en forma sostenible así como reducir costos de producción. Puede ser una buena opción para los nuevos cultivos de palma de aceite que se piensan establecer en suelos de baja fertilidad. Teniendo en cuenta que, el 80 % de los suelos de Colombia son ácidos y presentan baja concentración de P en la solución del suelo (Malagón *et al.*, 1995).

Son muy pocos los estudios publicados sobre la interacción de los Hongos micorrizicos arbusculares y la palma de aceite. Motta y Munèvar (2005) informaron de las esenciales reducciones de la colonización de las palmas jóvenes en el campo. Ellos mostraron que la inoculación con HMA triplicó el peso seco de la parte aérea de las plántulas de palma de aceite en vivero después de 570 días al sembrarse en suelo natural y sin la adición de fertilizantes. Raja *et al.* (1999) demostraron que la inoculación con HMA prolonga

la productividad de las palmas infectadas con el hongo *Ganoderma*, pero el mecanismo de este efecto protector no está claro.

En el sudeste de Asia, un estudio de suelo de las plantaciones de palma de aceite en Malasia reveló que los HMA comprenden seis géneros de la orden Glomales (Nadarajah, 1980) y fue el primero en describir un efecto benéfico de la inoculación de micorrizas en la palma de aceite. En ensayos controlados con fertilizantes, Widiastuti y Tahardi (1993) cuando inocularon las plántulas de palma de aceite con HMA encontraron un mayor crecimiento y absorción de nutrientes el que se dio entre un 37-44%. La inoculación también mejoró la supervivencia y el desarrollo de las plántulas durante la fase de aclimatación. Widiastuti y Tahardi (1993) también demostraron que las plántulas de palma que crecen en suelo estéril requieren más fertilizantes de fósforo que cuando las plántulas son inoculadas con *Gigaspora margarita* y otras cepas de HMA.

Los beneficios de las micorrizas no se limitan a las técnicas de propagación tradicionales sino también a las *in vitro*: Blal et., al.

(1990) informaron que el coeficiente de utilización de fertilizantes en plantas micropropagadas de palma de aceite, se incrementó en 4-5-veces después de la micorrización, especialmente cuando se utiliza la roca fosfórica.

Debido a los resultados de estos experimentos, la aplicación de HMA en la fase de vivero está justificada.

La respuesta a la inoculación micorrizal depende de múltiples factores tales como (a) la dependencia micorrizal de las plantas, (b) la concentración de P en la solución del suelo, (c) el número de propágulos micorrizales infectivos y (d) la efectividad de los HMA para incrementar la absorción de P. Hay factores abióticos que afectan negativamente la asociación micorrizal como el uso excesivo de fertilizantes fosfóricos y pesticidas que inhiben el establecimiento y la efectividad

de la simbiosis micorrizal (Kjoller y Rosendahl,2000; Abdel-Fattah y Mankarious, 1997). Adicionalmente, períodos prolongados de lluvia, la excesiva mecanización agrícola, la ausencia de cobertura vegetal y las actividades mineras favorecen la erosión del suelo y, en consecuencia, reducen el número de propágulos, la biodiversidad y la actividad de los HMA (Barea y Jeffries, 1995).

Por tanto al desconocer cuál es la respuesta de la palma de aceite a la aplicación de micorrizas en la etapa de previvero bajo las condiciones de temperatura, humedad, altitud y suelo, entre otras de la plantación Palmas Montecarmelo, ubicada a 18 km de Codazzi, municipio del norte del Cesar. Así como la influencia que tendría dicha aplicación en el resto de las etapas del cultivo de la palma de aceite se hace necesario llevar a cabo esta investigación.

Además se debe tener en cuenta que si existe una respuesta positiva a la aplicación de micorrizas en la etapa de previvero se tendrían plantas más sanas, con mejor absorción de nutrientes, vigorosas y con mejores características fenotípicas que podrían repercutir en acortar esta etapa y/o posiblemente disminuir los costos de esta etapa y las siguientes.

## 4. MARCO TEÒRICO

### 4.1 MICORRIZAS

Según Azcón Aguilar y Barea (1992) "El suelo es hábitat de un sin número de poblaciones de microorganismos, de las cuales se sabe que se desarrollan actividades en el crecimiento y nutrición de las plantas, entre tales acciones, cabe destacar las transformaciones de la materia orgánica, fijación de  $N_2$ , aporte de nutrientes a las planta, producción de fitohormonas, solubilización de elementos minerales nutrientes de la planta y protección frente a ciertos agentes fitopatógenos, etc.

Las poblaciones de microorganismos del suelo se desarrollan fundamentalmente alrededor de las raíces de las plantas, donde son estimuladas por la presencia de exudados radicales, células desprendidas, fragmentos de tejidos, etc, aportados por ella, es decir, que las plantas son los principales suministradores de sustratos energéticos al suelo (Barea y Azcón Aguilar ,1982 ). Este incremento en la actividad microbiana en la zona de influencia de las raíces, la "rizosfera", afecta a su vez a la planta, ya que los microorganismos estimulados llevan a cabo una serie de actividades que repercuten en el desarrollo de la misma (Azcón Aguilar y Barea, 1992). Entre tales actividades cabe destacar la producción de compuestos biológicamente activos, como son hormonas, enzimas, quelatos, etc, su implicación en el ciclado de nutrientes y de la materia orgánica, su contribución al mantenimiento de la estructura del suelo, etc. (Barea y Azcón Aguilar ,1982).

Los microorganismos establecen diversas relaciones con las plantas como son los saprófitos, los simbioses parasíticos y los simbioses mutualistas, los cuales son los más efectivos desde el punto de vista de aportar nutrientes a las plantas. Una de las simbiosis mutualistas es la realizada por las micorrizas. Las micorrizas son

asociaciones simbióticas mutualistas que se desarrollan entre las raíces de las plantas superiores y ciertos hongos del suelo (Azcón Aguilar y Barea, 1980).

Según Barea y Azcón Aguilar (1982) “Los hongos de las micorrizas, habitantes comunes del suelo, colonizan la corteza de la raíces y establecen con la planta una serie de interrelaciones biotróficas. Las plantas suministra sustratos energéticos y esqueléticos carbonizados (fotosintetizado) al hongo y éste, por medio de su red de hifas externas, capta nutrientes, principalmente fósforo, de la solución edáfica y transfiere estos iones a la planta hospedadora”.

La formación de micorrizas induce cambios en la composición mineral y en la fisiología de las plantas, y consecuentemente, en la exudación radical de las mismas (Barea, 1986). Esta alteración de la exudación radical provoca, a su vez, cambios cuali y cuantitativos en la composición microbiana de la rizosfera.

**4.1.1 Tipos de micorrizas.** Según Guerrero, 1996 “El sistema tradicional de clasificación de las micorrizas se basa en criterios morfológicos que definen dos categorías básicas: a) ectomicorriza, y b) endomicorriza, a las cuales algunos autores añaden una tercera categoría: c) ectendomicorriza”.

En la ectomicorriza, el hongo forma sobre la superficie de la raíz un manto micelial y las hifas que penetran la corteza radical se distribuyen de manera intercelular ofreciendo, al microscopio, un aspecto de red que se ha bautizado como red de Harting. En la endomicorriza, en cambio, no se forma manto fúngico y las hifas del endófito crecen no sólo inter sino también intracelularmente. La ectendomicorriza, por último, sería la categoría que incluye aquellas formas intermedias entre las dos anteriores, con red de Harting e hifas intracelulares (Azcón Aguilar y Barea, 1980).

Desde el punto de vista filogenético, se puede establecer dos grandes categorías de micorrizas: a) micorriza arbuscular , y b) ectomicorriza + formas derivadas. Las

formas derivadas de las ectomicorriza incluirían tipos menores de micorriza como la ectendomicorriza, las micorrizas ericoide, arbutoide, monotropoide y aquella propia de las orquídeas ( Le Tacon , 1985 ; Marks, 1991).

**4.1.2 Micorrizas Arbusculares (MA).** Las micorrizas Arbusculares (MA) son los tipos de micorrizas más estudiadas porque son las que se encuentra en mayor cantidad tanto en los ecosistemas naturales como en los cultivos y juega un importante papel en el crecimiento, productividad y supervivencia de las plantas (Harley and Smith, 1983; Gianinazzi et al., 1990; Lovato *et al.*, 1995).

Según Barea y Azcón Aguilar (1982) “Las micorrizas arbusculares son tan antiguas como las propias plantas, como se deduce de la observación del primer registro fósil que se conoce de un vegetal (fósil rhyne, datado en 370 millones de años). La existencia de tal coevolución ha dado lugar a diversas interdependencias planta – hongo VA, así la mayoría de las plantas necesitan, en un mayor o menor grado, estar micorrizadas para captar nutrientes y crecer adecuadamente” .

Según Barea y Azcón Aguilar (1983) “El proceso de formación de las Micorrizas Arbusculares se puede considerar dividido en cinco fases:

- a. Activación de los propágulos del hongo que persisten en el suelo.
- b. Estimulación de los micelios formados cuando alcanzan la rizosfera de una planta susceptible.
- c. Unión de la hifa a la superficie de la raíz y formación de los primeros puntos de penetración del hongo.
- d. Progreso de colonización de la raíz.
- e. Crecimiento del micelio externo en el suelo que la circunda .Se aceptan que existan en el suelo tres formas de inóculos, los cuales, aunque son de diferente grado en su capacidad de supervivencia y potencial infectivo, pueden originar la simbiosis. Estas son:

- a. Las esporas de resistencia.
- b. Raíces micorrizadas, o sus fragmentos, procedentes de plantas preexistentes o coexistentes , y posiblemente,
- c. Agregados de hifas que sobreviven en el suelo.

Ni la germinación de esporas ni la dirección inicial de las hifas son influenciadas por la presencia de las raíces de una planta hospedadora. Los tubos de germinación no son atraídos por la raíz hasta que, erráticamente, llegan a la rizosfera. Con respecto a las causas de tal estimulación de las hifas del hongo sólo hacer mención de la influencia que en ello deben tener exudados radicales, aunque también es posible que los microorganismos del suelo activados en la rizosfera, jueguen un papel clave en la estimulación de los micelios MA. Una vez que la hifa infectiva llega a la superficie de la raíz se forma un apresorio sobre las células de la epidermis. No se ha logrado evidenciar si tiene lugar un mecanismo enzimático asociado a un proceso puramente mecánico. Cuando el hongo ha penetrado en, o entre, las células epidérmicas, coloniza la corteza de la raíz mediante hifas distributivas que se ramifican inter e intracelularmente. A los pocos días de iniciada la infección, por divisiones dicotómica repetida de hifas intracelulares, se forman los arbusculos. La función de estos es el intercambio biotrófico bidireccional de nutrientes. Los arbusculos tienen una vida media de 4 a 14 días y, cuando degeneran, la célula recupera su actividad normal”.

Posteriormente, se forman las vesículas, que tienen función de almacenamiento de reservas, que son de tipo lipídico. Simultáneamente al desarrollo intrarradial del hongo, las hifas de penetración se ramifican externamente y dan lugar a una red tridimensional de micelio, sobre la que se forma esporas de resistencia. La mayor o menor extensión del micelio externo, hecho clave en la respuesta de la planta a su micorrizada puede tener hasta 134 cm de hifas externas, y en el suelo adyacentes a unas raíces micorrizadas se cuantificaron 55m de hifas por g de suelo (Harley y Smith, 1983)

### **4.1.3 Función de las micorrizas arbusculares (MA)**

#### **Efecto de las MA sobre la nutrición vegetal**

Según Guerrero, 1996 “La planta se beneficia con una mayor incorporación de nutrientes y absorción de agua, al estar en contacto, a través del micelio externo del hongo, con un mayor volumen del suelo. Por su parte, el hongo obtiene carbohidratos y otras fuentes de carbono para su metabolismo, además de contar con un hábitat protegido de antagonistas, en los tejidos corticales de la raíz y aun en la rizosfera”.

La micorriza favorece la absorción de iones poco móviles del suelo, particularmente fosfatos, pero también zinc, cobre y amonio (Cooper, 1984; Bûrkert y Robson, 1994).

La hipótesis más apoyada para explicar esta captación mejorada de nutrientes minerales, supone que las hifas externas se comportan como una extensión del sistema de raíz constituyéndose en una amplia y bien distribuida superficie de absorción.

Al proyectarse más allá de la zona de agotamiento de nutrientes cercana a la raíz, el micelio fúngico sirve de puente para el aprovechamiento de volúmenes del suelo y micrositios edáficos que las raicillas no alcanzan. En consecuencia, la eficiencia en la absorción de nutrientes de una planta micorrizica debe estar correlacionada con el desarrollo del micelio externo (llamado también extramatricial) (Guerrero, 1996).

El micelio externo del hongo es un verdadero órgano de absorción de agua y nutrientes, semejante a los pelos radicales. De este hecho se deriva la hipótesis de Baylis (1970,1975) según la cual la ausencia de pelos radicales es una característica de plantas dependientes de micorrizas y, por el contrario, la

abundancia de los mismos sugiere que la planta tiene una baja micotrofia.

Cooper (1984) sugiere que no está claro si los efectos observados en cuanto a absorción de otros nutrientes distintos al P, relaciones hídricas y alteración en los niveles hormonales son debidas directamente al hongo o indirectamente a alguna alteración en la fisiología del hospedero como un resultado de la mejora en la nutrición de P. El hecho es que en suelos con bajos niveles de P disponible, las plantas micorrizicas tienden a presentar tasas de crecimiento mayores que plantas no micorrizicas (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988).

Claramente la concentración de P en el suelo modula la intensidad y efecto de la infección micorrizica sobre una planta hospedera. A niveles altos de P soluble, el grado de dependencia micorrizica de una planta disminuye (Håbte y Musoko, 1994)

El papel de las micorrizas en la captación de agua es un tema que se debate actualmente (Cooper, 1984). En general se puede decir que los Micorrizas arbusculares incrementan la resistencia de las plantas a la sequía.

Se han sugerido varios mecanismos por los que las MA pueden afectar al crecimiento de la planta por acción no directa sobre la nutrición de ésta. Entre los cuales están:

- Aquellos debidos a la producción de fitohormonas.
- Los inducidos mediante una acción de mejora de estructura del suelo a través de la formación y estabilización de agregados por las hifas del hongo.
- Los ejercidos a través de una protección de la planta del ataque de patógenos (Harley y Smith , 1983)

Aunque el hongo consume fotosintetizado compensa a la planta, no sólo por el

aporte de nutrientes minerales, sino también estimulando la fotosíntesis (Cooper, 1984).

Según Azcón-Aguilar et al., (1984) “Dado que los propágulos de las Micorrizas Arbusculares están virtualmente presentes en todos los suelos, se puede decir que la formación de la simbiosis está teóricamente asegurada. No obstante, las propiedades de “infectividad” de los hongos presentes y de “efectividad” en la simbiosis resultante van a ser moduladas considerablemente por varios factores:

- El grado de dependencia de la planta a las micorrizas.
- La “especificidad ” de los hongos presentes para la planta en cuestión.
- La efectividad de dichos hongos.
- Las condiciones físico- químicas y biológicas del medio”.

### **Interacciones de las MA con patógenos de plantas**

Según Azcón Aguilar y Barea, 1996 “Los hongos micorrizicos pueden alterar el equilibrio de las poblaciones microbianas en el suelo. Por tanto podrían afectar, igualmente, a organismos causantes de enfermedades de las plantas.

De otro lado, tanto los hongos formadores de micorrizas, como los microorganismos patógenos comparten un mismo sustrato, las raíces de sus hospedadores. Consecuentemente ambos tipos de organismos pueden interaccionar tanto como habitantes comunes del suelo rizosferico, como cuando se encuentran colonizando el sistema radical. En efecto ambos tipos de interacciones se han puesto de manifiesto, y se ha demostrado que, en ciertos casos, la micorrización induce una menor susceptibilidad de las raíces, o una mayor tolerancia a ciertos organismos patógeno”.

Por ello, las micorrizas pueden ser consideradas como agentes de control biológico frente a determinados patógenos radicales (Harley y Smith, 1983).

La protección del sistema radical frente a patógenos puede ser ejercida mediante distintos mecanismos. El más evidentemente de todos sería de tipo nutritivo, ya que, debido al incremento en la captación de nutrientes por parte de la micorriza, la planta se encuentra en una mejor situación fisiológica para hacer frente al patógeno. Por otro lado, la micorriza puede actuar directamente protegiendo al sistema radical; sin embargo para que esta protección se lleve a cabo, el hongo Micorrizico arbuscular debe colonizar la raíz antes que ésta entre en contacto con el patógeno (Azcón Aguilar y Barea, 1996).

Este tipo de protección se ha mostrado frente a hongos patógenos de raíces, entre los que se incluyen *Phytophthora*, *Gaeumannomyces*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Thielaviopsis* y *Verticillium* (Bahyajaraj, 1984)

Otros mecanismos implicados en la menor susceptibilidad de las plantas micorrizadas a los agentes patógenos, aparte de la parte nutricional, podría ser la competición por sitios de infección en la raíz, por espacio o por los productos carbonados de la misma (Smith y Gianinazzi- Pearson, 1988). También podría estar implicada la disminución del nivel de azúcares en la raíz, el incremento de determinadas actividades enzimáticas oxidativas, así como la producción de determinados metabolitos secundarios tales como la lignina, los fenoles y el etileno (Dhene, 1982).

Según Perrin, 1985 citado por Azcón Aguilar y Barea (1996) “En cualquier caso, es importante tener en cuenta que la capacidad profiláctica de los hongos no se muestran para todas las especies de hongos, no es eficaz para todos los agentes patógenos y no se expresa en todos los sustratos ni en todos los ambientes”.

### **Ciclaje de nutrientes**

Según Salamanca y Silva, 1998 “Las esporas de los hongos micorrizicos arbusculares son solamente una fuente secundaria de nutrientes en los ecosistemas naturales. Los nutrientes contenidos en las esporas de los hongos pueden aportar de 10 a 60 g N/ha, de 4 a 50 g Ca/ha y de 1 a 10 Mg/ha. La tasa de retorno de las esporas de las micorrizas arbusculares puede ser relativamente baja porque son estructuras de reserva. Aunque, en los suelos tropicales la biomasa del micelio fungoso puede ser alta.

Los hongos micorrizicos arbusculares juegan un papel importante como medio de transporte de los nutrientes en el proceso de ciclaje de estos.

Los hongos micorrizicos arbusculares realizan la absorción de nutrientes solubles del suelo eficientemente, evitando la fijación o el lavado. Esta función de los hongos Micorrizicos arbusculares está concentrada en el horizonte A, donde se encuentra el mayor porcentaje de materia orgánica y donde ocurre el mayor crecimiento de raíces.

### **En la agregación del suelo**

Los suelos fértiles tienen un alto porcentaje de agregados estables. Los hongos micorrizicos arbusculares unen y agregan las partículas a través del crecimiento intensivo del micelio, lo cual puede ser importante para mejorar las condiciones físicas del suelo y a la vez, previene la erosión, cualidad que conservan los hongos micorrizicos arbusculares y que hacen que revistan considerable importancia en ecosistemas con alta presencia de arenas, zonas montañosas de baja estabilidad y sometidas a fuertes procesos de erosión.

### **Bajo condiciones adversas**

Condiciones químicas del suelo adversas como el pH extremadamente bajo, alcalinidad, salinidad y altas concentraciones de elementos tóxicos como Fe, Al y Mn, limitan la producción de cultivos. El balance nutricional que promueve la

presencia de las micorrizas arbusculares en términos de macro y micronutrientes conduce a que las plantas micorrizadas toleren mejor condiciones adversas, sin que ello indiquen que alcancen alta productividad, si sus genomas no están adaptados para resistir estos tipos de estrés”.

**4.1.4 Micorrizas y palma de aceite.** En condiciones normales la mayoría de las especies de plantas forman simbiosis con las micorrizas, por ello se cree que son muchos los cultivos que podrían beneficiarse al ser inoculadas en forma adecuada con estas. Sin embargo, las diferentes especies de plantas reaccionan en forma distinta al estar micorrizadas; algunas crean una independencia total, como en crucíferas y quenopodiáceas que no suelen formar micorrizas, hasta una dependencia absoluta como es el caso de ciertas plantas que son incapaces de desarrollarse, incluso en suelos de elevada fertilidad, sino están micorrizadas y otras se encuentran en un nivel intermedio.

En realidad, la mayoría de las plantas comestibles más importantes en el mundo no responden en forma clara a la inoculación y su aplicación no muestra grandes beneficios.

Para el caso de la palma de aceite, el limitado desarrollo que tiene su sistema radicular, junto con lo observado en vivero de los altos niveles de colonización micorrizica sugiere que estas se benefician en gran medida del proceso de simbiosis (Corley y Tinker, 2003).

El establecimiento de plantaciones de palma de aceite ejerce una amenaza sobre los recursos naturales. En varios países la palma de aceite fue con frecuencia sembrada arrasando con las extensiones de tierras que antes se utilizaban en otros cultivos o eran bosques naturales.

Según Phosri et al.,2010 “ El despeje de tierras para la siembra de palma de aceite ha dado lugar a una erosión en la capa superior del suelo por la lluvia y una

grave lixiviación de los suelos. Esta a su vez podría generar pérdidas de hongos micorrícicos nativos quienes viven en la capa superior del suelo. La combinación de los problemas de erosión y el agotamiento de nutrientes significan que el suelo tiene una capacidad limitada para soportar el crecimiento de plantas nativas y cultivadas sin la adición de grandes cantidades de fertilizantes.

Las micorrizas arbusculares podrían tener el potencial de hacer que el cultivo de palma de aceite sea más sostenible y de reducir los efectos que este cultivo pueda generar sobre los ecosistemas de afuera de las mismas plantaciones. Enormes cantidades de fertilizantes de N inorgánicos y P son aplicadas en vivero o durante la siembra en campo y la mayoría de estas por diversos factores como: lixiviación, escorrentía, evaporación y químicos, conducen a que gran parte de los fertilizantes no sean aprovechados en la nutrición del cultivo, generando pérdidas parciales de nutrientes. Se debe recurrir a alternativas o suplementos en la fertilización del cultivo que contribuyan a un manejo más sustentable, eficiente y a la supervivencia y beneficio de la microbiota del suelo”.

Por lo tanto, es importante que las nuevas plantaciones se manejen de manera tal que se maximicen el rendimiento y productividad y que se integren prácticas sostenibles. Sin duda, el uso de tecnologías de micorrizas cumplirá un papel importante en los ecosistemas sostenibles de planta- suelo (Jeffries y Barea, 2000; Gianinazzi et al., 2002) y debe considerarse en la conservación de los recursos naturales y la reducción de insumos como fertilizantes en pro de prácticas ambientalmente sostenibles para el cultivo de palma de aceite.

En campo el número de esporas reportado es bajo por lo que implementar HMA foráneos para aumentar el número de esporas en el suelo y competir con los HMA nativos, podría llevar consigo una mejor efectividad de estos microorganismos sobre las plantas.

## 5. METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la plantación Palmas Montecarmelo, a 89 m.s.n.m., ubicada en el margen derecho del río Casacará en el corregimiento de Llerasca, a 18 km de la cabecera municipal, por la vía que conduce desde el municipio Agustín Codazzi hacia Bucaramanga.

**Tabla 1.** Condiciones climáticas de Palmas Montecarmelo S. A.

| PARAMETRO                 | VALOR   |
|---------------------------|---------|
| Precipitación media anual | 1200 mm |
| Temperatura media anual   | 28°C    |
| Temperatura máxima        | 41°C    |
| Temperatura mínima        | 19°C    |
| Humedad relativa          | 70%     |
| Horas de brillo solar año | 2500    |
| Evaporación promedio día  | 7 mm    |

Se diseñaron cinco tratamientos que se muestran en la tabla 2:

**Tabla 2.** Tratamientos utilizados

| Tratamiento  | Inoculación con Mycorriz g/semilla | Dosis de fertilizante Fosfitek Mg ® rico en P |
|--------------|------------------------------------|---|
| Con Mycorriz | 30                                 | 0   |
| Con Mycorriz | 30                                 | 20 g/bomba                                    |
| Con Mycorriz | 30                                 | 40 g/bomba                                    |
| Con Mycorriz | 30                                 | 80 g/bomba                                    |
| Testigo      | 0                                  | 0   |

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una plántula de palma de aceite. Se utilizaron plántulas de palma de aceite tipo Tènera (material “Dami Las Flores”).

El suelo era franco limoso, con estructura blocosa, fina y media, moderadamente desarrollada; consistencia friable, ligeramente plástica; profundos, bien drenados y de baja retención de humedad. El suelo poseía las características químicas que se presentan a continuación en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Características químicas del suelo en el cual crecieron las plántulas.

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor de análisis</b> |
|------------------|--------------------------|
| pH               | 6,7                      |
| CE (dS/m)        | 0,21                     |
| MO (%)           | 0,92                     |
| P (ppm)          | 12,61                    |
| Ca (meq/100 g)   | 5,58                     |
| Mg (meq/100 g)   | 1,36                     |
| K (meq/100 g)    | 0,13                     |
| Na (meq/100 g)   | 0,16                     |
| CIC              | 12,58                    |
| Saturación Ca    | 77,14                    |
| Saturación Mg    | 18,86                    |
| Saturación K     | 1,8                      |
| Saturación Na    | 2,21                     |
| B (ppm)          | 0,23                     |
| Cu (ppm)         | 0,57                     |
| Fe (ppm)         | 43,98                    |
| Mn (ppm)         | 4,72                     |
| Zn (ppm)         | 0,65                     |

La inoculación se llevó a cabo directamente en la semilla al momento de la siembra con 30 g/ semilla. Como inóculo se utilizó un producto comercial consistente en una mezcla de suelo, Hifas, esporas y fragmentos de raíces colonizadas que contenían principalmente géneros, *Glomus* sp, *Gigaspora* sp, *Acaulospora* sp. Se regaba manualmente dos veces por día.

En pre-vivero se utilizó una polisombra que permitía el paso de un 60% de luz solar. Esta tela fue removida en un 50 % dos semanas antes de transplantar las plantas a vivero, con el fin de adaptar a planta a la exposición al sol directo en la etapa de vivero. El desmalezado en las calles y dentro de las bolsas se realizó manualmente.

Se realizaba una revisión diaria para el control de plagas cuando se encontraba algún tipo de plaga se procedía a retirarse manualmente.

El efecto de los tratamientos se evaluó a través del crecimiento de cada una de las plántulas midiendo el número de hojas, área foliar, grosor del bulbo, altura de la planta, número de raíces, peso seco bulbo, peso seco raíces, peso seco total y peso seco hojas.

Las mediciones se realizaron en tres momentos, a los 30, 60 y 90 días después de inoculadas.

A los 90 días se procedió a separar la parte aérea y las raíces y a determinar el peso seco de estas.

Los datos de las variables seleccionadas se sometieron a análisis de varianza, se utilizó el paquete estadístico SAS® 9.0. Cuando se encontraron diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey al 95%.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 ALTURA DE LAS PLÁNTULAS

Durante estos primeros 90 días no hubo diferencias estadísticamente significativas en el incremento de la altura de las plantas inoculadas y las no inoculadas. En estudios previos en la zona norte por parte de Motta y Munévar (2005), se encontró que las plántulas de palma de aceite en fase de vivero presentaron algún efecto significativo sólo después de 570 días de ser inoculadas con los hongos micorrizicos arbusculares, mostrando un incremento en altura del 79 % con respecto a las plantas no inoculadas. Aunque observando los datos para esta variable para el presente ensayo (Tabla 4), se observa que el testigo y el tratamiento con solo micorrizas hay una diferencia de 1,9 cm a favor del testigo lo que indicaría que a 90 días el efecto de la inoculación con micorrizas no es evidente.

Con base en lo expresado se puede asumir que el no efecto de de la inoculación en las plántulas del presente ensayo al tiempo seleccionado, se pudo deber a un retardo en el proceso de simbiosis o a otros factores, esto en razón a que no se determino el grado de colonización de las raíces a través del tiempo.

Hay diversos factores que podrían haber generado este hecho como es la fase "lag" efecto de la inoculación micorrizal. En varios estudios se han demostrado que existe una fase de latencia entre la inoculación de las micorrizas y el periodo de tiempo en el cual se manifiesta su efecto (Sieverding, 1991). Como el establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta lleva una secuencia de etapas de reconocimiento es posible que en esta etapa de previvero sea muy pronto reconocer si ocurren cambios tanto morfológicos como fisiológicos en las plántulas.

Es importante recordar que las plantas que mantienen una simbiosis micorrizica necesitan una gran cantidad de energía metabólica, para lograr un desarrollo integral de la parte aérea como de sus raíces. Este fenómeno representa un elevado flujo de carbono derivado del proceso fotosintético en etapas muy tempranas, que se expresa en un retardamiento del crecimiento vegetal; por lo tanto, la planta necesita crecer y lograr una tasa fotosintética adecuada para mantener funcionando la simbiosis (Guerrero *et al.*, 1996).

Es poco probable que las micorrizas arbusculares pudieran haber aumentando la captación de nutrientes debido al acortamiento de la distancia para absorber los nutrientes por parte de las raíces.

Además se debe tener en cuenta que es posible que la palma de aceite sea una de esas especies de plantas que no presentan dependencia micorrizal en las primeras etapas de crecimiento debido a que en sus semillas posee grandes reservas alimenticias, que son suficiente para las primeras fases de desarrollo, no obstante, en las etapas posteriores, cuando estas reservas se han acabado, ellas puedan convertirse en plantas micotróficas dependientes (Siqueira y Saggin-Junior, 2001).

Podría suponerse entonces que es necesario inocular con micorrizas a etapas tempranas para que la planta comience a realizar una interacción con el hongo pero que es en etapas posteriores donde se comenzarían a observar cambios morfológicos y fisiológicos en ambos organismos, es decir, donde se muestren los posibles beneficios que puedan aportar a la planta hospedera.

**Tabla 4.** Efectos de la inoculación de hongos micorrizicos después de 90 días en previvero

| TRATAMIENTO        | NH  | NR   | AF<br>(cm <sup>2</sup> ) | AP<br>(cm) | DB<br>(cm) | PST<br>(g) | PSB<br>(g) | PSR<br>(g) | PSH<br>(g) |
|--------------------|-----|------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Micorryzz</b>   | 4.3 | 16.3 | 11.7                     | 15.6       | 0.76       | 1.97       | 0.5        | 0.6        | 0.8        |
| <b>M+ 20 g/b F</b> | 5.3 | 17   | 16.8                     | 17.6       | 0.9        | 2.27       | 0.6        | 0.8        | 0.9        |
| <b>M+40 g/b F</b>  | 4   | 19.7 | 17.6                     | 19.9       | 0.8        | 2.0        | 0.4        | 0.7        | 1          |
| <b>M+80 g/b F</b>  | 5.3 | 21   | 16.8                     | 17.5       | 0.8        | 1.8        | 0.5        | 0.5        | 0.8        |
| <b>Testigo</b>     | 5.3 | 21   | 16.8                     | 17.5       | 0.8        | 1.77       | 0.5        | 0.5        | 0.7        |

**NH**= número de hojas, **NR**= número de raíces, **AF**= área foliar, **AP**= altura de la planta, **DB**= diámetro del bulbo, **PST**= peso seco total, **PSB**= peso seco bulbo, **PSR**= peso seco raíz, **PSH**= peso seco de hojas, F= Fosfitek Mg.

El tratamiento de micorrizas más fertilizante con mayor contenido de fósforo se pensaría que podría presentar un mayor crecimiento en las plántulas; Pero en este caso (Tabla 4) el tratamiento con micorrizas + 40 gramos de Fosfitek Mg, fue el que presentó una diferencia de 4,3 cm con relación al tratamiento con solo micorrizas y de 2,4 cm con el testigo por lo tanto para este caso hubo un efecto por parte del fertilizante.

Lo cual se reflejo en una mayor altura debido a que las plantas micorrizadas presentan ventajas en cuanto a la absorción de nutrientes de poca movilidad (como el P) con respecto a las plantas no micorrizadas. En las primeras el micelio externo se extiende a una mayor distancia en el suelo que los pelos radicales de las plantas no micorrizadas. Sanders et al. (1983), informaron que el flujo de fósforo a las raíces micorrizadas puede ser mayor que a las raíces no micorrizadas hasta 2-5 veces.

Aunque si bien es probable que las plantas micorrizadas mejorarían la absorción del P es importante conocer que la simbiosis se puede reducir o inhibir si el nivel de P en el suelo es alto y la raíz de la planta puede absorberlo por sí misma.

En varios estudios en palma de aceite se han encontrado altos niveles de infección en vivero pero en campo los niveles de infección son mínimos e inexistentes. Esto debido quizás a la interacción de los niveles de P disponible y el desarrollo de la asociación simbiótica. La palma de aceite recibe grandes niveles de fertilizantes, especialmente de P. Desde la fase temprana del cultivo se comienza la fertilización con P, por ejemplo, en las principales zonas de cultivo de Malasia las dosis de las plántulas de vivero son 41,9 g/ palma (como  $P_2O_5$ ) y luego, en el transplante va de 65 a 120 Kg/ha/año (como superfosfato triple). En la mayoría de los casos los sustratos utilizados para las plántulas ya tenían un contenido de P inicial elevado (Phosri et al., 2010). Sin embargo, es importante tener en cuenta que la palma de aceite es un cultivo que exige alta demanda de nutrientes, especialmente durante las primeras etapas del cultivo.

En el ensayo el suelo utilizado tenía un nivel bajo de P (12,61 ppm) Tabla 2, este hecho implicaría una favorabilidad para el efecto de las micorrizas. Como lo expresado anteriormente el tratamiento que presentó mejor absorción de P por parte de la plántula fue para el nivel medio (40 g/bomba de Fosfitek Mg); para este ensayo sería el nivel más adecuado de P para que pueda existir una buena interacción entre el hongo y la plántula. Hay que tener en cuenta que la mayoría de las especies vegetales tropicales crecen en suelos con baja disponibilidad de P y que por tanto no es necesario aplicar altas dosis de P vía fertilizante.

Aunque en esta investigación los resultados no muestran diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos bajo las distintas dosis de P, en otros estudios (Blal and Gianinazzi- Pearson, 1990) demostraron que cuando la palma de aceite es micropropagada en suelos ácidos tropicales, las plantas no pueden crecer bien o no pueden utilizar de manera eficiente los fertilizantes

cuando no están micorrizadas. En su estudio cuando se inoculó con micorrizas arbusculares se aumentó de 2,7 a 5,6 veces la eficiencia en el uso de fertilizantes. Este aumento del coeficiente de utilización de fertilizantes fue de 4 -5 veces cuando se usó roca fosfórica.

En otros ensayos controlados con fertilizantes Widiastuti y Tahardi (1993) mostraron que la inoculación de las plántulas de palma de aceite con HMA presenta un mayor crecimiento de las plantas así como una mayor absorción de nutrientes; la absorción de P, en particular, aumentó en un 37-44%. La inoculación también mejoró la supervivencia y el desarrollo de las plántulas durante la fase de aclimatación.

Está bien documentado que a niveles altos de P en la solución del suelo, la colonización de la raíz por HMA disminuye, es decir a un nivel alto de P se deprime la colonización micorrizal y la planta no requiere establecer la asociación (Bolan et al., 1984). Presumiblemente a este nivel alto de P se pueden “apagar” los transportadores de P de las hifas micorrizales no realizando absorción de P.

Aunque en investigaciones por parte de Motta y Munévar (2005) la presencia en el suelo de un nivel relativamente alto de P disponible (53,90 ppm) no impidió que la inoculación causara un aumento en la absorción de este nutriente y del crecimiento de las plántulas, lo cual contrasta con las afirmaciones anteriores.

Pero cuando el nivel de este elemento es muy alto y hay colonización micorrizica también se dice que la planta es dependiente de los HMA. Cuando sucede lo mencionado anteriormente también se habla de una interacción mutualismo/parasitismo, debido a que el hongo puede estar absorbiendo el P del suelo y no hay un incremento de este elemento en la planta, ocasionando una disminución en el crecimiento de esta con respecto a plantas no micorrizadas (Klironomos, 2003 ).

## 6.2 PESO SECO TOTAL

No hubo diferencias significativas en los resultados arrojados de materia seca total para los distintos tratamientos; a pesar de ello la tendencia que se muestra en los datos de la Tabla 4, es que todos los tratamientos con micorrizas poseen mayor peso que el testigo, aunque la diferencia entre el testigo y la aplicación de micorrizas + 80 gramos de Fosfitek Mg, se podría considerar insignificante (0,03 gramos).

En el presente estudio, al ser utilizado suelo no muy fértil (Tabla 3) debido a la poca presencia de materia orgánica (0,92), al ser inoculado con las micorrizas arbusculares se presumía que se incrementaría la captación de nutrientes al acortar la distancia que los nutrientes tienen al difundirse desde el suelo a las raíces.

En estudios anteriores Motta y Munévar, (2005) reportaron un incremento del 205 % de la biomasa aérea de las plántulas luego de pasar 570 días de ser inoculadas con respecto a las no inoculadas.

Se ha demostrado que las plantas micorrizadas presenta una mayor absorción de nutrientes inorgánicos y por lo tanto mayores tasas fotosintéticas (Allen et al., 1981; Cooper, 1984). Las micorrizas arbusculares se han dicho que afectan tanto a la captación y acumulación de nutrientes.

El movimiento de nutrientes a las raíces de las plantas y la tasa de absorción de nutrientes por las raíces, especialmente el nitrógeno, fósforo y potasio, se sabe que es limitado por la velocidad de difusión de cada nutriente a través del suelo y no por la capacidad de la raíz para absorber los nutrientes de baja concentración en la solución del suelo (Abbott y Robson, 1982).

### 6.3 PESO SECO DE RAICES

En este estudio no hubo diferencias significativas en la materia seca medida de las raíces para los distintos tratamientos; aunque la tendencia es similar a la encontrada para el peso de materia seca total, las diferencias son bastante estrechas (Tabla 4).

Los estudios han demostrado que las micorrizas arbusculares pueden aumentar tanto la absorción de nutrientes por las raíces como la concentración de nutrientes en los tejidos vegetales (Smith et al., 1979).

Cuando la exploración de la raíz es restringida, hasta el 80 % del fósforo de la planta puede ser suministrado por las hifas de las micorrizas arbusculares a la planta hospedera a una distancia de más de 10 cm de la superficie de raíz (Li *et al.*, 1991).

Hattingh et al., (1973) encontraron que las hifas de las micorrizas arbusculares, podrían interceptar el fósforo etiquetado, el cual era colocado 27mm de una raíz micorrizada, mientras que permaneció no disponible a raíces no micorrizadas.

La simbiosis entre las plantas y las micorrizas arbusculares es mutualista y necesaria para el hongo porque recibe los fotosintatos de la planta. El grado de requerimiento del hongo no ha sido bien investigado y así parece que el flujo de carbohidratos es regulado por la planta hospedera y depende de las especies de hongos.

Se estima que el hongo requiere del 1 al 17 % de los carbohidratos suministrados por la planta, para la producción de biomasa de las raíces, su desarrollo y su actividad funcional. El máximo requerimiento fotosintético (sacrificio de la planta en producción en materia seca), puede ser alto entre 40 y 60 %.

En este caso como se ha mencionado previamente quizás la palma de aceite como posee en sus semillas reservas para su fases tempranas de desarrollo estos carbohidratos demandados por los hongos no serían suministrados por las plántulas porque ellas las requieren para su propio metabolismo.

#### **6.4 NUMERO DE HOJAS, AREA FOLIAR Y PESO SECO DE HOJAS**

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos; A diferencia de los parámetros anteriores no se puede hablar de tendencia en razón a que en el caso de número de hojas el de menor valor es el tratamiento con micorrizas + 40 gramos de fertilizante, seguido del de solo micorrizas y posteriormente de los otros tres (Tabla 4).

En cuanto al área foliar la tendencia es similar a la de altura de planta, es decir que el de menor área foliar es el tratamiento con micorrizas y el de mayor valor el de micorrizas + 40 gramos de fertilizante (Tabla 4). En estudios anteriores Motta y Munévar, (2005) reportaron un aumento en el número de hojas del 46 % luego de pasar 570 días de ser inoculadas con respecto a las no inoculadas.

Para el caso del peso seco de las hojas el de mayor valor fue el tratamiento de micorrizas + 40 gramos de fertilizante y el menor valor fue del testigo (Tabla 4).

#### **6.5 DIAMETRO DEL BULBO Y PESO SECO BULBO**

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos; Aunque matemáticamente la tendencia es mostrar un mayor valor de estos parámetros con el tratamiento de micorrizas + 20 gramos de fertilizante (Tabla 4).

En estudios anteriores Motta y Munévar, (2005) reportaron un aumento en el diámetro del estípite fue del 57 % luego de pasar 570 días de ser inoculadas con respecto a las no inoculadas.

Schultz (2001) reportó en su estudio con plantas micropropagadas que el peso seco de los brotes de las plántulas que fueron inoculadas con los hongos aislados aumentó en forma significativa en comparación con plantas no inoculadas.

## **6.6 NUMERO DE RAICES**

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos; aunque la tendencia es a aumentar en los tratamientos con micorrizas + fertilizante y dentro de estos a incrementarse en la medida que aumenta la dosis fertilizante, lo contrastante es que el testigo dio un número similar de raíces al tratamiento con micorrizas y la dosis más alta de fertilizante y el de menor valor el tratamiento con solo micorrizas (Tabla 4).

Según estudios la inoculación con micorrizas aumenta la absorción de más nutrientes, especialmente fósforo a través de un aumento en la absorción por superficie (Marschner y Dell, 1994). Esto, a su vez podría tener una mayor tasa de crecimiento para las plantas superiores, como resultado de más raíces por planta.

La colonización micorrizica también protege las raíces de los agentes patógenos del suelo (Perrin, 1990) y, por lo tanto podría dar lugar a un aumento no sólo en el crecimiento de las raíces y la adquisición de nutrientes de las raíces hospederas, sino también el número de raíces sobrevivientes.

Smith et al. (1979) informaron que la medida en que las micorrizas arbusculares colonizan la raíz varía con la especie de plantas.

De igual manera, algunos resultados indican que plantas de palma de aceite micorrizadas podrían tener una mayor resistencia a enfermedades como la pudrición de la estípita producida por *Ganoderma boniense* (Azzihah, 2004). En situaciones de estrés biológico, los HMA incrementa la resistencia de las plantas al ataque de los patógenos, en especial los que atacan la raíz, cuando ocurre el

establecimiento de la simbiosis previo al ataque del patógeno; en el caso de algunas enfermedades que atacan tallos y hojas, causadas por virus, hongos o bacterias, las plantas micorrizadas sufren menos daño que las plantas no micorrizadas (Sánchez, 1999).

Dada la morfología inusual del sistema radicular de la palma de aceite y los resultados de estudios experimentales que muestran que la palma de aceite presenta fuerte dependencia de las micorrizas. Bien establecidas en campo las raíces de la palma son altamente colonizadas en forma natural por las micorrizas arbusculares (Nadarajah, 1980; Blal y Gianinazzi-Pearson, 1990 ).

Tanto las especies de palma africana y americana poseen raíces cilíndricas adventicias gruesas y no tienen pelos absorbentes (Corner, 1966). Los pelos absorbentes son utilizados por la mayoría de las plantas para un uso eficiente de agua y la absorción de nutrientes y por tanto, la palma de aceite al carecer de estos, depende funcionalmente de las HMA para obtener sus nutrientes (Corley y Tinker, 2003).

Las plantas con sistemas radicales abundantes como la yuca (*Manihot esculenta*), cítricos (*Citrus*) y cebolla (*Allium spp.*) pueden ser muy dependientes de la micorriza arbuscular (Sanchez, 1999) mientras que plantas caracterizadas por raíces abundantes pero finas y con pelos radicales largos, son poco dependientes a la micorrización (Sieverding, 1991).

## **6.7 INCIDENCIA DE LAS ESPECIES UTILIZADAS EN LA INOCULACIÓN**

En diferentes cultivos y variedades de una misma especie vegetal se han obtenido diferentes respuestas de crecimiento de la planta, de acuerdo a la especie de HMA utilizado para inocular

Para este caso el inóculo comercial utilizado Mycorriz contiene cepas

pertenecientes a los géneros de *Glomus* y *Acaulospora* , los cuales en estudios previos fueron reportados como asociados al cultivo de palma de aceite.

Por ejemplo, (Blal et al., 1990) reportó a *Glomus* y *Acaulospora*, así como el género *Gigaspora* en Malasia (Nadarajah & Nawawi, 1993 ) y en Brasil en etapa de pre-vivero y vivero se han empleado géneros como *Scutellospora*, *Gigaspora* , *Acaulospora* donde independientemente de los diferentes niveles de fertilización usados, *Gigaspora* sp fue la especie que promovió mayor absorción de nutrientes y mayor crecimiento de la planta ( Chu ,1997).

En el sudeste de Asia, un estudio de suelo de las plantaciones de aceite de palma en Malasia reveló que las especies de HMA asociadas comprenden seis géneros de la Glomales (Nadarajah, 1980) y fue el primero en describir un efecto beneficioso de micorrizas de la inoculación en la palma de aceite.

También se ha observado que existen diferencias en el alcance de la infección entre los genotipos de la misma especie. El alcance de la infección micorrizal en las raíces también se ve influenciado por las condiciones ambientales, siendo las más importantes la edad de las plantas, el nivel de fósforo en el suelo de acuerdo a los requerimientos personales de las plantas y la capacidad de la población de los propágulos de formar micorrizas.

En el estudio realizado por Schultz (2001) se muestra que la variación enorme en el crecimiento de la palma de aceite se puede producir de acuerdo al tipo de cepa de HMA utilizado para de la inoculación. En ese estudio, once especies de HMA demostraron tener efectos positivos sobre el crecimiento de la palma, el desarrollo y la nutrición de las variables de longitud de brotes, desarrollo de las hojas, la tasa de crecimiento relativo, peso fresco y seco de las raíces y los brotes, la absorción de P total por planta, la concentración de N y la absorción de N total por planta. Sin embargo, el efecto sobre todas estas medidas de crecimiento y de nutrición varía dependiendo del tipo de especie de HMA.

*Acaulospora morrowiae* y *Acaulospora scrobiculata* han sido reportadas en un rango de pH entre 3.8 y 8.0 y se adaptan a diversos niveles de fertilidad, mientras que especies de *Glomus* se adaptan a casi cualquier tipo de suelo y condiciones edafoclimáticas (Sieverding, 1991).

## **6.8 PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN**

Debido a que el período de tiempo de las plántulas (tres meses) podría ser demasiado corto para registrar un porcentaje de colonización del sistema de las raíces significativo no se determinó. Hay que tener en cuenta que (Motta y Munévar, 2005) no reportaron una diferencia significativa en % de colonización entre las plantas inoculadas y no inoculadas luego de 570 días de ser inoculadas las plántulas. El % de colonización aumenta normalmente en el tiempo sigmoidalmente.

En ecosistemas naturales por ejemplo, la temporada estacional cálida o fría influye en la esporulación de las especies de HMA causando que determinada especie sea fisiológicamente activa en una temporada estacional y no en la otra, donde otra especie va a ser fisiológicamente activa (Ringle, 2002)

## **6.9 REDUCCIÓN DEL TIEMPO**

Como no se observaron cambios o aumento en el crecimiento de las plántulas en vivero al ser inoculadas con las micorrizas arbusculares por consiguiente no hubo una reducción en su estadía en esta fase.

En estudios llevados a cabo en Malasia por (Zakaria, 2006) se obtuvo un aumento en el crecimiento de las plántulas de palma de aceite durante la fase de vivero al ser inoculadas con MYCOgold de tal manera que llegaron a la etapa adecuada para el trasplante 4 meses antes que el método convencional.

## **6.10 SUPERVIVENCIA DE LAS PLÁNTULAS**

No hubo diferencias significativas en la supervivencia de las plántulas inoculadas y las no inoculadas.

En otros estudios en Indonesia por parte de Schultz (2001), indicó que la aplicación de los hongos micorrizicos arbusculares podría considerablemente reducir las pérdidas en el vivero para palma de aceite. Schultz (2001) utilizó 12 especies de HMA aislados en un intento de mejorar la supervivencia de las plántulas de la palma de aceite micropropagadas al pasar de la fase in vitro a ex vitro.

Once aislamientos de HMA mejoraron significativamente la tasa de supervivencia (83-100%), ayudando a las plántulas a resistir el estrés ambiental inducidas en el trasplante de las condiciones in vitro a la fase de campo.

En contraste, sólo el 55% de las plantas de control las cuales no fueron inoculadas sobrevivió durante los 3 meses del período de experimentación.

A pesar de no existir diferencias estadísticas significativas para ninguna de las variables medidas en el presente ensayo las tendencias encontradas para algunas de ellas pueden dar un indicio de las respuestas que se pueden encontrar a futuro con estos tratamientos llevados a tiempos similares a los reportados por Motta y Munévar, (2005). Se puede intuir en primera instancia que para las condiciones del ensayo los mejores tratamientos pudieran ser los de micorrizas con fertilizante y en especial el de micorrizas con 40 gramos de fertilizante.

## **7. CONCLUSIONES**

El efecto de la inoculación de las micorrizas arbusculares sobre el crecimiento de las plántulas de palma de aceite no presentó ninguna respuesta en la etapa de previvero (90 días), que pudiera manifestarse estadísticamente.

Las plántulas de palma de aceite muestran con base en los resultados obtenidos para el presente ensayo, un efecto tardío luego de la inoculación con micorrizas y es posible que no presente dependencia micorrizal en sus primeras etapas y que más adelante comience a manifestar la dependencia.

Las tendencias encontradas para algunas variables medidas en el ensayo podrían indicar una posible respuesta de las plantas en períodos de tiempo más largos con los tratamientos que involucraron micorriza más fertilizante.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se debería continuar con las observaciones de este experimento luego de la fase de previvero, a vivero y luego a campo. Determinando no solo parámetros de crecimiento, sino dependencia micorrizal, porcentaje de colonización, absorción de nutrientes, morfología del sistema de raíces; así como evaluar cual es el tipo de género de hongo micorrizico arbusculares que se adapte mejor a dicha zona bajo los diferentes factores abióticos como es el pH, la humedad, tipo de suelo, temperatura, entre otros.

Además es importante comenzar a realizar pruebas en materiales híbridos de palma de aceite donde no se han realizado ensayos y se desconoce el efecto de los hongos micorrizicos arbusculares en ellos.

Se debe continuar evaluando los efectos de los HMA en la palma de aceite porque aún se desconoce el comportamiento y el papel que juegan ellos con la palma de aceite.

## BIBLIOGRAFIA

Abbott, L. K. and Robson, A. D. (1982). The role of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. Aust. J. Res. 33: 389-408.

Abdel-fattah, G. M. and Mankarious, A. T.(1997). Differential effects of fungicides on VAM fungal viability and efficiency. En: Journal of Union of Arab Biologists. Vol. 4: 237-262.

Allen, M. F., Smith, W.K., Moore, T.S. and Christensen, M. (1981). Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal *Bouteloua gracilis* H.B.K. *lag ex Steud.* New Phytologist 88: 683-693.

Azcón Aguilar C., J. Barea y B. Roldán. (1984). Avances recientes en el estudio de la micorriza V-A. II: factores que afectan su formación y función y aplicaciones prácticas en la agricultura. Anales de Edafología y Agrobiología XLIII, 943-958.

Azcón Aguilar C., J. Barea y J. Olivares. (1980). Effects of Rhizobium polysaccharides on VA mycorrhiza formation. Second International Symposium on Microbial Ecology, University of Warwick, Coventry. U.K. Abstr. Nº 187.

Azcón Aguilar, C y Barea J.M.. (1992). Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. In: Mycorrhizal Functioning. An integrative Plant-fungal Process, editado por M.F. Allen, Chapman & Hall, Nueva York. 163-198.

Azizah, H. (2004). Ganoderma versus micorrizas. Palmas, 4: 75-83.

Bahyajaraj, J.D. (1984). Biological interaction with Va mycorrhizal fungi. En: V.A. Mycorrhiza, editado por C.I. Powell & d.j. Bagyaraj, CRC Press Inc, Boca Raton, Florida, 131-154.

Barea, J.M. 1986. Importance of hormones and root exudates in mycorrhizal phenomena. In: Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae, editado por V. Gianinazzi-Pearson & Gianinazzi, INRA, 177-187.

Barea J.M. y Azcón Aguilar, C. (1982). La rizosfera. Interacciones microbio-planta. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 41:1517-1532.

Barea J.M. y Azcón Aguilar, C. (1983). Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. En: *Advances in Agronomy*. Vol 36, editado por N.C. Brandy, Academic Press, Nueva York, pp 1-53.

Barea, J.M. y P. Jeffries. 1995. Arbuscular mycorrhizal in sustainable soil-plant systems. En: Varma, A. y B. Hock (eds.). *Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer-Verlag, Berlin. 560.

Baylis G.T.S. (1970). Root hairs and phycomycetous mycorrhizas in phosphorus-deficient soil. *Plant and soil*, 33:713-716.

Baylis G.T.S. (1975). The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it. En: *Endomycorrhizas, Proceedings of a Symposium held at the University of Leeds*, editado por F.E. Sanders, B. Mosse & P.B. Tinker, Academic Press, Londres, pp 373-389.

Bethlenfalvay, G.J. (1992). Mycorrhiza and crop productivity. En: *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*, American Society of Agronomy, special publication N° 54, Madison WI, pp 1-27.

Blal, B., Morel, C., Gianinazzi-Pearson, V., Fardeau, J.C., Gianinazzi, S., 1990. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biology and Fertility of Soils* 9, 43–48.

Blal, B., Gianinazzi-Pearson, V., (1990). Interest of endomycorrhizae for the production of micropropagated oil palm clones. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 29, 39–43.

Bolan, N.S., Robson, A.D., Barrow, N.J., (1984). Increasing phosphorus supply can increase the infection of plant roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 16 : 419–420.

Bürker, B y Robson A.1994. <sup>65</sup>Zn uptake in subterranean clover (*Trifolium*

subterraneum L.) by three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a root-free sandy soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 26 :1117-1124.

Cooper, K.M. (1984). Physiology of VA mycorrhizal associations. En: V.A. Mycorrhiza, editado po C.I. Powell & d.j. Bagyaraj, CRC Press Inc, Boca Ratòn, Florida, pp.155-203.

Corley , R. H. V. y Tinker, Peter. (2003). The oil palm. Chapter 11: Mineral Nutrition of Oil palm. 4ta ed. Iowa USA: Blackwell Science, 327-360.

Corner, E.J.H., (1966). The Natural History of Palms. Weidenfeld & Nicolson, London.

Chu, Elizabeth Y. (1997). Influência dos fungos micorrízicos arbusculares e níveis de adubação do no crescimento inicial de mudas de Dendê. Embrapa. Boletim de Pesquisa, 176: 1-20.

Dhene, H.W. 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *Phytophatology*,72: 1115-1119.

Gianinazzi, S.; Gianinazzi-Pearson, V.; Trouvelot, A. (1990): "Role and use of mycorrhizas in horticultural crop production. 23rd I.H.C. Plenary Lectures." *Intern. Soc. For Hort. Sci.*, 25-30.

Gianinazzi, S., Schu" epp, H., Barea, J.M., Haselwandter, K., (2002). *Mycorrhizal Technology in Agriculture: From Genes to Bioproducts*. Birkha" user, Basel, 296 pp.

Guerrero, E., C. Azcon, J. Barea, B. Moyersen, C. Orozco, C. Cano, D. Mejía, J. Mayer, C. Rivillas y Rivera, E. 1996. Micorriza: fundamentos biológicos y estado del arte. En: Guerrero, E. (ed.). *Micorrizas: recurso biológico del suelo*. Fondo FEN Colombia, Bogotá. 208 p.

Guerrero, E., C. Azcon, J. Barea, B. Moyersen, C. Orozco, C. Cano, D. Mejía, J. Mayer, C. Rivillas y Rivera, E. (1996). Interacciones de las micorrizas Arbusculares con microorganismos de la rizosfera. En: Guerrero, E. (ed.). *Micorrizas: recurso biológico del suelo*. Fondo FEN Colombia, Bogotá. 208 p

Hàbte, M. and Musoko, M. (1994). Changes in the vesicular-arbuscular mycorrhizal

dependency of *Albizia ferruginea* and *Enterolobium cyclocarpum* in response to soil phosphorus concentration. *Journal of Plant Nutrition*,17: 1769-1780.

Harley, J.L., Smith, S.E., (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London.

Hattingh, M.J., Gray, L. E. and Gerdenmann, J. W. 1973. Uptake and translocation of <sup>32</sup>P-labelled phosphate to onion roots by endomycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 116, 383-387.

Jeffries, P., Barea, J.M., (2000). Arbuscular mycorrhiza—a key component of sustainable plant–soil ecosystems. In: Hock, B. (Ed.), *The Mycota, Volume IX. Fungal Associations*. Springer-Verlag, pp. 95–113.

Klironomos, John. (2003). Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84(9): 2292-2301.

Kjoller, R. and Rosendahl, S. (2000). Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: Differential responses in alkaline phosphatase activity of external and internal hyphae. *En: Biology and Fertility of Soils*. Vol. 31 .361-365.

Le Tacon, E. (1985). *Les Mycorrizes: une coopération entre plantes et champignons*. *La Recherche*,166 :624-632.

Li X-L, George, E. and Marschner, H. (1991). Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in calcareous soil. *Plant and Soil*. 136: 41-48.

Lovato, P.E., Gianinazzi-Pearson, V., Trouvelot A., Gianinazzi, S. (1996). The state of art of mycorrhizas and micropropagation. *Advanced Horticulture Science* 10: 46-52.

Malagòn, D. et al. (1995). *Suelos de Colombia*. Santafé de Bogotá: IGAC. 632 p.

Marks, G.C. (1991). Causal Morphology and evolution of mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*,35:89 -104.

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

Motta , D.y Munévar, F. (2005). Respuesta de plántulas de palma de aceite a la micorrización. *Palmas*, 26(3): 11-20.

Munévar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *Palmas* ,19. Número especial: 218-228.

Nadarajah, P & Nawawi, A. (1993). Mycorrhizal status of epiphytes in Malaysian oil palm plantations. *Mycorrhiza* Vol 4: 21-25.

Nadarajah, P. (1980). Species of endogonaceae and mycorrhizal association of *Elaeis guineensis* and *Theobroma cacao*. In: Mikola, P. (Ed.), *Tropical Mycorrhiza Research*. Clarendon Press, Oxford, pp. 232–237.

Perrin, R. (1985). Peut-on compter sur les mycorrhizes pour lutter contre les maladies des plantes ligneuses ? *European Journal of forest Pathology*, 15: 372-379.

Perrin, R. (1990). Interactions between mycorrhizae and diseases caused by soilborne fungi. *Soil Use Management* 6: 189-195.

Phosri,C; Rodriguez,A ;Sanders,I. (2010). The Role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. En: *Agriculture, Ecosystem and Enviroment*.135 187-193.

Raja, P., Faridah, B., Kamal, M., 1999. Arbuscular mycorrhizal fungi as a possible biocontrol agent for Malaysian oil palm industry. In: *Biological Control in the Tropics: Towards Efficient Biodiversity and Bioresource Management for Effective Biological Control*, CABI, Wallingford, UK, p. 74–76.

Ringle , Anne y Beve R, James. (2002). Divergent phenologies may facilitate the coexistence of arbuscular mycorrhizal fungi in a North Carolina grassland. *American Journal of Botany*, 89(9): 1439-1446.

Salamanca C. R. y Silva. M. 1998. Las Micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los Agroecosistemas Tropicales. Programa regional de Métodos de transferencia de Tecnología. *Boletín Técnico* N° 12. p 1-27.

Sánchez, Marina. (1999). Endomicorrizas en agroecosistemas Colombianos. 1ra ed. Palmira Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1-227.

Sanders, F.E. and Sheik, N.A. (1983). The development of vesicular arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. *Plant and Soil* 71: 223-246

Schultz, C. (2001). Effect of (vesicular-) Arbuscular Mycorrhiza on Survival and Post Vitro Development of Micropropagated Oil Palms (*Elaeis guineensis* Jacq.) <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2002/schultz/schultz.pdf> (accessed 4 January, 2009).

Sieverding , Ewald. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn, Germany: GT Z, 371.

Siqueira J.O., Saggin O. J. (2001). Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. *Mycorrhiza*. 11:245-255.

Smith, S.E., Nicholas, D. J. D. and Smith, F. A. (1979). Effect of early mycorrhizal infection on nodulating and nitrogen fixation in *Trifolium subterraneum* L. *Aust. Plant J. Physiol.* 6: 305-316.

Smith , S.E. and Gianinazzi- Pearson V. (1988). Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann.Rev. Plant Physiol.Plant Mol. Biol.*, 39:221-244.

Widiastuti, H., Tahardi, J.S. (1993). Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth and nutrient uptake of micropropagated oil palm. *Menara Perkebunan* 61, 56–60.

Zakaria, A. (2006). Soil-enhancing technologies for improving crop productivity in Malaysia and considerations for their use. In: Proceedings of an International workshop on Sustained Management of the Soil–Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, Land Development Department, Bangkok 10900, Thailand (16–20 October), 1–14.