



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA SANTO DOMINGO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**AUTOR: MORENO RAMADÁN, SANTIAGO ALBERTO**

**TEMA: EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES SOBRE EL  
DESARROLLO Y ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA AFRICANA**

**(*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ETAPA DE VIVERO EN LA ZONA DE  
MOMPICHE PROVINCIA DE ESMERALDAS**

**DIECTOR: ING. GUSTAVO NUÑEZ, Mg. Sc.**

**CODIRECTOR: ING. PATRICIO JIMENEZ**

**SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS, MAYO 2014**

## CERTIFICACIÓN

Los suscritos, docentes de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Santo Domingo, certificamos que el trabajo titulado “EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES SOBRE EL DESARROLLO Y ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ETAPA DE VIVERO EN LA ZONA DE MOMPICHE PROVINCIA DE ESMERALDAS”, realizado por el egresado SANTIAGO ALBERTO MORENO RAMADÁN, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes.

Santo Domingo, Mayo 2014

.....  
Ing. Gustavo Nuñez, Mg.Sc  
DIRECTOR

.....  
Ing. Patricio Jiménez  
CODIRECTOR

## **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

SANTIAGO ALBERTO MORENO RAMADÁN

### **Declaro que:**

El proyecto de grado denominado “EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES SOBRE EL DESARROLLO Y ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ETAPA DE VIVERO EN LA ZONA DE MOMPICHE PROVINCIA DE ESMERALDAS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en los párrafos correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Santo Domingo, 05 de mayo del 2014

---

**SANTIAGO ALBERTO MORENO RAMADÁN**

## AUTORIZACIÓN

Yo, SANTIAGO ALBERTO MORENO RAMADÁN

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES SOBRE EL DESARROLLO Y ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA AFRICANA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ETAPA DE VIVERO EN LA ZONA DE MOMPICHE PROVINCIA DE ESMERALDAS", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Santo Domingo, 05 de mayo del 2014

---

Santiago Alberto Moreno Ramadán

## **DEDICATORIA**

A mi buen amigo Maximino J. que a pesar de su discapacidad no deja de ser un ejemplo de vida inspirando a todos quienes trabajamos con él.

## **AGRADECIMIENTO**

A todas aquellas personas que me motivaron para lograr mi objetivo, en los que se destacan mis padres con su apoyo incondicional, a los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE carrera de Ingeniería Agropecuaria Santo Domingo que supieron guiarme en especial a los ingenieros Gustavo Núñez, Patricio Jiménez y Vinicio Uday. Al señor Pablo Rosales por brindarme todas las facilidades para desarrollar la fase de campo juntamente con todos los trabajadores de la hacienda Atenea, a la comunidad de Mompiche por su hospitalidad y a Mirian con su familia por resaltar el amor de trabajar en el campo.

## INDICE DE CONTENIDOS

I.INTRODUCCIÓN -----	1
II.REVISIÓN DE LITERATURA -----	4
2.1.ASPECTOS GENERALES DE LAS MICORRIZAS	
ARBUSCULARES (MA) -----	4
2.2.CLASIFICACIÓN DE MICORRIZAS -----	5
2.2.1.Ectomicorrizas-----	6
2.2.2.Endomicorrizas -----	7
2.2.3.Endomicorrizas ericoides -----	7
2.2.4.Endomicorriza arbuscular (M.A) -----	8
2.2.5.Ecto-endomicorrizas -----	8
2.3.MORFOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA SIMBIOSIS PLANTA – MICORRIZAS -----	8
2.4.BENEFICIOS Y MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR -----	11
2.5.APLICACIÓN DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA) EN LA AGRICULTURA-----	13
2.6.FACTORES ECOLÓGICOS RELACIONADOS A LA MICORRIZACIÓN---	15
2.7.CÓMO SE PRODUCE LA COLONIZACIÓN DE MICORRIZAS ARBSCULARES-----	16

2.8.PROCESO BIOTECNOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE HMA	17
2.9.ACCIÓN DE MICORRIZAS A NIVEL DE VIVERO-----	18
III.MATERIALES Y MÉTODOS-----	20
3.1.CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL-----	20
3.1.1.Ubicación Política y Geográfica -----	20
3.1.2.Características Agroclimáticas -----	21
3.2.MATERIALES -----	21
3.2.1.Materiales de campo-----	21
3.2.2.Materiales de laboratorio-----	22
3.3.METODOLOGÍA -----	22
3.3.1.Identificación de HMA nativa-----	22
3.3.1.1. Potencial micorrízico en plantación de palma africana-----	22
3.3.1.2. Potencial micorrízico en plantación con remanente de bosque secundario	23
3.3.1.3. Potencial micorrízico en bosque nativo	23
3.3.2.Multiplicación de HMA nativa-----	23
3.3.3.Inoculación de HMA -----	24
3.3.4.Factores en estudio-----	25
3.3.4.1. Consorcio micorrízico (M) -----	25
3.3.4.2. Esterilidad del sustrato-----	26
3.3.5.Tratamientos-----	26
3.3.6.Análisis Estadístico -----	27



3.3.6.1 Diseño experimental-----	27
3.3.7.Características de las Unidades Experimentales-----	28
3.3.8.Análisis Funcional -----	29
3.3.9.Análisis Económico-----	29
3.3.10.Análisis de potencial micorrízico en plantas trampa -----	29
3.3.11.Análisis de potencial micorrízico en producto comercial-----	30
3.3.12.Análisis químico de sustrato para la siembra -----	30
3.4.VARIABLES A MEDIR Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN -----	31
3.4.1.Diámetro del Estipe-----	31
3.4.2.Altura de Planta -----	31
3.4.3.Diámetro de Corona Foliar -----	32
3.4.4.Análisis Foliar	32
3.4.5.Porcentaje de Colonización Endomicorrízica-----	33
3.4.6.Manejo General del Experimento-----	33
3.4.6.1. Material de siembra-----	33
3.4.6.2. Ubicación-----	33
3.4.6.3. Llenado de fundas-----	34
3.4.6.4. Trasplante e inoculación de HMA-----	34
3.4.6.5. Riego-----	34
3.4.6.6. Deshierbas-----	35
3.4.6.7. Fertilización-----	35
3.4.5.8. Control fitosanitario-----	35
3.4.5.8.1. Control fúngico-----	36

3.4.5.8.2. Control insectos-----	36
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	37
4.1.ANÁLISIS PREVIOS -----	37
4.1.1.Análisis de diferentes sustratos para masificación de HMA-----	37
4.1.2.Análisis de potencial micorrízico del sustrato masificado con HMA antes y después de someter a estrés-----	38
4.1.3.Análisis de potencial micorrízico en sustrato comercial -----	39
4.2.ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUSTRATO PARA LA SIEMBRA DE PALMA AFRICANA. -----	40
4.3.VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LA PALMA AFRICANA -----	41
4.3.1.Diámetro de estipe -----	41
4.3.2.Altura de la planta-----	46
4.3.3.Diámetro de corona -----	49
4.3.4.Porcentaje de colonización micorrízico-----	53
4.3.5.Análisis foliar	55
4.4.EVALUACIÓN ECONÓMICA -----	56
V. CONCLUSIONES-----	59
VI. RECOMENDACIONES-----	60
VII.BIBLIOGRAFÍA-----	61
VIII.ANEXOS-----	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. Clasificación de hongos micorrízicos arbusculares.....	6
Cuadro 2. Cantidad de inóculo por tratamiento .....	26
Cuadro 3. Tratamientos evaluados para determinar la eficiencia de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en etapa de vivero en la zona de Mompiche provincia de Esmeraldas .....	27
Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza (ADEVA), para los factores en estudio .....	28
Cuadro 5. Dosis de fertilizante aplicado trimestralmente a plantas de palma africana en etapa de vivero.....	35
Cuadro 6. Resultados del análisis de diferentes sustratos para masificación de HMA.....	38
Cuadro 7. Análisis químico de sustrato utilizado para la siembra de palma africana en fase de vivero.....	40
Cuadro 8. Cuadrados medios y nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrízicos sobre el diámetro del estipe de la palma africana en la fase de vivero. ....	42
Cuadro 9. Separación de medias del diámetro de estipe por efecto del factor B (esterilidad del suelo). ....	44
Cuadro 10 . Cuadrados medios y el nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrízicos sobre la altura de la planta de palma africana en la fase de vivero. ....	47

Cuadro 11. Cuadrados medios y el nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrízicos sobre diámetro de corona de la planta de palma africana en fase de vivero. ....	50
Cuadro 12. Cuadrados medios y el nivel de significancia de acuerdo a Tukey ( $P < 0,05$ ), para medir el efecto de diferentes consorcios de micorrizas arbusculares . ....	54
Cuadro 13. Evaluación económica para aplicación de micorrizas en vivero de palma africana.....	58

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis del área de investigación .....	20
Figura 2. Medición diámetro estipe .....	31
Figura 3. Medición altura de planta .....	32
Figura 4. Medición diámetro corona foliar .....	32
Figura 5. Resultados de los análisis realizados durante la etapa de masificación.....	39
Figura 6. Efecto de los diferentes tipos de micorrizas sobre diámetro de estipe en planta de palma Africana a los 180, 240 y 300 días en fase de vivero.....	43
Figura 7. Regresión del diámetro del estipe de la palma africana, en función de los días posteriores a la siembra en fase de vivero.....	45
Figura 8. Separación de medias de los contrastes de palma africana, en función de los tipos de micorrizas aplicados en el vivero. ....	45
Figura 9. Efecto de los diferentes tipos de micorrizas sobre altura de la planta de palma africana a los 180, 240 y 300días en fase de vivero.. ....	47
Figura 10. Comparaciones ortogonales entre el tratamientos m0 versus m1, m2, m3 en altura de palma africana en fase de vivero a los 180, 240 y 300 días después de la siembra. ....	49
Figura 11. Efecto de los diferentes complejos micorrizicos sobre el diámetro de la corona de palma africana a los 300 días. ....	51
Figura 12. Efecto de las comparaciones ortogonales sobre el diámetro de corona de palma africana en fase de vivero a los 300 días después de la siembra. ....	52
Figura 13. Regresión del diámetro de la corona a los 300 días posteriores a la siembra de palma africana en fase de vivero.....	53

Figura 14. Comportamiento del porcentaje de colonización micorrízico por efecto de tipo de sustrato (factor B) en palma africana fase de vivero. ....55

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en etapa de vivero. El estudio se lo realizó en la provincia de Esmeraldas, cantón Muisne, recinto Mompiche con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), en arreglo combinatorio 4x2, con cuatro repeticiones. Para la evaluación se escogieron tres consorcios micorrízicos que fueron inoculados durante la siembra de las semillas pre-germinadas de palma africana variedad Tenera, más un grupo testigo en el cual no hubo inoculación. El primer consorcio micorrízico fue el resultado de la propagación de micorrizas nativas previo a la siembra, el segundo fue el mismo consorcio pero sin haberlo propagado aplicándolo directamente y el tercero fue un producto comercial. La aplicación de todos los consorcios micorrízicos fue en una dosis de 600 esporas por planta. También se analizó el efecto de la esterilización del sustrato, para lo cual se probó a cada uno de los consorcios más el testigo en sustrato esterilizado y sin esterilizar. El mejor resultado de micorrizas nativas en cuanto a la altura de planta, diámetros de estipe y corona, fue con la aplicación directa del consorcio micorrízico sin propagar con sustrato esterilizado. La relación costo beneficio es mayor al no esterilizar el sustrato. Concluyendo que el uso de micorrizas nativas en vivero de palma africana es favorable para el desarrollo y estado nutricional de dichas plantas en la zona de Mompiche.

**Palabras clave:** Palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.), micorrizas arbusculares, consorcios micorrízicos, semillas pre-germinadas, inocular.

## SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizae on development and nutritional status of the African palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) during nursery stage. The study was conducted in the province of Esmeraldas, canton Muisne, in the town of Mompiche using a completely randomized design in blocks (DBCA), in combinatorial arrangement 4x2, with four repetitions. To evaluate mycorrhizal fungus three consortiums were selected that were inoculated at sowing of pre-germinated seeds of African palm using Tenera variety, plus a control group in which there was no inoculation. The first was the result of native mycorrhizal previously grown before sowing, the second was the same but without spreading consortium applying it directly and the third was a commercial product. All of the mycorrhizal consortia had a dose of 600 spores per plant. We also analyzed the effect of sterilized and unsterilized of the substrate, which was tested for each of the consortia including the control group. The best result of native mycorrhizal in terms of plant height, crown diameter and stipe was the direct application without previously growing mycorrhizal consortium with sterilized substrate. The cost benefit is greater using not sterilized substrate. Concluding that the use of native mycorrhizal during nursery stage in African palm is conducive to development and nutritional status of these plants in Mompiche.

**Keywords:** Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.), Arbuscular mycorrhizae, mycorrhizal consortium, pre-germinated seeds, inoculate.



“EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES SOBRE EL  
DESARROLLO Y ESTADO NUTRICIONAL DE LA PALMA AFRICANA  
(*Elaeis guineensis* Jacq.) EN ETAPA DE VIVERO EN LA ZONA DE MOMPICHE  
PROVINCIA DE ESMERALDAS.”

## I. INTRODUCCIÓN

La mayor cantidad de producción de aceites y grasas a nivel mundial ocupa el aceite de palma con cerca de 50 millones de toneladas métricas en el año 2012. La producción nacional de aceite crudo de palma para este mismo año fue de 480 000 toneladas métricas, de las cuales 210 000 fueron para el consumo local y 270 000 restantes constituyeron el excedente exportable (FEDEPAL, 2012).

A pesar de la gran importancia que tiene el cultivo de palma aceitera para el Ecuador los rendimientos son bajos, se estima un promedio de  $2,2 \text{ Tm}^{-1}/\text{ha}^{-1}$  de aceite (FEDEPAL, 2012). Entre las causas está el mal manejo de suelos y presencia de plagas como insectos y hongos (Morales y Bernal, 2006).

Actualmente la agricultura sustentable precisa el uso racional de los recursos naturales renovables y uno de sus lineamientos ya puestos en marcha es el estudio de los microorganismos del suelo desde el punto de vista ecológico, genético, bioquímico y fisiológico, en relación con la nutrición y protección de plantas de

palma africana y el suelo, con el mínimo deterioro del medio ambiente (Duchicela y Gonzales, 2003).

En este contexto resalta una de la simbiosis mutualista rizosférica más difundida llamada micorriza, la cual es considerada universal no solo porque el 90% de las especies vegetales la forman, sino también por su presencia en casi todos los ecosistemas y climas (Smith y Read, 1997). Mediante varios mecanismos como desarrollo de un micelio externo que la conecta con los micro hábitats del suelo le permite realizar actividades de ciclado de nutrientes, de baja movilidad especialmente el fósforo (P), protección frente a estrés bióticos y abióticos, formación de agregados del suelo, producción de enzimas, estimulación en la producción de fitohormonas, reguladores de la sucesión vegetal, entre otros (Duchicela y Gonzáles, 2003).

La fertilización mineral en el cultivo de palma africana se hace de acuerdo a un análisis de suelo y se lo inicia cumplido el primer mes, tiempo en el que la plántula se nutre de las reservas de la semilla (Borrero, 2005). Los hongos arbusculares tienen efecto en la absorción de nutrientes de baja movilidad, especialmente del fósforo. Por medio de las hifas externas y profusamente ramificadas se incrementa el número de sitios de absorción de fósforo, zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (Bo) (Duchicela y Gonzáles-Chávez, 2003). A la vez las hifas pueden producir y liberar compuestos orgánicos como citrato y oxalato y enzimas como las fosfatasas incrementando la disponibilidad y utilización del P significativamente de 2 a 10 veces (Bolan *et al.*, 1987).

En los últimos años se ha dado un considerable aumento en la extensión de palma africana en la provincia de Esmeraldas generando diversas fuentes de trabajo al igual que un impacto socio ambiental (Buitrón, 2000).Tibanlombo en el año 2008, menciona que el Ministro de Agricultura de aquel entonces Carlos Vallejo destinó \$890 000 000 al plan nacional agropecuario en donde uno de sus objetivos fue sumar 100 000 hectáreas de palma y cacao.

Por lo expuesto anteriormente nace la necesidad de realizar la presente investigación, bajo la directriz del siguiente objetivo general:

- Evaluar el efecto de las micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en etapa de vivero.

Los objetivos específicos fueron:

- Evaluar el efecto de micorrizas arbusculares sobre las variables de crecimiento: diámetro del tallo, altura de la planta, diámetro de la corona foliar e índice de vigor.
- Evaluar el efecto de micorrizas arbusculares sobre el estado nutricional de la palma africana mediante un análisis foliar.
- Determinar el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares en cada uno de los tratamientos.
- Realizar el análisis económico utilizando la metodología de Perrín *et al.* (1976)

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ASPECTOS GENERALES DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA)

La palabra micorriza, de origen griego, define la simbiosis entre un hongo (*mycos*) y las raíces (*rhizos*) de una planta. Como en otras relaciones simbióticas, ambos participantes obtienen beneficios. En este caso la planta recibe del hongo principalmente nutrientes, minerales y agua, y el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que él por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que ella lo puede hacer gracias a la fotosíntesis y otras reacciones internas, es decir micorrizas son las asociaciones simbióticas mutualistas existentes entre los hongos del suelo y raíces de plantas superiores (Harrison, 2005).

Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales. Se estima que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo. (Hernández, 2004). Las micorrizas se han encontrado desde los polos hasta las selvas tropicales y desiertos; eso confirma que su presencia es regla y no excepción (Sieverding *et al.*, 1984).

En cuanto a las estructuras formadas, al tipo de colonización y a la cantidad de especies vegetales y fúngicas implicadas, se puede decir que las micorrizas

arbusculares son las de mayor importancia y las que más ampliamente se encuentran distribuidas tanto a nivel geográfico como dentro del Reino Vegetal. Este tipo de micorriza se encuentra en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico (Hernández, 2004).

## **2.2. CLASIFICACIÓN DE MICORRIZAS**

Según Duchicela y Gonzáles (2003) se registran seis grupos principales de micorrizas, designándose dos categorías básicas: 1) La característica de la primera categoría es que la superficie de la raíz es cubierta o envuelta en un manto fúngico, 2) en esta categoría existe ausencia de manto, donde las hifas proliferan internamente.

Dentro del primer grupo se encuentran: la micorriza monotrofoide, arbutoide y la ectomicorriza. En el segundo grupo se ubican la micorriza orquideoide, ericoide y la arbuscular. En términos amplios se conoce la posición taxonómica de los hongos y el patrón de distribución entre las familias y especies de plantas que forman un tipo específico de simbiosis. Existe una tercera categoría citada por De La Vega. (2006), a la cual se la llama Ectoendomicorrizas y cumple con características tanto de ectomicorrizas como de endomicorrizas, al colonizar tanto externamente formando un manto cortical como internamente penetrando intracelularmente en el cortex.

Debido a la dificultad de propagar a los hongos arbusculares bajo condiciones *in vitro* ha sido difícil estudiar con claridad la taxonomía de la micorriza arbuscular.

La clasificación ha sido tema de debate durante años pero gracias a técnicas moleculares Shubler *et al.*, (2001), y Duchicela y Gonzáles (2003), consideran el análisis del fragmento 18S de ARN, como también características morfológicas y ecológicas (cuadro 1) ubicando a los hongos arbusculares en el Phylum *Glomeromycota*.

Cuadro 1. Clasificación de hongos micorrízicosarbusculares.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Glomeromycota	Glomeromycetes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>
		Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>
		Archaeosporales	Archaeosporaceae	<i>Archeospora</i>
		Diversisporales	Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
			Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
			<i>Entrophospora</i>	
			Diversisporaceae	<i>Glomusspurcum</i> <i>G. etunicatum</i> <i>G. versiforme</i>
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i> <i>Scutellospora</i>	

Fuente: Schubler *et al.* (2001)

### 2.2.1. Ectomicorrizas

La característica de este tipo de micorriza es la formación de un manto, el cual está formado por hifas que envuelven los segmentos de raíces colonizadas entretejiéndose alrededor de ellos. De este manto se desprenden hifas que colonizan el medio y cordones hifales denominados rizomorfos. El micelio penetra entre las células corticales de la raíz formando una red de hifas a la cual se la denomina red de Harting (De La Vega, 2006).

Existe una gran diversidad de hongos asociados dentro de los cuales se reconocen alrededor de 5 000 especies, la mayoría perteneciente a las subdivisiones basidiomicetos y ascomiceta; entre los zigomicetos se identifica el género *Endogone* y entre los deuteromicetos el *Cenococcum*. En cuanto a las plantas hospederas predominan las gimnospermas y algunas angiospermas (Duchicela *et al.*, 2003).

### **2.2.2. Endomicorrizas**

Se caracterizan por la penetración a niveles inter e intracelulares, ausencia de manto. Dentro de este grupo podemos apreciar algunas formas muy específicas como son las correspondientes a las orquídeas, ericoides y la más extendida de todas la micorriza arbuscular (Duchicela *et al.*, 2003).

### **2.2.3. Endomicorrizas ericoides**

Se la encuentra comúnmente en arbustos y árboles pequeños que proliferan en suelos ácidos y turbosos, caracterizados por altos contenidos de compuestos polifenólicos y materia orgánica, muy pobres en nitrógeno y fósforo. Se las halla generalmente plantas de la familia Ericáceae (Duchicela *et al.*, 2003).

#### **2.2.4. Endomicorriza arbuscular (M.A)**

Se caracterizan por formar arbuscúlos intracelulares y para destacar su importancia se puede comentar que la mayoría de las plantas existentes se encuentran micorrizadas, y de éstas, aproximadamente el 95% corresponden a las micorrizas arbusculares (Harrison, 2005).

#### **2.2.5. Ecto-endomicorrizas**

En este tipo de micorriza concurren las características de las ectomicorrizas al tiempo que hay penetración al interior de las células corticales por hifas septadas, estos hongos se encuentran con coníferas principalmente ericales, por su especificidad se identifica que participan en la conservación de ecosistemas naturales. La importancia de esta micorriza se ha debido a que se la ha encontrado en ecosistemas naturales en herbáceas y especies maderables. A pesar de que presentan características de las ectomicorrizas se diferencian en que las hifas penetran al interior de las células corticales al igual que las endomicorrizas (Harrison, 2005).

### **2.3. MORFOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA SIMBIOSIS PLANTA - MICORRIZAS**

Las micorrizas arbusculares, para su colonización se extiende por la epidermis y el parénquima cortical, sin penetrar en la endodermis ni en los tejidos vasculares y meristemáticos; estableciendo de esta manera una clara diferencia con



las infecciones radicales de hongos patógenos los cuales sí penetran en los meristemos y haces conductores (Hernández, 2004).

El establecimiento de la simbiosis dependerá de las interacciones entre los tres componentes del sistema: hongo, planta y condiciones ambientales. Esto implica procesos de reconocimientos planta-hongo de micorriza arbuscular (HMA), compatibilidad y especificidad, los cuales condicionan su expresión y conducen a la integración morfológica y funcional de los asociados. Una raíz puede ser colonizada por varias especies de hongos y un mismo hongo puede colonizar en forma simultánea raíces de especies vegetales que crecen en proximidad (Sieverding *et al.*, 1984)

El proceso de simbiosis empieza con la germinación de las esporas de resistencia en el suelo, cuando las condiciones ambientales de temperatura y humedad son favorables. Después de la emisión de tubos germinativos, el micelio del hongo crece hasta encontrar una raíz hospedadora, donde forma entonces una estructura similar a un apresorio, penetrando entre las células epidérmicas o a través de los pelos radicales. Luego de la penetración comienza la colonización del tejido parenquimático de la raíz. En la capa interna de este tejido se forman los arbusculos, producidos por una ramificación masiva de la hifa después de penetrar la pared celular (Hernández, 2004).

En estudios ultracelulares se ha establecido que el plasmalema de la célula vegetal no es perforado por el hongo, sino que esa membrana se invagina alrededor de él, formando una zona de interfase que rodea la hifa interna; esta matriz interfacial la produce la planta colonizada y se ha sugerido que en ella ocurre transferencia inicial de nutrientes, mientras se establecen los arbuscúlos (Sieverding *et al.*, 1984).

La vida de los arbuscúlos es muy corta, inferior a 15 días. Las vesículas, que son consideradas órganos de reserva principalmente de lípidos, se forman generalmente en los extremos de las hifas del hongo y pueden producirse a lo largo de todo el parénquima cortical colonizado; suelen aparecer más tarde que los arbuscúlos. La colonización del hongo también puede extenderse mediante hifas exteriores (runners) por la superficie de la raíz y penetrar en ésta a intervalos irregulares (Hernández, 2004).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares producen normalmente esporas a partir del micelio externo, y también en algunos casos las forman en el interior de la raíz a partir de micelio interno. A partir del micelio externo del hongo se pueden formar células auxiliares aisladas o agrupadas, cuya función no se ha determinado totalmente y grandes esporas de resistencia de paredes gruesas, las cuales pueden sobrevivir por años y cuya germinación inicia un nuevo ciclo de la simbiosis, mientras que las hifas del hongo se colapsan tras una permanencia en suelo de dos a cuatro semanas si no encuentran una raíz hospedadora (Azcon *et al.*, 1980)

## **2.4. BENEFICIOS Y MECANISMOS DE ACCIÓN DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR**

Al existir en las hifas de las micorrizas un crecimiento, aumenta el volumen de suelo explorado para asimilación de agua y nutrientes. Por ende hay un incremento de la absorción de agua y de nutrientes de baja movilidad (sobre todo P, pero también Zn y Cu) por parte del hospedero (Duchicela *et al.*, 2003). Como se indicó anteriormente el fósforo interviene en la biogénesis de glúcidos, biosíntesis de lípidos, síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides, glucólisis y metabolismo de ácidos orgánicos y finalmente en la síntesis proteica. El zinc se encuentra mayormente en la formación y funcionamiento de diversos sistemas enzimáticos, y por último las funciones del cobre que están asociadas con un gran número de enzimas, ya sea como activador o formando parte de ellos como grupo prostético. Su capacidad de experimentar reducción reversible le permite intervenir en gran variedad de procesos redox (Navarro, 2000).

Duchicela y Gonzáles (2003) enunciaron que, con la producción de enzimas y ácidos se produce una mineralización y solubilización de nutrientes. A pesar de que no hay pruebas contundentes de que los hongos arbusculares sean hongos descomponedores, pero si existe evidencia de la capacidad que tienen de colonizar materia orgánica y de transportar nutrientes desde sistemas radicales muertos hacia sistemas radicales vivos. Se han reportado estructura similares a las que forman los hongos arbusculares en tejido foliar en descomposición. También se han encontrado esporas de hongos arbusculares, como componentes de la carga microbiana en

humus de lombriz (vermicomposta), provenientes de la descomposición de gramíneas y excremento bovino.

El estrés en la planta conlleva a bajos niveles de etileno en la misma, lo cual parece inhibir temporalmente el crecimiento de las raíces, pero al mismo tiempo se promueve la actividad del hongo micorrízico en la rizósfera, con lo que se minimiza el efecto estresante sobre la planta (Hernández, 2008). La consecuencia de la acción del hongo es una alteración positiva del equilibrio hormonal de la planta que favorece su estado fisiológico y nutricional gracias a la producción de fitohormonas (Duchicela *et al.*, 2003).

Con la formación de puentes hifales entre diferentes plantas, las plantas no leguminosas se benefician de la asociación con leguminosas y en consecuencia de la fijación biológica de N<sub>2</sub>, de igual manera las plántulas jóvenes se benefician de la asimilación de nutrientes con la asociación con plantas adultas. La captación de agua también puede ser aumentada por las micorrizas, las hifas externas del hongo tienen capacidad para captar agua más lejos de la zona de deficiencia que normalmente rodea la raíz, por lo tanto mejoran las relaciones hídricas e incrementan la eficiencia de fertilización (Gianinazzi *et al.*, 1999).

En cuanto al sinergismo con otros microorganismos, se sabe que es muy amplio y poco estudiado, sin embargo se conoce que fomenta la mineralización de materia orgánica en la rizósfera. Con microorganismos solubilizadores de fosfatos (*Bacillus*, *Pseudomonas*) y bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>, mejoran el reciclaje de P y N,

utilización de fosfatos minerales, y presumiblemente, orgánicos como fuente alternativa de P. Existe también una interacción con bacterias productoras de fitohormonas, con agentes de control biológico para incremento de resistencia a patógenos. Finalmente hay una asociación con microorganismos relacionados con la formación de agregados estables, para mejorar la calidad del suelo (Duchicela y Gonzáles, 2003).

La captación de otros nutrientes puede también ser afectada por las micorrizas. Se encuentran diferencias en la concentración de N, K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn, Cu, B, Zn y Al en plantas micorrizadas y en no micorrizadas. Un experimento con durazneros alimentados con una solución nutritiva que contenía N, P, K, Ca, Mg, B, y Fe EDTA, crecieron muy poco y mostraron severas deficiencias de Zn. En soya también se realizaron mediciones del tiempo de recuperación, luego de una marchitez por falta de agua, descubriéndose que plantas micorrizadas se recuperaron más rápido (Mosse, 1973).

## **2.5. APLICACIÓN DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA) EN LA AGRICULTURA**

Estudios demuestran que la inoculación artificial con hongos MA a especies de interés agrícola, incrementa la nutrición y el crecimiento de la planta y le permite a su vez superar situaciones de estrés biótico y abiótico (Hernández, 2008). Mientras que Muchovej (2001) manifiesta que también ayudan a las plantas a soportar condiciones de sequía y adaptarse de mejor manera en suelos que contienen elevadas

concentraciones de metales pesados desintoxicando el sustrato en donde se encuentra la planta.

Los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízico resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de hongos MA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo. La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces (Hernández, 2008).

La simbiosis de endomicorriza arbuscular debe ser considerada como un elemento esencial para promover la productividad en los cultivos de importancia económica. Beneficios máximos serán obtenidos si se inocula con hongos micorrizógenos eficientes y si se hace una selección de combinaciones compatibles de hongo - planta - suelo. En general, cuanto más temprano se establezca la simbiosis, mayor el beneficio (Azcón y Barea, 1997).

Los beneficios económicos se derivan de una producción uniforme obteniendo plantas robustas y con mayores posibilidades de tolerar adversidades de carácter abiótico durante la fase de vivero y al trasplante (ANCUPA, 2011).

## 2.6. FACTORES ECOLÓGICOS RELACIONADOS A LA MICORRIZACIÓN

La infección micorrízica depende de condiciones que determinan las características de los hospederos y del suelo, en particular el potencial fotosintético del hospedero y la fertilidad, condiciones físicas, contenido de agua y cantidad y calidad del humus presente en el suelo (Hermard *et al.*, 2002). Entre los factores condicionantes se pueden mencionar:

- Luz: Al aumentar la intensidad luminosa el aumento de micorrizas es proporcional al número de raíces cortas posiblemente por un aumento en la disponibilidad de nutrientes, principalmente carbohidratos libres en las raíces.
- Temperatura: Tiene una acción directa sobre el porcentaje de crecimiento radical y sobre la producción de nuevas raíces. Las temperaturas óptimas para el crecimiento de las micorrizas varía entre 17 y 27 °C para la mayoría de estos hongos, como por ejemplo *Lactarius*, *Amanitas*, y algunos *Boletus*, que tienen un óptimo térmico superior a los 20 °C.
- Agua y Aireación: Las formaciones micorrizicas están influenciadas por la humedad del suelo y por la aireación. Se presume que el crecimiento micelar decrece a una baja concentración de oxígeno debido a que la mayoría de estos hongos micorrízicos son aeróbicos. En efecto, la formación micorrízica se inhibe en suelos arcillosos debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación.

- **Suelos y Fertilidad:** Los bosques templados desarrollados en suelos oscuros, se componen por árboles formadores de ectomicorrizas. En estos suelos la presencia de raíces asociadas a micorrizas se detecta especialmente en el horizonte húmico. La cantidad y la calidad de humus, constituye el factor más importante en la formación de micorrizas, por lo tanto estas disminuyen con la profundidad. La pobreza relativa en sales minerales disponibles por otra parte determina la prevalencia de micorrizas en bosques. Cuando los nutrientes son abundantes en el suelo y el crecimiento de árboles es vigoroso la mayoría de los nuevos carbohidratos pueden ser utilizados para formar nuevos tejidos, siendo pobre su acumulación en las raíces. Al existir deficiencias de N, P y K disponibles, se impide la formación micorrízica y el crecimiento radicular, pero al existir una deficiencia moderada de uno de estos nutrientes la infección se lleva a cabo (Hermard *et al.*, 2002).

## **2.7. CÓMO SE PRODUCE LA COLONIZACIÓN DE MICORRIZAS ARBSCULARES**

En una primera instancia se produce una identificación mutua planta-hongo en la rizósfera, en regiones próximas a las raíces nutritivas; este reconocimiento parece mediado por sustancias exudadas por la raíz que provocan el crecimiento del micelio y un biotropismo positivo del mismo hacia la raíz. Luego se produce el contacto intercelular al formarse una estructura llamada apresorio. En tercer lugar se producen cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular del simbionte fúngico. Posteriormente se



produce la integración fisiológica de ambos simbioses, y por último se produce una alteración de las actividades enzimáticas, que se coordinan entre los simbioses para integrar sus procesos metabólicos (Gianinazzi-Pearson 1984; Azcón-Aguilar 1999 y Bago, 1994, citado por López y Barceló, 2001).

## **2.8. PROCESO BIOTECNOLÓGICO DE LA PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE HMA**

En la mayoría de sistemas de producción de plantas se ha acudido a la utilización de inoculante a base de esporas en el suelo y raíz, suelo-inóculo o raíces colonizadas por los HMA. Uno de los aspectos que deben ser considerados en los diferentes métodos de producción de inoculante micorrízico es la selección de la planta hospedante. Generalmente para obtener mayor cantidad de propágulos de HMA se ha acudido a utilizar gramíneas (Maíz, Sorgo) como plantas trampa ya que producen mayor cantidad de raíces las cuales son susceptibles de ser colonizadas y utilizar estos propágulos como fuente de inóculo de HMA. La combinación HMA-planta trampa es un factor determinante en la propagación de una cepa fúngica en especial. En este sentido se ha mencionado que existe cierto grado de especificidad de algunos hongos por determinado genotipo de un mismo género de la planta hospedante (Alarcón; Ferrera - Cerrato, 2003).

## 2.9. ACCIÓN DE MICORRIZAS A NIVEL DE VIVERO

Estudios realizados en vivero de palma africana sugieren que el lapso de tiempo requerido para el inicio de los beneficios potenciales otorgados por la simbiosis podría requerir de un periodo mayor a 8 meses después de la inoculación (Bravo, 2011). Observando diferencias significativas en las variables de número de hojas, altura y diámetro de estipe (Motta, 2005).

En cuanto a la asimilación de fósforo, Bravo (2011) atribuye a la acción de las micorrizas una mayor absorción de fósforo en aquellos tratamientos en los que la dosificación de dicho elemento fue la más baja obteniendo sin embargo la mayor altura.

Las aplicaciones excesivas de fósforo reducen la colonización y la población de esporas por el daño que se produce en el micelio, siendo el nutriente aplicado en bajas concentraciones aprovechado de mejor manera por la planta, permitiéndole mayor crecimiento (Bravo, 2011).

También se tiene experiencias positivas en investigaciones realizadas en vivero de palmito (*Bactris gasipaes* HBK) donde el mejoramiento de condiciones fenotípicas se atribuye a la inoculación con micorrizas arbusculares nativas de la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, mostrando su efecto a partir de los 60 días después de la inoculación (Paillacho, 2010)

Para que exista una óptima infección de las raíces de la planta de palma africana con los hongos micorrízicos, es indispensable tener un sustrato con buen contenido de materia orgánica y buena estructura, de manera que las condiciones sean adecuadas para el crecimiento de las raíces y del hongo (Bravo, 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL

##### 3.1.1. Ubicación Política y Geográfica

La investigación se realizó en la hacienda Atenea del Sr. Pablo Rosales, ubicada en la provincia de Esmeraldas cantón Muisne, recinto Mompiche, se encuentra a una altura de 3 msnm. cuyas coordenadas UTM, posición 17 Datum (WGS 84) son las siguientes: Longitud 56306    Latitud 608991

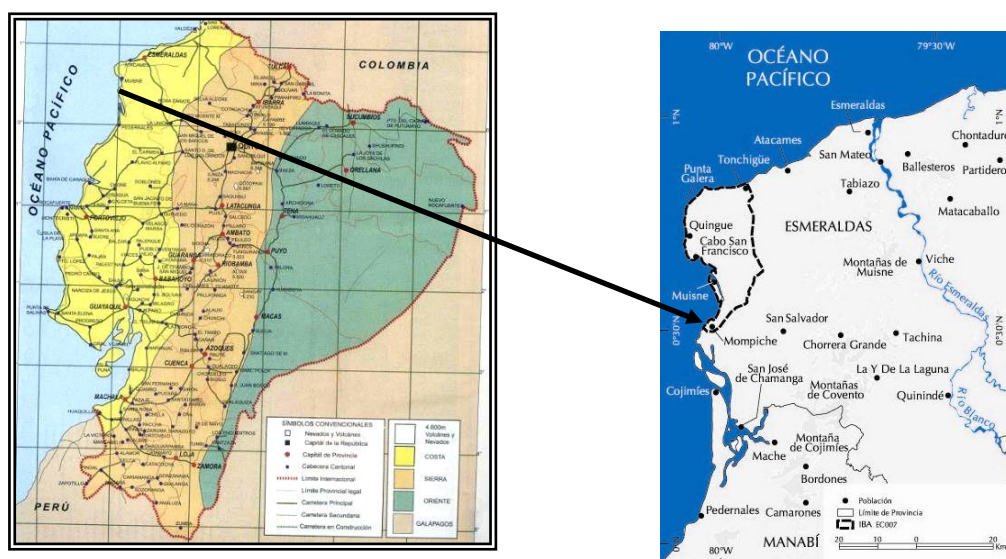


Figura 1. Croquis del área de investigación

### **3.1.2. Características Agroclimáticas**

Precipitación promedio anual:	4 000 mm
Temperatura promedio anual:	29 ° C
Heliofania media anual:	680 horas/luz/año
Zona Ecológica:	bmh-T (Holdridge, 1967)
Formación Natural:	Bosque Húmedo Siempre Verde de Tierras Bajas (Sierra, 1999)

## **3.2. MATERIALES**

### **3.2.1. Materiales de campo**

Semillas pre germinadas certificadas (INIAP), semillas de maíz, sustrato micorriza Fungifert, fundas de polietileno, tierra de bosque secundario, estufa, fertilizantes, baldes, flexómetro graduado en cm, calibrador en mm, balanza electrónica, bomba de mochila de 20 litros, productos fitosanitarios (PHOS-AL y Neem X), machete, piola, estacas, material de papelería, planos de plantación, tablero de apuntes, cámara fotográfica, libro de campo, rótulos de identificación, computadora.

### **3.2.2. Materiales de laboratorio**

Balanza electrónica, agua destilada, envases plásticos, vasos de precipitación, cajas Petri, hojas de bisturí, agua destilada, estéreo-microscopio, microscopio.

## **3.3. METODOLOGÍA**

### **3.3.1. Identificación de HMA nativa**

Para la identificación de micorrizas arbusculares nativas se extrajo muestras de suelo de tres lugares diferentes con el objetivo de realizar un análisis de potencial micorrízico donde se determinó la población de esporas en suelo y así poder escoger el más adecuado para la inoculación de los mismos. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de microbiología del CIPAL donde se utilizó el método de sedimentación y tamización en húmedo para identificar y cuantificar la población de esporas en el suelo.

#### **3.3.1.1. Potencial micorrízico en plantación de Palma africana**

Se analizó una muestra representativa de suelo de la plantación de palma africana de ocho años de edad, ubicada dentro del mismo predio en donde se realizó el ensayo. Vale mencionar que el bloque escogido para los análisis eran potreros antes de sembrar palma africana. La muestra analizada fue el producto de 10 submuestras extraídas a una profundidad de 20 cm y dentro de la corona a partir de

50 cm de la base del estipe de las plantas de palma africana. Se determinó el potencial micorrízico de las muestras extraídas en el laboratorio de microbiología del CIPAL.

### **3.3.1.2. Potencial micorrízico en plantación con remanente de bosque nativo secundario**

Para analizar esta muestra se extrajeron cuatro submuestras de la plantación de palma africana, de cinco años de edad, en lo que previamente fue un bosque secundario, ubicada dentro del mismo predio en donde se realizó el ensayo, con el propósito de cuantificar su población y utilizarlo como inóculo en los respectivos tratamientos en vivero de palma africana.

### **3.3.1.3. Potencial micorrízico en bosque nativo**

Se analizó una muestra representativa dentro de una formación natural (Bosque Húmedo Siempre Verde de Tierras Bajas). La muestra analizada fue el producto de diez submuestras en donde se retiraba la hojarasca del suelo y se extraía los primeros 20 cm de suelo.

### **3.3.2. Multiplicación de HMA nativa**

Una vez que se determinó que el suelo de palma con remanentes de bosque fue el que mayor concentración de esporas por gramo de suelo tenía, se procedió a

llenar 50 fundas de 5 kg cada una con este suelo. En cada funda se sembró maíz que fue la planta escogida como hospedante para la masificación de HMA.

Al cumplir 90 días de sembrado el maíz se sometió a estrés hídrico y se cortó el tallo aproximadamente a 4 cm de la base del mismo, de esta manera se pretendía que haya una mayor esporulación. Transcurridos 20 días después de realizar el corte de los tallos se procedió a extraer el suelo y raíces de la planta trampa, al suelo se lo tamizó y al producto de éste se lo mezcló con las raíces picadas de las mismas plantas. De esta manera se obtuvo el consorcio micorrízico nativo propagado con plantas.

### **3.3.3. Inoculación de HMA**

Para determinar la dosis de los tres consorcios micorrízicos a ser evaluados fue necesario analizar en laboratorio el número de esporas viables de cada uno, de esta manera nos aseguramos que la cantidad de esporas por cada tratamiento haya sido la misma, es decir 600 esporas por cada planta (ver cuadro 2).



### **3.3.4. Factores en estudio**

#### **3.3.4.1. Consortio micorrízico (M)**

**M0:** Sin micorriza (No se realizó ningún tipo de inoculación en la siembra).

**M1:** Consortio micorrízico nativo propagado con plantas trampa (El consorcio micorrízico inoculado fue aquel en el que se escogió la muestra de suelo de la plantación de Palma africana que tenía remanentes de bosque nativo y propagado con maíz).

**M2:** Consortio micorrízico comercial Fungifert (Es un producto comercial).

**M3:** Consortio micorrízico nativo sin plantas trampa (Se utilizó como inóculo al mismo suelo de la muestra de plantación de Palma con remanente de bosque, pero aplicado directamente sin ser propagado).

La dosificación de todos los tratamientos fue de seiscientas esporas por planta. Para lograr que cada tratamiento lleve la misma cantidad de esporas durante la siembra, se calculó la cantidad de gramos necesarios de cada uno de los inóculos dependiendo de la cantidad de esporas contenidas en éstos como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Cantidad de inóculo por tratamiento

Inoculo	Esp./100g	Esp./g	N° Esporas/planta (Factor Constante)	g de inoculo/ Planta
Inóculo nativo propagado con maíz	1520	15,2	600	39,47
Inóculo nativo sin propagación	1560	15,6	600	38,46
Producto Comercial Fungifert	970	9,7	600	61,85

#### 3.3.4.2. Esterilidad del sustrato (E)

**E0:** Sustrato sin esterilizar utilizado (forma tradicional)

**E1:** Sustrato esterilizado

#### 3.3.5. Tratamientos

Los tratamientos que se utilizaron en el ensayo de evaluación de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en etapa de vivero en la zona de Mompiche provincia de Esmeraldas, se describen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos evaluados para determinar la eficiencia de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en etapa de vivero en la zona de Mompiche provincia de Esmeraldas

Tratamiento	Código	Descripción
T1	m0e0	Sin micorriza + Sin esterilizar sustrato
T2	m0e1	Sin micorriza + Sustrato esterilizado
T3	m1e0	Consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa + Sin esterilizar sustrato
T4	m1e1	Consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa + Sustrato esterilizado
T5	m2e0	Consorcio micorrízico comercial Fungifert + Sin esterilizar sustrato
T6	m2e1	Consorcio micorrízico comercial Fungifert + Sustrato esterilizado
T7	m3e0	Consorcio micorrízico nativo sin plantas trampa + Sin esterilizar sustrato
T8	m3e1	Consorcio micorrízico sin plantas trampa + Sustrato esterilizado

### 3.3.6. Análisis Estadístico

#### 3.3.6.1. Diseño experimental

Para la evaluación de las diferentes variables se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), en arreglo combinatorio 4x2, con 4 repeticiones. Se realizó el análisis de varianza (ADEVA), para determinar diferencias estadísticas

entre los tratamientos evaluados. En el cuadro 4, se describe el esquema del análisis de varianza.

Cuadro 4. Esquema del análisis de varianza (ADEVA), para los factores en estudio

Fuente de variación	Grados de libertad
BLOQUE (Repeticiones)	3
Micorrizas (M)	3
Esterilidad (E)	1
M*E	3
Error	21
TOTAL	31

### **3.3.7. Características de las Unidades Experimentales**

- Área Total del ensayo = 562,48 m<sup>2</sup>
- Número de Tratamientos = 8
- Número de Repeticiones = 4
- Número total de Unidades Experimentales = 32
- Número de plantas por Unidad Experimental = 20
- Distancia entre plantas= 0,8 m
- Distancia entre repeticiones = 1 m
- Distancia entre Unidad Experimental = 1 m
- Área total neta investigación = 276,48 m<sup>2</sup>
- Número total de plantas = 640
- Número de plantas estudiadas por Unidad Experimental = 6

### **3.3.8. Análisis Funcional**

Se empleó la prueba de significación de Tukey al 5%, para realizar la separación de medias en las que se identificó la superioridad hacia los tratamientos más altos, además se realizaron comparaciones ortogonales entre los diferentes consorcios micorrízicos.

### **3.3.9. Análisis Económico**

Los valores considerados para ser comparados fueron los costos de masificación de esporas y los resultados en la calidad de planta obtenida de su inoculación.

### **3.3.10. Análisis de potencial micorrízico en plantas trampa**

Fueron análisis efectuados en las plantas trampa (plantas de maíz utilizadas para la propagación de micorrizas nativas) para observar la variación en el número de esporas durante el proceso de propagación. Para la propagación de micorrizas en plantas trampa (maíz) se pasó por un proceso de estrés hacia la planta para que incremente el número de esporas.

Transcurrido 90 días después de sembrar las plantas trampa (maíz) e inocularlas con HMA se realizó un análisis de población micorrízica al sustrato

utilizado. El mismo día se realizó un corte en la base del tallo de las plantas dejando sin riego durante los siguientes 20 días, para provocar estrés hídrico con el fin de incrementar la proliferación de micorrizas y realizar un nuevo análisis para el conteo de esporas viables.

### **3.3.11. Análisis de potencial micorrízico en producto comercial**

Se realizó este análisis para comprobar el número de esporas viables por cada gramo del producto, de ésta manera poder calcular la dosis que se utilizaría para los tratamientos T5 y T6 los cuales corresponden al producto comercial Fungifert.

### **3.3.12. Análisis químico de sustrato para la siembra**

Se realizó el análisis químico con el fin de establecer un programa de fertilización y a la vez determinar la calidad del sustrato en donde se sembró la plántula de palma y conjuntamente se inoculó los respectivos consorcios micorrízicos. La composición del sustrato fue de tierra agrícola, arena fina de mina y cascarilla de arroz en proporciones de 6:1:1 respectivamente.

### 3.4. VARIABLES A MEDIR Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

#### 3.4.1. Diámetro del Estipe

Se midió con un calibrador (pie de rey) graduado en milímetros a cada una de las plantas de las parcelas netas (Figura 2). El diámetro tomado fue en la base del estipe y se lo midió a los 60 – 120 – 180 – 240 - 300 días.



Figura 2. Medición diámetro estipe

#### 3.4.2. Altura de Planta

Se realizó a cada una de las plantas de las parcelas netas con la utilización de una regla colocándola paralela al estipe sobre la superficie del suelo midiendo hasta el ápice de la hoja 1. Los datos fueron tomados a los 60 – 120 – 180 – 240 - 300 días.



Figura 3. Medición altura de planta

### **3.4.3. Diámetro de Corona Foliar**

Se efectuó estableciendo imaginariamente una línea recta entre el ápice de dos hojas insertadas opuestamente (Figura 4). Se midió a los 120 – 180 – 240 - 300 días.



Figura 4. Medición diámetro corona foliar

### **3.4.4. Análisis Foliar**

El análisis foliar se lo realizó al final del ensayo. De manera aleatoria se escogió una planta representativa por parcela neta, se extrajo una hoja ubicada en la parte media obteniendo el tercio medio de cada una. Se juntaron las submuestras de



cada repetición para formar una muestra por tratamiento, teniendo un total de ocho muestras las mismas que fueron analizadas en los laboratorios del INIAP estación Santa Catalina.

#### **3.4.5. Porcentaje de Colonización Endomicorrízica**

A los 300 días se extrajo de manera aleatoria las raíces siguiendo la misma metodología para el análisis foliar. Teniendo un total de 32 muestras identificadas, que se las envió al laboratorio de microbiología de ANCUPA – CIPAL para determinar las asociaciones micorrízicas en raíces.

#### **3.4.6. Manejo General del Experimento**

##### **3.4.6.1. Material de siembra**

Se utilizaron semillas pre germinadas de palma de la variedad TENERA procedentes de INIAP.

##### **3.4.6.2. Ubicación**

Para la ubicación del vivero se consideraron las siguientes características. El terreno no mostró diferencias marcadas de pendiente. Así mismo, el área fue suficientemente amplia para alojar el número de plantas planificadas, habiendo

incidencia de luz solar. Contaba con fuentes de agua próximas y facilidades de acceso durante todo el año, características recomendadas por (IICA, 2006).

#### **3.4.6.3. Llenado de fundas**

El sustrato se preparó con los siguientes materiales y respectivas proporciones: 6 de tierra agrícola, 1 de arena fina de mina y 1 de cascarilla de arroz cruda. Al sustrato no se le realizó desinfección por motivo de no afectar la inoculación de micorriza.

#### **3.4.6.4. Trasplante e inoculación de HMA**

Primero se humedeció el suelo, luego mediante la ayuda de una estaquilla se abrió un hoyo de aproximadamente 4 cm<sup>3</sup> en el centro de la funda, se procedió a colocaren el fondo el inóculo de micorriza según el tratamiento; luego se introdujo la semilla pre germinada colocando la plúmula hacia arriba; finalmente se cubrió la semilla con tierra, se presionó levemente para evitar la formación de espacios de aire.

#### **3.4.6.5. Riego**

Durante los meses de Enero a Abril del 2011 el abastecimiento de agua estuvo sujeto a lluvias, pero a partir de Mayo del mismo año fue necesario implementar un sistema de riego por goteo que estuvo funcionando hasta los primeros días del mes

de Septiembre. Durante los dos siguientes meses se acarreó agua del río Mompiche para mantener un riego diario.

#### 3.4.6.6. Deshierbas

El deshierbe se lo hizo manualmente cada quince días.

#### 3.4.6.7. Fertilización

Basándose en las recomendaciones del laboratorio donde se realizó el análisis químico del sustrato se programó la fertilización, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Dosis de fertilizante aplicado trimestralmente a plantas de palma africana en etapa de vivero

Fertilizante	1er trimestre g/p	2do trimestre g/p	3er trimestre g/p	Dosis Total g/planta/año
10% N – 30% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 10% K <sub>2</sub> O	4	10	19	33
nitrate de amonio (33,5% NH <sub>4</sub> N03)	7	20	38	65
muriato de potasio (60% K <sub>2</sub> O)	2	3	7	12
sulfato de magnesio (25% MgO)	5	18	37	60

Además se realizó tres aplicaciones foliares de urea cada quince días en el mes de Mayo del 2011. La primera y segunda aplicación se hizo con una dosis de 60 g de urea disuelta en 10 litros de agua, mientras que la tercera se la hizo con una dosis de 80 g (urea) en 10 litros de agua.

### **3.4.6.8. Control fitosanitario**

#### **3.4.6.8.1. Control fúngico**

Para el control de hongos patógenos está recomendado ser muy cuidadoso, por este motivo se lo hizo según la incidencia y severidad, mediante la utilización de productos sistémicos no cúpricos como es el caso de PHOS-AL cuyo ingrediente activo es fosetil-al, para el control de Antracnosis (*Colletotrichum sp.*), Cescosporiosis (*Cercospora sp.*), Mal de almácigo (*Phytophthora palmivora*) y Mancha amarilla (*Pestalotiopsis sp.*).

#### **3.4.6.8.2. Control de insectos**

El mayor problema a nivel de insectos presentado en esta zona fue la presencia de cicadelidos (*Graphocephala fennahi*) a los cuales se los controló con la aplicación del producto Neem - X cuyo ingrediente activo es la Azadiractina (40 g/l). Las aplicaciones fueron foliares en una dosis de 250 ml del producto en 40 l para 1000 plantas. Se lo hizo al determinar el 5% de plantas afectadas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS PREVIOS

#### 4.1.1. Análisis de diferentes sustratos para masificación de HMA

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de microbiología del Centro de Investigación de Palma Aceitera (CIPAL) donde se utilizó el método de sedimentación y tamización en húmedo. Como se puede observar en el cuadro 7, los resultados determinaron que la muestra tomada en la plantación de palma con remanentes de bosque fue la que mayor número de esporas tuvo, con una cantidad de 1 560 esporas viables por cada 100 g de suelo con una calidad de esporas turgentes, sanas y de buen tamaño. Por tal motivo se escogió este suelo para la inoculación micorrízica. Las morfoespecies encontradas en esta muestra fueron *Glomus sp* y *Archaespora*, en tanto que la muestra tomada del bosque nativo reportó el menor número de esporas con un tamaño pequeño ya que el valor fue de 190 esporas por cada 100 g de suelo, y el género encontrado fue *Glomus*, lo que es un indicativo de la calidad de sustrato.

Al comparar el número de esporas de los tres diferentes sustratos analizados con los estudios realizados por León (2006), donde el promedio de esporas de doce diferentes tipos de suelo varía de 78 hasta 871 esporas por cada 100 g de suelo, se puede reafirmar que el suelo escogido para la inoculación presentó una considerable cantidad de esporas viables al tener 1560 esporas por cada 100 g de suelo.

Cuadro 6. Resultados del análisis de diferentes sustratos para masificación de HMA

Identificación de la muestra	Esporas Viables /100 gs*	Morfoespecies Sugeridas	Observaciones
Palma	945	Glomus, Archaespora	Presencia de cuerpos fructíferos, esporas turgentes. Café rojizos, café hialinos, hifas emergidas
Palma + Bosque	1560	Glomus, Archaespora	Esporas grandes en su mayoría y turgentes. Café rojizos, blanco hialinas, café oscuras
Bosque Nativo	190	Glomus	Esporas pequeñas. Amarillo hialinas

Fuente: Laboratorio CIPAL

\*gs: gramos de suelo

#### **4.1.2. Análisis de potencial micorrízico del sustrato masificado con HMA antes y después de someter a estrés**

Transcurridos 90 días, las plantas de maíz antes de ser cortadas en la base del tallo y someterlas a estrés hídrico se realizó un análisis de población micorrízica del mismo suelo para determinar la cantidad de esporas. El resultado del análisis mostró 1 480 esporas viables por cada 100 g de suelo. Al comparar con el análisis realizado al mismo sustrato antes de la propagación con maíz 1 560 esporas/100 g suelo, se determinó que durante el crecimiento del maíz que sirvió de planta trampa hubo una disminución de 80 esporas por cada 100 g de sustrato durante los noventa días transcurridos.

Después de 20 días de cortadas las plantas de maíz en la base del tallo y sometidas a estrés hídrico, se realizó un nuevo análisis del sustrato para determinar la cantidad de esporas presentes. Los resultados obtenidos fueron de 1 520 esporas por cada 100 g de sustrato. Lo que indica que durante los 20 días transcurridos hubo un aumento de 40 esporas por cada 100 g de sustrato.

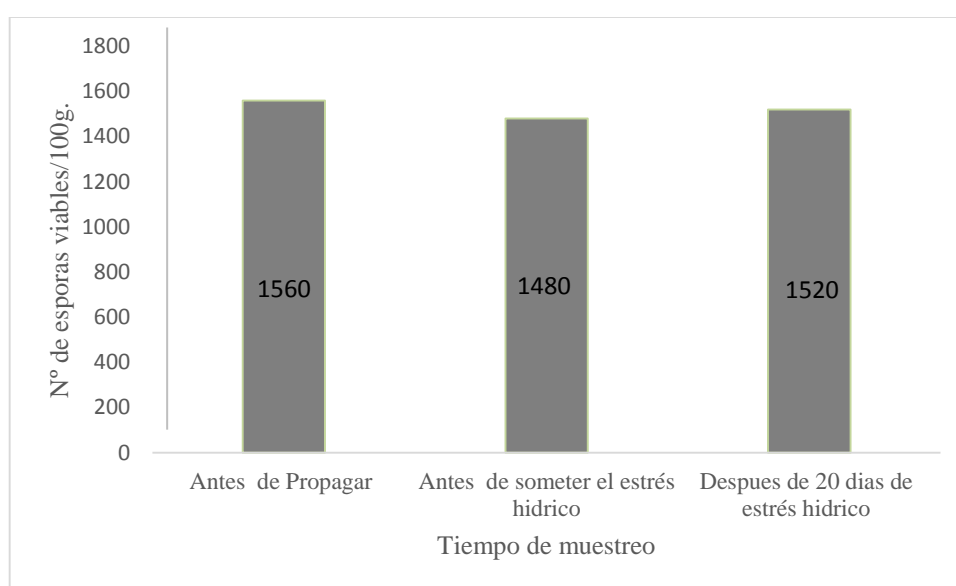


Figura 5. Resultados de los análisis realizados durante la etapa de masificación

#### **4.1.3. Análisis de potencial micorrízico en sustrato comercial**

El resultado del análisis aplicado al producto comercial Fungifert fue de 970 esporas por cada 100 g del producto.

#### 4.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUSTRATO PARA LA SIEMBRA DE PALMA AFRICANA

El análisis químico del sustrato utilizado (cuadro 7) mostró un pH de 5,1 que es indicativo de suelos ácidos, sin embargo está dentro de un rango aceptable ya que este tipo de cultivo tolera suelos moderadamente ácidos (5,0 - 6,5). En el cuadro 7 se presenta la concentración de nutrientes en el sustrato utilizado para la siembra de palma africana. En base a éste análisis se programó la fertilización.

Cuadro 7. Análisis químico de sustrato utilizado para la siembra de palma africana en fase de vivero.

pH	M.O	N	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K
	%	Ppm			meq/100 ml			ppm						
5,1	7,8	96	16	16	0,79	17,7	4,4	4,4	13,4	260	10,3	4	5,6	28
Ac.	A*	A	M	M	A	A	A	M	A	A	M			

\* A=Alto M=Medio B=Bajo

El contenido de materia orgánica del sustrato fue alto, obteniendo un valor de 7,8%. Zambrano (1991) manifiesta que porcentajes de materia orgánica iguales o superiores a 2,5% son considerados demasiado altos. El contenido de nitrógeno es 96 ppm, que de acuerdo al valor del análisis se considera alto. El contenido de fósforo y azufre presenta una concentración media con un valor de 16 ppm en ambos casos. Es necesario considerar que cuando se siembra la palma africana en suelos altamente ricos en materia orgánica y fósforo pueden disminuir e inclusive inhibir el efecto de la simbiosis micorrízica.



En la evaluación del contenido de potasio, calcio y magnesio las concentraciones son altas puesto que los análisis del sustrato presenta valores de 0,79; 17,7 y 4,4 meq/100 ml, que no son recomendables debido a que la presencia de altas cantidades de calcio y magnesio, fijan el fósforo al suelo haciéndolo poco disponible para la planta.

El contenido del sustrato en micro elementos como son el zinc, cobre, hierro y Manganeso, reportaron valores de 4,4 ppm; 13,4 ppm; 260 ppm y 10,3 ppm, se determinó una concentración media para zinc y manganeso, alta para el cobre y hierro.

### **4.3. VARIABLES DE CRECIMIENTO DE LA PALMA AFRICANA**

#### **4.3.1. Diámetro de estipe**

En el análisis de varianza del diámetro del estipe de la palma africana (cuadro 8) en las primeras dos tomas durante los 60 y 120 días no hubo diferencia significativa mientras que a los 180, 240 y 300 días, las diferencias fueron altamente significativas, registrándose en el Análisis de la varianza las respuestas más altas a los 180 días con la aplicación del consorcio micorrízico comercial fungifert (M2), cuyas medias fueron de 2,77 cm, y las respuestas más bajas con la aplicación del consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa (M1), ya que las medias fueron de 2,51 cm.

El coeficiente de variación para la totalidad de las fases investigadas que en promedio fue de 6,59 %, está enmarcado dentro del rango establecido, lo que indica que los datos están tomados con certeza y se registra poca variabilidad en su dispersión dando confiabilidad a los mismos. Por lo que los resultados reportados infieren un mayor diámetro de estipe al utilizar el complejo micorrízico comercial ya que la nutrición del cultivo es un factor que incide significativamente en la productividad de la palma africana. Una alternativa que puede contribuir con el incremento del rendimiento sería la introducción de las micorrizas como bio-fertilizantes y/o como bio-protectores, elevando el diámetro de estipe de la palma africana.

Cuadro 8. Cuadrados medios y nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrízicos sobre el diámetro del estipe de la palma africana en la fase de vivero.

F.V.	G.L	Días de la investigación				
		60	120	180	240	300
Repeticiones	3	0,002 ns	0,34 ns	0,02 ns	0,03 ns	0,16 ns
Micorrizas	3	0,001 ns	0,69 ns	0,52 **	1,59 **	2,25 **
m0 vs m1, m2, m3	1	0,000 ns	0,28 ns	1,39 **	4,339 **	6,46 **
m1 vs m2, m3	1	0,001 ns	0,56 ns	0,14 **	0,267 ns	0,13 ns
m2 vs m3	1	0,003 ns	1,24 ns	0,05 ns	0,164 ns	0,16 ns
Esterilización	1	0,000 ns	0,36 ns	0,13 *	0,43 *	1,25 *
Int M*E	3	0,003 ns	0,49 ns	0,01 ns	0,076 ns	0,17 ns
Error	21	0,001 ns	0,49 ns	0,02	0,071	0,28
Total	31					
CV		5,16	4,54	5,1	6,89	11,3

A los 180 días las medidas de mayor diámetro del estipe (figura 6) corresponden al tratamiento m2 con 2,77 cm y las de menor medida al tratamiento

m1 con 2,51 cm. A los 240 días las apreciaciones del diámetro son similares ya que las medias más altas se reportan con la aplicación del tratamiento m2, cuyas medias fueron de 4,09 cm, y las más bajas con el tratamiento m1, con medias de 3,61 cm; finalmente a los 300 días después del trasplante de la palma africana continúan las diferencias altamente significativas entre medias reportándose similar comportamiento que en las fases antes evaluadas; es decir, los valores más altos fueron registrados con la aplicación del tratamiento m2 (consorcio micorrízico comercial Fungifert) con medias de 4,96 cm, y las más bajas utilizando el tratamiento m1 (consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa), cuya media fue de 4,20 cm.

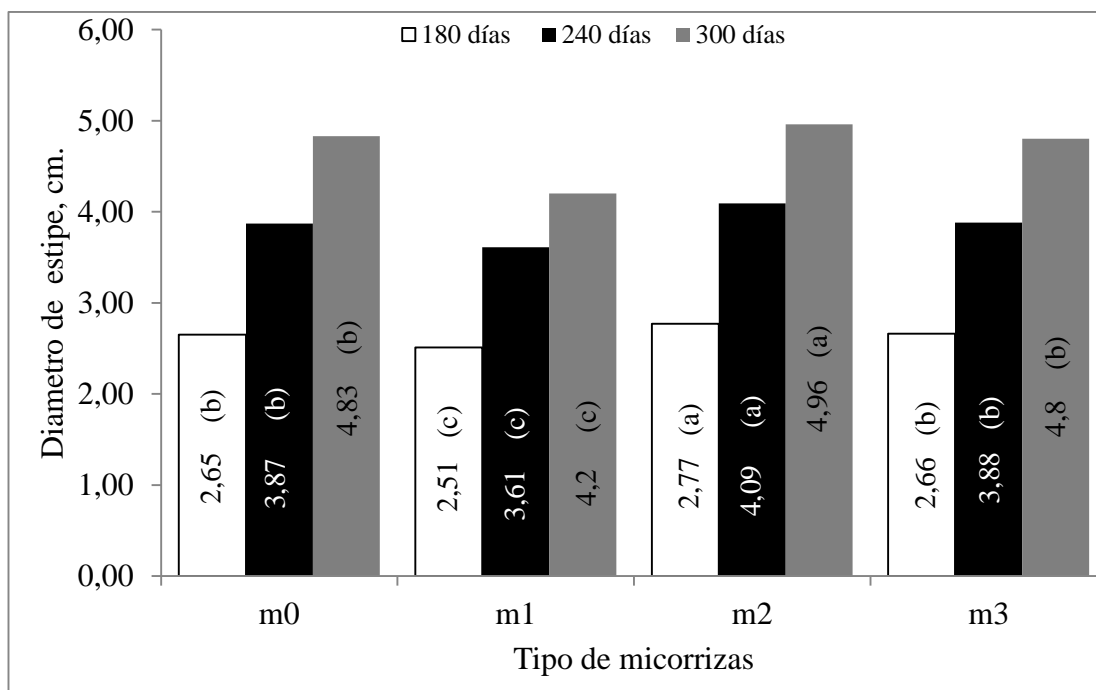


Figura 6. Efecto de los diferentes tipos de micorrizas sobre diámetro de estipe en planta de palma Africana a los 180, 240 y 300 días en fase de vivero.

En el análisis de varianza del diámetro de estipe por efecto del factor B (esterilidad del suelo), se registraron diferencias altamente significativas a los 180, 240 y 300 días, entre medias de los tratamientos, observándose en la separación de medias las respuestas más altas con la aplicación de suelo esterilizado en la siembra de palma africana (e1), ya que las medias fueron de 2,82 cm; 4,15 cm y 5,01 cm, en cada una de las fases antes mencionadas, mientras tanto que el diámetro de estipe más bajo fue localizado en las plantas sin esterilizar el sustrato cuyas medias fueron de 2,47 cm; 3,57 cm y 4,39 cm en su orden (cuadro 9).

Cuadro 9. Separación de medias del diámetro de estipe por efecto del factor B (esterilidad del suelo).

Días de investigación	Media de diámetros por efecto del tipo de sustrato				Significancia
	Sustrato sin esterilizar E0		Sustrato esterilizado E1		
180 días	2,47	b	2,82	a	*
240 días	3,57	b	4,15	a	*
300 días	4,39	b	5,01	a	*

En la regresión (figura 7) se identificó una tendencia lineal positiva altamente significativa ( $P < 0,05$ ), cuya ecuación es  $\text{diámetro de estipe} = 0,38 + 0,017$  que infiere que a medida que pasan los días posteriores al trasplante el diámetro a la estipe se incrementa en 0,017 cm, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 80,37\%$ .

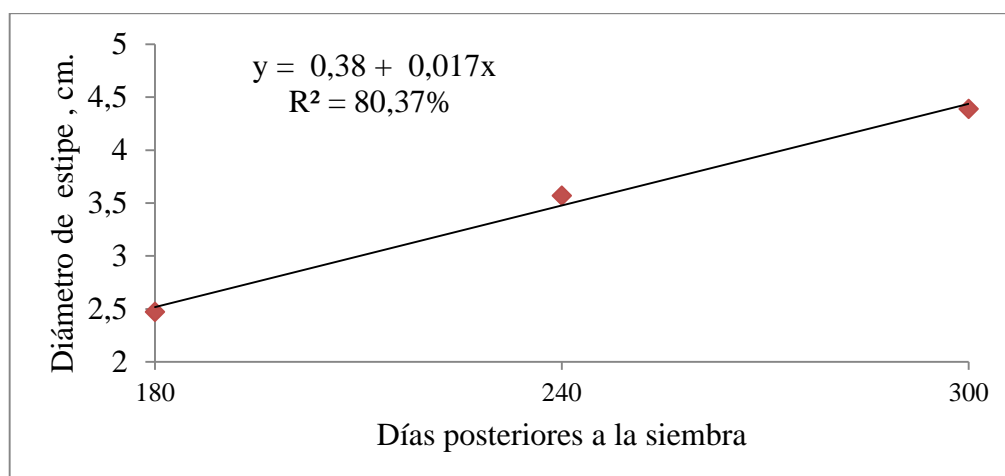


Figura 7. Regresión del diámetro del estipe de la palma africana, en función de los días posteriores a la siembra en fase de vivero.

En el análisis de los polinomios ortogonales, (figura 8) se determinaron diferencias altamente significativas al comparar el diámetro del estipe plantada sin micorrizas (m0), que registro una media de 3,14 cm versus el resto de tratamientos (m1,m2 y m3), que registraron medias de 3,93 cm, caso similar ocurre al realizar el contraste del tratamiento m1, cuya media fue de 3,81 cm versus los tratamiento m2 y m3 que registraron medias de 3,99 cm.

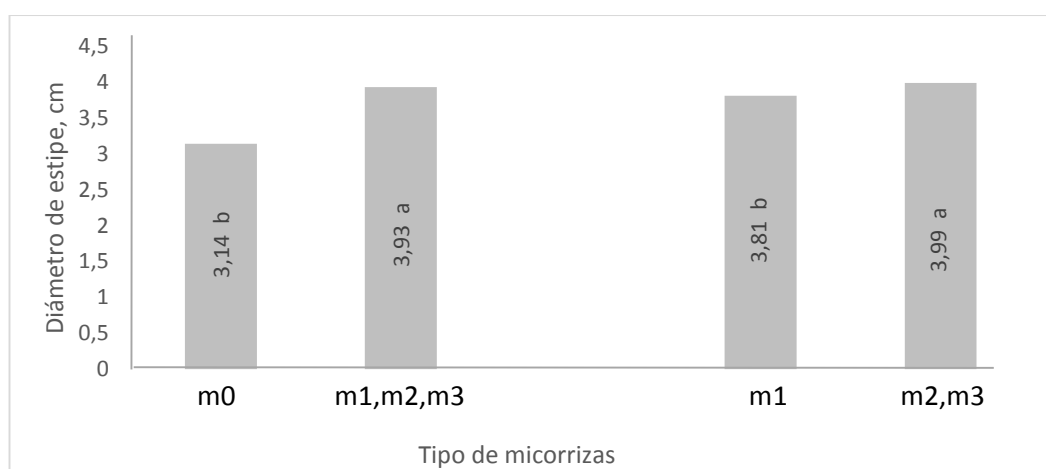


Figura 8. Separación de medias de los contrastes de palma africana, en función de los tipos de micorrizas aplicados en el vivero.

De acuerdo a los resultados alcanzados al interaccionar el tipo de micorrizas (factor A); con el tipo de sustrato (factor B), se puede afirmar que al utilizar consorcio micorrizico Fungifert (m2); en suelos esterilizados (e1), se alcanza el mayor diámetro de estipe en la palma africana. De acuerdo a Bernal et al. (2006) debido a que muchas plantas crecen en ambientes desfavorables para el crecimiento de la planta, se desarrolla una adaptación como la planta colonizada ya que en ella el sistema de la raíz recoge y distribuye el agua y los nutrientes de reserva , la superficie del tejido y los estomas conservan el agua.

#### **4.3.2. Altura de la planta**

Los valores medios obtenidos de la altura de la planta en el análisis de varianza (cuadro 10), por efecto del factor A (tipo de micorrizas), no reportaron diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos a los 60 y 120 días después del trasplante, mientras que a los 180, 240 y 300 días se registraron diferencias altamente significativas ( $P < 0,05$ ), estableciéndose las respuestas más altas al aplicar al cultivo de palma africana el consorcio micorrízico comercial Fungifert (m2) ya que las medias fueron 32,83 cm; 52,62 cm; y 62,57 cm respectivamente, en tanto que los resultados más bajos fueron registrados al aplicar Consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa (m1), con valores medios de 29,43 cm 47,08 cm y 55,14 cm en su orden (figura 9).

Además el coeficiente de variación fue de 0,88% a los 180 días 0,93% a los 240 días y 0,91% a los 300 días, que por ser bajos da confianza a los resultados obtenidos.

Cuadro 10 . Cuadrados medios y el nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrizicos sobre la altura de la planta de palma africana en la fase de vivero.

F.V.	G.L.	Días después de la siembra				
		60	120	180	240	300
Repeticiones	3	0,09 ns	7,04 ns	10,46 ns	14,81 ns	8,4 ns
Micorrizas	3	1,04 ns	1,66 ns	113,52 **	386,89 **	624,83 **
m0 vs m1, m2, m3	1	2,43 ns	1,18 ns	304,84 **	997,62 **	1638,37 **
m1 vs m2, m3	1	0,55 ns	0,18 ns	26,34 *	93,55 **	117,34 ns
m2 vs m3	1	0,13 ns	3,62 ns	9,36 ns	69,51 **	118,76 **
Esterilización	1	0,06 ns	0,17 ns	14,54 ns	52,92 **	95,95 **
Int M*E	3	1,18 ns	1,46 ns	4,49 ns	11,33 **	12,34 ns
Error	21	1,39	3,39	4,92	14,19	19,01
Total	31					
CV		5,16	4,54	5,1	6,89	11,3

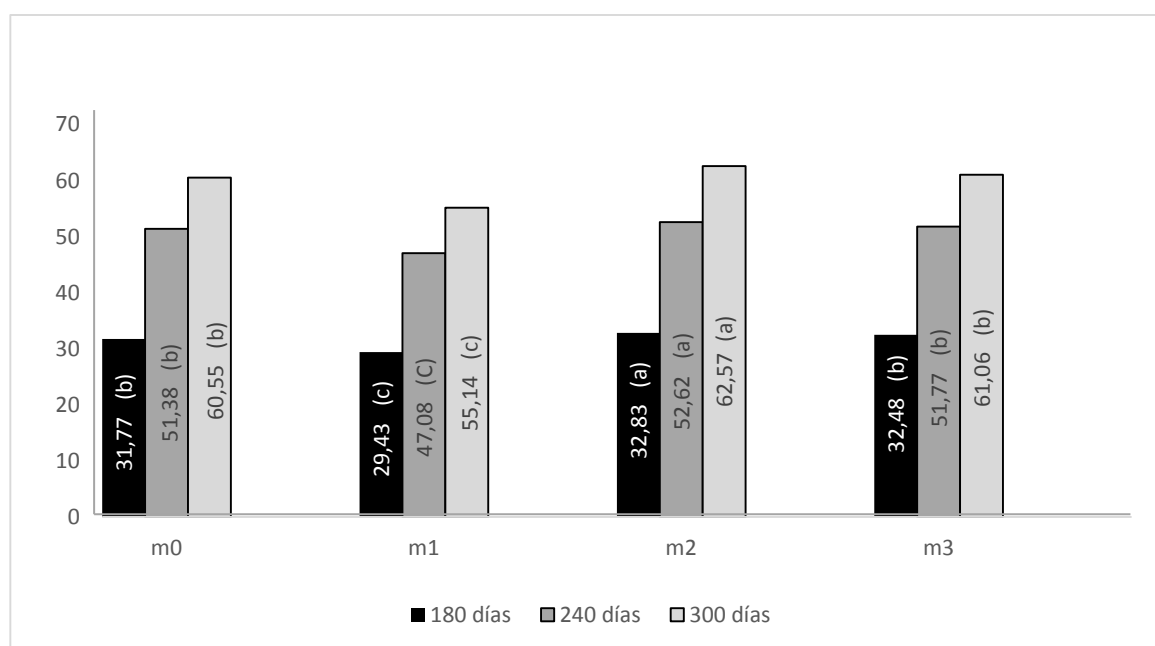


Figura 9. Efecto de los diferentes tipos de micorrizas sobre altura de la planta de palma africana a los 180, 240 y 300 días en fase de vivero.

En el efecto del factor B ( tipo de sustrato), las diferencias fueron altamente significativas únicamente a los 240 y 300 días reportándose por lo tanto en la separación de medias los resultados más altos al aplicar el sustrato esterilizado en la siembra de palma africana (e1), ya que las medias fueron de 55,33 cm y 65,53 cm respectivamente , en tanto que las respuestas más bajas fueron registradas en sustrato sin esterilizar utilizado en la siembra de Palma africana (e0), cuyas alturas fueron de 46,09 cm y 54,14 cm a los 240 y 300 días.

En la evaluación de la interacción entre los diferentes tipos de micorrizas y la esterilidad el suelo se determinó diferencias estadísticas ( $P < 0,001$ ) únicamente a los 240 días posteriores al trasplante, registrándose la mayor altura con la aplicación de consorcio micorrízico comercial Fungifert en un suelo esterilizado en la siembra de Palma africana, ya que las medias fueron de 70,58 cm en tanto que los resultados menos eficientes fueron reportados en las plantas cultivadas Sin micorriza + Sustrato esterilizado ya que las medias fueron de 44,65 cm muy similares a las alturas establecidas sin micorrizas + Sin esterilizar sustrato es decir en el grupo control cuyas medias fueron de 50,23 cm.

En los tratamientos m0, vs el resto de tratamientos (figura 10) se registró una altura de 8,43 cm el cual difiere significativamente del resto de tratamientos (m1,m2,m3) los mismos que reportaron un valor en sus medias de 9,07 cm, esto puede deberse a que la utilización del complejo micorrízico propiciaron un medio adecuado para que las plantas alcancen un desarrollo en mejores condiciones, ya que son biofertilizantes en forma de sustrato enriquecido con varias especies de



endomycorizas vesículo arbusculares en forma de esporas, hifas y raicillas, que mejoran la absorción de los nutrientes (Bernal *et al.*, 2006)

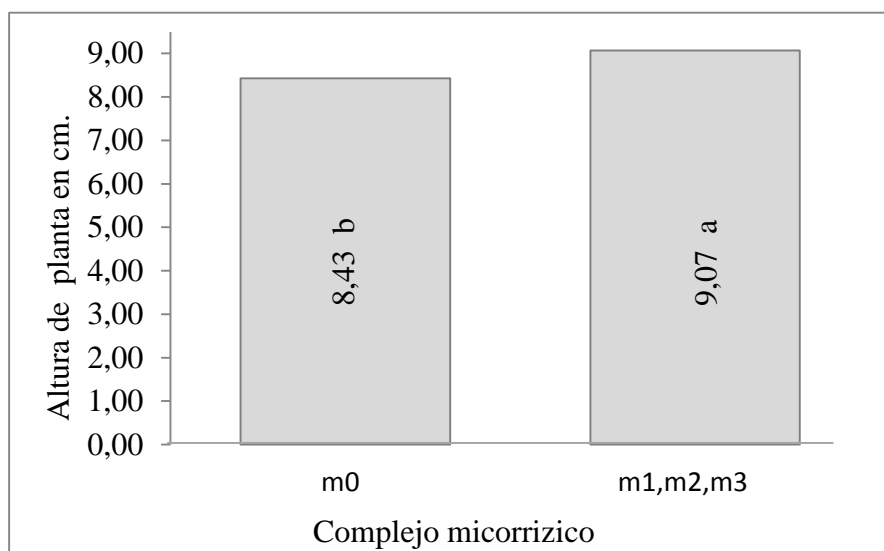


Figura 10. Comparaciones ortogonales entre el tratamientos m0 versus m1, m2, m3 en altura de palma africana en fase de vivero a los 180, 240 y 300 días después de la siembra.

#### 4.3.3. Diámetro de corona

En el análisis del diámetro de corona de la palma africana (cuadro 11) no se observan diferencias estadísticas a los 60, 120 y 240 días, pero si a los 180 y 300 días, reportándose en la separación de medias según Tukey (figura 11) el mayor diámetro en las plantas del tratamiento m3 (Consortio micorrízico nativo sin plantas trampa), con medias de 33,27 cm, a los 180 días y de 56,77 cm a los 300 días, las diferencias registradas marcan la competencia existente entre las diferentes plantas por conseguir las mismas condiciones de nutrientes adquiridos por los consorcios micorrizicos, debido a que la presencia de diferentes géneros de hongos puede permitir la asociación de cierto número de ellos con las raíces de la planta, ya que la

diversidad de hongos involucrados, es un importante determinante del beneficio de la colonización y la coexistencia de varias especies micorrízicas de diferentes géneros permite la variación de compatibilidad entre la planta y el hongo, por lo tanto los cambios inducidos por los hongos micorrízicos en la planta dependen de las combinaciones entre planta- hongo (Ferrera-Cerrato, 2002).

En promedio del coeficiente de variación en los diferentes tiempos de muestreo fue de 8,38 estando encuadrado dentro del rango establecido, lo que da a entender que los datos fueron tomados debidamente, y que indican homogeneidad en la dispersión de las unidades experimentales en relación a la media.

Cuadro 11. Cuadrados medios y el nivel de significancia (5%), para medir el efecto de diferentes consorcios micorrízicos sobre diámetro de corona de la planta de palma africana en fase de vivero.

F.V.	G.L.	Días después de la siembra				
		60	120	180	240	300
Repeticiones	3	1,144 ns	6,39 ns	1,06 ns	5,2 ns	2,64 ns
Micorrizas	3	1,978 ns	0,24 ns	73,4 **	308,92 ns	296 **
m0 vs m1, m2, m3	1	0,148 ns	0,22 ns	196,71 **	775,38 ns	742,98 **
m1 vs m2, m3	1	5,542 *	0,46 ns	10,68 ns	73,38 ns	70,37 ns
m2 vs m3	1	0,243 ns	0,03 ns	12,82 ns	78,01 ns	74,65 ns
Esterilización	1	2,995ns	0,01 ns	0,81 ns	15,36 ns	24,66 ns
Int M*E	3	2,222ns	3,27 ns	3,17 ns	12,45 ns	15,61 ns
Error	21	1,154	3,67	3,92	11,81	20,5
Total	31					
CV		9,65	10,71	6,1	7,3	8,16

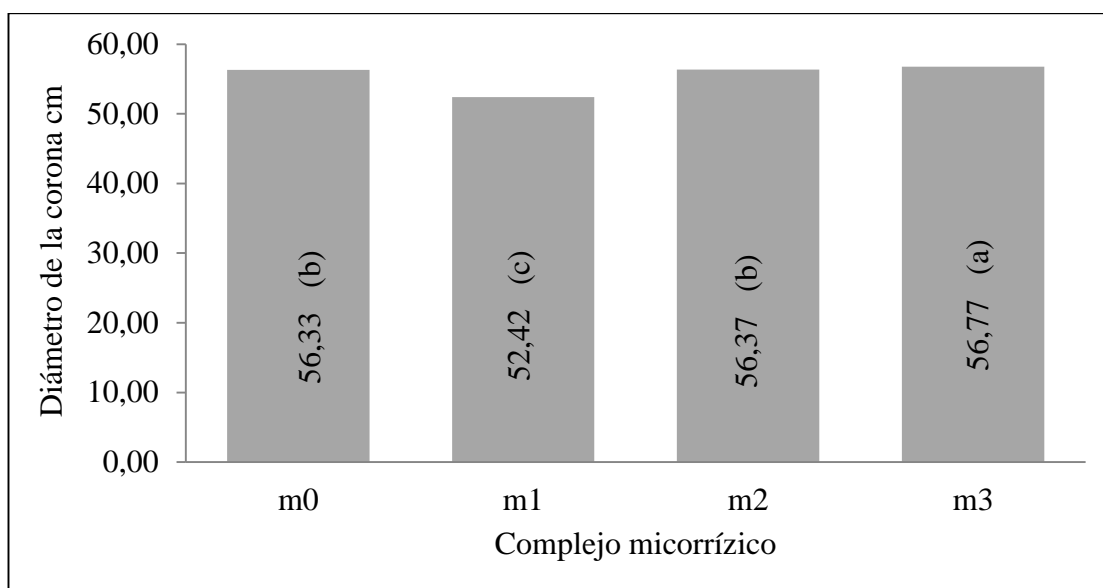


Figura 11. Efecto de los diferentes complejos micorrizicos sobre el diámetro de la corona de palma africana a los 300 días.

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos por efecto de los diferentes tipos de esterilidad del suelo sugiere que únicamente la acción de los hongos micorrizicos (factor A), influyó sobre el diámetro de la corona de la palma africana

Esto dilucida la respuesta de las plantas con todos los consorcios micorrizicos, pues las variables diámetro de corona no presentan diferencias significativas por efecto de la esterilidad del suelo ya que se registra medias de 11,52 cm a los 60 días posteriores al trasplante y de 59,47 cm a los 300 días, es decir que el diámetro de la corona tuvo un incremento de 47,95 cm que está determinado por la diferencia entre el diámetro inicial y final de la planta.

El ADEVA llevado a cabo por efecto de la interacción entre los diferentes tipos de micorrizas y los tipos de esterilidad del suelo indica que no existe

diferencias significativas, todos los tratamientos coinciden en sus medias para la variable diámetro de corona, se encuentran dentro de un mismo rango dado por la prueba de Tukey al 5%.

Al realizar las comparaciones ortogonales para diámetro de la corona (Figura 12) se identifica únicamente una relación altamente significativa al comparar el tratamiento m0 versus el resto de tratamientos a los 180 y 300 días después del trasplante, ya que las respuestas para el primer grupo es decir sin complejo micorrízico fueron de 28,16 cm y 47,13 cm respectivamente que son inferiores al ser comparadas con los diámetros del resto de tratamientos que fueron de 34,23 cm y 58,91 cm a los 180 y 300 días

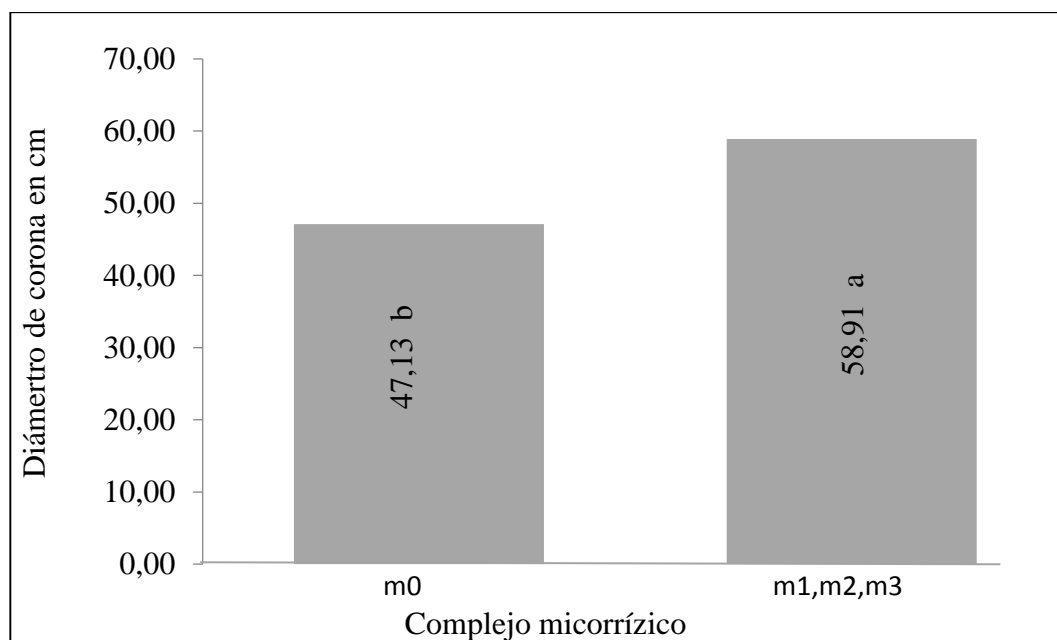


Figura 12. Efecto de las comparaciones ortogonales sobre el diámetro de corona de palma africana en fase de vivero a los 300 días después de la siembra.

El análisis (Figura 13) de regresión se determinó una tendencia lineal positiva altamente significativa cuya ecuación es de  $y = 2654,6 + 53,134x$ ; que infiere que por cada unidad de cambio en los días de investigación de la planta de palma africana, el diámetro de la corona a los 300 días se incrementa en 53,134 décimas, además el coeficiente de variación que fue de 82,51% indica una determinación altamente significativa entre las dos variables evaluadas.

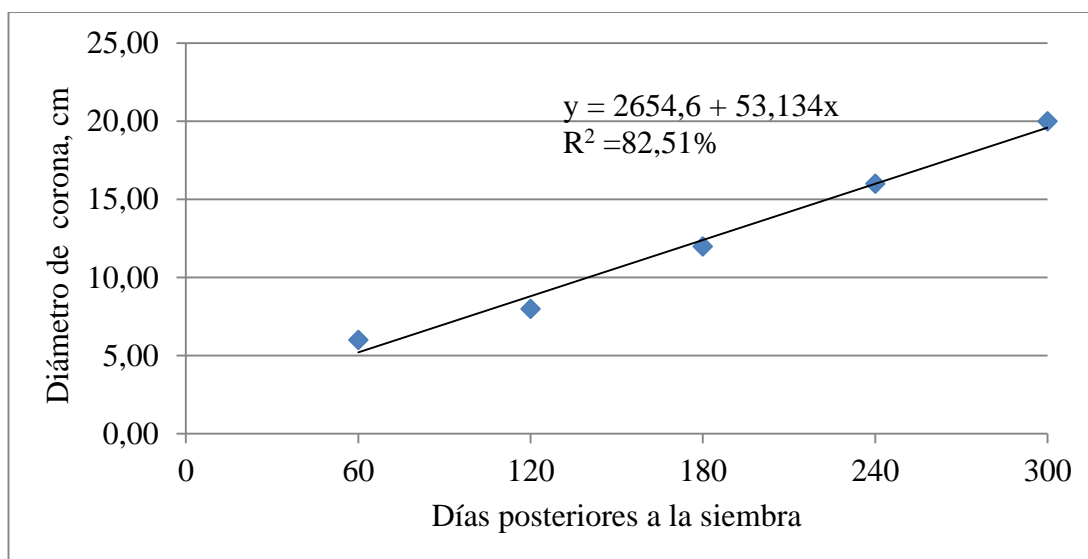


Figura 13. Regresión del diámetro de la corona a los 300 días posteriores a la siembra de palma africana en fase de vivero.

#### **4.3.4. Porcentaje de colonización micorrízico**

Al realizar el análisis de varianza del porcentaje de colonización micorrízico (cuadro 12) no se determinaron diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos por efecto del factor A micorrizas. Se aprecia significancia en el factor B esterilización.

Cuadro 12. Cuadrados medios y el nivel de significancia de acuerdo a Tukey ( $P < 0,05$ ), para medir el efecto de diferentes consorcios de micorrizas arbusculares .

F. V.	G.L.	S. Cuad	C. Medio	Fisher			
				Cal	0,05	0,01	
Micorrizas	3	671,2855	223,7618	1,1261	3,01	4,72	ns
m0 vs m1, m2, m3	1	33,0293	33,0293	0,1662	4,26	7,82	ns
m1 vs m2, m3	1	579,0047	579,0047	2,9138	4,26	7,82	ns
m2 vs m3	1	59,2515	59,2515	0,2982	4,26	7,82	ns
Esterilización	1	2665,4126	2665,4126	13,4134	4,26	7,82	**
Int M*E	3	1044,956	348,3187	1,7529	3,01	4,72	ns
Total	31	9150,7427					
Error	24	4769,0886	198,712				

En el efecto del factor B (Figura 14) se reportaron diferencias estadísticas altamente significativas por lo que las respuestas más altas fueron alcanzadas en las plantas del tratamiento e1 (sustrato esterilizado en la siembra de palma africana) con 86,25% y que desciende a 67,69 en el tratamiento e0 (sustrato sin esterilizar). En la evaluación de la interacción del factor A por el factor B no se reportaron diferencias estadísticas entre medias.

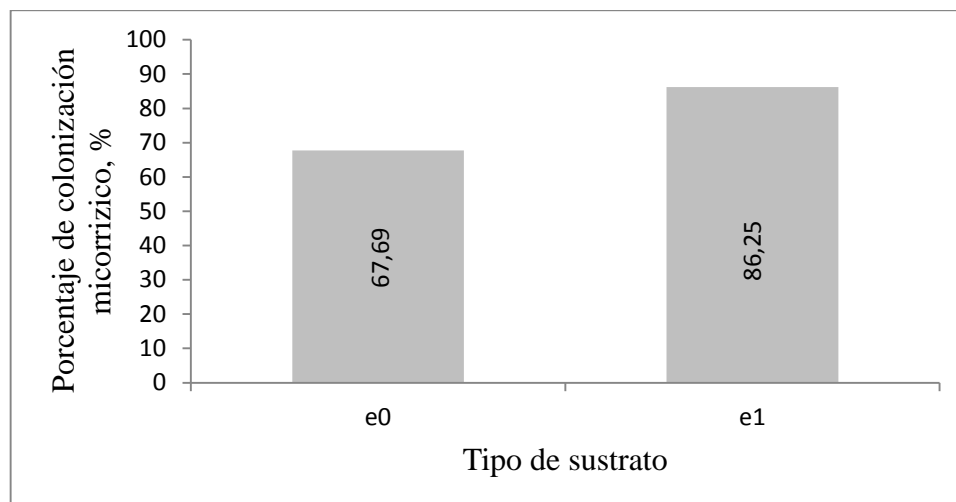


Figura 14. Comportamiento del porcentaje de colonización micorrízico por efecto de tipo de sustrato (factor B) en palma africana fase de vivero.

Duchicela y Gonzáles (2003) manifiesta que para observar el efecto benéfico de la simbiosis se requiere de la esterilización del sustrato y/o desinfección que comprende métodos de solarización, fumigación, vaporización entre otros. Con el fin de evitar daños posibles por presencia de microorganismos fitopatógenos que además de ser una fuente de diseminación de enfermedades también pueden influir en la capacidad de los hongos micorrízicos para colonizar el sistema radicular.

#### 4.3.5. Análisis foliar

Al realizar la evaluación del análisis foliar de las plantas de palma africana en la fase de vivero se puede observar que los mejores resultados en cuanto a la asimilación de fósforo son los tratamientos m0e1 y m3e1 con un porcentaje alto de 0,22 y 0,23 respectivamente lo que tiene una relación directa con el porcentaje de colonización de dichos tratamientos esterilizados. Sin embargo hay una diferencia en las demás variables en especial el tratamiento m0e1, posiblemente a que en éste

tratamiento hubo un menor sinergismo con otros microorganismos y así pudo mejorar su capacidad de absorción de micro y macronutrientes como lo explican (Duchicela *et al.*,2003).

Por otro lado el único porcentaje catalogado como bajo en fósforo de acuerdo al laboratorio de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina es el tratamiento m2e0 sin embargo es el tratamiento con mejores resultados en las variables de crecimiento y a su vez en porcentaje de nitrógeno siendo éste de 3,10 (Alto), lo que sugiere que el producto del tratamiento m2e0 puede contener componentes ya sean bióticos o abióticos que ayudan a mantener una vigorosidad a la planta y que posiblemente ayudaron en la asimilación de N durante las aplicaciones foliares de urea.

#### **4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Al realizar la evaluación económica de las micorrizas arbusculares sobre el desarrollo y estado nutricional de la palma africana, se establecieron rubros ocasionados por costos fijos en los que se tomó en cuenta, mano de obra, material vegetativo, labores culturales, como también costos variables que contemplan tipos de micorrizas y esterilidad del suelo.

El tratamiento que registro el mejor comportamiento fue el m2e0 (Consortio micorrízico comercial Fungifert + Sin esterilizar sustrato), ya que la relación beneficio costo fue de 1,63 es decir que por cada dólar invertido se espera una



utilidad de 63 centavos, también se puede apreciar la misma relación de ganancia en el tratamiento m3e0 (Consortio micorrízico nativo sin plantas trampa + Sin esterilizar sustrato), pero obteniendo una menor vigorosidad.

En los tratamientos m0e1 (Sin micorriza + Sustrato esterilizado) y m1e1 (Consortio micorrízico nativo propagado con plantas trampa + Sustrato esterilizado) se puede apreciar que hay una pérdida de 10 y 7 centavos respectivamente por cada dólar invertido. Esto se debe al costo de esterilización en ambos casos, además del costo de masificación en el tratamiento m1e1.

Los valores reportados permiten inferir que la utilización de consorcio micorrízico comercial Fungifert sin esterilizar sustrato presentan ventajas en crecimiento de las plantas de palma africana en relación al testigo, lo que es un factor de mucha importancia para la determinación de la calidad de la planta a nivel de vivero ya que permite una mayor rentabilidad, justificándose los costos de producción con el incremento en vigorosidad más los ahorros de recursos económicos constituidos por insumos agrícolas entre otras actividades complementarias para el buen desarrollo del cultivo.

Cuadro 13. Evaluación económica para aplicación de micorrizas en vivero de palma africana

Micorrizas Sustrato	Tratamientos							
	T1 MoEo	T2 MoE1	T3 M1Eo	T4 M1E1	T5 M2Eo	T6 M2E1	T7 M3Eo	T8 M3Eo
Costos fijos								
Materiales y equipos	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Mano de obra	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Material vegetativo	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Costos variables								
Micorrizas 0	0	0						
Micorrizas 0			0,93	0,93				
Micorrizas 0					0,09	0,09		
Micorrizas 0							0,09	0,09
Esterilización del sustrato	0	0,71	0	0,71	0	0,71	0	0,71
Costos de producción por plantas	3,74	4,45	4,67	5,38	3,83	4,54	3,83	4,54
Costos de producción tratamiento	299,20	356,00	373,60	430,40	306,40	363,20	306,40	363,20
Rendimiento N° de plantas /tratamiento	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Precio planta de palma africana	4,00	4,00	5,00	5,00	6,25	6,25	6,25	6,25
Beneficio bruto	320,00	320,00	400,00	400,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Beneficio neto	20,80	(36,00)	26,40	(30,40)	193,60	136,80	193,60	136,80
Relación beneficio /costo	1,07	0,90	1,07	0,93	1,63	1,38	1,63	1,38

Elaborado: Moreno S. (2012).

## V. CONCLUSIONES

- La aplicación directa de consorcio micorrízico nativo sin propagar, con sustrato esterilizado y en una dosis de 600 esporas por planta, obtuvo buenos resultados de crecimiento en vivero palma africana (variedad Tenera) en la zona de Mompiche
- Los resultados de crecimiento en altura, diámetro de estipe y corona fueron bajos al aplicar el consorcio micorrízico nativo propagado con plantas trampa al igual que en aquellos que no hubo aplicación de micorrizas.
- Las micorrizas nativas dieron mejor resultados en sustrato esterilizados presentando mejores características de crecimiento y mayor colonización de micorrizas en raíces que en sustratos no esterilizados.
- Las plantas que se desarrollaron en sustrato esterilizado y con aplicación de consorcio micorrízico nativo sin propagar tuvieron mejor asimilación de fósforo.
- Económicamente es más rentable hacer una aplicación directa de un consorcio micorrízico que contenga un número considerable de esporas como es el caso del tratamiento con micorrizas nativas sin propagar y con sustrato sin esterilizar, antes que hacer una masificación de esporas previa a una inoculación.

## VI. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, para la producción de plantas de palma africana (variedad Tenera) a nivel de vivero en la zona de Mompiche, se recomienda la utilización directa de consorcios micorrízicos sin propagar en una dosis de 600 esporas viables por planta.
- Al sustrato a ser usado en viveros de palma africana y en los cuales se vaya a inocular consorcios micorrízicos nativos es aconsejable hacer esterilización mediante calor sensible, siempre y cuando se considere los gastos que ésta actividad implica.
- Evaluar la incidencia de las micorrizas en diferentes tipos de sustratos como también la técnica de aplicación para una buena homogenización de las micorrizas en el medio de cultivo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, A; Y FERRERA-CERRATO, R. 2003. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. Microbiología de suelos. Carretera México – Texcoco. 7p.
- ANCUPA. 2011. Uso de Micorrizas asociadas al cultivo de palma aceitera bajo condiciones de vivero. Disponible en:  
<http://www.ancupa.com/images/stories/micorrizas.pdf>
- ARBOLES ORNAMENTALES. 2008. Familia palmaceae (en línea).  
Disponible en:  
<http://www.arbolesornamentales.com/Elaeisguineensis.htm>
- AZCÓN, C y BAREA, J. 1.997. "Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture significance and potentials" Scientia Horticulturae, 68, p1-24.
- AZCON, C. BAREA M. 1980. Micorrizas. Investigación y Ciencia. pp. 8-167.
- ARMENDÁRIZ, O. 2002. Sectorial palma africana (en línea). Disponible en:  
[http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos\\_financieros/sector%20palma%20africana.pdf](http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos_financieros/sector%20palma%20africana.pdf)

- BERNAL, F; ALMONACID, S. 2006. Botánica, fisiología y genética de la palma de aceite, módulo del seminario taller sobre “manejo de plantaciones de palma aceitera” (ANCUPA). Ecuador.
- BOLAN, N.; ROBSON, A., BARROW, N. 1987. Effects of vesicular arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphates to plants, *Plant and Soil*, 99:401-410
- BRAVO, W. 2011. Evaluación de consorcios simbióticos micorrízicos nativos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.), reproducidos como Bioinoculantes para el estudio de su eficiencia en fase de vivero. (en línea). Disponible en:  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4865/1/T-ESPE-032950.pdf>
- BUITRÓN, R. 2000. Documento informativo sobre palma africana. El caso de ecuador: ¿el paraíso en siete años? (en línea). Disponible en:  
<http://www.accionecologica.org/descargas/alertas/bosques/Alerta%2091-Documento%20sobre%20Palma%20Africana.doc>
- BORRERO, C. 2005, Cultivo de la Palma de Aceite (*Elaeis guineensis*), Disponible en:  
[http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma\\_aceite4.htm](http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite4.htm)

- DUCHICELA, J; GONZÁLES, M. 2003. La Micorriza Arbuscular en el Contexto de la Agricultura Sustentable, CEINCI. Ecuador
- DE LA VEGA, J. 2006. Suelos y Ecosistemas. Las Micorrizas de mayor importancia son: Endomicorrizas, Ectomicorrizas lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. (en línea). Disponible en: <http://www.infoandina.org/perfil/de-la-vega-lozano-jorge-alejandro>
- FEDEPALMA. 20012. La palma de aceite (en línea). Disponible en: <http://www.fedapal.com/#>
- GARCÍA, R. 2005. Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del valle del Mezquital, Hidalgo, México, (en línea). Consultado el 4 de Abril 2008. Disponible en: [http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/ecosistemas/restauracion/1\\_ar33.pdf](http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/ecosistemas/restauracion/1_ar33.pdf)
- GIANINAZZI-PEARSON, V y AZCÒN DE AGUILAR, C. 1999. Fisiología de las Micorrizas Vesículo Arbusculares. En Eco fisiología de la Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes. IV: 175-202. Madrid.
- HARRISON MJ. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Boyce Thompson Institute for Plant Research, Ithaca, New York 14853, USA.

- HERNANDEZ, A. 2004. Las Micorrizas (en línea). Disponible en:  
<http://www.cdeea.com/micorrizas.htm>
- HERMARD, C; ILABACA, C; JERES, G; SANDOVAL, P; y ULLOA, A. 2002. Aspectos generales de las Micorrizas: Efecto de las micorrizas sobre la nutrición mineral de las plantas. 10p. Disponible en:  
<http://www.forestaluchile.cl/curso/fivegf/mico>
- HOLDRIDGE, L. R. 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).
- IICA. 2006. Cultivo de la palma africana guía técnica (en línea). Disponible en: [http://www.iica.int.ni/BioFuel/Guia\\_Tecnica\\_Palma\\_Africana.pdf](http://www.iica.int.ni/BioFuel/Guia_Tecnica_Palma_Africana.pdf)
- INIAP. 2009. Guía básica de manejo de viveros en palma africana. La Concordia (en línea). Disponible en:  
[http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=267&Itemid=](http://www.iniap.gob.ec/sitio/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=267&Itemid=)
- LEON, D. 2006. Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta sp*) en dos regiones de la amazonia colombiana. Disponible en:  
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis296.pdf>



- LOOR, JOSE. 2008. Estudio de la combinación de fertilizantes químicos en vivero de palma aceitera híbrida (*Elaeis oleífera x Elaeis guineensis*) para optimizar el desarrollo en Palmeras del Ecuador – cantón Shushufindi
- LOPEZ, C; Y BARCELÓ, A. 2001. Sobre las micorrizas. Científico (CSIC) en la Estación Experimental La Mayora. Investigadora del C.I.F.A. Disponible en: <http://www.encuentros.uma.es/encuentros55/micorrizas>
- MAG 2006. Superficie, producción y rendimiento de palma africana 1995-2005. Disponible en: <http://www.sica.gov.ec/cadenas/aceites/docs/ANALISIS.htm>
- MORALES J. 2008. Aceite de palma (en línea). Disponible en: <http://fichas.infojardin.com/palmeras/elaeis-guineensis-palmera-aceite-palma-aceitera-africana.htm>
- MORALES R.; BERNAL G. 2006. Estudio del comportamiento micorrízico en el cultivo de la palma aceitera en la zona de Quinindé, Ecuador. Revista ANCUPA No 5. Septiembre, Quito – Ecuador. P.13-16
- MOSSE, B. 1973. Advances in the study of vesicular- arbuscular mycorrhiza. Annu. Rev. Phytopathology 11:171 - 196.

- MOTTA, D. 2005 Respuesta de plántulas de palma de aceite a la micorrización. (en línea). Disponible en:  
<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1136>
- MUCHOVEJ, R. 2001. Importante of Mycorrhizae for agricultural crops SS-AGR -170, University of Florida IFAS extension. p: 5
- NAVARRO, G. 2000. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal, Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona España. pp 488.
- PAILLACHO, F. 2010. Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del Palmito (*Bactris gasipaes* HBK) en etapa de vivero, en Santo Domingo de los Tsáchilas. (en línea) Disponible en:  
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2892/1/T-ESPE-IASA%20II-002332.pdf>
- SHUBLER, A., SCHWARZOTT D.; WALTER, C. 2001. A new fangalphyly, the Glomeromycota phylogeny and evolution. Mycological Research 105, p. 1413-1421
- SIERRA, R (Ed.). 1999. Propuesta preliminar y de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/BIRF y Ecociencia. Quito, Ecuador. 194 p.

- SIEVERDING, E; SANCHEZ, M. y BRAVO, O. 1984. Investigación sobre micorrizas Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira. 270 p.
- SMITH, E.; READ, D. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. San Diego.
- TIBANLOMBO J. 2008. El sector agrícola puede comenzar a decirle adiós al reinado del petróleo. Revista Ecuadorsi. Diario. El Comercio – Quito. Enero 2008, p. 51
- WIKIPEDIA. 2007. Aceite de palma (en línea). Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite\\_de\\_palma](http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite_de_palma)