

**EVALUACION DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS
ARBUSCULARES (HMA) EN LA ETAPA DE ALMACIGO EN CULTIVOS DE
CHONTADURO (*Bactris gasipaes* H.B.K.), CACAO (*Theobroma cacao* L.) y
BOROJO (*Borojoa patinoi* Cuart.), EN TUMACO, NARIÑO.**

**CAMILA ELIZABETH CADENA ORTEGA
JESÚS ALFREDO CADENA ORTEGA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – COLOMBIA
2006**

**EVALUACION DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS
ARBUSCULARES (HMA) EN LA ETAPA DE ALMACIGO EN CULTIVOS DE
CHONTADURO (*Bactris gasipaes* H.B.K.), CACAO (*Theobroma cacao* L.) y
BOROJO (*Borojoa patinoi* Cuart.), EN TUMACO, NARIÑO.**

**CAMILA ELIZABETH CADENA ORTEGA
JESÚS ALFREDO CADENA ORTEGA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO AGROFORESTAL**

**Presidente:
WILLIAM BALLESTEROS POSSÚ I. Af. M.Sc.**

**Copresidente:
ALBERTO UNIGARRO I.A. M. Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – COLOMBIA
2006**

Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Art. 1ro. del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación:

WILLIAM BALLESTEROS POSSÚ I.A. M.Sc.
Presidente de Tesis

CARLOS BETANCOURTH I.A. M.Sc.
Delegado Asesor

HERNANDO CRIOLLO ESCOBAR. I.A. M.Sc.
Jurado

GERMAN CHAVES JURADO I.A. Esp.
Jurado

San Juan de Pasto, Junio 2006.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos A:

Los técnicos de CORPOICA, Tangareal, Tumaco, por su colaboración y permitirnos utilizar sus instalaciones.

Pedro A. Castellanos. I. A., M.Sc, Investigador CORPOICA Centro de Investigaciones El Mira, Tumaco

Personal de Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, por permitirnos utilizar sus instalaciones y brindarnos su apoyo desinteresado.

William Ballesteros Possú, Ingeniero Agroforestal M.Sc., por su apoyo, dedicación y asesoría, lo cual hizo posible la culminación de esta investigación.

Alberto E. Unigarro S, I.A., M.Sc. por sus aportes y asesoría prestada en el desarrollo de esta investigación.

La Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales de la Universidad de Nariño (VIPRI), por la financiación del proyecto.

La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, por permitirnos hacer parte del Programa de Ingeniería Agroforestal.

Hernando Criollo Escobar I. A., M Sc. por su colaboración y supervisión en la parte estadística y redacción del documento.

Carlos Betancourt Garcia I. A., M Sc. por las sugerencias en la realización del trabajo.

Germán Chávez Jurado I. A., Esp. por la supervisión en la redacción final.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización de éste trabajo.

DEDICATORIA

A Dios por bendecirme y permitirme nacer dentro de una familia especial.

A mis padres Estela y Alfredo, porque solo soy obra de su gran amor y sacrificio.

A mis hermanos por su apoyo y comprensión.

A mis amigos por su amistad, apoyo y tiempo.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron a este triunfo.

CAMILA ELIZABETH CADENA ORTEGA.

DEDICATORIA

A Dios, gracias por la vida y por haber nacido en un hogar al cual le debo todo lo que he sido y seré en el futuro.

A mis amigos por su inmenso apoyo, comprensión que me ayudaron a realizar mis metas.

A mis profesores que me guiaron y me dieron su ejemplo para seguir adelante.

A todas las personas que contribuyeron con la realización de esta investigación.

JESÚS ALFREDO CADENA ORTEGA.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
2. MARCO TEORICO	22
2.1 MICORRIZA	22
2.1.1 Generalidades.	22
2.1.2 Taxonomía de la micorriza.	22
2.1.3 Factores que determinan el beneficio a la planta de la simbiosis raíz hongo MA.	24
2.1.4 Beneficios por la aplicación de HMA.	25
2.2 EL FÓSFORO	27
2.2.1 Importancia del fósforo en las plantas.	27
2.2.2 Interacción micorriza - fósforo.	28
2.3 RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE HMA	30
2.3. Algunos ensayos de respuesta y caracterización de HMA en Nariño.	30
2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES ESTUDIADAS	31
2.4.1 Chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i> H.B. K).	31
2.4.2 Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).	33
2.4.3 Borojón (<i>Borojoa Patinoi</i> Cuatr).	33
3. DISEÑO METODOLOGICO	35
3.1 LOCALIZACIÓN	35
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL VEGETAL	36
3.3.1 Semillas de las especies chontaduro, cacao, y borojón.	36
3.3.2 Cepas de hongos micorrícicos.	36
3.3.3 Sustrato para llenado de las bolsas.	36
3.4 LABORES REALIZADAS	36
3.4.1 Análisis físico químico del suelo.	36

3.4.2 Esterilización del suelo.	37
3.4.3 Identificación de esporas del suelo.	37
3.4.4 Transplante	37
3.4.5 Inoculación de HMA.	37
3.4.6 Fertilización basal.	38
3.5 LABORES CULTURALES	38
3.6 VARIABLES EVALUADAS	39
3.6.1 Altura de plantas en (cm).	39
3.6.2 Peso de materia seca de parte aérea (g).	39
3.6.3 Peso de materia seca de parte radical.	39
3.6.4 Contenido de fósforo del tejido vegetal en la parte aérea (%).	39
3.6.5 Porcentaje de infección por HMA en raíces (en láminas) (%).	39
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 EVALUACION PRELIMINAR	42
4.1.1 Géneros de HMA nativos.	42
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS EN CADA EXPERIMENTO	44
4.2.1 Experimento con Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).	44
4.2.2 Experimento Con Borojó (<i>Borojoa Patinoi</i> Cuatr).	59
4.2.3 Experimento Con Chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i> H.B. K).	72
5. CONCLUSIONES	85
6. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	98

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Diferentes dosis de Fertilizantes aplicados en los cultivos de cacao, borjón y chontaduro en la etapa de almácigo en el municipio de Tumaco, Nariño.	38
Cuadro 2. Contrastes no ortogonales utilizados para comparar la inoculación de HMA y la fertilización con diferentes dosis de fósforo en cultivos de cacao, borjón y chontaduro en el municipio de Tumaco, Nariño.	41
Cuadro 3. Géneros de HMA encontradas en suelos del municipio de Tumaco, Nariño.	42

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esporas de HMA de <i>Glomus sp.</i> y <i>Gigaspora</i> obtenidas en suelos cultivados con borojón (<i>Borojoa patinoi</i>).	42
Figura 2. Esporas de HMA de <i>Scutellospora sp.</i> y <i>Glomus sp.</i> obtenidas en suelos cultivados con Chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>).	43
Figura 3. Esporas de HMA de <i>Glomus sp.</i> y <i>Acaulospora</i> obtenidas en suelos cultivados con cacao (<i>Theobroma cacao</i>).	43
Figura 4. Estructuras de HMA presentes en raíces de cacao (hifas y esporas de <i>Acaulospora</i>).	45
Figura 5. Estructuras de HMA presentes en raíces de cacao (arbúsculos e hifas de <i>G. fasciculatum</i>).	45
Figura 6. Altura de las plántulas de cacao, obtenida por la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	49
Figura 7. Altura de las plántulas de cacao, obtenida por la aplicación de diferentes dosis de fósforo, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	51
Figura 8. Desarrollo radical de las plántulas de cacao obtenidas con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	57
Figura 9. Estructuras de HMA presentes en raíces de borojón (esporas, vesículas y arbúsculos de <i>Glomus sp.</i>).	60
Figura 10. Estructuras de HMA presentes en raíces de borojón (esporas internas y vesículas de <i>Acaulospora</i>).	60
Figura 11. Altura de las plántulas de borojón obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	64

Figura 12. Altura de las plántulas de borjé obtenida con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	66
Figura 13. Desarrollo radical de las plántulas de borjé obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	71
Figura 14. Estructuras de HMA presentes en raíces de chontaduro (esporas internas y vesículas de <i>G. fasciculatum</i>).	73
Figura 15. Estructuras de HMA presentes en raíces de chontaduro (esporas internas de <i>Acaulospora</i>).	73
Figura 16. Altura de las plántulas de Chontaduro, obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	77
Figura 17. Altura de las plántulas de chontaduro, obtenida con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	77
Figura 18. Desarrollo radical de las plántulas de chontaduro obtenido con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.	82

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de los suelos utilizados para los cultivos de Cacao, Chontaduro y Borojón, en muestras tomadas en el municipio de Tumaco, Nariño.	98
Anexo B. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Cacao, Tumaco- Nariño.	99
Anexo C. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Borojón, Tumaco-Nariño.	100
Anexo D. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Chontaduro, Tumaco- Nariño.	101
Anexo E. Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Cacao, Tumaco-Nariño.	102
Anexo F Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Borojón, Tumaco-Nariño.	103
Anexo G. Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Chontaduro, Tumaco- Nariño.	104

GLOSARIO

APRESORIO: apéndice especializado del micelio; el extremo de una hifa o tubo germinativo se hincha, fija el hongo al sustrato u hospedero, e imitando una bomba neumática, ejerce presión sobre el tejido a colonizar y facilita la penetración del hongo.

ARBUSCULO: estructuras de corta vida (de 1 a 3 semanas) cuya presencia es indicativa de la actividad metabólica asociada al transporte de sustancias a través de membranas.

CLAMIDOSPORA: esporas de hongos recubiertas de paredes gruesas, se producen asexualmente a partir de una célula o de una porción de hifa. Son capaces de sobrevivir en condiciones desfavorables para el desarrollo de otras estructuras del hongo.

ECTOMICORRIZAS: agrupaciones de micorrizas en las cuales las hifas de hongo envuelven los segmentos de raíces colonizadas y se entretajan alrededor de ellos formando una estructura anatómica llamada manto.

ENDOMICORRIZA: se caracterizan por la penetración del hongo inter. e intracelularmente, ausencia de manto y acentuadas modificaciones anatómicas en las raíces no visibles a simple vista.

ESPORAS: célula productora sexual que forman numerosos hongos

HIFAS: elemento uni o pluricelular, tubular o filamentoso, cuyo conjunto constituye el micelio de los hongos. Pueden ser septadas o aseptadas.

HMA: hongos que forman micorriza arbuscular.

INFECTIVO: que causa infección. Cuando el hongo penetra tejido en sitios fisiológicamente funcionales.

MICELIO: conjunto de hifas que constituyen la parte vegetativa (talo) de un hongo filamentoso.

MICORRIZA (MA): simbiosis mutualista entre algunos hongos del suelo y las raíces de las plantas.

MICOSIMBIONTE: hongo asociado en simbiosis.

MICOTROFIA OBLIGADA: cuando la planta depende de la MA para poder desarrollarse y crecer.

MICOTROFIA FACULTATIVA: aunque la planta presente MA, su grado de dependencia para sobrevivir y desarrollarse es relativo.

PROPÁGULO: parte del hongo capaz de infectar un hospedero. En el caso de HMA pueden ser esporas, hifas externas o internas y vesiculares fundamentalmente.

RIZOSFERA: zona alrededor de la raíz de la planta en la cual la actividad microbiana es muy intensa. Normalmente alcanza unos pocos milímetros.

SIMBIOSIS: asociación íntima entre dos organismos de diferentes especies, en la cual ambos obtienen beneficios nutricionales.

ULTISOLES: orden al cual pertenecen suelos que tienen horizonte diferenciado, altamente lixiviado con horizonte de arcilla ácida. Posee fertilidad deficiente; requiere aplicación de fertilizantes orgánicos y se encuentra distribuido especialmente en subtrópicos húmedos, como por ejemplo: el sureste de EEUU, India, regiones medias de Perú y Brasil.

VESÍCULA: ensanchamientos terminales de las hifas que le sirven como reserva de carbono en forma de lípidos.

RESUMEN

La investigación se realizó en el vivero del Centro de Investigaciones El Mira CORPOICA, Tumaco, Nariño, ubicado a una altura de 16 msnm., con una precipitación promedio anual de 3000 mm, temperatura de 26°C, humedad relativa de 88% y brillo solar 1000 horas año⁻¹, según la clasificación agroecológica la zona pertenece al bosque húmedo tropical (bh-T).

Se determinó el peso seco de la parte aérea, el peso seco de las raíces, la altura de las plantas, el porcentaje de infección por HMA en raíces de plántulas y la absorción de fósforo, en chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.), cacao (*Theobroma cacao* L.), y borojó (*Borojoa patinoi* Cuart.) con suelos dedicados a estos cultivos, utilizando cepas nativas y cepas introducidas de *Glomus sp.*, *G. fasciculatum* y *Acaulospora*, dos dosis de fósforo (50 y 500 Kg ha⁻¹) y dos tratamientos del suelo (estéril y sin esterilizar), en la etapa de vivero.

Se establecieron tres experimentos uno para cada especie, utilizando un diseño DIA con cuatro réplicas, 24 tratamientos y cuatro plantas por unidad experimental; los tratamientos se agruparon y se analizaron a través de 14 contrastes no ortogonales.

Los mayores porcentajes de infección en raíces de cacao se obtuvieron con la inoculación de HMA, la adición de 50 Kg de P ha⁻¹ y suelo no esterilizado; las mayores alturas se lograron al inocular HMA y sin la esterilizar el suelo; la absorción de P se incrementó con la inoculación, la fertilización con la dosis de 500 Kg de P ha⁻¹ y sin la esterilizar el suelo; el peso de materia seca de la parte aérea de las plantas, fue mayor en suelo esterilizado y con la aplicación de fósforo especialmente con dosis 500 Kg de P ha⁻¹; el mayor promedio del peso de materia seca de las raíces se obtuvo con la inoculación de HMA, en suelo sin esterilizar y la adición de 500 Kg de P ha⁻¹.

En Borojó la inoculación con HMA, incrementó el porcentaje de infección en láminas, altura de plantas, absorción de fósforo y el peso de la materia seca de las raíces; la inoculación con *Acaulospora* presentó aumentos de 34.92% y 23.16cm para el porcentaje de infección y altura. La fertilización con fósforo, mostró incrementos en el porcentaje de infección de raíces en láminas, altura de plantas, peso de la materia seca de la parte aérea y de las raíces; se encontró además que la esterilización del suelo mostró diferencias en la absorción de fósforo, siendo esta mejor en suelos naturales.

En Chontaduro, la inoculación con HMA incrementó los porcentajes en 33.79% respecto a los no inoculados, de igual manera, la fertilización con fósforo manifestó aumentos en los porcentajes en todos los casos, especialmente cuando se trabajó con 50 kg de P ha⁻¹; de las especies de hongos inoculados *Acaulospora*, presentó aumentos del 40.93% con relación a las otras cepas, además, se encontró un incremento en el porcentaje de infección en raíces 23.69% en suelo sin esterilizar. Los resultados encontrados con el porcentaje de infección guardaron una relación directa con la variable absorción de fósforo, al encontrar diferencias similares en las comparaciones realizadas a excepción de las dosis aplicadas, pues se encontró que con la fertilización de 500 Kg de P ha⁻¹, el porcentaje de absorción de fósforo en las plantas es mayor lo que no ocurrió con las variables altura de plantas y peso seco de la parte aérea y de la raíz, ya que las diferencias para estas dos últimas solo se evidencian al utilizar suelo sin esterilizar.

Palabras Clave: Micorrizas, *Glomus*, *G. fasciculatum*, *Acaulospora*, cacao, borjón, chontaduro, vivero, porcentaje de infección, fósforo, Tumaco, Nariño.

ABSTRACT

The research was carried out in the seed bed belonged to Research Center "El Mira" CORPOICA, Tumaco, Nariño. Located of 16 meters above sea level, with a mean annual rainfall of 3000 mm, a temperature of 26 °C, a relative humidity of 88% and sunny bright of 1000 years hours; according with agroecological classification, this area belongs to tropical wet forest (bh-tT).

Aerial part dried weight, root dried weight, plants height, infection by HMA in seedlings roots and phosphorus absorption were determined in Chontaduro plants (*Bactris gasipaes* H.B.K.), cocoa (*Theobroma cacao* L.) and borojó (*Borojoa patinoi* Cuat.) in soils devoted to these crops, native and introduced rootstalks of *Glomus* sp., *G. fasciculatum* and *Acaulospora*, were used as well as two phosphorus doses (50 and 500 Kg ha⁻¹) and two treatments made to soil (sterile and without sterilizing), in the seed stage.

Three experiments were established one to each species, by using a DIA design with four replies, as well as 24 treatments and four plants by experimental unit. Treatments were grouped through 14 – non- orthogonal contrasts.

The highest infection percentages in cocoa roots were obtained with the HMA inoculation, the addition of 50 Kg of P ha⁻¹ and non sterilization of soil. The major heights were obtained when the HMA was inoculated and without sterilizing the soil; The P absorption increased with the inoculation, the fertilization with 500 kg of P ha⁻¹. doses and without sterilizing the soil. The weight of dried matter from plants aerial parts was higher in non sterilizing soil and with the phosphorus application especially with doses equal to 500 kg of the P ha⁻¹. The highest mean of weight of dried matter of roots, was obtained by HMA inoculation, in without sterilizing and the addition of 500 Kg de P ha⁻¹.

In borojó, the inoculation with HMA increased percentage of infection in film, height of plants, phosphorus absorption and weight of dried matter of roots. The inoculation with *Acaulospora* showed increases of 34.92% and 23.16cm. The fertilizations made with phosphorus showed increases in infection percentage of roots in films, plant height, weight of dried matter of aerial parts. Moreover, it was found the sterilization of soil had differences in phosphorus absorption which, was the best in natural soils.

In chontaduro, the inoculation with HMA increased percentages in 33.79% with respect to those which were not inoculated. The fertilization with phosphorus had increases in infection in all cases, specially, when it is necessary to work with 50 Kg of P ha⁻¹; from inoculated fungi species, *Acaulospora* had increases of 40.93%

in front of other rootstalks. Moreover a increase in root infection percentages equal to 23.69% in non sterilizing soil. Results found with phosphorus absorption variable. Some similar differences were found in comparisons made without taking into account applied doses since it was verified percentage of phosphorus absorption in plants was higher in the fertilization made with 500 Kg of P ha⁻¹ which did not happen with variables such as plant height and dried weight of aerial part and roots since the differences to these two last variables were clear when non – sterilizing soil was used.

Key words: mycorrhizas, *Glomus*, *G. fasciculatum*, *Acaulospora*, cocoa, borjón, chontaduro, seed bed, percentage of infection, phosphorus, Tumaco, Nariño.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento y la caracterización de las relaciones simbióticas mutualistas entre organismos edáficos y plantas, es una perspectiva de trabajo que plantea alternativas de desarrollo e implementación de buenas prácticas agrícolas, en las que el aporte de los recursos nutricionales para la planta como resultado de la simbiosis, da lugar a una ventajosa producción agrícola sin deterioro de la calidad del suelo y su potencial de utilización, según lo manifiestan Azcon y Barea¹. Así, los sistemas de inoculación y manejo cultural de hongos micorrícicos son tecnologías ecológicamente racionales y aparecen como una de las prácticas biológicas más promisorias e innovativas para los sectores agrícola y forestal.

Hurtado, et al; citados por Reyes², afirman que: “estudios adelantados con chontaduro, plátano, yuca, cacao y frutales en la costa Pacífica del departamento de Nariño, han demostrado que existen varios limitantes relacionados con el manejo fitosanitario, agronómico y de comercialización de estos cultivos; limitantes que pueden ser abordados implementando diferentes estrategias, con miras al aumento de los niveles de productividad y a garantizar el manejo sostenible”.

Entre otros limitantes agronómicos del municipio de Tumaco, se encuentra la baja disponibilidad de fósforo aprovechable por el carácter ácido que presentan estos suelos, los cuales se clasifican como oxisoles, de textura arcillosa, con alta concentración de aluminio. Una manera de lograr mayor suministro de fósforo a las plantas puede ser a través de la simbiosis radical con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), aspecto que ha sido poco estudiado en la región.

Por otro lado, en esta zona, la actividad agropecuaria muestra escasa diversificación, existiendo una tendencia hacia el monocultivo de la palma de aceite, cultivos ilícitos y ganadería, acciones que no han sido objeto de un minucioso estudio sobre los posibles impactos ambientales y socioeconómicos generados en los ecosistemas y la sociedad; por lo que se plantea en esta investigación estrategias de manejo, que puedan solucionar en parte la problemática regional a través de la implementación y mejoramiento de los cultivos de: chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.), cacao (*Theobroma cacao* L.), y borojó (*Borojoa patinoi* Cuart.), entre otros.

¹ AZCON, Concepción y BAREA, José. Micorrizas En: Biología vegetal. Libro de investigación y Ciencia. España: Prensa científica, 1988. p. 83-89.

² REYES, Rafael. Cosecha y producción de chontaduro para palmito. En: CORPOICA, explotación de chontaduro para palmito. En: Curso cualitativo de la palma de chontaduro. Memorias. Tumaco: C.I El mira, 1997. 70

Según CORPOICA³:

Una de las alternativas de manejo de este tipo de agroecosistemas, es la agroforestería, para lo cual se debe comenzar con estudios sobre el suelo y sus componentes como son los microorganismos, de los cuales, la infección con hongos arbusculares y especies nativas pueden actuar como potenciador de las características intrínsecas ecosistémicas

En las Ciencias Agroforestales, uno de los paradigmas planteados es conocer las interacciones de los componentes; a pesar que en las investigaciones sobre las micorrizas se han logrado avances importantes, no se ha hecho énfasis en la determinación de estos hongos en los sistemas agroforestales tradicionales, ni en los beneficios que este tipo de relaciones simbióticas generan en los diferentes componentes del mismo.

La presente investigación se realizó en tres experimentos independientes, teniendo en cuenta los siguientes objetivos: Evaluar el porcentaje de infección por HMA en raíces de plántulas de chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.), cacao (*Theobroma cacao* L.), y borojó (*Borojoa patinoi* Cuart.) en suelos dedicados a estos cultivos con cepas nativas y cepas introducidas y determinar la absorción de fósforo en cada una de estas plantas, en la etapa de almácigo, obtenida por efecto de la inoculación de tres cepas de HMA y aplicación de tres niveles de fósforo.

³ CORPOICA. Las Micorrizas como Alternativa para el Manejo Sostenible de los Agroecosistemas Tropicales. En: Boletín técnico No.12. Villavicencio: CORPOICA, 1998. p. 9-12.

2. MARCO TEORICO

2.1 MICORRIZA

2.1.1 Generalidades. Según Azcon y Barea, Olivares, et al., Ipinza et al., citados por Corredor⁴, las micorrizas son asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y algunos hongos del suelo, cuya principal función es la de aumentar el volumen del suelo explorado por la planta y contribuir a la absorción de elementos poco móviles como el fósforo (P), zinc (Zn) y cobre (Cu).

Como lo afirman Azcon y Barea⁵, el hongo forma con la raíz un consorcio fisiológico caracterizado por la presencia de estructuras típicas en la epidermis de la misma, hifas, arbusculos y vesículas cuyas funciones han sido descritas por varios autores. Según Sieverding⁶, y Morton⁷ las estructuras del hongo dentro de la raíz de la planta están en contacto con el micelio externo que la rodea en una red difusa la raíz, lugar en donde son formadas, libremente o en esporocarpos las azigosporas o clamidosporas del hongo; órganos con base en cuya morfología únicamente es posible realizar la identificación del género y la especie, debido a que no se puede desarrollar y multiplicar estos hongos, en medios de cultivo.

Azcon y Barea⁸, afirman que no se conoce, en general, una especificidad entre especies de hongos HMA y especies determinadas de plantas, para la formación de la simbiosis. Las HMA se han encontrado distribuidas mundialmente. Su presencia es escasa, solamente en regiones acuáticas y en sitios donde predominan los hongos formadores de ectomicorrizas.

2.1.2 Taxonomía de la micorriza. Según Sieverding⁹ las características más utilizadas para el reconocimiento de los diferentes tipos de especies de micorrizas, son la forma, el color y el tamaño de la espora, su ordenamiento en esporocarpos o no, así como el número, grosor, color, ordenamiento y elasticidad de sus capas o paredes.

⁴ CORREDOR, Gloria. Micorrizas arbusculares, aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. [en línea]. [Colombia] 2003 [citado Nov., 2005]. Disponible en Internet: URL:<http://www.turipana.com.co/2003>.

⁵ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 86.

⁶ SIEVERDING, Edwal. Aspectos de la taxonomía e identificación de hongos formadores de micorriza vesículo arbuscular. En: Sieverding, E., Sánchez de Prager, M Y Bravo, N. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia, Palmira : Universidad Nacional de Colombia, 1984. p.2.

⁷ MORTON, Jhosep. B. Evolutionary relationships among arbuscular micorrhizal fungi in the Endogonaceae. In: Mycologia. Vol. 82 (1990); p. 192 – 207.

⁸ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 86.

⁹ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 4.

Los hongos con capacidad micorrizógena están bastante distanciados filogenéticamente e infectan amplios y diversos grupos de plantas hospederas. En general, ellos se encuentran distribuidos entre los principales grupos de hongos verdaderos (*Eumycetes*). Durante muchos años los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se ubicaron en el orden *Endogonales* junto al género no micorrícico *Endogone*, sin embargo, a la luz de consideraciones filogenéticas se estableció que su condición simbiótica constituía criterio suficiente para agruparlos en un taxón particular, lo cual dio origen al orden de los *Glomales* y a un re-arreglo de familias. Según lo manifiestan Morton¹⁰, Morton y Benny¹¹, y Walker¹².

Recientemente, con base en los avances en lo que se refiere a técnicas moleculares y relacionándolas con las características morfológicas de las esporas, Morton y Redecker¹³ han realizado cambios significativos en la taxonomía de los hongos formadores de micorriza arbuscular. El uso de nuevas técnicas que involucran la secuenciación de ADN, determinaciones de perfiles de ácidos grasos, reacciones inmunológicas hacia anticuerpos monoclonales específicos y junto con la caracterización de la morfología de las esporas y hábitos de colonización de los HMA, han permitido tener avances sustanciales en la taxonomía de estos hongos.

La clasificación actual a partir de Morton y Redecker¹⁴ es:

División:	<i>Eumycota</i>
Clase:	Zygomycetyes
Orden:	<i>Glomales</i>
Suborden:	<i>Gomineae</i>
Familia:	paraglomaceae
Género:	paraglomus
Familia:	archaeosporaceae
Género:	archaeospora
Familia:	glomaceae
Género:	<i>glomus</i>
Familia:	acaulosporaceae

¹⁰ MORTON, Jhosep. B. Op.cit., p. 192-207.

¹¹ MORTON, Jhosep B. and BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Zygomycetes*): a new order, *Glomales*, two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. In: Mycotaxon. Vol. 37 (1991); p. 471 –491.

¹² WALKER, Chistoper. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (*Glomales*) – a posible way forward. Agronomie, Vol. 120 (1992); p. 887 – 897.

¹³ MORTON, Jhosep B. and D. Redecker Two new families of *Glomales*, *Archaeosporaceae* and *Paraglomaceae*, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. In: *Mycologia* Vol. 93 No. 1. [en línea] [Colombia] 2001 [citado 15 nov., 2005]. [disponible en Internet: <URL :<http://invam.caf.wvu.edu>> p. 181-195.

¹⁴ Ibid., p. 181-195.

Géneros: entrophospora y acaulospora
Suborden: gigasporineae
Familia: gigasporaceae
Géneros: gigaspora y scutellospora

Según Morton y Redecker¹⁵, Esta nueva clasificación trata de describir la ruta filogenética de los HMA. Las nuevas familias comprenden especies que presentaban características morfológicas atípicas a los géneros en los que estaban ubicados. La familia *Archaeosporaceae* incluye tres especies que forman esporas atípicas a las de *Acaulospora* y dos de ellas son dimórficas y forman esporas de tipo Glomoides. Esta familia contiene un solo género, *Archaeospora*, en el que se incluyen a las siguientes especies: *Archaeospora trappei*, *Archaeospora leptoticha*, *Archaeospora gerdemanii*.

Por otra parte, la familia *Paraglomaceae* incluye dos especies formadoras de esporas que no son distinguibles con aquellas especies del género *Glomus* y su creación se basa en características del hábito de colonización y su morfología es muy similar a los miembros de la familia *Archaeosporaceae*. La descripción de esta familia se basa en características moleculares (ácidos grasos y secuenciación de ADNr 18S), lo que permite considerarla como un grupo ancestral de los Glomales y son distantes de otras familias de los Glomales. Esta familia incluye un solo género *Paraglomus*, en el que se ubican dos especies: *Paraglomus occultum* y *Paraglomus brasilianum*¹⁶.

2.1.3 Factores que determinan el beneficio a la planta de la simbiosis raíz hongo MA. Según Guerrero¹⁷: los principales factores que determinan el beneficio a la planta de la simbiosis raíz – hongo HMA en forma general son: a) la planta, b) el hongo formador de micorriza, y c) el suelo y el ambiente, incluyendo en el factor suelo su manejo.

Según Azcón y Barea¹⁸, en primer lugar, la planta debe tener afinidad para formar una asociación con hongos HMA. Para aquellas plantas que se asocian con hongos HMA, el beneficio de la simbiosis está definido por su dependencia a la micorriza. La dependencia según Sieverding¹⁹ se basa en el grado en que las plantas necesitan de la asociación con el hongo para tener un máximo crecimiento dependiendo de la fertilidad del suelo.

¹⁵ Ibid., p. 181-195.

¹⁶ Ibid., p. 181-195.

¹⁷ GUERRERO, F. Eduardo. Micorriza fundamentos biológicos y estado de arte. En: Micorrizas. Recurso biológico del suelo. Bogotá, Colombia: Fondo FEN, 1996. p 1-46.

¹⁸ AZCON, Concepción y BAREA, José. En: Biología vegetal. Libro de investigación y Ciencia, Op.cit., p. 83-89.

¹⁹ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 209 -223.

Abbott y Robson²⁰ reportan que: Las diferencias entre los hongos HMA, que determinan variaciones en el beneficio que la planta recibe son: la rapidez del hongo en infectar la planta; el potencial del hongo para crecer y desarrollar un extenso sistema de micelio externo en la raíz; el potencial del hongo para absorber y transportar el fósforo y otros nutrientes a la raíz; la demanda de carbohidratos para su desarrollo y reproducción; la capacidad del hongo para competir con otros microorganismos y actuar sinérgicamente con otros microorganismos benéficos y la tolerancia a cambios de condiciones físico – químicas del suelo y del clima.

Para Hayman et al., citados por Jiménez²¹: el suelo es el factor que se considera el más importante; se han estudiado los efectos de las condiciones físico-químicas, el balance de nutrientes y elementos tóxicos. En general el beneficio de la HMA para la planta se incrementa en suelos con baja disponibilidad de fósforo.

Según Azcón y Barea²², y Guerrero²³, la humedad, temperatura, época de lluvia y sequía son factores que normalmente no son controlables directamente. Indudablemente los HMA requieren productos fotosintéticos de la planta, por lo tanto de un cultivar adaptado a un ambiente dado va a favorecer la HMA y por ende se logrará un mayor beneficio. Según Azcón y Barea²⁴ y Satizabal²⁵, Sieverding²⁶, las prácticas agronómicas tales como preparación del terreno, aplicación de abonos y enmiendas, uso de plaguicidas, sistemas de siembra y otros, influyen en las condiciones físico – químicas del suelo y son mecanismos para modificarlas. Todas estas prácticas pueden tener efecto sobre los hongos formadores de HMA y por lo tanto, sobre el beneficio de la planta.

2.1.4 Beneficios por la aplicación de HMA.

Azcón y Barea²⁷, plantean que:

La simbiosis de endomicorriza arbuscular debe ser considerada como un elemento esencial para promover sanidad y productividad en los cultivos de importancia económica como el que ocupa este proyecto. Beneficios máximos serán obtenidos si se inocula con hongos micorrizógenos eficientes y si se hace una selección de

²⁰ ABBOT, Lynette. and ROBSON, A.D. The role of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. En: Victoria. Vol. 33. (1982); p. 389-408.

²¹ JIMENEZ, Mauricio. Micorrizas Vesículo Arbusculares asociados con cítricos en el Valle de Azapata, región. Chile: IDESIA, Instituto de agronomía, Universidad de Tarapana, 1993. p. 63 – 69.

²² AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 83-89.

²³ GUERRERO, Eduardo, Op.cit., p. 1-46.

²⁴ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 83-89.

²⁵ SATIZABAL, Escobar y José Hernando. Interacción micorriza vesículo – arbuscular, Rhizobium-leguminosa en un oxisol de los llanos orientales de Colombia. Palmira, Colombia, 1985. 125 p. Tesis (Magíster en suelos y aguas). Universidad nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

²⁶ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 209 -223.

²⁷ AZCON, Concepción y BAREA, José. "Applying micorrhiza biotechnogy to horticultura significance and potentials". s.l. : Scientia Horticulturae, 1997. p. 68.

combinaciones compatibles de hongo – planta – suelo. En general, cuánto más temprano se establezca la simbiosis, mayor será el beneficio.

Según, Domínguez y Vega²⁸ las micorrizas arbusculares, pueden ser utilizadas en la agricultura en forma de biofertilizantes en viveros, constituyéndose así en una alternativa valiosa para solucionar problemas de propagación, aclimatación y nutrición de las diferentes especies de importancia de los sistemas agroforestales; reduciendo al mismo tiempo los costos de producción, ya que requieren menor aplicación de insumos, fertilizantes, riego y plaguicidas; a su vez permitiendo de esta forma establecer sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que aumentan la sostenibilidad de los cultivos.

Además de beneficios mencionados anteriormente, Borie y Barea²⁹, mencionan los siguientes beneficios de la asociación con los HMA:

- Contribución a la nutrición mineral de la planta, en especial a su aporte de fósforo, por absorción, translocación y transferencia; en la nutrición nitrogenada de la planta, y en la adquisición de otros nutrientes como zinc y cobre, y se considera que probablemente, podrían translocar potasio, calcio, magnesio y azufre.
- Control biológico para algunos patógenos provenientes del suelo, e incremento de la tolerancia de la planta a patógenos.
- Efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de la biomasa.
- Mejoramiento de la tolerancia a condiciones de estrés hídrico y salinidad. Influencia sobre la fotosíntesis de la planta hospedera.
- Producción de hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal.
- Incremento en la relación parte aérea / raíz de la planta micorrizada.
- Aportes en recuperación de suelos por ser formadores de agregados del suelo.
- Uso potencial en suelos degradados o áridos en programas de revegetalización.

²⁸ DOMINGUEZ, Roldan y VEGA, K. Ensayo de validación de "Mycoral" micorrizas vesículo arbuscular en yuca con agricultores de Honduras. [en línea] [Colombia]. 2000 [citado Nov., 2005]. Disponible en Internet : URL:<http://www.cidicco.nn/ensayo-de-validación-de-mycotal.htm>.

²⁹ BORIE, Fernando. y BAREA, José. M. Ciclo del fósforo II papel de los microorganismos y repercusión en la nutrición vegetal. En: Anales de Edafología y agrobiología. España. Vol. 41 (1991); p. 235 -238.

- Interacción positiva con fijadores libres y simbióticos de nitrógeno y otros microorganismos de la rizosfera.

2.2 EL FÓSFORO

2.2.1 Importancia del fósforo en las plantas. Según Ferrera y Pérez³⁰ el fósforo es un constituyente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos y vitaminas; es indispensable en los procesos donde hay transporte, almacenamiento y transformación de energía. Actúa también en la fotosíntesis, respiración, división y elongación celular. Según Guerrero citado por Borie y Barea³¹: otras funciones son la de estimular la formación temprana y el crecimiento de las raíces, intervenir en la formación de los órganos de reproducción de las plantas, es vital en la formación de semillas, acelera la maduración de los frutos en los cuales generalmente se almacena en altas concentraciones.

Las plantas absorben fósforo en estado soluble, pero cuando se introduce fósforo al suelo, más del 90% de él pasa rápidamente a formas insolubles, no disponibles. Así, gran parte de los fertilizantes fosfatados que se aplican no son utilizados por las plantas, sino que se almacenan en el suelo. La situación se agrava cuando el uso agrícola disminuye los niveles de materia orgánica del suelo o induce cambios hacia los extremos de la escala de pH; la ineficiencia de uso aumenta y se hace necesario elevar aún más las dosis de fertilización.

Para Montesinos³² la fertilización fosfatada óptima sea inalcanzable para un número creciente de agricultores. Si consideramos además que las reservas mundiales de fósforo son limitadas, no es difícil prever masivos problemas de sustentabilidad a corto y mediano plazo, ya sea por encarecimiento significativo de la fertilización fosfatada, o directamente por agotamiento de los depósitos de este nutriente. Un manejo de fertilidad de suelos racional y sustentable, entonces, hace indispensable aumentar la eficiencia de utilización, la que no depende de mayores tasas de aplicación de fertilizantes, sino de fomentar procesos de reciclaje y de solubilización del fósforo en el suelo.

El primer síntoma por falta de fósforo según Burckhardt, y Howeler³³, es el de una planta atrofiada, las hojas pueden deformarse; con deficiencias severas, se

³⁰ FERRERA, Ronald; PEREZ, Joel. Micorrizas elemento útil en la agricultura sostenible. Montecillo, México : Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, 1995. p. 48-49.

³¹ BORIE, Fernando. y BAREA, José. M. Ciclo del fósforo II papel de los microorganismos y repercusión en la nutrición vegetal. Op.cit., p. 235 -238.

³² MONTESINOS, Camila. Manejo Biológico del fósforo en el suelo. [en línea]. [Colombia] CLADES, 2003. [citado Nov., 2005]. Disponible en Internet : <URL : [http:// www.clades.cl/revistas/8/rev89.htm](http://www.clades.cl/revistas/8/rev89.htm)>

³³ BURCKHARDT, E. y HOWELER, R. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de la yuca, estudiado en ensayos de invernadero. En: CONGRESO COLOMBIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SUELOS ECUATORIALES. (14º : 1984: Colombia). Ponencias del XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: s.n., 1984. p. 158 -165.

pueden producir áreas necróticas en las hojas, frutos y tallos, los síntomas generales corresponden a una germinación y crecimiento lentos, el crecimiento de la parte aérea y de las raíces se reduce; tallos cortos y delgados, pérdida del color verde del follaje y desarrollo de una coloración verde azulosa, color púrpura en el follaje, al margen, posteriormente estos pueden secarse y morir, las hojas son pequeñas, la defoliación prematura comienza por las más viejas. Las deficiencias de fósforo traen como consecuencia una baja producción del cultivo.

2.2.2 Interacción micorriza - fósforo. Según Barea, los Los mecanismos utilizados por los hongos micorrícicos para aumentar la capacidad de absorción parecieran estar relacionados con la producción de gran cantidad de micelios, lo que aumenta el volumen del suelo explorado y la superficie de absorción; también es importante la capacidad para acumular fósforo intracelularmente en forma activa, contra fuertes gradientes de concentración, esto permite a las micorrizas extraer fósforo en forma más eficiente, especialmente de soluciones de muy baja concentración. Un factor adicional de eficiencia de extracción es que las raíces con micorrizas se mantienen funcionales durante más tiempo.

Barea³⁴ manifiesta que las hifas de la micorriza son capaces de crecer y ramificarse más allá de las zonas de deficiencia, llegando hasta distancias de incluso varios centímetros de la raíz. Por lo tanto, las HMA actúan en gran medida por un mecanismo meramente físico, proporcionando a la raíz un incremento en el número de sitios de absorción de P, que a su vez están mejor distribuidos, por lo que exploran un volumen de suelo superior al que una raíz, por si misma, puede utilizar. Adicionalmente, el ion fosfato que ha sido captado por una hifa queda protegido de su re-fijación por los componentes del suelo.

El P circula hacia el interior de la raíz unas 1000 veces más rápido por las hifas externas que por difusión a través de la solución del suelo, según Bielecki, citado por Barea³⁵. Cuando se trata de nutrientes que circulan con facilidad a la rizosfera, como es el caso del nitrato y el sulfato, para los que no suelen crear zonas de deficiencia alrededor de las raíces, la contribución extra de las hifas de la micorriza a la captación de estos nutrientes es bastante limitada. Sin embargo, es de esperar una participación de la simbiosis en el aporte a la planta de iones que como el fosfato difunde más lentamente en la solución del suelo. Tal es el caso del amonio. Rhodes citado por Erazo y Ortiz³⁶, con respecto a los micronutrientes

³⁴ BAREA, José. Micorrizas Vesículo Arbusculares. En: Microbiología. Vol. II. España: Universidad Sevilla, 1992. p. 271-278.

³⁵ Ibid., p. 271-278.

³⁶ ERAZO BENAVIDES, José y ORTIZ BARRIOS, José. Determinación de la presencia de hongos formadores de micorriza arbuscular (MA) en Laurel de Cera (*Myrica pubescens* H&B ex WILLD) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 2000, 90 p. Trabajo de grado (Ingenieros Agroforestales). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

menciona el efecto de la micorriza en la estimulación de la captación de algunos de ellos.

Diversos estudios mencionados por Cardoso y Lambais³⁷ indican que, en un amplio rango de condiciones, el estímulo del crecimiento y actividad de las micorrizas ya presentes en el suelo mediante manejo ambiental puede ser suficiente para lograr un efecto importante sobre la nutrición de la planta. Sin embargo, en suelos altamente erosionados o en la producción de plántulas para trasplante, la introducción de micorrizas mediante inoculación pareciera ser una medida complementaria necesaria.

Ratnayake et al., citados por López, Siqueira y Zambolin³⁸, reportan que la excesiva aplicación de fósforo soluble provoca un descenso en la exudación radical y en la formación de los HMA, debido a la participación del fósforo en la constitución de las membranas celulares; en condiciones normales, la permeabilidad celular y la exudación radical, repercuten en la formación del HMA.

Según Borie y Barea³⁹ cuanto más alta es la concentración de fósforo en una planta es más bajo es el contenido de carbohidratos solubles en la raíz y sus exudados, la frecuencia de puntos de entrada del hongo formador HMA de la raíz es baja; en igual forma se observa una disminución de vesículas, arbusculos e hifas. Al aplicar cantidades altas de fósforo, disminuye la eficiencia de la asociación hongo- raíz.

Sánchez de Prager⁴⁰ menciona que la acción directa de los fertilizantes sobre el desarrollo preinfectivo del hongo en la formación de MA indica que ni la germinación, ni el posterior desarrollo de las hifas se ven afectadas por la concentración del fósforo del medio, lo que hace deducir que la inhibición de la micorrización se produce fundamentalmente a través de la planta.

Sieverding, Arines, y Bolan, citados por Ospina y Martínez⁴¹, encontraron en diferentes estudios que la mayor colonización de la raíz por los hongos formadores

³⁷ CARDOSO, Elke y Marcio y LAMBAIS, R. Aplicaciones prácticas de micorrizas vesículo arbusculares (MVA). In Microbiología do Solo. Campinas, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 1992. p. 50.

³⁸ LOPEZ DE SIQUEIRA, D.; ZAMBOLIN, Laercio. Caracterización de las micorrizas vesículo – arbusculares (MVA) y sus efectos en el crecimiento de las plantas. En: Revista brasileira de la ciencia del suelo. Brasil. Vol. 7 (1983); p. 1-19.

³⁹ BORIE, Fernando. y BAREA, José. M. Ciclo del fósforo II papel de los microorganismos y repercusión en la nutrición vegetal. Op.cit., p. 235 -238.

⁴⁰ SÁNCHEZ DE PRAGER, Marina. Endomicorrizas y Agroecosistemas. En: CONGRESO DE FITOPATOLOGÍA Y CIENCIAS AFINES (18º: 1997: Palmira). Ponencias del XVIII Congreso de Fitopatología y Ciencias afines. Palmira: ASCOLFI. Pineda, L.B. CIAT., 1997. p. 81-92.

⁴¹ ZAMBRANO, Harold. Mycoral - Micorrizas arbuscular, biofertilizante que favorece el desarrollo de las plantas, programa biotecnología aplicada carrera de ciencias y producción agropecuario. [en línea] [Honduras]. 2002. [citado nv., 2005]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fertiveria2.com/información-fertilización/articulos.micorrizas.html>>.

de MA y su efecto más marcado, ocurre en los suelos con baja disponibilidad de P; por el contrario, existe correlación negativa entre la alta disponibilidad de P y la actividad de los HMA. Gianinazzi - Pearson y Azcón - Aguilar, Sieverding, Barea, Jeffries, Heidi et al., citados por Zambrano⁴² mencionan que la combinación equilibrada de los nutrientes favorece la actividad funcional de los HMA, situación que va a depender del tipo de suelo, planta trampa, microsimbionte y manejo del cultivo, lo cual torna las situaciones específicas.

2.3 RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE HMA

2.3.1 Algunos ensayos de respuesta y caracterización de HMA en Nariño.

Al realizar, una evaluación cuantitativa de hongos formadores de micorrizas arbusculares en malezas de clima medio, Forero, Chávez y Unigarro⁴³ encontraron que hay una gran variación en la capacidad de las HMA, de las especies que se encuentran de forma natural en los suelos, para producir infección. El porcentaje de infección de las raíces en las malezas seleccionadas fluctuó entre 10 y 95 %, lo cual indica una alta variabilidad en la capacidad de infección de las MA nativas y posiblemente cierta especificidad de las mismas.

Reyes⁴⁴ en Tumaco, Colombia, en un estudio de campo realizado por la CVC sobre investigaciones de la presencia de micorrizas en cinco combinaciones agroforestales ubicadas en zonas de los ríos Chagui y Rosario, permitió determinar que la especie con mayor presencia de esporas fue el chontaduro con 47 esporas g/suelo, siendo los hongos de mayor importancia de dicha asociación del género *Glomus*.

Escobar y López⁴⁵ al evaluar, la interacción fuentes de fósforo y HMA en la infección y en los componentes de rendimiento de diferentes materiales de trigo en Imués, Nariño, encontraron que hubo respuesta de las diferentes variedades de trigo a la inoculación de HMA manifestando incrementos considerables en las variables rendimiento, peso de mil granos y granos por espiga.

⁴² OSPINA, Aliro. Y MARTINEZ, Fredy. Las micorrizas milagro como fertilizantes en cultivos agrícolas y forestales en Colombia. En: Agronomía. Vol. 5 No. 2-3 (1993); p. 67-68.

⁴³ FORERO, Luz Amalia; CHAVES, Germán; y UNIGARRO, Alberto. E. Evaluación cuantitativa de hongos formadores de micorriza vesículo–arbuscular en malezas de clima medio. San Juan de Pasto: VIPRI, Universidad de Nariño, 1999. 111 p.

⁴⁴ REYES, Rafael. Las Micorrizas y el Chontaduro. En: CORPOICA, Curso Cultivo de la Palma de Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Palmito. Memorias. Tumaco. Tumaco: ICA, C.I. El Mira, 1997. 55 p.

⁴⁵ ESCOBAR B, B.A., y LOPEZ M, O.R. Efecto de la interacción fuentes de fósforo y HMA en la infección y en los componentes de rendimiento de tres materiales de trigo en Imués, Nariño. San Juan de Pasto, 1996, 65 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Burbano y Urbano⁴⁶ en plantas de Café (*Coffea arabica*) inoculadas con HMA nativas, a los tres y seis meses se incrementó la altura y la materia seca respecto a los que no se inocularon, siendo las mejores fuentes de inóculo, las obtenidas de la variedad Caturra y Typicas. Al estudiar la respuesta del fósforo, los resultados demuestran que a la aplicación de 6.9 g de P₂O₅ se estimuló la infección de las raíces.

Erazo y Ortiz⁴⁷ al determinar la presencia de micorrizas en Laurel de Cera (*Myrica pubescens*) en el municipio de San Pablo, Nariño, encontraron porcentajes de infección en campo entre 26,66 y 4,16%, los cuales consideraron como heterogéneos y bajos siendo el género más frecuente *Glomus* (94,11%).

Rosero S. y Solarte⁴⁸ al estudiar los sistemas agroforestales en la región de Tumaco, determinaron la presencia de los géneros de hongos MA *Scutellospora*, *Glomus sp.* y *Acaulospora* presentes, en cultivos de plátano, cacao, borjón y chontaduro. En una segunda fase utilizando estos sustratos como inóculo de plantas trampa (maíz y arveja), encontraron resultados que indican que existe un comportamiento diferencial de los cultivos en la respuesta a la inoculación de diferentes tipos y fuentes de inóculo, determinaron que un inóculo con un alto número de propágulos infectivos revela mejores resultados en las variables evaluadas cuando se hace un buen uso de la inoculación.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES ESTUDIADAS.

2.4.1 Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B. K). Según Mora-Urpi⁴⁹ se considera que la especie (*Bactris gasipaes*) o chontaduro, surgió de un proceso de hibridación ínter específica espontánea entre diversas poblaciones nativas ubicadas en el trópico húmedo americano. La segregación de estos híbridos ha originado la gran diversidad de tipos e hibridaciones que se observan, lo cual no permite definir variedades.

Esta palmera Según Mora – Urpi⁵⁰ se encuentra distribuida desde Honduras hasta Bolivia entre los paralelos 16°N y 17°S. Las regiones más apropiadas para su cultivo son aquellas que presentan temperatura media entre 25 y 28°C,

⁴⁶ BURBANO, Fernando, y URBANO Jaime. Efecto de la inoculación de HMA en plantas de café (*Coffea arabica* L. Var Colombia). En la etapa de almacigo. San Juan de Pasto, 1992, 92 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

⁴⁷ ERAZO y ORTIZ, Op.cit., p. 90.

⁴⁸ ROSERO, Shirley y SOLARTE, Andrea. Determinación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) en los sistemas agroforestales tradicionales del municipio de Tumaco, Nariño. Pasto, 2004, 104 p. Trabajo de grado (Ingenieros Agroforestales). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

⁴⁹ MORA-URPI, Jorge. Historia. En: Segundo Curso Internacional cultivo de chontaduro para palmito. San José, Costa Rica: s.n, 1997. p. 2 – 4.

⁵⁰ Ibid., p. 2-4.

precipitación superior a los 2000 mm/año y alrededor de 2000 horas sol/año. Crece bien en suelos con diversas texturas con pH 4.5 a 5.0, pero prefiere suelos limo – arcillosos con buena cantidad de materia orgánica.

Según Mora – Urpi y Clement⁵¹, y Mora – Urpi⁵², el chontaduro pertenece a la clase *monocotiledonea*, orden *Principes*, familia *Palmaceae*, género *Bactris*, especie (*Bactris gassipaes* H.B.K.). Bastidas⁵³ por su parte manifiesta que el chontaduro se le denomina con diversos nombres en los países donde crece o cultiva, destacándose: Pejibaye (Costa Rica), Pupunha (Brasil), Pijuayo (Perú), Tembe (Bolivia), Piba (Panamá), Chontaduro y Cachipay (Colombia).

De acuerdo a Mora-Urpi⁵⁴ el chontaduro presenta un sistema radical fibroso, fasciculado, con raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. Las terciarias y cuaternarias son las encargadas de la absorción del agua y nutrientes, ya que las raíces de chontaduro carecen de pelos absorbentes. Según Baracaldo⁵⁵ el tallo es recto, puede alcanzar alturas superiores a los 20 metros en estado adulto y unos 15 cm de diámetro; está dividido en segmentos (nudo y entrenudos) y generalmente presenta espinas. Las hojas del chontaduro son pinnadas y generalmente permanecen entre 7 y 12 hojas en la corona de las palmas, produciendo una hoja nueva cada 2 a 4 semanas. Dávila y Navia⁵⁶ mencionan que el tamaño de los frutos oscila entre 2.5 y 4.5 cm de ancho, varía en forma y su color puede ser amarillo o mezclas de estos con verde. La semilla posee endocarpio negro y consistencia dura con tres poros en el ápice.

Actualmente en Tumaco Según Reyes⁵⁷ para densidades de siembra de 4.000 cepas/ha solo se están obteniendo rendimientos de palmo bruto en campo de 0.8 durante el segundo año de edad (primer año de cosecha) y de 1,2 durante el tercer año de edad (segundo año de cosecha), lo que corresponde a una producción de 3.200 y 4.800 palmos ha/año, respectivamente. Además, el rendimiento industrial promedio es superior a 3.5 lo que conlleva a que no se obtenga en mejor precio por palmo bruto. Lo anterior está causando que las explotaciones de la zona no estén presentando la rentabilidad esperada.

⁵¹ MORA-URPI, Jorge y CLEMENT, Cesar. Aspectos taxonómicos relativos del chontaduro. En: Revista de Biología Tropical. Costa Rica. Vol. 29, No. 1 (1981); p.139 – 142.

⁵² Ibid., p. 2-4.

⁵³ BASTIDAS, Silvio. Botánica y morfología del chontaduro. Curso Cultivo de la Palma para Palmito. Memorias. Tumaco: ICA, CI el Mira, 1997.45 p.

⁵⁴ MORA-URPI, Jorge. Historia. En segundo curso internacional cultivo de chontaduro para palmito. Op.cit., p. 2 – 4.

⁵⁵ BARACALDO, Raúl. El chontaduro un cultivo promisorio de América intertropical. Bogotá: INCORA. 1982. p. 45.

⁵⁶ DAVILA, C. y NAVIA, Fernando. Estudio de la biología floral del Chontaduro. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencia Agropecuarias, 1981. 81 p.

⁵⁷ REYES, Rafael. Op.cit., p. 55.

2.4.2 Cacao (*Theobroma cacao* L). Según Rincón⁵⁸, el cacao es originario de América y su origen se remota a países como México y Brasil. Los agricultores Mayas fueron los primeros en cultivar racionalmente el cacao en América Central y en especial en México. El cacao pertenece a la clase *Dicotiledonea*, orden *Malvales*, familia *Esterculiaceas*, género *Theobroma*, especie *Theobroma cacao*.

El árbol según Rincón⁵⁹ muestra un marcado dimorfismo en sus ramas, está formado por un eje vertical con hojas que al llegar a una altura de 1 a 1.5 m detiene el crecimiento apical y emite un abanico de ramas laterales, los cuales por estar ubicadas en nudos muy próximos parecen estar en un mismo plano, estas se ramifican profundamente. El árbol alcanza alturas de 6 a 8 m; las cuales dependen generalmente de la densidad de la siembra; mientras disponga de sombra, más alto ramifica.

Para Rincón⁶⁰ Nariño juega un papel importante por la contribución que ha hecho en la exportación, pero en esta participación ha ido decreciendo en los últimos años. Tumaco fue considerado el primer productor de cacao en el ámbito nacional para los años 1990. Las cinco zonas productoras de cacao en el municipio son: el río Changüí, el Rosario, el Caunapí y San Luís Robles. Se tienen cultivadas 15.375 hectáreas que ocupan a 9208 agricultores con un promedio de extensión de productor de 3.224 hectáreas.

2.4.3 Borojó (*Borojoa Patinoi* Cuatr).

Según Botina et al⁶¹; la región de origen de esta planta se encuentra localizada en las cuencas de los ríos Baudó, San Juan y Atrato. En la actualidad su dispersión geográfica puede circunscribirse sobre la Costa y Llanura Litoral del Pacífico, en Colombia, entre los 3 y 7 °C de latitud Norte y los 2 y 4° de longitud al Oeste del meridiano de Bogotá; más concretamente entre la Costa y las primeras estribaciones de la cordillera Occidental, por una parte el río Naya al sur y la Bahía de Solano al Norte.

Según Córdoba⁶² el borojó pertenece al orden de las Rubiales, familia Rubiaceae, género *Borojoa*, especie *patinoi*. Además, su aspecto general es la de un arbusto, de 3 a 5 metros de altura en condiciones normales, tallo erecto, flores masculinas por capitulo, cáliz corto, prismático o cónico, generalmente actinomorfas. La raíz del borojó es fibrosa, resistente y superficial, el fruto es una baya carnosa de 7 a

⁵⁸ RINCÓN, Silvio. Manual del cacaotero. Bogotá: Temas de orientación Agropecuaria, 1982. p. 120.

⁵⁹ Ibid., p. 120.

⁶⁰ Ibid., p. 120.

⁶¹ BOTINA, Mauricio, ERASO Y y MUÑOS D. Algunos aspectos preliminares del borojó. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1983. p. 21.

⁶² Ibid., p. 9.

12 cm. de largo por otro tanto de diámetro, color verde al principio y carmelita al madurar. Córdoba⁶³ asegura que la cáscara es prácticamente imperceptible porque forma con el todo un solo cuerpo; su peso fluctúa entre 300 y 1.200 gr.

Patiño⁶⁴ encontró que los agricultores en general esperan que la fruta caiga para cosecharla, pues no existen parámetros químicos y morfológicos confiables que garanticen la recolección de los frutos en el árbol, los posibles picos de cosecha se presentan en los meses de abril, mayo, noviembre y diciembre. La fruta verde es fácil de transportar y se almacena a granel, pero cuando madura sus tejidos se reblandecen y se dificulta su manejo.

⁶³ Ibid., p. 9.

⁶⁴ PATIÑO, Rafael. Algunas plantas útiles de la región Chocoana. Cali, Colombia : Imprenta.

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en el vivero del Centro de Investigaciones El Mira CORPOICA, Ubicado en Tumaco, municipio de Nariño. En el Centro predominan condiciones ecológicas de bosque húmedo tropical (bh-T); se encuentra localizado a una altura de 16 msnm, presenta una precipitación promedio anual de 3000 mm, temperatura de 26°C, humedad relativa de 88% y brillo solar 1000 horas /año⁶⁵.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación estadística se utilizó un diseño irrestrictamente al azar (DÍA), con 24 tratamientos, cuatro repeticiones, teniendo en consideración que se utilizó cuatro plantas como unidad experimental para un total de 384 plántulas por especie.

Se analizó el comportamiento de tres especies vegetales: chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.), cacao (*Theobroma cacao* L.), y borjón (*Borojoa patinoi* Cuart.) a los cuales se les aplicó diferentes tratamientos, resultando tres experimentos, que se analizaron por separado.

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

Tratamiento 1:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 0kg	P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 2:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 0kg	P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 3:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 50kg	P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 4:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 50kg	P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 5:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 500kg	P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 6:	2 g de <i>Glomus</i>	+ 500kg	P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 7:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 0kg	P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 8:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 0kg	P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 9:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 50kg	P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 10:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 50kg	P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 11:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 500kg	P/ha	+ Suelo Estéril

⁶⁵ ORTEGA, Luís y VALENCIA, Newman. Análisis del crecimiento y distribución del sistema radical del chontaduro (*Bactris gasipaes*) En monocultivo para el fruto de Palmito en asocio con otros cultivos. San Juan de Pasto, 2004, 70 p. Trabajo de grado (Ing. Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de ciencias Agrícolas.

Tratamiento 12:	2 g de <i>Acaulospora</i>	+ 500kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 13:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 0kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 14:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 0kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 15:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 50kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 16:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 50kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 17:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 500kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 18:	2 g de <i>G. fasciculatum</i>	+ 500kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 19:	Sin inoculación de HMA	+ 0kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 20:	Sin inoculación de HMA	+ 0kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 21:	Sin inoculación de HMA	+ 50kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 22:	Sin inoculación de HMA	+ 50kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización
Tratamiento 23:	Sin inoculación de HMA	+ 500kg P/ha	+ Suelo Estéril
Tratamiento 24:	Sin inoculación de HMA	+ 500kg P/ha	+ Suelo Sin Esterilización

3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL VEGETAL

3.3.1 Semillas de las especies chontaduro, cacao y borojón. Las semillas de las especies a evaluar, se obtuvieron en el Centro de Investigaciones El Mira CORPOICA y en la Federación de Cacaoteros de Colombia. Previamente al desarrollo del trabajo de investigación, se realizó un semillero con cada una de las tres especies vegetales. Para el efecto se dispuso de un área de 3 m², como sustrato se utilizó arena de río previamente desinfectada con agua caliente.

3.3.2 Cepas de hongos micorrícicos. Se utilizaron cepas puras de los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *G. fasciculatum*, las cuales fueron adquiridas en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), y se denominaron como especies introducidas.

3.3.3 Sustrato para llenado de las bolsas. Las muestras se tomaron en la zona rural del municipio de Tumaco, en lugares donde se encuentran cultivos de cacao, borojón y chontaduro; se seleccionaron 30 fincas al azar, en las veredas de Caunapi, Pueblo Nuevo, Chilví, Robles, El Rosario, Piñal Salado, Piñal Dulce, Peña Colorada, Santa María, La Chorrera, Barro Colorado, Tangareal, Imbilí, Descolgadero, Brisas del Mira, Corpoica El Mira, Candelillas, Espriella, Cajapí, Buchelli e Inguapí. Para la selección de las fincas se tuvo en cuenta criterios como: manejo tradicional, cultivos nucleados de cacao, borojón y chontaduro, con facilidad de acceso.

3.4 LABORES REALIZADAS

3.4.1 Análisis físico químico del suelo. Previamente a la realización de la investigación se realizó un análisis químico-físico de suelo (uno por especie) en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, cuyos resultados se presentan en el Anexo A. Con resultados de este análisis se hizo un programa de

fertilización basal para cada una de las especies evaluadas, sin incluir en dicha fertilización fósforo, el cual correspondió a los diferentes tratamientos planteados.

3.4.2 Esterilización del suelo. El sustrato se empacó en bultos de 50 kg y a su vez fue colocado en vagonetas para su posterior esterilización en un autoclave capacidad de 1000 kg y 40 libras de presión a 160°C durante 1 hora y 20 minutos; luego se dejó enfriar y airear, posteriormente el sustrato fue utilizado para llenado de bolsas para el almacigo. El llenado se realizó en bolsas de polietileno, con una capacidad de 4 kilogramos.

3.4.3 Identificación de esporas del suelo. Para cada uno de los cultivos estudiados, cacao, borojó y chontaduro, se tomó una muestra representativa de suelo (200g) con la que se hizo la evaluación cualitativa de la presencia de hongos formadores de HMA nativos, siguiendo la metodología descrita por Sieverding⁶⁶.

El procedimiento consiste en pesar 50g de suelo en un Beaker de 500 cc y agregarle 400 ml de agua, sometiéndose luego a una agitación a intervalos de 15 minutos durante una hora, después de la última agitación se dejó decantar durante 1 minuto para luego verter el sobrante a una serie de tamices superpuestos primero el de 60 um, seguido del de 250 um, y el último de 45 um, al sedimento se le adicionó agua, se agitó por un minuto y se decantó procediéndose a verter en los tamices, repitiendo el proceso cuatro veces. Realizada la anterior operación se llevó a cabo un lavado con agua a presión procurando que las partículas de suelo pasen de un tamiz a otro más fino, luego se pasó el material a utilizar a tubos de centrifugación (2) y con una pipeta se adicionó una solución de sacarosa al 50% al fondo de los tubos de centrifugación, se centrifugo durante 3 minutos a 2800 r.p.m.; se procedió a filtrar este material utilizando papel filtro para facilitar la identificación.

Aisladas las esporas se hizo el montaje en placas y se realizó la respectiva identificación mediante las claves taxonómicas de Sieverding, las cuales se basan en las características morfológicas de las esporas (forma, diámetro estructura superficial, estructura del citoplasma, color de paredes); formación de la hifa de soporte (número diámetro color, etc); características del esporocarpo (formación, configuración color y presencia de peridium, etc) y características de las células auxiliares.

3.4.4 Transplante. Cuando las plántulas de chontaduro, cacao y borojó alcanzaron en el germinador una altura promedio de 5cm, se escogieron las de mejor apariencia en cuanto a color y número de hojas; una vez extraídas se introdujeron en una suspensión con hipoclorito de Sodio al 3% durante un minuto y

⁶⁶ SIEVERDING, Edwal. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio. Cali, Colombia : CIAT, 1983. p. 56.

se transplantaron a las bolsas que contenían el sustrato preparado según el tratamiento correspondiente.

3.4.5 Inoculación de HMA. Una vez se llenaron las bolsas con el sustrato, se procedió a abrir un hueco en el centro de la misma para aplicar el inóculo (suelo que contenía las esporas de los hongos), cepas puras de hongos provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); para posteriormente realizar la inoculación en las siguientes dosis: cero para tratamientos sin inoculación y 2g de inóculo por planta (120 esporas/g); para el resto de los tratamientos. Se aplicó el inóculo correspondiente en el centro de la bolsa, teniendo en cuenta los tratamientos según el diseño experimental; la inoculación se realizó con tres cepas de hongos micorrizicos; *Glomus sp*, *Acaulospora*, y *G. fasciculatum* para cada una de las especies a estudiar; se inocularon un total de 864 plantas, 288 de chontaduro 288 plantas de cacao, y 288 plántulas de borjón, las 288 plantas restantes fueron utilizadas como testigo, para un total de 1.152 plantas.

3.4.6 Fertilización basal. En el trabajo se evaluaron tres niveles de fósforo en los sustratos, el primero concerniente al nivel que presentan los mismos en forma natural, osea que en este caso no se realizó aplicación de fósforo; El segundo adicionando 5g de P_2O_5 por bolsa en forma de fosfato monocalcico ($50Kg P ha^{-1}$), el tercero 50g de P_2O_5 por bolsa igualmente en forma fosfato monocalcico ($500Kg P ha^{-1}$), a los respectivos tratamientos.

El fertilizante se aplicó 15 días después del transplante alrededor de las plantas. Para la aplicación de los otros nutrientes N, K, Mg, Zn, Bo se tomó en cuenta el análisis de suelo que previamente se realizó y se determinó las cantidades a aplicar según las necesidades de cada cultivo los cuales aparecen descritos en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diferentes dosis de fertilizantes aplicados en los cultivos de Cacao, borjón y chontaduro en la etapa de almácigo en el municipio de Tumaco, Nariño.

ESPECIES	FERTILIZANTE (g/planta)			
	N (urea)	K (K)	Bo (Borax)	Mg MgSO ₄
Cacao	2,07	2,25	0,33	3,33
Borjón	1,07	1,5	0,33	3,33
Chontaduro	1,63	1,25	0,25	1,00

3.5 LABORES CULTURALES

Se realizó riego cuando fue necesario, tratando de mantener el suelo con una humedad cercana a la capacidad de campo. El control de malezas se hizo manualmente en forma permanente.

La especie de chontaduro debido a la excesiva humedad presentó mancha amarilla (*Pestalotia* sp.) y mancha parda (*Mycosphaella* sp.) Para su efectivo control fue necesaria la aplicación de Orthocide 50.

3.6 VARIABLES EVALUADAS

Las variables que se tuvieron en cuenta en la evaluación de las especies estudiadas fueron las siguientes:

3.6.1 Altura de plantas en (cm.). Se determinó midiendo con una regla graduada en milímetros desde la base del tallo hasta la yema terminal de la planta para las especies de borjón y cacao, para chontaduro se midió hasta la lanza; esta evaluación se realizó cada 15 días.

3.6.2 Peso de materia seca de la parte aérea (g). Al final del periodo de evaluación cuando las plantas estuvieron listas para ser transplantadas al sitio definitivo de acuerdo a características fenotípicas de cada especie (cacao: formación de la primera cruz, borjón: altura de 30 cm y chontaduro: seis meses de edad), se separó la parte aérea de las raíces, cortando las plantas en el cuello de la raíz, el material se colocó en bolsas de papel en forma independiente previamente identificados y rotulados; estas fueron llevados a una estufa a 70 °C hasta obtener un peso constante y así determinar el peso de la materia seca..

3.6.3 Peso de materia seca de la parte radical (g). Una vez evaluada la parte aérea (se tomó una porción de 1g de raíces, para determinar el porcentaje de infección en las raíces por HMA); posteriormente las raíces previamente lavadas, se colocaron en bolsas de papel, previamente identificadas y se colocaron en una estufa a 70°C hasta obtener un peso constante.

3.6.4 Contenido de fósforo en el tejido vegetal en la parte aérea (%). Una vez determinado el peso seco parcial de la parte aérea de las plantas evaluadas, se determinó el contenido de fósforo (%), en el laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño.

3.6.5 Porcentaje de infección por HMA en raíces (en láminas) (%). Para evaluar esta variable se tomó 1g de raíces y se procedió a determinar el porcentaje de colonización por HMA mediante la metodología descrita por Sieverding.

El protocolo propuesto por Sieverding⁶⁷:

Consiste básicamente en separar las raíces del suelo, lavarlas y colocarlas en tubos de ensayo, previamente marcados, agregar hidróxido de potasio (KOH) al 10%, calentar el conjunto en baño María durante tres minutos para las raíces de cacao y borjón y 10 minutos para las raíces del Chontaduro, posteriormente lavar con agua corriente, adicionar HCL al 10%, lavar con agua corriente y en caso de quedar oscuras, utilizar hipoclorito de sodio hasta que se decolore, lavar nuevamente con agua y posteriormente adicionar colorante (azul de tripano), una vez teñidas decantar el colorante y conservar las raíces teñidas en lactoglicerina.

Para cuantificar la infección de los hongos MA en las raíces, estas se distribuyeron en una caja de petri, donde se cortaron en pedazos de dos centímetros, y se seleccionaron 25 secciones de raíz al azar que fueron montadas en una lámina portaobjetos impregnada con lactoglicerina. Posteriormente, se observaron las raíces al microscopio de luz con un aumento de 100x, moviendo la lámina por medio del carro portaobjetos en toda la extensión de la muestra, de modo que el objeto cruzó las raíces en cuatro puntos del cubre objetos; se contabilizaron las intersecciones totales y las intersecciones infectadas, luego se determinó el porcentaje de infección utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de infección (\%)} = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número de campos totales observados}} \times 100$$

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables: altura de las plantas, porcentaje de infección por HMA, materia seca de la parte aérea y raíces, al igual que el contenido de fósforo en el tejido foliar se analizaron mediante un análisis de varianza, los datos fueron transformados mediante la fórmula $y = \sqrt{x}$. y se realizaron contrastes no ortogonales para la comparación de los diferentes grupos de tratamientos (Cuadro. 2).

⁶⁷ SIEVERDING, Edwal. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio, Op.cit., p. 56.

Cuadro 2. Contrastes no ortogonales utilizados para comparar la inoculación de HMA y la fertilización con diferentes dosis de fósforo en cultivos de cacao, borojó y chontaduro, en el municipio de Tumaco, Nariño.

CONTRASTE	DESCRIPCION	TRATAMIENTOS
1	Sin Micorrizas Vs Micorrizas (A, Gf y G)	18(t19,t20,t21,t22,t23,t24)Vs-6 (t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7,t8,t9,t10,t11,t12,t13,t14,t15,t16,t17,t18)
2	<i>Glomus</i> VS <i>Acaulospora</i> + <i>G. fasciculatum</i>	12(t1,t2,t3,t4,t5,t6)Vs-6 (t7,t8,t9,t10,t11,t12,t13,t14,t15,t16,t17,t18)
3	<i>Acaulospora</i> Vs <i>G. fasciculatum</i>	6 (t7,t8,t9,t10,t11,t12) Vs -6 (t13, t14,t15,t16,t17,t18)
4	Sin Micorrizas + P Vs Micorrizas (A, Gf y G) + P	12 (t21,t22,t23,t24) Vs -4 (t3,t4,t5,t6,t9,t10,t11,t12,t15,t16,t17,t18)
5	Micorrizas + Sin P Vs Micorrizas + P	12(t1,t2,t7,t8,t13,t14)Vs-6 (t3,t4,t5,t6,t9,t10,t11,t12,t15,t16,t17,t18)
6	Micorrizas + 50 P Vs Micorrizas + 500 P	6 (t3,t4,t9,t10,t15,t16) Vs -6 (t5,t6,t11,t12,t17,t18)
7	<i>Glomus</i> sin P Vs <i>Glomus</i> +P	4 (t1,t2) Vs -2 (t3,t4,t5,t6)
8	<i>Glomus</i> +50 P Vs <i>Glomus</i> + 500 P	2 (t3,t4) Vs -2 (t5,t6)
9	<i>Acaulospora</i> sin P Vs <i>Acaulospora</i> + P	4 (t7,t8) Vs -2 (t9,t10,t11,t12)
10	<i>Acaulospora</i> +50 P Vs <i>Acaulospora</i> + 500 P	2 (t9,t10) Vs 2 (t11,t12)
11	<i>G. fasciculatum</i> + sin P Vs <i>G. fasciculatum</i> + P	4 (t13,t14) Vs -2 (t15,t16,t17,t18)
12	<i>G. fasciculatum</i> + 50 P Vs <i>G. fasciculatum</i> + 500 P	2 (t15,t16) vs 2 (t17,t18)
13	Micorrizas SE Vs Micorrizas SSE	9(t1,t3,t5,t7,t9,t11,t13,t15,t17) Vs -9 (t2,t4,t6,t8,t10,t12,t14,t16,t18)
14	SE Sin Micorrizas Vs SSE Sin Micorrizas	3(t19,t21,t23) vs -3(t 20,t22,t24)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN PRELIMINAR

4.1.1 Géneros de HMA nativos. En el Cuadro 3, se describen los géneros de esporas nativas encontradas en los suelos de los cultivos evaluados y con las Figuras 1,2, y 3 se ilustra cada uno de estos.

Cuadro 3. Géneros de HMA encontradas en suelos del municipio de Tumaco, Nariño.

Cultivo	Género de HMA
Borojó	<i>Glomus</i> – <i>Gigaspora</i>
Chontaduro	<i>Glomus</i> , - <i>Acaulospora</i> - <i>Scutellospora</i>
Cacao	<i>Glomus</i> – <i>Acaulospora</i>

Figura 1. Esporas de HMA de *Glomus* sp. y *Gigaspora* obtenidas en suelos cultivados con borojó *Borojoa patinoi* (Ver de izquierda a derecha).



Figura 2. Esporas de HMA de *Scutellospora sp.* y *Glomus sp* obtenidas en suelos cultivados con chontaduro *Bactris gasipaes*. (Ver de izquierda a derecha).

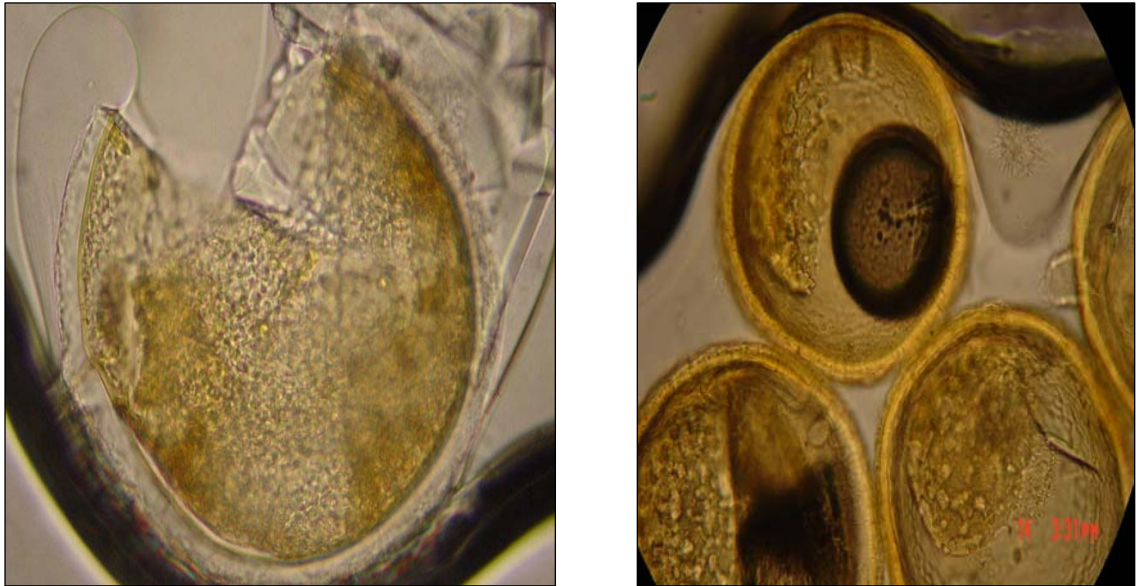
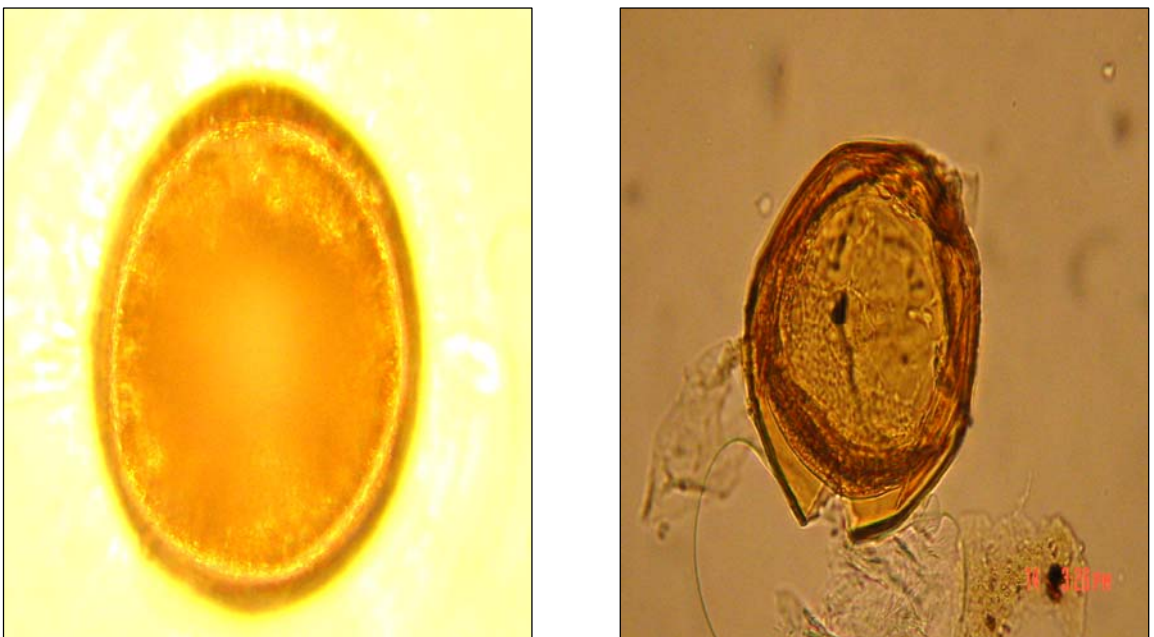


Figura 3. Esporas de HMA de *Glomus sp.* y *Acaulospora* obtenidas en suelos cultivados con cacao *Theobroma cacao*. (Ver de izquierda a derecha).



4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS ENCONTRADOS EN CADA EXPERIMENTO.

4.2.1 Experimento con Cacao (*Theobroma cacao*).

- **Porcentaje de infección en raíces.** El análisis de varianza para los diferentes grupos de tratamientos establecidos, presentó diferencias estadísticamente significativas (Anexo. B).

Al realizar la comparación de promedios a través de los contrastes no ortogonales (Anexo E), se encontró que el porcentaje de infección obtenidas con la población nativa (16.94%) y la obtenida cuando se inocularon hongos MA (32.92%) presentaron diferencias estadísticas significativas (C1) (Anexos B y E). Los resultados indican que existe una población nativa capaz de producir infección en las raíces de cacao, sin embargo, la introducción de cepas mejora la infección y colonización de raíces de cacao, lo cual se puede deber entre otros factores a que los HMA nativos no se encuentran en adecuadas proporciones en el suelo (poblaciones bajas) o su capacidad de infección es muy baja tal como afirma Satizabal⁶⁸.

Se encontró además que la inoculación con *Acaulospora* con la cual se presentó un porcentaje de infección promedio de 23.94% mostró diferencias estadísticas significativas, en comparación a los porcentajes obtenidos al inocular *Glomus sp.* y *G. fasciculatum*), lo cual demuestra que existe una cierta especificidad de los hongos MA en cacao y/o que las cepas de *Acaulospora* son más competitivas al presentar mayor adaptación a las condiciones de suelo de cacao y clima presentes en la zona de Tumaco, lo cual incrementó el porcentaje de infección presente en láminas (Figuras 4 y 5). Lo anterior es corroborado por Azcon y Barea⁶⁹ quienes afirman que la infectividad del hongo, depende más de la interacción con un tipo de suelo y las condiciones del cultivo que de un huésped en particular.

En las observaciones realizadas el porcentaje de colonización se puede asociar también a que en la simbiosis no existe estricta especificidad: 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. Sin embargo, distintas especies y cultivares de la misma especie muestran grados de susceptibilidad diferentes ante la colonización por un mismo HMA, lo cual puede interpretarse como diferencias en la compatibilidad entre las plantas y los distintos hongos HMA, tal como lo afirma Erazo y Ortiz⁷⁰.

⁶⁸ SATIZABAL ESCOBAR, Op.cit., p. 125.

⁶⁹ AZCON, Concepción y BAREA, José. Avances resistentes en el estudio de las micorrizas vesículo arbusculares II: factores que afectan su formación y función y aplicaciones practicas en la agricultura. En Revista : Anales de Edafología y Agrobiología. España. Vol. 43. No. 56 (1984); .p. 943 -958.

⁷⁰ ERAZO, José y ORTIZ, José. Determinación de la presencia de hongos formadores de micorriza arbuscular (MA) en Laurel de Cera (*Myrica pubescens* H&B ex WILLD) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 2000, 90 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroforestales). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Figura 4. Estructuras de HMA presentes en raíces de cacao (hifas y esporas de *Acaulospora*).

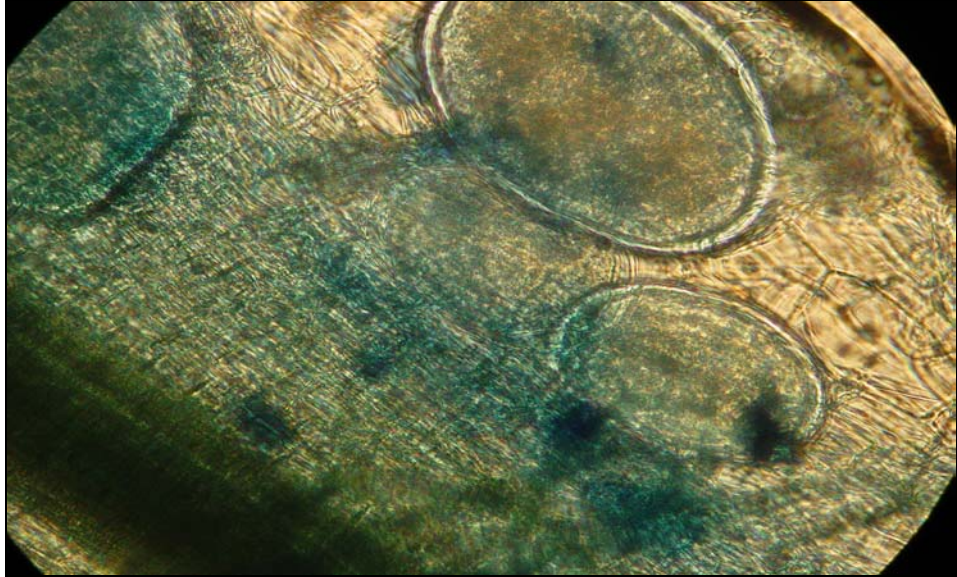
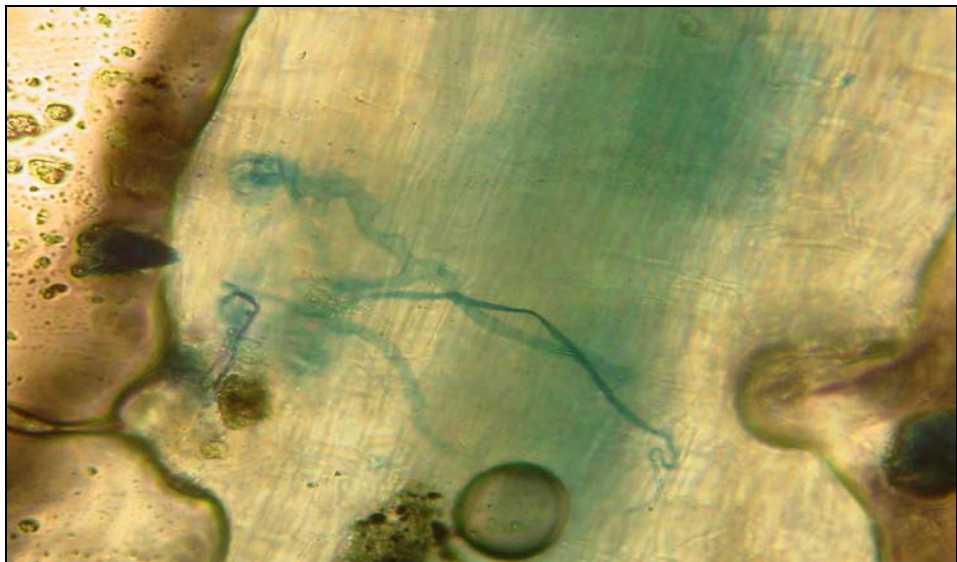


Figura 5. Estructuras de HMA presentes en raíces de cacao (arbúsculos e hifas de *G. fasciculatum*).



La aplicación de fósforo con o sin la inoculación de HMA (C4) permitió obtener mejores porcentajes de infección, en los tratamientos inoculados con micorrizas (24.45%), presentando diferencias estadísticas significativas respecto a los tratamientos solamente fertilizados. Los resultados demuestran que la colonización por los hongos MA se ve favorecida con la inoculación de propágulos infectivos en el suelo, que a la aplicación de altas dosis de fertilizantes fosforados. Al respecto Rosero y Solarte⁷¹, afirman que el alto o bajo grado de infección depende de un lado de los propágulos infectivos del suelo y de otro por los requerimientos nutritivos de la planta, que a su vez depende de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, consideración que corrobora Mosse⁷².

La aplicación o no de fertilizante fosforico, permitió demostrar que en los contrastes C5 y C7 los tratamientos comparados no presentaron diferencias significativas en los porcentajes de infección, caso contrario se encontró en los contrastes C9 y C11 las especies de *Acaulospora* y *G. fasciculatum* con la adición de fosfatos solubles incrementaron los porcentajes de infección (25.17% y 22.47% respectivamente) en relación a la no fertilización mostrando diferencias significativas. En las observaciones realizadas para esta variable se puede determinar que las cepas de los HMA introducidos ante el incremento de fósforo en el sustrato, mejoraron su efectividad, lo cual se ve reflejado en el mayor porcentaje de infección en las raíces de las plantas de cacao. Esto confirma lo expresado por Howeler⁷³ quien manifiesta como unas cepas son más adaptables, mientras que otras son más específicas para ciertas condiciones edafo-climáticas.

Saif⁷⁴, manifiesta que la formación de esporas requiere aparentemente de carbohidratos los cuales típicamente va a permitir un mejor desarrollo de los hongos micorrizógenos dentro y sobre el sistema radical. En general, el efecto de la fertilización sobre la infección puede variar según la fertilidad nativa del suelo y según la especie de micorriza.

Los contrastes planteados para comparar las dosis de fósforo (50Kg y 500Kg de P ha⁻¹), permitieron demostrar que en los contrastes C6 y C8 las diferencias encontradas no fueron significativas, evidenciando resultados similares entre los grupos de tratamientos comparados; resultados contradictorios se presentaron en los contrastes C10 y C12 ya que la inoculación con *Acaulospora* y *G. fasciculatum*

⁷¹ ROSERO B y SOLARTE., Op.cit., p. 104.

⁷² MOSSE, B. Ann. Vesicular – arbuscular Mycorrhiza research for tropical Agriculture and Human Resources. Research Bull : University of Hawaii, 1982. p. 82

⁷³ HOWELER, R. H. Análisis del tejido vegetal en el diagnostico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Colombia, Cali : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1983. p. 28.

⁷⁴SAIF, Uruhamn. Interacción Rhizobium – HMA en leguminosas tropicales. En: SIEVERIDING, Ewald, SÁNCHEZ DE PRAGER, Marina y BRAVO N. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira : Universidad Nacional de Colombia, 1984. p. 125.

requieren de dosis bajas (50 Kg/ha) de fósforo aprovechable para mejorar la infección, al mismo tiempo se observó que las dosis altas (500 Kg de P ha⁻¹) disminuyeron la posibilidad de colonización.

El efecto benéfico se obtiene al aplicar dosis bajas de fósforo los cuales favorecen la infección por los HMA, una situación similar manifiestan Bolan y Abott⁷⁵ quienes mencionan que las dosis bajas o moderadas de fertilizantes mejoran la acción de los HMA. Además, la aplicación de dosis altas de fósforo, pueden incrementar el crecimiento de las plantas, pero interfieren en la formación de la simbiosis, llegando incluso a inhibir la infección; similares resultados obtuvieron Howeler⁷⁶, Sieverding⁷⁷, Abbott y Robson⁷⁸ en diferentes ensayos encontrando que la adición de dosis altas de fósforo, disminuyen la colonización de los HMA.

Menge *et al.*, Thomson *et al.*, citados por Bolan⁷⁹ proponen para explicar este hecho varias hipótesis, de las cuales una de las más aceptadas señala que el aumentó en el suministro de P a la planta disminuye la permeabilidad de las membranas de las células radicales, lo cual a su vez reduce la concentración de carbohidratos solubles y compuestos nitrogenados en los exudados radicales los cuales serían inductores de la formación de HMA.

Los porcentajes de infección mostraron similar comportamiento en suelos esterilizados y suelos sin esterilizar (C13), encontrando diferencias no significativas para los tratamientos inoculados con HMA. Lo cual permite afirmar que la colonización de cepas introducidas fue efectiva dependiendo del tipo de suelo que se utilizó.

Finalmente al evaluar los porcentajes de infección, sin la inoculación de los HMA en suelo esterilizado y sin esterilizar (C14) mostró que la esterilización produjo que las poblaciones nativas de estos hongos se redujeran considerablemente en comparación a la no esterilización presentando diferencias significativas con promedios de 18.85% y 7.03% respectivamente.

Al respecto, en ensayos realizados por Bastidas *et al.*⁸⁰, en un cultivo de Cebolla *Allium cepa*, obtuvo porcentajes de infección de un 15% en condiciones de suelo

⁷⁵ BOLAN Y ABOTT, p. 208-210.

⁷⁶ HOWELER, R. H. Análisis del tejido vegetal en el diagnostico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Op.cit., p. 28.

⁷⁷ SIEVERDING, Edwal. Vesicular -arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Bremer, Germany : s.n., 1991. p. 5 – 10.

⁷⁸ ABBOT, Lynette. and ROBSON, A.D. The role of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. En : Victoria. Vol. 33. (1982); p. 389-408.

⁷⁹ BOLAN, N. S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. En: Plant and Soil. Vol. 134 (1991); p. 189-207.

⁸⁰ BASTIDAS, V.; SANCHEZ DE PRAGER, M. y MUÑOS, J. E. Evaluación preliminar de la micorriza vesículo arbuscular en dos sistemas: pastizal y cebolla de bulbo *Allium cepa*. En: Acta Agronómica. Vol 43 (1993); p. 84-94.

natural con relación a un 3% de un suelo desinfestado, donde se presentó una pequeña contaminación, este comportamiento indica que las prácticas de desinfestación trae severas consecuencias sobre los microorganismos nativos y su efectividad.

- **Altura de plantas.** El análisis de varianza para la variable altura, mostró diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos (Anexo. B).

Al realizar la comparación de promedios a través de contrastes no ortogonales (Anexo E) se encontró que las plantas micorrizadas lograron mayores alturas de 54.49cm, en relación a las plantas no inoculadas con 40.50cm presentando diferencias estadísticas significativas (C1). Los incrementos en el crecimiento de las plantas micorrizadas al parecer están relacionados con una mejor absorción de fósforo, tal como afirman Miller y Smith⁸¹ quienes plantean que las plantas colonizadas por hongos micorrízicos arbusculares muestran mayor crecimiento que las no micorrizadas, aspecto que está relacionado con una absorción mejorada de nutrientes y especialmente del fósforo. Por su parte Bowen⁸² considera que, las micorrizas participan en el aumento de la capacidad absorción de la raíz, lo que se manifiesta en un mayor crecimiento de la planta.

Otro ejemplo claro del efecto positivo de la inoculación de hongos micorrízicos lo reporta Sieverding y Toro⁸³ quienes en Mónico (Cauca), inoculando en plantas de café variedad Caturra algunas especies de HMA, se encontró que las sometidas a esta práctica eran 46% más altas que las no micorrizadas. En el ámbito mundial, se reportan múltiples experiencias a cerca de los beneficios de los HMA, donde frecuentemente se compara el crecimiento de plantas asociadas con micorrizas y sin micorrizas, estas diferencias son atribuibles a una mayor absorción de nutrientes, mayores niveles en la producción de hormonas y mayores contenidos de clorofila, tal como afirman algunos investigadores como Godar, Awasthi y Kaith, Lovelock, kylo, et al., citados por Novella y Medina⁸⁴.

Se encontró además, que la inoculación con diferentes cepas de micorrizas *Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum* (C2 y C3), no produjo incrementos en la altura de las plántulas de cacao, mostrando diferencias no significativas estadísticamente entre los tratamientos (Anexos B y E) (Figura 6).

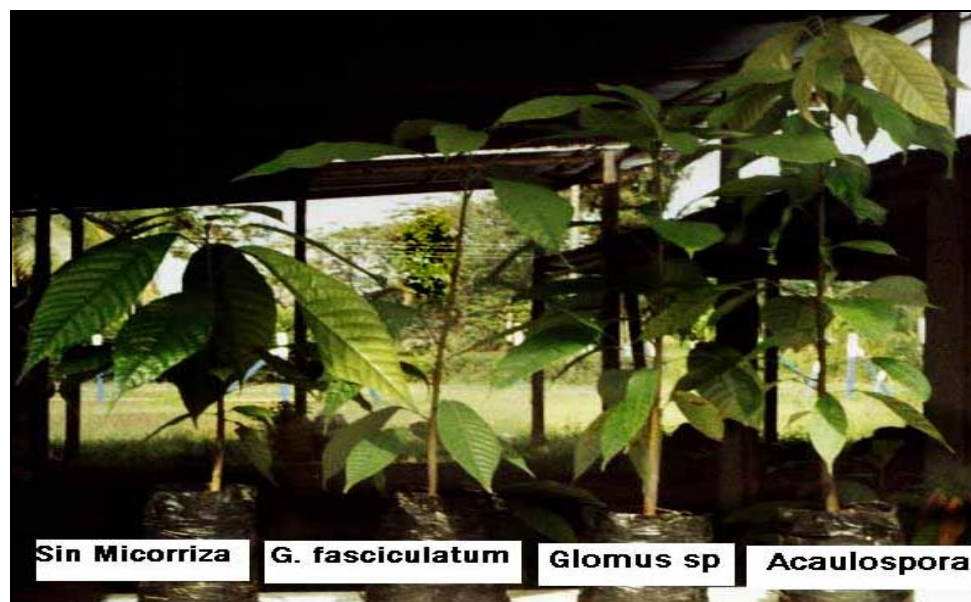
⁸¹ MILLER Y SMITH. A critical review of a role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. En: Plant Soil. Vol. 134 (1991); p. 189-207.

⁸² BOWEN, N.S. A critical review of a role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. En: Plant Soil. Vol. 134 (1991); p. 189-207.

⁸³ SIEVERDING, Edwal y TORO, S. Efecto de la Inoculación de hongos micorrízicos vesículo-arbusculares en plántulas de café *Coffea arabica* L. y té *Camelia siniensis* L. O. Kuntze. En : Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Medellín. Vol. 2. (1988); p. 173.

⁸⁴ NOVELLA, Rocio y MEDINA. La biofertilización con hongos micorrizógenos como fuente de nitrógeno para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mil). IV Taller de Biofertilizante en los Trópicos. En: SEMINARIO DEL INCA. (11: 1998: Cuba). Programas y Resúmenes DEL XIº Seminario del INCA. La Habana, Cuba: INCA, 1998. 190 p.

Figura 6. Altura de las plántulas de cacao, obtenida por la inoculación de diferentes cepas de micorrizas en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



La fertilización con fósforo, inoculando o no micorrizas (C4), permitió conocer que los tratamientos comparados expresaron diferencias significativas, la altura se incrementó al fertilizar e inocular hongos MA, con promedios de 58.77cm en relación a los tratamientos solamente fertilizados con 42.78cm de altura. Los tratamientos inoculados permitieron que las plantas puedan absorber más eficientemente los nutrientes lo cual se vio reflejado en el mayor crecimiento de las plantas micorrizadas. Al respecto Saif⁸⁵ manifiesta que: las micorrizas aseguran una mejor utilización del fosfato disponible, el cual ha sido liberado en el suelo de las fuentes fosfatadas como fracción de fósforo soluble.

Los contrastes planteados para comparar la aplicación o no de fósforo, C5, C7 y C11 (Anexos B y E) permitieron demostrar que los tratamientos fertilizados con fósforo no presentaron diferencias estadísticas significativas, con relación a los no fertilizados; por el contrario, la especie de *Acaulospora* (C9) requiere de la adición de fósforo para permitir incrementos en la altura de las plantas (57.31cm) permitiendo obtener diferencias significativas. Los resultados permiten confirmar que algunas especies de HMA incrementan su efectividad al adicionar fosfatos solubles al suelo, tal como afirman Azcon y Barea⁸⁶, “existen diferencias entre

⁸⁵ SAIF, Op.cit., p. 125.

⁸⁶ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 68.

distintos endófitos, tanto en la morfología de la infección, el grado de micorrización que producen, como en su efectividad en una especie determinada” lo cual está condicionado por condiciones físico –químicas del suelo, así como el nivel de macro y micro nutrientes.

Hamel⁸⁷, manifiestan que entre los factores físico - químicos que más influyen en el desarrollo de la MA se han registrado el contenido de arcillas y el pH. Los HMA tienen amplia capacidad de adaptación a condiciones de pH, éstos se han registrado desde valores de 2,7 a 9,2, en este ensayo los valores de pH se aproximan a los valores mencionados por lo cual pudo favorecer la adaptabilidad de las micorrizas.

En las comparaciones planteadas para conocer la altura alcanzada por las plantas de cacao, bajo la aplicación de diferentes dosis de fósforo (50 y 500Kg de P ha⁻¹), en contrastes C6, C8 y C12 (Anexos B y E) las diferencias encontradas fueron no significativas; y al analizar el contraste C10, se encontró que la especie de *Acaulospora* permitió que las plantas alcanzarán mayores alturas al fertilizar con las dosis altas (500 Kg de P ha⁻¹) presentando diferencias estadísticamente significativas, expresadas en promedios de 60.68cm de altura en comparación a las dosis menores (Ver Figura 7). Los resultados encontrados permiten afirmar que la especie de *Acaulospora* es más susceptible a la adición de fósforo presentando mayor efectividad en la asimilación de nutrientes que fueron adicionados al sustrato.

Por su parte, Daniel y Menge citados por Satizabal⁸⁸, indican que las especies de HMA difieren significativamente en su habilidad para estimular el crecimiento de las plantas huésped. Esto puede ser debido a los diferentes niveles de infección, mayor infectividad debido al tamaño de las esporas, más cantidad de hifas externas, mejor eficiencia en la asimilación de nutrientes (relacionadas con la afinidad por los iones), o más rápida translocación de elementos nutritivos esenciales.

La respuesta del mayor crecimiento de las plantas a la adición de 500 kg de p ha⁻¹ con la inoculación de *Acaulospora*, podría explicarse ya que al aplicar fertilización fosfórica la planta toma el fósforo macroelemento esencial en el crecimiento de las plantas; por su parte Borie y Barea⁸⁹, afirman que son muchos los trabajos donde se reporta que la fertilización fosfórica asociada con los HMA incide en forma benéfica en el crecimiento de plantas en suelos pobres. Harley y Smith⁹⁰ hacen

⁸⁷ HAMEL, C. Ecología de los hongos micorrícicos en campos cultivados. En: IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: 2001. p. 198- 205.

⁸⁸ SATIZABAL, Op.cit., p. 125.

⁸⁹ BORIE, y BAREA, Op.cit., p. 235-238.

⁹⁰ HARLEY, J.L. and SMITH, S.E. Mycorrhizal Symbiosis. Influence of soils and fertility on the activity and survival of arbuscular mycorrhizal fungi. New York: Academic Press New York, 1982. p. 1119-1125.

referencia a la gran variabilidad intra e Interespecífica, en la capacidad de algunas especies de hongos MA en colonizar la raíces de un hospedero y promover su crecimiento vegetal; hay veces que determinada población de HMA poseen una gran capacidad de penetración en la raíz del hospedero, haciendo que esta explore mayor volumen de suelo y por consiguiente pueda absorber mayor cantidad de fósforo.

Figura 7. Altura de las plántulas de cacao, obtenida por la aplicación de diferentes dosis de fósforo, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



Al analizar el comportamiento de los tratamientos en suelo esterilizado y sin esterilizar, inoculando HMA (C13) y sin inoculación de estos (C14), para los dos casos se presentaron diferencias estadísticas, reportando mayores incrementos en altura trabajando en suelos sin esterilizar, con promedios de 54.63cm inoculando micorrizas y 41.44cm sin inoculación.

Con respecto a la altura alcanzada trabajando en suelos sin esterilizar se podría decir que la esterilización del suelo además de inhibir los microorganismos patógenos, disminuye las poblaciones de organismos benéficos los cuales estimulan una mejor captación y asimilación de nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas. Algunos autores como Cuenca et al⁹¹, afirman que

⁹¹ CUENCA, G., De ANDRADE and ESCALANTE, G. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. Biol. Fertil. Soils 26:(1998). 81p.

infortunadamente con la esterilización del sustrato, paralelamente a la eliminación de microorganismos nocivos, ocurre también la de algunos organismos que tienen influencia positiva en la capacidad de absorción de nutrientes.

Guironza y Mamian⁹² observaron en ensayos realizados en granadilla *Passiflora ligularis* que ésta se desarrolló deficientemente cuando el suelo se esterilizaba y se inoculaba, la materia seca, altura de plantas y porcentaje de infección en raíces se incrementaron significativamente en suelo natural. Similares respuestas se obtuvieron en este ensayo.

- **Porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea.** El análisis de varianza para el porcentaje de fósforo absorbido muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos estudiados (Anexo B).

Al analizar el contraste (C1) establecido para la comparación de tratamientos con y sin inoculación de hongos MA, mostró diferencias estadísticamente significativas, los tratamientos inoculados presentaron mayor concentración de fósforo foliar de 0.17% respecto a los tratamientos no inoculados con 0.14%, lo que demuestra que los tratamientos inoculados con HMA permiten aumentar el área de exploración de las raíces en el suelo, logrando una mayor zona de contacto y por tanto de absorción de nutrientes y agua, lo cual favorece a las plantas de cacao que establecen relaciones simbióticas con ellos. La absorción más eficiente por las raíces micorrizadas se debe fundamentalmente a una aceleración de la disociación de fosfato insoluble, ya que las hifas del hongo extienden el campo de absorción de la raíz más allá de la región de agotamiento de fósforo. Al respecto Satizabal⁹³ reporta que en las plantas no micorrizadas esta zona va de 1 a 2 cm. de la raíz, mientras que en aquellas que establecen la simbiosis, las hifas pueden extender la zona de captación de fósforo unos 7 a 8 cm. de la superficie radical.

Mosee⁹⁴ menciona que en la mayoría de las investigaciones en las plantas inoculadas se han encontrado mayores concentraciones de fósforo que en las no inoculadas; especialmente en suelos de baja fertilidad. Las principales limitantes para la absorción de fósforo por las plantas son la baja disponibilidad de fósforo en los suelos (deficiencia del nutriente y procesos de fijación) y la baja movilidad del elemento que no permite que la planta lo pueda absorber.

⁹² GIRONZA, Maricela y MAMIAN, Rubiela. Influencia de la inoculación con hongos MVA sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), lulo (*Solanum quitoense* Lam), curuba (*Passiflora mollissima* HBK) y granadilla (*Passiflora ligularis* L.) en la etapa de vivero. San Juan de Pasto, 1988, 140 p. Tesis de grado (Ingenieras Agrónomas). Universidad de Nariffo, Facultad de ciencias Agrícolas.

⁹³ SATIZABAL ESCOBAR, Op.cit., p. 125.

⁹⁴ MOSSE, B. Ann. Vesicular – arbuscular Mycorrhiza research for tropical Agriculture and Human Resources. Op.cit., p. 82.

Al comparar las diferentes especies de HMA utilizados (C2 y C3) (Anexos B y E), se pudo establecer, que estos no presentaron diferencias significativas en cuanto a efectividad en la absorción de fósforo foliar. Similares resultados encontraron Hernández y Cárdenas⁹⁵, en un ensayo de invernadero, ya que al inocular cuatro cepas de HMA (*Glomus fasciculatum*, *G. mosseae*, *G. manihotis* y *G. occultum*), en Guinea cv. Likoni, y en *Centrocema pubescens* IH -129 no encontraron diferencias significativas en el contenido de fósforo, lo cual atribuyen a las características del suelo en que se desarrolló el trabajo.

El contraste realizado para evaluar el efecto de la aplicación de P, inoculando o no con HMA (C4), permitió determinar, que los tratamientos micorrizados presentaron mayor concentración de fósforo foliar, evidenciando diferencias significativas con promedios de 0.19%, respecto a los tratamientos que solo fueron fertilizados con 0.16%. Los tratamientos inoculados con hongos MA, tienen una mayor cantidad de fósforo en el tejido vegetal, probablemente por la simbiosis que se forma entre las micorrizas y las plantas, su especificidad de infección en el hongo, por su adaptación a condiciones de clima, suelo y asociación con las cepas nativas presentes en los suelos donde se realizó el ensayo, en relación a aquellos que no fueron inoculados.

La fertilización con o sin fósforo contrastes C5, C7, C9 y C11 (Anexos B y E) permitieron demostrar que la fertilización con este elemento incrementó la efectividad de los hongos MA, presentando diferencias estadísticas significativas en cuanto a mayor concentración de fósforo foliar, con promedios de 0.19%, 0.20%, 0.20% y 0.18% en relación a los tratamientos no fertilizados con este elemento. Los resultados obtenidos demuestran, que la aplicación de fósforo incidió de manera directa en la absorción de este elemento por parte de la planta, debido a que en el suelo de cacao donde se realizó este ensayo la disponibilidad de fósforo aprovechable no es el suficiente para ser captado por las micorrizas, lo cual coincide con Azcon y Barea, quienes mencionan que en los suelos pobres en fósforo la respuesta a la fertilización es positiva”⁹⁶.

Los HMA y su efecto más marcado, ocurre en los suelos con baja disponibilidad de P, como es el caso en este ensayo (Anexo A); por el contrario, cuando existe alta disponibilidad de este elemento la actividad de las HMA se ve limitada. Todo parece indicar que el equilibrio entre nutrientes favorece la actividad funcional de la MA, esto también va a depender del tipo de suelo, planta trampa, microsimbionte y manejo que se le de al cultivo, lo que conlleva a que las micorrizas actúen de manera específica.

⁹⁵ HERNANDEZ, Martha y CARDENAS M. Efecto de la micorriza vesículo – arbusculares en *Centrosema pubescens* IH-129. En: Pastos y Forrajes. Cuba. Vol. 17, No. 2 (1994); p. 149 -152.

⁹⁶ AZCON, Concepción y BAREA, José. Applying micorrhiza biotechnology to horticultura significance and potentials, Op.cit., p. 86.

Al comparar las diferentes dosis de fósforo en los contrastes C6, C8, C10 y C12, se encontró diferencias significativas, las plantas fertilizadas con la dosis de 500Kg de P ha⁻¹, permitieron mayor concentración de fósforo foliar en el tejido vegetal con promedios de 0.22%, 0.22%, 0.23% y 0.20% con relación a la dosis menor de 50Kg de P ha⁻¹, lo cual permite demostrar que la mayor cantidad de fósforo aprovechable en el suelo incidió directamente en la captación por parte de los HMA. Al respecto, Benavides⁹⁷, manifiesta que el mayor rendimiento en la toma de nutrientes, depende de la cantidad de fósforo aprovechable en el suelo y de la fertilización.

Para la comparación de los tratamientos con y sin esterilización del suelo, en los contrastes C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación), los resultados permitieron verificar diferencias significativas, con lo cual se pudo determinar que las plantas en suelos naturales presentaron mayor concentración de fósforo en la parte aérea con 0.19% y 0.15%, lo cual indica que la esterilización influyo en algunos organismos que tenían influencia positiva en la capacidad de mineralización de nutrientes.

- **Peso de la materia seca en la parte aérea.** Al realizar el análisis de varianza se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Anexo B)

Los diferentes contrastes planteados para conocer el comportamiento de la materia seca, bajo la inoculación o no de HMA (C1, C4), la aplicación de dosis de fósforo (C5, C6, C7, C8, C10, C11 y C12) y la utilización de diferentes especies de hongos MA (C2 y C3), permitieron determinar que no se presentaron diferencias significativas y por el contrario se encontraron significancias al realizar las comparaciones de la esterilización y no esterilización de los suelos (C13, C14) e igualmente en el C9 (inoculación de cepas de *Acaulospora* y la adición de fósforo).

Mediante el contraste C9, se pudo determinar que la especie de *Acaulospora* requiere de la adición de fertilizante fosfórico para lograr incrementos en la materia seca de la parte aérea (31.80g) en relación a la no fertilización evidenciando diferencias estadísticas significativas. Esta respuesta pudo deberse a que los HMA difieren en su comportamiento para lograr incrementos de materia seca, dichas variaciones obedecen a que la efectividad de una especie de un hongo MA puede cambiar considerablemente y de acuerdo a Satizabal⁹⁸, "Algunas cepas son generalmente más adaptables que otras, a las condiciones físico - químicas del suelo" Además, algunas veces su efectividad se favorece con la aplicación de fosfatos solubles.

⁹⁷ BENAVIDES, Op.cit., p. 1-171.

⁹⁸ SATIZABAL ESCOBAR, Op.cit., p. 125.

Al analizar el comportamiento de los tratamientos en suelo esterilizado y suelo sin esterilizar en el C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación) se presentaron diferencias estadísticas; los tratamientos en suelo sin esterilizar, lograron incrementos significativos de materia seca con promedios de 28.73g y 19.90 en relación a los tratamientos en suelo esterilizado. La significancia encontrada, demuestra cómo las micorrizas introducidas en suelos naturales favorecen a que la planta sea colonizada y que además estas aumenten posiblemente la actividad de otros organismos como rizobios, *azospirillum*, *azotobacter* y bacterias solubilizadoras del fósforo como: *Pseudomonas spp*, *Bacillus circulans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*; que pudieran estar presentes en los suelos estudiados y a la vez favorezcan la absorción de nutrimentos por las plantas y como consecuencia de esto se obtenga plantas con mejor crecimiento y desarrollo, como afirma Sánchez de Prager⁹⁹.

En general, la materia seca en las plantas de cacao, no presentó diferencias estadísticas importantes, esto se pudo deber a un comportamiento propio de la especie, debido al desempeño de los hongos formadores de micorriza en absorción de agua o en mejoramiento de las relaciones hídricas del cultivo, situación que corrobora Borie y Barea¹⁰⁰. De igual manera, al realizar cada uno de los contrastes no ortogonales, se evidenciaron escasas diferencias para los diferentes grupos de tratamientos comparados, aludiendo este hecho, a que tal vez la micorriza, la fertilización y la precipitación estén contribuyendo o afectando las actividades biológicas de las plantas y por tanto se presente la homogenización inicial, generando poca diferencia en el incremento en el peso seco de la parte aérea.

Los resultados encontrados, manifiestan además poco efecto de las micorrizas sobre el crecimiento de las plantas y la biomasa vegetal, al encontrar similares pesos en las plantas no inoculados cuyo efecto puede ser transitorio, tal como lo manifiesta Sánchez de Prager¹⁰¹ quien considera que el bajo efecto de las micorrizas se puede presentar debido a la competencia entre planta y hongo por fotosintatos en los estados iniciales de la infección, cuando el hongo consume sin aportar beneficios o simplemente por las condiciones del vivero.

Por lo tanto, los excesos de humedad limitan el establecimiento y desarrollo de la simbiosis, la temperatura y la luminosidad afectan dependiendo del hongo, el género y hospedero, Al respecto Diederichs y Moawad¹⁰² en investigaciones realizadas bajo condiciones ambientales controladas, concluyeron que un exceso o deficiencia de humedad en el suelo puede producir notables cambios en la

⁹⁹ SANCHEZ DE PRAGER, Op.cit., p. 81-92.

¹⁰⁰ BORIE y BAREA, Op.cit., p. 235-238.

¹⁰¹ SANCHEZ DE PRAGER, Op.cit., p. 81-92.

¹⁰² DIEDERICHS, Cropper y MOAWAD, A. The Potential of VA Mycorrhizae for plant nutrition in the tropics. s.l : Angew Bot, 1993. p. 91 – 96.

eficiencia, infectividad y el funcionamiento de estos microorganismos en la zona rizosférica de las plantas. Por su parte Escobar y López¹⁰³ “Inoculando micorrizas en diferentes variedades de trigo (*Eriticom aestivum* L.) no encontraron diferencias estadísticas para las variables Índice de cosecha y porcentaje de vaneamiento, argumentado que esta situación podría haberse dado, al igual que en este ensayo por condiciones adversas del medio”.

Kvut y colaboradores¹⁰⁴, afirman que la distribución de la materia seca de la planta es el producto de procesos complejos de desarrollo, lo cual depende entre otras cosas de la suplementación de asimilados y distribución de hormonas activas de crecimiento así como de factores ambientales como radiación, temperatura y suplementación de nutrimentos.

- **Peso de la materia seca de la raíz.** El análisis de varianza para determinar estadísticamente el peso de la materia seca de la parte de la raíz entre los diferentes tratamientos, no mostró diferencias significativas (Anexo B).

El contraste establecido para la comparación de grupos de tratamientos con inoculación de HMA y sin la inoculación (C1), presentó diferencias estadísticas significativas, los tratamientos inoculados expresaron mayor incremento en el peso seco de la parte radical, con promedios de 17.68g, con respecto a los tratamientos no inoculados con 12.55g. Este resultado confirma que la inoculación mejora la absorción de nutrientes, reflejada en ganancias de peso seco. Al respecto Sieverding¹⁰⁵, Howeler¹⁰⁶, Azcon y Barea¹⁰⁷ y otros reportan que el papel principal de la micorriza es el efecto nutricional.

Las diferentes especies de HMA utilizados *Glomus* sp, *Acaulospora* y *G. fasciculatum* (C2 y C3) mostraron similar efectividad estadística en incrementos de la materia seca de la raíz. (Figura 8). Algunas consideraciones que podrían explicar los resultados observados, pueden estar ligadas a la baja efectividad de las especies involucradas, tal como reportan, Cardoso¹⁰⁸ y Cardoso *et al*¹⁰⁹, quienes no encontraron variaciones en el peso de la materia seca y porcentaje de colonización, cuando se utilizaron diferentes especies de hongos MA.

¹⁰³ ESCOBAR y LOPEZ, Op.cit., p. 65.

¹⁰⁴ KVUT, Jhons., et al. Methods of growth analysis. In: Aguirre, M. J, ed, Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento del frijol *Phaseolus vulgaris* L. Chapingo, México, 1985, p. 21-22. Trabajo de grado (M. Sc.). Instituto de enseñanza en investigación de ciencias agrícolas.

¹⁰⁵ SIEVERDING, Edwal. Vesicular -arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Bremer, Germany: s.n., 1991. p. 5 – 10.

¹⁰⁶ HOWELER, R.H. Op.cit., p. 28.

¹⁰⁷ AZCON y BAREA. Op.cit., p. 83-89

¹⁰⁸ CARDOSO, Elke et al. Eficiencia de fungos micorrízicos vesículo – arbusculares em porta-enxertos de citros. En : Revista Brasileira de Ciencia do Solo. Vol. 10 (1986); p. 199 – 205.

¹⁰⁹ CARDOSO, Elke y Marcio y LAMBAIS, R. Op.cit., p. 19.

Figura 8. Desarrollo radical de las plántulas de cacao obtenidas con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



Al realizar el análisis del contraste C4, se presentaron diferencias estadísticas significativas, los tratamientos con presencia de HMA y fertilizados con fósforo permitieron obtener mejores incrementos de la materia seca de la raíz (19.34g) en relación a los tratamientos solamente fertilizados y no inoculados. Estos resultados ponen de presente que la inoculación mejora la absorción de nutrientes, reflejada en ganancias en peso seco. Similares resultados a los encontrados en este ensayo, fueron reportados por Howeler¹¹⁰ en un cultivo de maíz (*Zea mays*) en donde el peso seco se vio aumentado irregularmente por cepas introducidas y no se encontró respuesta cuando no se inoculó estos hongos.

Las comparaciones planteadas en los contrastes C5, C7, C9 y C11 (Anexos B y E) no presentaron diferencias significativas, la fertilización con fósforo no mostró incrementos de la materia seca de la raíz, en comparación a los tratamientos no fertilizados.

La materia seca de la parte de la raíz, con la aplicación de diferentes dosis de fósforo (50Kg de P ha⁻¹ y 500Kg de P ha⁻¹) y la inoculación de diferentes especies de HMA, permitió demostrar que en los contrastes C6, C8 y C10, no se logró incrementos estadísticamente significativos; lo que no ocurrió para G.

¹¹⁰ HOWELER, R.H. Op.cit., p. 28.

fasciculatum (C12) los resultados obtenidos reportaron diferencias significativas, las plantas fertilizadas con 500Kg de P ha⁻¹, presentaron mayores pesos de 19.13g, mientras que los tratamientos fertilizados con la dosis menor 15.02g. Las variaciones encontradas en el comportamiento de las cepas respecto al peso seco de la raíz de las plantas de cacao puede deber a que la efectividad de una cepa de un hongo MA puede variar frente a las condiciones físico químicas del suelo y la absorción de nutrientes se hace según la disponibilidad que se tenga de él en el sustrato.

Los incrementos en crecimiento y biomasa como efectos de HMA son mayores en suelos con baja fertilidad o con problemas de equilibrio de nutrimentos sobre todo cuando el fósforo es deficiente. Parece ser que el hongo se comporta como un parásito, cuando se trata de suelos muy fértiles o cuando los hongos son muy infectivos y pocos efectivos (escaso micelio externo y extensivo micelio interno, por ejemplo). Los resultados encontrados parecen estar relacionados tal como menciona Saif¹¹¹ con los altos niveles de fertilización y especialmente de fósforo los cuales deprimen el efecto de algunos hongos MA; por su parte Howeler¹¹², no encontró respuesta de cepas introducidas a aplicaciones de altas de fósforo entre ellas *Entrophospora colombiana* y *Acaulospora longula*, en suelos de San Emigdio, Valle del Cauca, Colombia.

Para la comparación de los tratamientos con y sin esterilización del suelo, en los contrastes C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación), los resultados permitieron establecer diferencias significativas, con lo cual se pudo determinar que las plantas en suelos naturales sin esterilización presentaron mayores pesos de la raíz con promedios de 18.41g y 14.01g.

La presencia de microorganismos benéficos en los suelos no esterilizados, influyó positivamente en la toma de nutrientes permitiendo un mejor desarrollo de las plantas. Los resultados encontrados contradicen lo expresado por Saif, Pullido y Romero citados por Gironza y Mamiam¹¹³ quienes manifiestan que con la esterilización del suelo no solo se elimina la competencia por microorganismos sino que también aumenta los niveles de fósforo y nitrógeno disponibles en el suelo.

¹¹¹ SAIF, Op.cit., p. 125.

¹¹² HOWELER, R.H. Op.cit., p. 28.

¹¹³ GIRONZA, Maricela y MAMIAN, Rubiela. Influencia de la inoculación con hongos MVA sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), lulo (*Solanum quitoense* Lam), curuba (*Passiflora mollissima* HBK) y granadilla (*Passiflora ligularis* L.) En la etapa de vivero. San Juan de Pasto, 1988, 140 p. Tesis de grado (Ingenieras Agrónomas. Universidad de Nariffo, Facultad de ciencias Agrícolas.

4.2.2 Experimento Con Boroj6 (*Borojoa patinoi* Cuart).

- **Porcentaje de infecci6n en ra6ces.** El an6lisis de varianza para los diferentes grupos de tratamientos establecidos, present6 diferencias estad6sticamente significativas (Anexo. C).

El contraste C1 establecido para la comparaci6n de grupos de tratamientos sin y con inoculaci6n de HMA, mostr6 diferencias estad6sticas significativas, la inoculaci6n de estos hongos permiti6 incrementar los porcentajes de infecci6n en 29.41%, respecto a los tratamientos no inoculados con 10.07% (Anexos C y F).

Los resultados indican que existe una poblaci6n nativa capaz de producir una simbiosis con las ra6ces de boroj6, sin embargo, la introducci6n de cepas mejora estad6sticamente la infecci6n y colonizaci6n de ra6ces, lo cual se puede deber entre otros factores a que los HMA nativos no se encuentran en adecuadas proporciones en el suelo (poblaciones bajas) o su capacidad de infecci6n es muy baja; una situaci6n similar encontraron Gonz6les y Ch6vez¹¹⁴ que la inoculaci6n de HMA en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), permiti6 obtener mejores resultados, incrementando el grado de infecci6n de las ra6ces y por ende el mejor desarrollo de la planta.

Los contrastes planteados para conocer el comportamiento infectivo de cada una de las cepas de micorrizas utilizadas (C2 y C3), permitieron indicar que entre las especies de *Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum* se presentan diferencias estad6sticas significativas en relaci6n al porcentaje de infecci6n radical, mostrando as6 que las cepas de *Acaulospora* con 34.92% resultaron ser m6s efectivas para colonizar las ra6ces de las plantas de boroj6 (Figuras 9 y 10). Este hecho se debe principalmente a su especificidad y su mejor adaptaci6n a las condiciones de clima y suelo donde se estableci6 el ensayo. Lo anterior es corroborado por Azcon y Barea¹¹⁵, quienes manifiestan que la infectividad del hongo, depende m6s de la interacci6n con un tipo de suelo y las condiciones del cultivo que de un hu6sped en particular.

La aplicaci6n de f6sforo con o sin inoculaci6n de HMA (C4) permiti6 obtener mayores porcentajes de infecci6n de 28.85% en los tratamientos inoculados con micorrizas, presentando diferencias estad6sticas significativas en relaci6n a los tratamientos solamente fertilizados, con 9.45%; lo cual permite reafirmar que, mediante la inoculaci6n de prop6gulos infectivos de HMA, se logran incrementos en el grado de infecci6n.

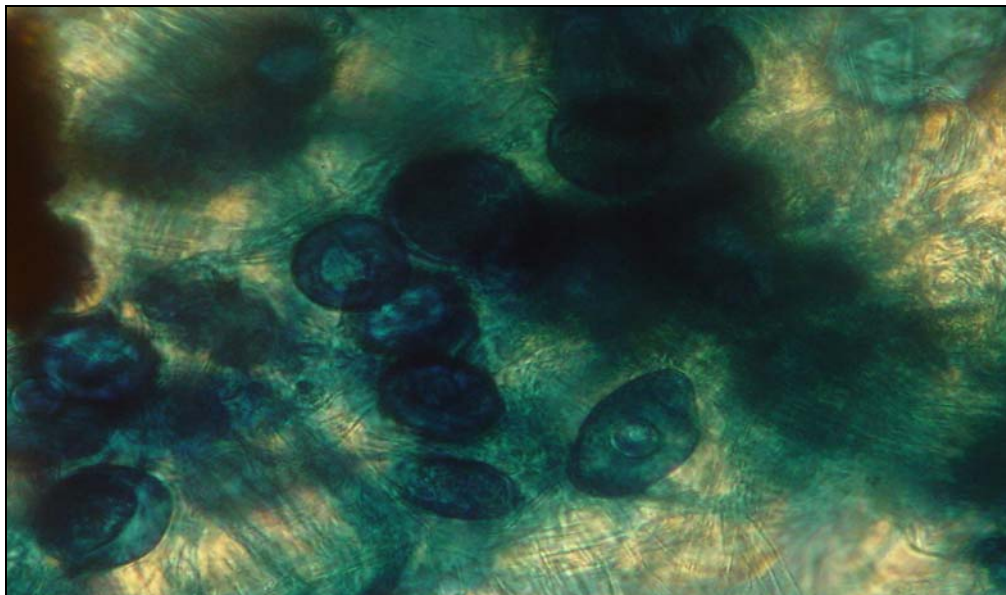
¹¹⁴ GONZALES y CHAVES, Op.cit., p. 125.

¹¹⁵ AZCON, Concepci6n y BAREA, Jos6. Op.cit., p. 943 -958.

Figura 9. Estructuras de HMA presentes en raíces de borjón (esporas, vesículas y arbuscúlos de *Glomus sp.*).



Figura 10. Estructuras de HMA presentes en raíces de borjón (esporas internas y vesículas de *Acaulospora*).



Al analizar los contrastes C5 y C9 para determinar la aplicación o no de fertilizante fosfórico (Anexos C y F) los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas; los tratamientos fertilizados con fósforo permitieron incrementos en los porcentajes de infección de 30.54% y 34.99% respectivamente, en relación a los tratamientos no fertilizados; por el contrario en las comparaciones C7 y C11, se evidenció que las respuestas a la fertilización fosfórica fueron estadísticamente similares, no encontrando diferencias en la infectividad de *Glomus sp* y *G. fasciculatum*.

Los resultados encontrados, muestran que algunas cepas de micorrizas incrementan su efectividad frente a la adición de fosfatos ya que de acuerdo a Saif¹¹⁶, la formación de esporas requiere aparentemente de carbohidratos los cuales típicamente va a permitir un mejor desarrollo de los hongos micorrizógenos dentro y sobre el sistema radical.

De otra parte Ceron y Larrañaga¹¹⁷, encontraron que al incrementar la dosis con 100 Kg. de P_2O_5 ha^{-1} , obtuvieron como resultados mayores porcentajes de infección, con respecto a las dosis de 0 Kg. de P_2O_5 ha^{-1} . Autores como Azcon y Barea¹¹⁸, manifiestan que la infectividad del hongo depende de la interacción con un tipo de suelo y las condiciones del cultivo. La colonización o no colonización obedece a las interacciones entre los componentes del sistema: el hongo, planta y las condiciones de fertilidad del suelo.

La fertilización con diferentes dosis de fósforo (50Kg de P ha^{-1} y 500Kg de P ha^{-1}) mostró, que al analizar los contrastes C6, C8 y C10 (Anexos C y F) los porcentajes de infección no variaron, presentando promedios estadísticamente similares; lo cual difiere a lo encontrado en el contraste C12, ya que la inoculación con *G. fasciculatum* requiere de dosis bajas (50 Kg/ha) de fósforo aprovechable para mejorar la infección (26.99%), al mismo tiempo se observa que las dosis altas (500 Kg de P ha^{-1}) disminuyen la posibilidad de colonización.

Una hipótesis alternativa para los efectos mediados por la planta del aumento de P sobre la infección por micorrizas, es que el aumento de las concentraciones de P en la planta, tiene un efecto inhibitorio directo sobre el crecimiento del HMA según lo manifiesta Mosee¹¹⁹. En este trabajo se observó tal efecto inhibitorio al menos con las dos dosis de P utilizadas. Según Bolan y Abbott¹²⁰ aunque aún hoy en día

¹¹⁶ SAIF, Op.cit., p. 125.

¹¹⁷ CERON, Maria y LLARAÑAGA Ana. Respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares con diferentes dosis de fertilizante fosfórico en los suelos de Obonuco y Torobajo. San Juan de Pasto, 1984, 110 p. Tesis de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

¹¹⁸ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 83-89.

¹¹⁹ MOSSE, B. Ann. Advances in the study of vesicular – arbuscular mycorrhiza. *In*: Ann Rev. Phytopath. Vol. 11 (1973); p. 171-196.

¹²⁰ BOLAN, N. S. and Lynette K. ABBOTT. Seasonal variation in infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal

está en discusión el mecanismo gracias al cual se producen resultados como éste, la explicación más probable es que cuando el suministro de P es severamente deficiente para el crecimiento de la planta, la proporción de raíces infectadas por los HMA aumenta inicialmente, a medida que el suministro de P aumenta.

Carneiro et al¹²¹ en un estudio de Maíz (*Zea mays*) inoculando con HMA, observaron que aplicaciones medias y bajas de fósforo incrementaron significativamente el porcentaje de colonización micorrizica, mientras que altas dosis de fósforo hicieron decrecer significativamente el porcentaje de infección micorrizica en las raíces de la gramínea, además, se registró una mayor producción de materia seca en la parte aérea y raíz.

Al comparar los tratamientos con y sin esterilización del suelo, en los contrastes C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación), los resultados no presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a incrementos en los porcentajes de infección. La respuesta pudo deberse a que los microorganismos micorrízicos introducidos en la rizosfera se ven sometidos a fenómenos de antagonismo ecológico por parte de otros microorganismos del suelo, tales como el amensalismo por antibiosis o lisis, la predación y parasitismo por Bdellovidrio o bacteriófagos, etc. cuya actuación frente micorrizas ha sido puesta en evidencia actualmente por Barea et al¹²².

Por otro lado, se puede pensar que las poblaciones nativas son muy bajas o la población nativa es muy poco infectiva, razón por la cual la esterilización del suelo produjo resultados similares a los obtenidos sin la desinfectación.

- **Altura de plantas.** El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Anexo C).

En la determinación de la altura de las plantas de borjón, con y sin inoculación de HMA, a través de contrastes no ortogonales (C1), las respuestas encontradas mostraron, que las plantas inoculadas presentaron diferencias estadísticas significativas, permitiendo incrementos en la altura de 19,39cm, en relación a los tratamientos no inoculados.

Al respecto, el efecto de la micorriza sobre el crecimiento de la planta es positivo, lo que puede atribuirse a los efectos en la mineralización y/o solubilización de nutrientes de la rizosfera, y en la traslocación y eficiencia en el uso de los

fungi in relation to plant response to applied phosphorus. Aust. J. of Soil Res. 21: (1984). p. 208-210.

¹²¹ CARNEIRO Marco Antonio, SIQUIERA José y CURI N. Fungos micorrízicos e superfosfato no crecimiento de especies herbáceas en solo degradado. En: XIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DO SOLO EN BRASIL. (XIII: 1996: Brasil). Memorias del XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias do Solo en Brasil. Brasil: s.n, 1996. 230 p.

¹²² BAREA, José; AZCON. Concepción; OCAMPO, José Antonio y AZCON, Roldan. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas V.A. en fijación y movilización biológica de nutrientes. Madrid, España: Concejo superior de Investigaciones científicas, 1991. v. 3, p. 149 – 173.

nutrientes, lo que coincide con lo planteado por Hernández¹²³ y Sieverding¹²⁴ quienes encontraron respuestas en altura y diámetro del tallo de plantas de café y té, cuando fueron inoculadas con hongos MA, respecto a los no inoculados. De igual manera, Peña y Bolaños citados por Escobar y López¹²⁵, afirman que al inocular arveja *Pisum sativum* con HMA, obtuvieron incremento en la altura superior al testigo sin inoculación. Por su parte Sánchez de Prager¹²⁶, encontró que: Los resultados obtenidos con inoculaciones con HMA en tomate, *Lycopersicon esculentum*, al igual que en cebolla *Allium cepa* y pimentón *Capsicum sp.*, permitieron determinar la influencia de la micorriza en la absorción de nutrimentos, en especial P; esto hace referencia a los múltiples beneficios que genera esta asociación simbiótica.

Los contrastes C2 y C3 (Anexos C y F) permitieron observar diferencias significativas entre las diferentes especies de hongos MA inoculados, demostrando que los tratamientos inoculados con *Acaulospora* incrementaron el crecimiento de las plantas, alcanzando alturas de 23.16cm, en relación a los tratamientos inoculados con *Glomus sp* con promedios de 20.26cm y *G. fasciculatum* con 14.76cm (Figura 11).

Figura 11. Altura de las plántulas de borjé obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



¹²³ HERNÁNDEZ, María. LOPEZ, S. y VARGAS A. Complementación de la nutrición mineral del tomate mediante el uso de biofertilizantes. IV Taller de Biofertilizante en los Trópicos. En: XI SEMINARIO DEL INCA. Programas y Resúmenes del 11º Seminario del INCA. La Habana Cuba: INCA, 1998. p. 192.

¹²⁴ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 5 – 10.

¹²⁵ ESCOBAR y LOPEZ, Op.cit., p. 65.

¹²⁶ SANCHEZ DE PRAGER, Op.cit., p. 81-82.

El comportamiento entre cepas con respecto a la altura podría explicarse debido a que la efectividad de una cepa, puede variar considerablemente, según las consideraciones físico –químicas del suelo; Howeler ¹²⁷ manifiesta que: “El nivel de macro y micro nutrientes, ejercen una influencia sobre las distintas especies de hongos MA”, Azcon y Barea¹²⁸, reportan que existen diferencias entre distintos endófitos, tanto en la morfología de la infección, el grado de micorrización que producen, como en su efectividad en una especie determinada.

La fertilización con fósforo inoculando o no micorrizas C4, permitió conocer que los tratamientos comparados presentaron diferencias estadísticas significativas, mostrando que la altura de las plantas se incrementó cuando se inoculó HMA, con promedios de 19,62cm, lo que no ocurrió con las plantas no micorrizadas, pues el crecimiento obtenido fue inferior (14.40cm) a pesar de la fertilización fosfórica que también se realizó en estas plantas. El crecimiento en altura de las plantas fue afectado de manera positiva en los tratamientos donde se inocularon hongos micorrízicos, efectos similares fueron reportados por Ginsburg, Avizhoar–Hershenson, Hall y Finch citados por Cano y Santana¹²⁹ 200 días después de que las plantas fueron sometidas al efecto de la micorriza, la altura aumentó 12.6 cm y el diámetro de tallo 0.07 cm con respecto a los tratamientos no inoculados.

El mejoramiento en el crecimiento, debido a la micorrización depende de la cantidad de fósforo aprovechable en el suelo, pero existen dos factores que indican claramente, que esa respuesta se debe al aumento en la toma de fósforo, como son: la concentración de fósforo en la planta micorrizada por lo general es mayor, con relación a la no micorrizada; y la otra, la micorrización y la adición de fósforo tienen un efecto complementario en el crecimiento. Lo cual corrobora los resultados obtenidos por Smith et al¹³⁰, quien afirma que las micorrizas estimulan el desarrollo de las plantas y esto ocurre por el estado beneficioso sobre la nutrición mineral que ella recibe y sobre todo por un incremento de concentración y/o contenido de fósforo en los tejidos vegetales. Además, la absorción de las plantas con micorrizas alcanza un equilibrio nutritivo más adecuado por lo que estas resultan capacitadas para explorar más volumen de suelo y captar mejor los nutrientes.

La aplicación o no de fertilizante fosfórico en plántulas de borjón, relacionados en los contrastes C5, C7, C9 y C11 (Anexos C y F) permitió determinar diferencias estadísticas significativas, los tratamientos fertilizados con fósforo presentaron

¹²⁷ HOWELER, R. Op cit., p. 28.

¹²⁸ AZCON, Concepción y BAREA, José. En: Biología vegetal. Libro de investigación y Ciencia. Op.cit., p. 83-89.

¹²⁹ CANO, R. y SANTANA L. Micorrizas en Chysanthemum morifolium. Trabajo de tesis, Fac. De Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1982.108 p.

¹³⁰ SMITH, S. E., JARSTFER, J.A.G. and BAGYARAJ, D.J. Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glasshouse-grown Allium cepa L. Op.cit., p. 359-373.

mayores promedios en la altura de las plantas (19.62cm, 20.97cm, 22.39cm y 15.51cm, respectivamente), en comparación a los tratamientos no fertilizados. Esto se debe entre otros factores, a que al aplicar fertilización fosfórica la planta toma el macroelemento esencial en el crecimiento y según lo reportado por Borie y Barea¹³¹ son muchos los trabajos donde se demuestra que la fertilización fosfórica asociada con los HMA incide en forma benéfica en el crecimiento de plantas en suelos pobres.

Al fertilizar con diferentes dosis de fósforo (50Kg de P ha⁻¹ y 500Kg de P ha⁻¹ contrastes C6, C8, C10 y C12 (Anexos C y F), los resultados mostraron que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a esta variable (Figura 12).

Figura 12. Altura de las plántulas de borjón obtenida con la aplicación de diferentes dosis de fósforo, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



En el contraste C13 al analizar los tratamientos en suelo esterilizado y sin esterilizar inoculando HMA, no se encontró diferencias no significativas, por lo que los promedios de altura de plantas es similar cuando se trabaja en suelos naturales o esterilizados.

¹³¹ BORIE, Fernando. y BAREA, José. M. Ciclo del fósforo II papel de los microorganismos y repercusión en la nutrición vegetal. Op.cit., p. 235 -238.

En el C14, la esterilización o no del sustrato, sin la inoculación de HMA, mostró diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que el crecimiento de las plantas se ve afectado cuando se trabaja con suelos esterilizados y por el contrario, se obtuvieron promedios de altura superiores (15.01cm) en suelos naturales sin esterilización. Al respecto, Cuenca y Escalante¹³², afirman que desafortunadamente con la esterilización del sustrato, paralelamente a la eliminación de microorganismos patógenos, ocurre también la de algunos organismos que tienen influencia positiva en la capacidad de absorción de nutrientes.

Los resultados obtenidos para esta variable, indican que la inoculación con hongos MA permitieron un mejor crecimiento de las plantas, como se observa en la Figura 12, pero hay que seleccionar cepas efectivas teniendo en cuenta las condiciones donde se va a desarrollar el ensayo; lo anterior según Sieverding¹³³ se debe a que la efectividad de los HMA sobre el desarrollo de la planta está determinada por condiciones físico químicas del sustrato.

- Porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea. El análisis de varianza para determinar el porcentaje de fósforo presente en el tejido vegetal de la parte aérea mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo C).

El contraste C1 mostró que la inoculación con HMA, incrementó la absorción de fósforo foliar (0.19%) presentando diferencias estadísticas significativas en relación a los tratamientos que no fueron inoculados (0.16%). De acuerdo con los resultados obtenidos al inocular HMA, se pone en manifiesto que la inoculación de cepas puras de hongos micorrizógenos, pueden estimular una mayor absorción de nutrientes, específicamente del fósforo. Dicha reacción puede deberse, de acuerdo a lo expresado por Saif¹³⁴ a que las micorrizas pueden aumentar la capacidad de la planta para absorber nutrientes y por lo tanto, las plantas tienen mayor desarrollo logrando con esto un sistema radical más amplio.

Burckhardt y Howeler¹³⁵ mencionan que el efecto de la inoculación en un suelo con baja población de micorrizas nativa es muy marcado, debido a la mejora de la asociación simbiótica que resulta en una mejor absorción de P y por lo tanto en un mejor crecimiento y aumento en biomasa vegetal, de ahí que en este ensayo los

¹³² CUENCA, G., De ANDRADE And G. ESCALANTE. Arbuscular mycorrhizae en the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. *Biol. Fertil. Soils* 26:(1998). 81p.

¹³³ SIEVERDING, Edwal. Vesicular -arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*, Bremer, Op.cit., p. 5 – 10.

¹³⁴ SAIF, Op.cit., p. 125.

¹³⁵ BURCKHARDT Y HOWELER. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de la yuca, estudiado en ensayos de invernadero. En: CONGRESO COLOMBIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SUELOS ECUATORIALES. (14° : 1984 : Colombia). Ponencias del XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: s.n., 1984. p. 158 -165.

resultados obtenidos en cuanto al incremento en la absorción de fósforo se mejoran con la inoculación de HMA.

Benavides ¹³⁶ por su parte explica que una mayor capacidad de absorción de fósforo por las plantas micorrizadas se basa en el número, posición y longitud de las hifas, ya que esto le permite explorar un área de suelo más allá de la de agotamiento alrededor de la rizosfera por lo tanto se incrementa el área de absorción. Por su parte Barea et al ¹³⁷, afirman que la respuesta de la planta que más frecuentemente se ha descrito como principal responsable del “efecto micorriza” es el incremento de la concentración y/o contenido de fósforo en los tejidos vegetales.

Las micorrizas absorben N, K, S, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn desde el suelo y luego lo translocan a la planta como lo afirman Gerdeman, Hayman, Pearson y Tinker citados por Forero, Chávez y Unigarro ¹³⁸ quienes manifiestan que el efecto nutricional más importante es el mejoramiento de la absorción de minerales inmóviles como lo son el P, Cu y Zn; La asociación micorrízica tiene su más grande efecto cuando la planta no asociada con ella es deficiente en fósforo, esto explica los resultados obtenidos en este ensayo, cuando las plantas de borjón presentaron buenos resultados para esta variable.

Las especies de micorrizas utilizadas (*Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum*) al realizar los contrastes C2 y C3 (Anexos C y F), no presentaron diferencias significativas en cuanto a efectividad para la absorción de fósforo foliar.

El contraste realizado para comparar el efecto de la aplicación de P, inoculando o no HMA (C4), permitió determinar que los tratamientos inoculados presentaron mayor concentración de fósforo foliar, expresando diferencias significativas con promedios de 0.19% en relación a los tratamientos que solo fueron fertilizados con 0.17%.

De los resultados encontrados se puede mencionar que los tratamientos inoculados con hongos MA, tienen una mayor cantidad de fósforo en el tejido vegetal, probablemente por la simbiosis que se forma entre las micorrizas y las plantas, su especificidad de infección en el hongo, por su adaptación a condiciones de clima, suelo y asociación con las cepas nativas presentes en los suelos donde se realizó el ensayo, en relación a aquellos que no fueron inoculados, por su parte Mosse ¹³⁹ afirma que en la mayoría de las investigaciones

¹³⁶ BENAVIDES, Op.cit., p. 1-171.

¹³⁷ BAREA, José; AZCON. Concepción; OCAMPO, José Antonio y AZCON, Roldan. Op.cit., p. 149 – 173.

¹³⁸ FORERO, Luz Amalia; CHAVES, Germán; y UNIGARRO, Alberto. Op.cit., p. 111.

¹³⁹ MOSSE, B. Ann. Vesicular arbuscular mycorrhiza. In Sieverding, E., Sánchez de Prager, M., Bravo, N., eds. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1984. p. 5-10.

en plantas inoculadas con hongos MA, se han encontrado concentraciones mayores de fósforo que en las plantas no micorrizadas especialmente en suelos de baja fertilidad.

La fertilización con o sin fósforo, (C5, C7, C9 y C11) no presentó diferencias significativas para esta variable, por lo cual las concentraciones de fósforo en el follaje presentaron similares promedios en los tratamientos comparados. Se podría afirmar que las micorrizas no producen fósforo ni solubilizan fuentes de fósforo no disponible para la planta, pero si aumentan la eficiencia de la absorción de este elemento por parte de la planta reduciendo así de alguna manera los altos requerimientos de abonos fosfatados.

Al comparar la fertilización con diferentes dosis de fósforo, en los contrastes C6, C8, C10 y C12 (Anexos C y F) se encontró que al incrementar las dosis (500Kg de P ha⁻¹), la absorción de fósforo foliar en el tejido vegetal fue mayor con promedios de 0.21%, 0.21%, 0.22% y 0.20%, respectivamente, con diferencias altamente significativas en relación a la dosis de 50Kg de P ha⁻¹. Los resultados obtenidos, muestran que la mayor aplicación de fósforo incidió de manera directa en la absorción de este elemento por la planta, lo cual corrobora lo expresado por Benavides¹⁴⁰ quien menciona que el mayor rendimiento en la toma de nutrientes, depende de la cantidad de fósforo aprovechable en el suelo y de la fertilización.

Al comparar los tratamientos con y sin esterilización del suelo, en los contrastes C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación), los resultados permitieron diferencias significativas, con lo cual se pudo determinar que las plantas en suelos naturales (sin esterilización) presentaron mayor concentración de fósforo en la parte aérea con 0.21% y 0.18%. Se demuestra entonces, que la esterilización del sustrato inhibe la presencia de microorganismos benéficos en la nutrición mineral de las plantas. Según Borie y Barea¹⁴¹ existen muchos microorganismos comunes del suelo que poseen la habilidad de mineralizar formas orgánicas de P como las existentes en suelos, incluyendo especies dentro de géneros como: Bacillus, Proteus, Serratia, Arthrobacter, Streptomyces, Aspergillus, Penicillium, Rhizopus y otros.

- **Peso de la materia seca en la parte aérea.** El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Anexo. C).

Los contrastes no ortogonales realizados para determinar la materia seca de la parte aérea, permitieron establecer que la inoculación o no de HMA (C1, C4), las diferentes especies de hongos micorrizicos inoculados (C2, C3), las dosis aplicadas de fósforo (C6, C8, C9, C10, C11, C12) y la esterilización o no del

¹⁴⁰ BENAVIDES, Op.cit., p. 1-171.

¹⁴¹ BORIE y BAREA, Op.cit., p. 235-238.

sustrato (C13, C14), no presentaron estadísticamente diferencias significativas y por el contrario se obtuvo respuestas positivas al realizar los contrastes C5 y C7.

En el contraste C5 se pudo establecer que los tratamientos inoculados con HMA y fertilizados con fósforo presentaron diferencias significativas (7.83g) respecto a los tratamientos no fertilizados con este elemento (7,55g), de igual manera los tratamientos inoculados con *Glomus sp.* (C7) permitieron resultados estadísticamente significativos frente a la fertilización fosfórica con promedios de 8.05g sin fósforo y 8.66g con fósforo (Anexos C y F).

Los resultados obtenidos al evaluar la materia seca en las plantas de borjón al igual que las plantas de cacao, presentaron escasas diferencias estadísticas en las comparaciones realizadas, esto se puede deber a una variación genética o a una mayor actividad hormonal debido al efecto de los hongos formadores de micorriza en la absorción de agua o en el mejoramiento de las relaciones hídricas del cultivo, tal como manifiestan Borie y Barea¹⁴².

De igual manera, al realizar cada uno de los contrastes no ortogonales, no se encontraron diferencias significativas para los diferentes tratamientos comparados, aludiendo este hecho, a que la micorriza está contribuyendo a que la planta resista condiciones adversas del medio en las cuales se desarrolló el ensayo y no se afecte así el incremento en el peso seco de la parte aérea.

Similares resultados fueron encontrados por Gonzáles y Chávez¹⁴³ al inocular las HMA, quienes no encontraron una respuesta significativa, en el peso de la materia seca en papa (*solanum tuberosum* L. spp.) lo cual lo atribuyeron a una buena disponibilidad de nutrientes, la simbiosis hongo VA – raíz, aunque esté presente no desarrolla un papel importante para la nutrición y el crecimiento de la planta.

- **Peso de la materia seca de la raíz.** El análisis de varianza realizado para materia seca de la raíz, mostró diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos (Anexo. C).

Al realizar los contrastes no ortogonales (C1) (Anexos C y F) se encontró que los tratamientos con inoculación de HMA presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto al incremento de la materia seca de la parte de la raíz con respecto a los tratamientos que no se inoculó HMA, los tratamientos inoculados presentaron promedios de 4.45g y los no inoculados 3.43g.

El peso seco de la raíz se vio favorecido al adicionar al suelo hongos micorrizógenos efectivos y adaptados al ambiente del sustrato utilizado en el

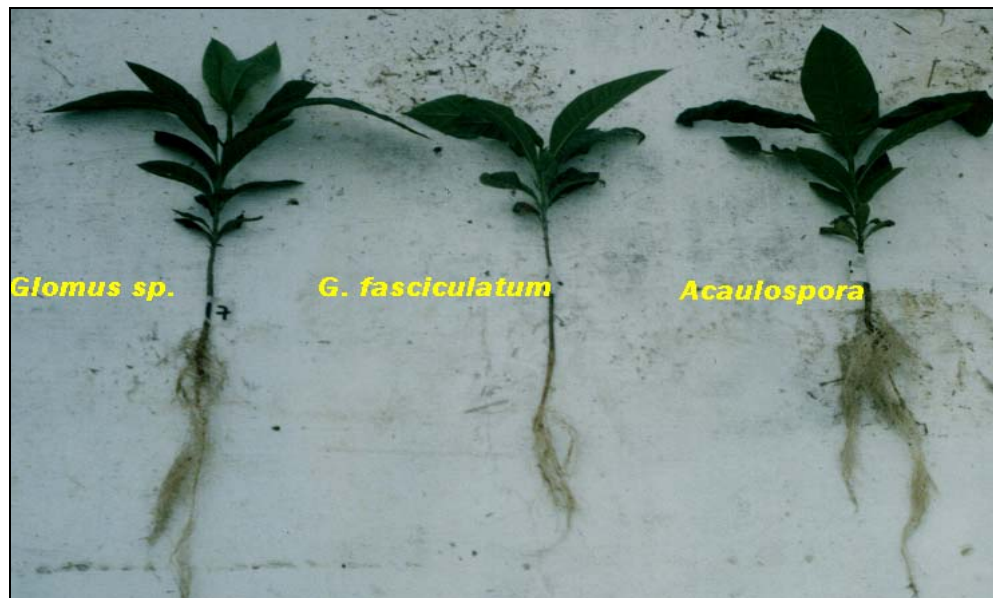
¹⁴² BORIE y BAREA, Op.cit., p. 235-238.

¹⁴³ GONZALES y CHAVES, Op.cit., p. 125.

experimento, contrario a lo expresado por Miller¹⁴⁴ quien manifiesta que el peso radical no es un buen parámetro bien adaptado para caracterizar la cantidad de absorción de la raíz en un suelo.

Al comparar las diferentes especies de HMA utilizados (C2 y C3) (*Glomus* sp, *Acaulospora* y *G. fasciculatum*), no se encontró diferencias significativas en cuanto a su efectividad en incrementos para esta variable (Ver Figura 13).

Figura 13. Desarrollo radical de las plántulas de borjón obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas, en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



La fertilización con fósforo utilizando o no HMA (C4), permitió conocer que los tratamientos comparados presentaron diferencias estadísticas, la materia seca se incrementó al fertilizar e inocular HMA, alcanzando promedios de 4.56g, en comparación a los tratamientos que solo fueron fertilizados con los cuales se obtuvo 3.22g.

En las comparaciones planteadas para conocer el comportamiento de los tratamientos bajo la aplicación o no de fósforo (C5, C7, C9, C11) y de diferentes dosis de fósforo (C6, C8, C10, C12), permitió establecer que los tratamientos no

¹⁴⁴ MILLER, M. H.; T.P. Mc. Gonigle et H.O. Addy. Funcional ecology of vesicular arbuscular micorrizas as influenced by phosphate fertilization and tillage in a agricultural ecosystem. En: Ecological Applications. Vol. 5, No. 3 (1995); p. 776 – 778.

presentaron diferencias estadísticas significativas en el incremento de materia seca de la parte radical.

Las comparaciones de tratamientos realizadas en suelo sin esterilizar y esterilizado, inoculando HMA (C13) y sin inoculación (C14), en los dos casos los resultados encontrados fueron similares, no encontrando diferencias estadísticas entre los grupos de tratamientos comparados.

Los resultados obtenidos, presentaron la misma tendencia del peso de la materia seca aérea, posiblemente por lo que anotan Wallace y Munger citados por Borie y Barea¹⁴⁵, quienes indican que la materia seca está relacionada directamente con el área foliar, la tasa de asimilación neta y el índice del área foliar. Por su parte Shibles y Weber, citados por Borie y Barea afirman que la relevancia en el área foliar, se debe a la influencia en la intercepción de la energía radiante.

Además, se podría mencionar que las respuestas obtenidas al evaluar esta variable pueden estar determinadas por las características fisiológicas y genéticas de la planta, es decir, puede o no existir una correlación positiva entre la extensión intraradical y la respuesta de la planta, tal como lo afirma Cardoso¹⁴⁶.

El crecimiento es un cambio cuantitativo que incluye aumentos en la longitud, el diámetro e incremento en la biomasa vegetal, debido a la acción de sustancias, y los balances existentes entre la fotosíntesis y la respiración, los cuales son afectados por el aire, la energía solar y el agua tal como lo afirman Vásquez y Torres¹⁴⁷.

4.2.3 Experimento Con Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K).

- **Porcentaje de infección de raíces.** El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos (Anexo. D).

Al realizar el contraste C1 (Anexos D y G) establecido para la comparación de grupos de tratamientos con y sin inoculación de HMA, se encontró diferencias estadísticas significativas, las plantas micorrizadas presentaron un mayor porcentaje de infección con promedios de 33.79%, con respecto a los tratamientos no inoculados con 15.74% de infección. Los resultados indican que existe una población nativa capaz de producir infección en la raíces, sin embargo la introducción de cepas mejoró estadísticamente la infección y colonización de

¹⁴⁵ BORIE y BAREA, Op.cit., p. 235-238.

¹⁴⁶ CARDOSO, Elke et al. Eficiencia de hongos micorrízicos vesículo – arbusculares em porta-enxertos de citros. En: Revista Brasileira de Ciencia do Solo. Vol. 10 (1986); p. 199 – 205.

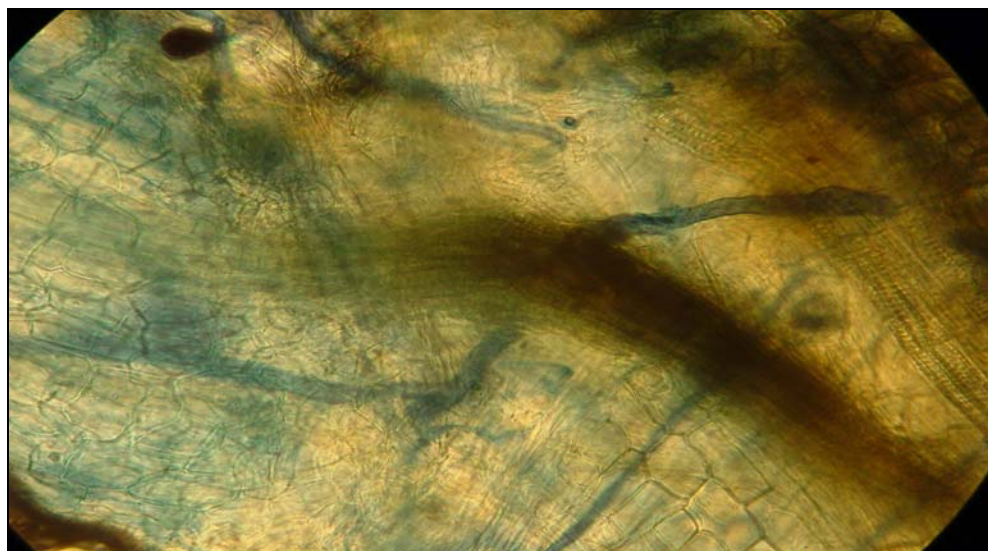
¹⁴⁷ VÁZQUEZ, B. E. y TORRES G. S. Fisiología vegetal. Pueblo y Educación. La Habana. 1995. 451 p.

raíces, lo cual se puede deber entre otros factores a que los HMA nativos no se encuentran en adecuadas proporciones en el suelo (poblaciones bajas) o su capacidad de infección es muy baja tal como afirma Satizabal¹⁴⁸.

En lo concerniente, Sieverding¹⁴⁹ manifiesta que la rapidez de la infección y desarrollo de las plantas depende de su presencia cuantitativa así como de las condiciones ambientales y del suelo. Según Hayman citado por Ferrera y Perez¹⁵⁰ las especies vegetales que tienen una raíz gruesa y pocos pelos radicales como en este caso, con frecuencia responden muy bien a la inoculación con HMA, pero en plantas con raíces finas es muy común que no se tenga esa respuesta.

En los contrastes C2 y C3 (Anexos D y G) se encontró que la inoculación con *Acaulospora* con un porcentaje de infección promedio de 40.93% presentó diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de infección, en comparación a los porcentajes obtenidos al inocular *Glomus sp.* y *G. fasciculatum* con 26.61% y 33.82%, lo cual muestra que existe una cierta especificidad de los hongos MA en chontaduro y/o que las cepas de *Acaulospora* son más competitivas al presentar mayor adaptación a las condiciones de suelo y clima presentes en la zona de Tumaco, lo cual incrementó el porcentaje de infección presente en láminas (Figuras 14y 15).

Figura 14. Estructuras de HMA presentes en raíces de chontaduro (esporas internas y vesículas de *G. fasciculatum*).



¹⁴⁸ SATIZABAL, José. Interacción micorriza vesículo – arbuscular, Rhizobium-leguminosa en un oxisol de los llanos orientales de Colombia. Palmira, Colombia, 1985. 125 p. Tesis (Magister en suelos y aguas). Universidad nacional de Colombia, facultad de Ciencias Agropecuarias

¹⁴⁹ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p 1-14.

¹⁵⁰ FERRERA y PEREZ, Op.cit., p. 48-49.

Figura 15. Estructuras de HMA presentes en raíces de chontaduro (esporas internas de *Acaulospora*).



En el trabajo realizado por Ceron y Larrañaga¹⁵¹, se encontró que algunas cepas son generalmente más adaptables, por ejemplo para el cultivo de fríjol afirman, que las cepas de *Acaulospora appendiculata* y *Glomus* son más específicas para ciertas condiciones edafoclimáticas.

La aplicación de fósforo con o sin inoculación de HMA (C4) permitió obtener mejores porcentajes de infección, en los tratamientos donde se inoculó micorrizas, mostrando diferencias estadísticamente significativas, con promedios de 34.12% en comparación a los tratamientos que solo fueron fertilizados con fósforo, con 15.06% de infección. Los resultados en cuanto al porcentaje de infección, al igual que en cacao y borjón, fueron mayores cuando se inoculó micorrizas, la asociación del hongo con la raíz depende de muchos factores, además es probable que como en este caso, ésta se vea más favorecida con la inoculación de propágulos infectivos en el suelo, que a la aplicación de fertilizantes.

Según Bowen, citado por Gonzáles y Chávez¹⁵², el grado de infección que puede alcanzar una planta está determinado por sus características morfológicas, fisiológicas y genéticas, además de las condiciones del suelo y medio ambiente que también puede afectar la infección.

¹⁵¹ CERON y LLARAÑAGA, Op.cit., p.110.

¹⁵² GONZALES y CHAVES, Op.cit., p. 125.

La aplicación o no de fósforo, permitió demostrar que algunas especies de HMA, incrementaron su efectividad mediante la adición de fosfatos solubles al suelo, encontrando así que en los contrastes C5, C9 y C11 (Anexos D y G), los tratamientos fertilizados con este elemento presentaron diferencias estadísticas encontrando mayores porcentajes de infección con promedios de 34.12%, 37.75% y 37.32% en relación a la no fertilización. Lo que no ocurrió para la especie de *Acaulospora* (C7), los resultados encontrados no mostraron diferencias no significativas frente a la fertilización fosfórica, lo cual comprueba lo expresado por Sieverding¹⁵³, quien manifiesta que algunas cepas de micorrizas se ven favorecidas ante el incremento de fósforo en el suelo y otras por el contrario disminuyen o inhiben su actividad ante esta situación.

Las comparaciones planteadas para conocer el comportamiento de los tratamientos ante la aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfórico (50Kg de P ha⁻¹ y 500Kg de P ha⁻¹) relacionados en los contrastes C6, C8, C10 y C12, presentaron diferencias estadísticas, mostrando que la infección de estos hongos respondió positivamente a la aplicación de dosis bajas de fósforo con las cuales se lograron obtener porcentajes de 35,34%, 29.79%, 38.74% y 39.08% y por lo contrario se encontró que las dosis altas disminuyen la posibilidad de infección. La aplicación de fósforo es usualmente un problema cuando la infección por los hongos MA es pobre, la adición de cantidades altas de fósforo ayuda a reducir la colonización por los HMA de raíces y producción de esporas en muchos suelos y por el contrario la simbiosis se ve favorecida con la aplicación de cantidades bajas, lo cual coincide con las afirmaciones de Powell citado por López de Siqueira, Zambolim y Cardoso¹⁵⁴.

Las comparaciones realizadas para determinar el comportamiento de los tratamientos inoculados con HMA, en el suelo esterilizado y sin esterilizar (C13), no presentaron diferencias estadísticas significativas, con promedios de 34.55% y 34,02% de infección respectivamente, lo cual evidencia la efectividad de las cepas nativas presentes en estos suelos.

En el contraste C14, la esterilización o no del sustrato, sin la inoculación de HMA, mostró diferencias estadísticas, encontrando mayores promedios (23.69%) cuando no se esteriliza el suelo y que por el contrario la infección se reduce (6.79%) cuando el suelo es esterilizado. Podría pensarse entonces que la esterilización trae severas consecuencias sobre los microorganismos nativos y su efectividad.

- **Altura de plantas.** El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para los diferentes tratamientos (Anexo. D).

¹⁵³ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p 1-14.

¹⁵⁴ LOPEZ DE SIQUEIRA, D.; ZAMBOLIN, Laercio y CARDOSO, Elke. Crecimiento vegetativo do abacaxizeiro, associado a fungos micorrizicos, con diferentes dosis de fósforo. Op.cit.; p. 409 – 425.

Al realizar el análisis mediante contrastes no ortogonales establecidos para comparar los diferentes grupos de tratamientos para esta variable, mostró que no existen diferencias estadísticas significativas: frente a la inoculación o no de micorrizas, especies de HMA, dosis de fósforo y suelo utilizado (Figuras 16 y 17), a excepción del contraste C9 planteado para comparar la aplicación o no de fósforo utilizando cepas de *Acaulospora* (Anexo D).

La aplicación o no de fósforo utilizando HMA permitió determinar que la especie de *Acaulospora* (C9) requiere de la adición de fósforo para permitir mayores alturas de las plantas de chontaduro (26.63cm) presentando diferencias estadísticamente significativas. Los resultados encontrados permiten suponer que algunas especies de HMA difieren en su efectividad al adicionar fosfatos solubles al suelo, al respecto Azcon y Barea¹⁵⁵, “Existen diferencias entre distintos endófitos, tanto en la morfología de la infección, el grado de micorrización que producen, como en su efectividad en una especie determinada” lo cual está condicionado por características físico-químicas del suelo, así como el nivel de macro y micro nutrientes.

El efecto de las micorrizas en este ensayo, produjo resultados similares a los encontrados por Trappe citado por Rosero y Solarte¹⁵⁶ quienes estudiando el efecto de las micorrizas en *Chrysanthemum morifolium* aplicando diferentes inóculos, no encontraron diferencias significativas con respecto a la altura. En algunos casos la inoculación puede llevar a decrecimiento de la planta, principalmente cuando en plantas no micorrizadas el fósforo no está limitando su crecimiento. Según Medina¹⁵⁷, esto se debe a la competición por carbohidratos producto de la fotosíntesis entre la planta hospedera y el hongo.

Por otra parte los resultados obtenidos al evaluar la altura alcanzada por las plantas de chontaduro pueden estar determinados por las características fisiológicas y genéticas de la planta, es decir, puede o no existir una correlación positiva entre la extensión intrarradical y la respuesta de la planta, tal como lo afirma Cardoso¹⁵⁸. Además, se puede decir que los HMA, en la mayoría de los casos estimulan el crecimiento vegetal como una consecuencia de su efecto sobre la nutrición mineral del hospedero, fundamentalmente debido al incremento en la absorción de fósforo, por lo cual, la longitud de la parte aérea se puede ver afectada por problemas de equilibrio de nutrientes en los suelos, tal como lo afirma Sánchez de Prager¹⁵⁹

¹⁵⁵ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 86.

¹⁵⁶ ROSERO y SOLARTE, Op.cit., p. 104.

¹⁵⁷ MEDINA, María. Evaluación de diferentes especies de bacterias y hongos MA y sus combinaciones como biofertilizantes para el tomate cultivado fuera de época. En : VIII SEMINARIO CIENTÍFICO DEL INCA. Ponencias del 8º Seminario Científico del INCA. s.l. : inca, 1992. p. 38.

¹⁵⁸ CARDOSO, Elke et al. Op.cit., p. 199 – 205.

¹⁵⁹ SÁNCHEZ DE PRAGER, Op.cit., p. 81-92.

Figura 16. Altura de las plántulas de Chontaduro, obtenida con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.

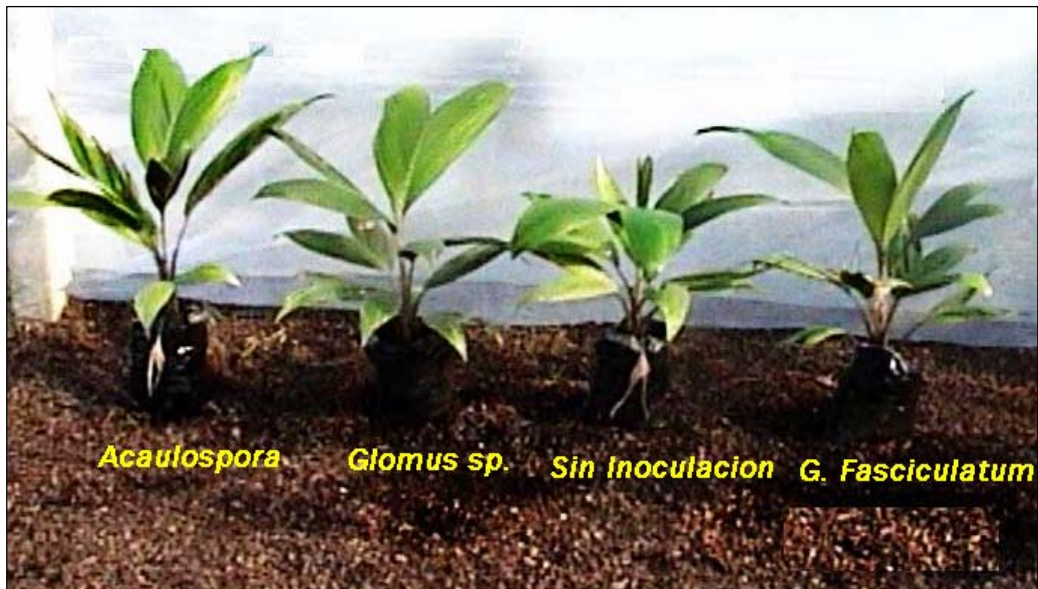
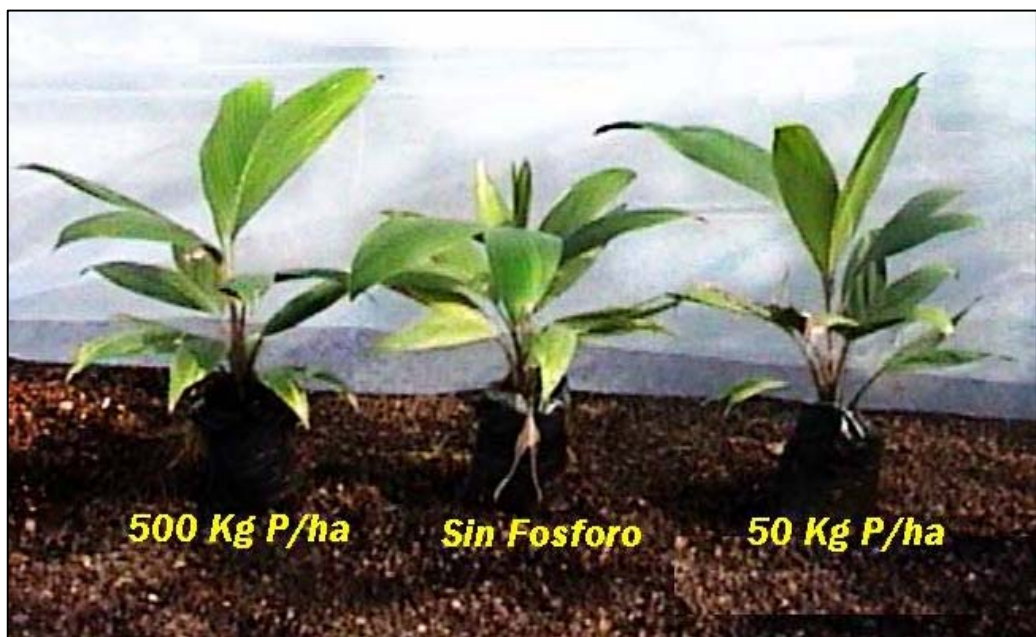


Figura 17. Altura de las plántulas de chontaduro, obtenida con la aplicación de diferentes dosis de fósforo en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



- Porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea. El análisis de varianza para la absorción de fósforo en los diferentes tratamientos mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Anexo D).

Los contrastes no ortogonales realizados para esta variable permitieron observar que la inoculación con HMA (C1), incrementó la absorción de fósforo foliar presentando diferencias estadísticas significativas en relación a los tratamientos que no fueron inoculados, con promedios de 0.22% y 0.19% respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, existe la posibilidad de que la inoculación de cepas puras de hongos micorrizógenos, puedan estimular una mayor absorción de nutrientes, específicamente del fósforo, dicha reacción puede deberse, de acuerdo con Saif¹⁶⁰, a que las micorrizas pueden aumentar la capacidad de la planta para absorber nutrientes y por lo tanto las plantas tienen mayor desarrollo logrando con esto, un sistema radical más amplio.

Algunos autores como Mosquera¹⁶¹, Saif¹⁶², Azcon y Barea¹⁶³, manifiestan que en investigaciones realizadas con rhizobium-micorriza, encontraron que la nodulación es mejor y que la fijación de nitrógeno, peso seco y contenido de P son más altos.

En cuanto a las especies de micorrizas utilizadas (C2 y C3), se encontró diferencias significativas en cuanto a su efectividad, los mayores promedios se obtuvieron cuando se utilizó la especie de *Acaulospora* logrando incrementos con 0.23% de fósforo foliar con relación a *Glomus sp.* y *G. fasciculatum* con 0.21%. Los resultados indican, que la especie de *Acaulospora* se adaptó mejor a las condiciones edafoclimáticas, presentando altos porcentajes de infección, proporcionando una área mayor de exploración de suelo para la captación de nutrientes, es por esta razón, que los tratamientos inoculados con cepas de *Acaulospora* permitieron que la planta absorbiera más fósforo en relación a los demás tratamientos. Según Mosse¹⁶⁴ las especies incluso variedades dentro de la misma especie difieren considerablemente en su capacidad para extraer fosfato del suelo, así como en el nivel de demanda y requerimientos en dicho nutriente.

Lo anterior lleva a inferir que *Acaulospora* tiene un micelio externo que rodea la raíz, y que absorbe del suelo en una forma más eficiente los nutrientes poco móviles especialmente el fósforo que la raíz sola no podría realizar si no es con la ayuda de los hongos MA, esto corrobora lo expresado por Sieverding¹⁶⁵, acerca de que el micelio externo desempeña una función de asimilar nutrientes y transportarlos a la raíz.

¹⁶⁰ SAIF, Op.cit., p. 125.

¹⁶¹ MOSQUERA, Op.cit., p. 209-223.

¹⁶² SAIF, Op.cit., p. 125.

¹⁶³ AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., p. 83-89.

¹⁶⁴ MOSSE, Ann. Op.cit., p. 5-10.

¹⁶⁵ SIEVERDING, Edwal. . Op.cit., p 1-14.

El contraste realizado para comparar el efecto de la aplicación de P, inoculando o no HMA (C4), permitió determinar que los tratamientos inoculados presentaron mayor concentración de fósforo foliar, mostrando diferencias estadísticas significativas con promedios de 0.24% en relación a los tratamientos que solo fueron fertilizados con 0.21% de infección.

El mejoramiento en la absorción de nutrientes especialmente del fósforo fue afectado de manera positiva por el tratamiento donde se inocularon hongos micorrízicos a la planta, efectos similares a los encontrados en este ensayo fueron reportados por Howeler y Sieverding¹⁶⁶ en cultivos de yuca, donde la inoculación aumentó la concentración de fósforo en el tejido, resultando en un incremento de la absorción de fósforo total más de 100 veces con la aplicación de fósforo.

Segun Mosse¹⁶⁷, en la mayoría de las investigaciones, en las plantas inoculadas se ha encontrado mayores concentraciones de fósforo que en las no inoculadas, especialmente en suelos de baja fertilidad. Saif¹⁶⁸ manifiesta que las micorrizas aseguran una mejor utilización del fosfato disponible, el cual ha sido liberado en el suelo de las fuentes fosfatadas como fracción de fósforo soluble. De los trabajos mencionados se concluye, que los efectos logrados se deben a que la micorriza beneficia sustancialmente la absorción de nutrientes y de agua por la planta, donde el principal nutriente implicado es el fosfato.

La aplicación o no de fósforo, utilizando HMA (C5, C7, C9 y C11) (Anexos D y G) permitió demostrar que los tratamientos fertilizados con este elemento presentaron mayores concentraciones de fósforo foliar, con diferencias estadísticas significativas, permitiendo promedios de 0.24%, 0.22%, 0.24% y 0.24% respectivamente, en relación a los tratamientos no fertilizados. Lo que pone en manifiesto que los HMA necesitan de la adición de fertilizantes fosfatados para lograr incrementar las concentraciones de este elemento en el tejido vegetal, son muchos los estudios donde se ha comprobado que el papel fundamental de los hongos MA es permitir una mejor utilización de los fertilizantes.

Al respecto algunos autores como Sieverding¹⁶⁹, plantea que la utilización de los hongos MA como biofertilizantes, no implica que se deba dejar de fertilizar, sino que se ha comprobado que la fertilización se hace más eficiente y pueden disminuirse las dosis al aplicarlos. Estudios realizados por Habte,; Zhang, y Schmidt, citados por Forero, Chávez y Unigarro¹⁷⁰ emplearon *Leucaena leucocephala*, el cual es altamente dependiente de las asociaciones micorrizicas, ha mostrado que la simbiosis puede disminuir los requerimientos externos de

¹⁶⁶ HOWELER, R. y SIEVERDING. Edwal. Op.cit., p. 182– 194.

¹⁶⁷ MOSSE, Ann. Op.cit., p. 5-10.

¹⁶⁸ SAIF, Op.cit., p. 125.

¹⁶⁹ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 5 – 10.

¹⁷⁰ FORERO, Luz; CHAVEZ, German; y UNIGARRO, Alberto. Op.cit.,p.111.

fósforo, siendo ésta una posible alternativa para disminuir costos en fertilizantes e insumos.

Al realizar las comparaciones de las diferentes dosis de fósforo (50Kg y 500Kg de P ha⁻¹), en los contrastes C6, C8, C10 y C12 (Anexos D y G) se demostró que la absorción de fósforo foliar fue mayor cuando se fertilizó con 500Kg, reportando diferencias estadísticas significativas con promedios de 0.24%, 0.23%, 0.25% y 0.25%. El mayor rendimiento en la toma de nutrientes, depende de la cantidad de fósforo aprovechable en el suelo y de la fertilización que se realizó, autores como Benavides¹⁷¹, Azcon y Barea¹⁷² mencionan que la captación de fosfato por los HMA, depende del ritmo de llegada del mismo hasta la superficie de absorción, lo cual depende, a su vez, de la movilidad del ión y de su concentración en la solución del suelo.

La absorción de fósforo en suelos con y sin esterilización, C13 (inoculando HMA) y C14 (sin inoculación) (Anexos D y G), permitió determinar diferencias significativas, demostrando que los suelos naturales sin esterilización propiciaron mejores condiciones para que las plantas puedan absorber mayor cantidad de fósforo, (0.23% y 0.20%) con respecto al suelo esterilizado (0.20% y 0.18%), lo que muestra que la presencia de microorganismos benéficos en los suelos naturales influyó positivamente en la toma de nutrientes.

- **Peso de la materia seca en la parte aérea.** El análisis de varianza, mostró diferencias estadísticas significativas entre los grupos de tratamientos (Anexo. D).

Al realizar el análisis de los contrastes no ortogonales establecidos para comparar los diferentes grupos de tratamientos para esta variable, reveló que no existen diferencias estadísticas significativas, con excepción de los contrastes planteados para comparar el tipo sustrato utilizado (C13 y C14) (Anexos D y G).

Al analizar el comportamiento de los tratamientos en suelo esterilizado y suelo sin esterilizar en el C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación) se presentaron diferencias estadísticas; los tratamientos en suelo sin esterilizar, lograron incrementos significativos de materia seca con promedios de 19.70g y 13.97 en relación a los tratamientos en suelo esterilizado con 14.48g y 13.38g. La significancia encontrada, muestra más como las micorrizas introducidas en suelos naturales favorecen a que la planta sea colonizada y que además éstas aumenten posiblemente la actividad de otros microorganismos tales como rizobios, *Azospirillum*, *Azotobacter* y bacterias solubilizadoras del fósforo como *Pseudomonas spp*, *Bacillus circulans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*;

¹⁷¹ BENAVIDES, Op.cit., p. 1-171.

¹⁷² AZCON, Concepción y BAREA, José. Op.cit., .p. 943 -958.

los cuales favorecen la absorción de nutrimentos por las plantas y como consecuencia de esto se obtenga plantas con mejor crecimiento y desarrollo.

Las respuestas encontradas en esta variable se encuentran relacionadas con lo expresado con autores como Linderman, Lovato et al. y Guzmán citados por Rosero y Solarte¹⁷³, quienes mencionan que en ocasiones la baja efectividad de las micorrizas puede estar influida, en que la actividad de los hongos MA, se ocupa en la reducción de estrés en la planta, aumento en la resistencia a plagas y enfermedades, mejoramiento de las relaciones hídricas del cultivo, aumento en la absorción de nutrientes, incrementos en la tasa fotosintética e inducción de mayor vigor.

En general, para lograr incrementos en la materia seca, es importante la fertilización con N, P, y K, tal como lo anotan Kvut et al¹⁷⁴, la distribución de la materia seca es el producto de procesos complejos de desarrollo, los cuales dependen entre otras cosas, de la superficie de asimilación y distribución de las hormonas activas del crecimiento, así como de los factores ambientales, tales como la radiación, la temperatura y disponibilidad de nutrientes.

Por lo cual Bowen¹⁷⁵ manifiesta que parece ser que el hongo se comporta como un parásito, cuando se trata de suelos muy fértiles o cuando los hongos son muy infectivos y pocos efectivos (escaso micelio externo y extensivo micelio interno, por ejemplo).

- **Peso de la materia seca de la raíz.** Al realizar el análisis de varianza para materia seca de la raíz se encontró diferencias estadísticas significativas (Anexo D).

Al analizar los contrastes no ortogonales se pudo determinar que estadísticamente el peso seco de la parte radical no presentó diferencias estadísticas con la inoculación o no de HMA (C1 y C4), la inoculación de las diferentes cepas (*Glomus* sp, *Acaulospora* y *G. fasciculatum*) (C2 y C3) (Figura 18) y con la fertilización o no de fósforo (C5, C7, C9 y C11); sin embargo se obtuvo diferencias con las diferentes dosis, y tipo de sustrato utilizado (Anexos D y G).

Las comparaciones establecidas en los contrastes C6, C8 y C10 (Anexos D y G) presentaron diferencias significativas, permitiendo mostrar que las dosis mayores de fósforo (500 Kg de P ha⁻¹) incidieron directamente en la mayor producción de la materia seca de la parte de la raíz (26.23g, 29.80g y 26.92g) con relación a las dosis menores (50 kg de P ha⁻¹). Por el contrario en el contraste C12 se evidenció

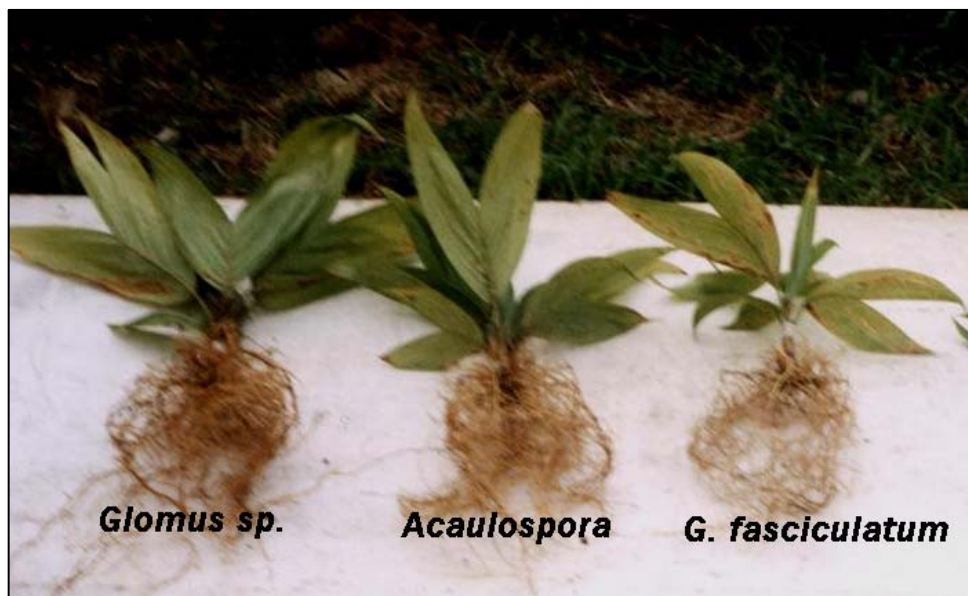
¹⁷³ ROSERO, Shirley y SOLARTE, Andrea. Op.cit., p.104.

¹⁷⁴ KVUT, NECAS y JARVIS, Op.cit., p. 21-22.

¹⁷⁵ BOWEN, G.D. Op.cit., p. 166 -189.

que el grupo de tratamientos inoculados con *G. fasciculatum* no presentaron diferencias significativas en el peso seco de la raíz, ante el incremento de fósforo en el sustrato.

Figura 18. Desarrollo radical de las plántulas de Chontaduro, obtenido con la inoculación de diferentes cepas de micorrizas en el vivero de Corpoica, C.I. El Mira, Tumaco, Nariño.



De los resultados encontrados se puede decir que la fertilización con altas dosis incidió positivamente en la producción de materia seca de la parte radical. De manera similar Ceron y Larrañaga¹⁷⁶, encontraron que con las mayores dosis de P_2O_5 las plantas produjeron mayor desarrollo radical. Esta situación se ve favorecida al adicionar al suelo hongos micorrizógenos efectivos y adaptados al ambiente del sustrato utilizado en el presente trabajo.

Para la comparación de los tratamientos con y sin esterilización del suelo, en los contrastes C13 (Inoculando HMA) y C14 (sin inoculación), los resultados permitieron verificar diferencias significativas, con lo cual se pudo determinar que las plantas en suelos naturales sin esterilización presentaron mayores promedios 27.45g y 18.41g en la materia seca de la parte radical.

Los resultados encontrados para las variables de peso seco de la parte aérea y de la raíz, como se había mencionado anteriormente en los ensayos de cacao y

¹⁷⁶ CERON, Maria y LLARAÑAGA Ana. Op.cit., p. 110.

borjón, se deben a diversos factores, tanto de tipo genético, baja efectividad de especies utilizadas, condiciones edafoclimáticas y condiciones adversas del ambiente. Del mismo modo, Sieverding¹⁷⁷ inoculando diferentes tipos de micorrizas en yuca, no encontró diferencias estadísticas en el incremento de biomasa vegetal, aduciendo el fenómeno a la presencia de MVA nativa. Otros autores como Hamel¹⁷⁸, afirman que en ocasiones la baja efectividad de las micorrizas puede estar influida, en que la actividad de los hongos MA se ocupa en la reducción del estrés en la planta, aumento en la resistencia a plagas y enfermedades, mejoramiento de las relaciones hídricas del cultivo, aumento en la absorción de nutrientes, incremento en la tasa fotosintética e inducción de mayor vigor.

En general la micorrización en este trabajo, se ha detectado una escasa influencia sobre la estimulación del crecimiento de las plantas durante su fase de producción en vivero, pues ésta es muy variable y depende de la combinación hongo – planta así como del sistema de producción empleado y condiciones ambientales del medio. Al respecto Tejeda y Guerrero¹⁷⁹ afirman que el efecto beneficioso del hongo debe manifestarse en plantación, incrementando la supervivencia y el desarrollo de las plantas una vez sean llevadas a su lugar definitivo de crecimiento. Los efectos en el vivero pueden representar un ahorro de tiempo en el proceso de producción de plantas, pero el objetivo real es incrementar la calidad fisiológica, adecuándolas a condiciones ambientales y reduciendo el estrés debido al trasplante, por lo cual Tejeda¹⁸⁰ manifiesta que: “El efecto del hongo sobre la planta durante la fase de vivero y en la plantación pueden diferir considerablemente, en algunos casos hay hongos que incluso deprimen el crecimiento de la planta en vivero y dan mejores resultados en campo”.

Por otra parte, el mecanismo generalmente propuesto para explicar los efectos de la simbiosis se basa principalmente en la absorción de P, Zn y Cu, los cuales presentan baja movilidad en el suelo. López de Siqueira, Zambolim y Cardoso¹⁸¹ afirman que ocurre mayor absorción de estos elementos, resultante de un aumento del área del suelo explorada por las hifas de las plantas micorrizadas.

Además, las micorrizas pueden contribuir a la salud y la productividad de las plantas independiente del rol del mejoramiento de la capacidad de asimilación de nutrientes. Por ejemplo, las micorrizas han sido involucradas con la inhibición de

¹⁷⁷ SIEVERDING, Edwal. Op.cit., p. 2.

¹⁷⁸ HAMEL, C. Ecología de los hongos micorrícicos en campos cultivados. En: IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: 2001. p. 198- 205

¹⁷⁹ TEJEDA, Tamara; F. Soto G. GUERRERO. Utilización de algunas variantes de infección micorrizica como alternativa nutricionales en obtención de posturas de cafeto mediante vías orgánicas. En: Cultivos Tropicales. La Habana. Vol. 19, No, 1 (1998); p. 28-32.

¹⁸⁰ Ibid., p.28-32.

¹⁸¹ LOPEZ DE SIQUEIRA, D.; ZAMBOLIN, Laercio. Op.cit., p. 1-19.

enfermedades de las plantas Hooker et al¹⁸²; Gianinazzi-Pearson y Azcon Aguilar¹⁸³; incluyendo estructuras infectivas de nematodos Habte, Zhang y Schmid¹⁸⁴ estimulan la producción de hormonas y ayuda a la estructura del suelo, Wright, Upadhyaya¹⁸⁵. se aumentan los niveles de clorofila en las hojas y por ende la biomasa Tsang, y Maun¹⁸⁶ y mejora la tolerancia de las plantas a estrés, salinidad, acidez del suelo y toxicidad por metales pesados; algunos de estas reacciones pueden ser efectos indirectos del mejoramiento de la nutrición con fósforo Okeefe y Sylvia¹⁸⁷. Razón por la cual los hongos micorrizógenos en la mayoría de los casos resultan ser beneficiosos.

¹⁸² HOOKER, José. JAIME-VEGAS, and ATKINSON. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. En: Silvio. Gianinazzi and H. Schuepp (eds), Impacts of arbuscular mycorrhizal on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland : s.n., 1994. p. 191-199.

¹⁸³ GIANINAZZI-PEARSON, V. y C. AZCON-AGUILAR. 1991. Fisiología de las micorrizas vesículo-arbusculares. En : Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes España : CSIC, 1991 p. 175-202

¹⁸⁴ HABTE, M., ZHANG y SCHMIDT, P. Effectiveness of Glomus species in protecting white clover against nematode damage. Journal of Botany. Canadian: 1999. p. 135-139

¹⁸⁵ WRIGHT, Lankers. and UPADHYAYA, Arditti. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison of hyphal protein of Arbuscular mycorrhizal fungi. s.l: Soil Science, 1996. p. 586.

¹⁸⁶ TSANG, Arnaud, and MAUN Uber. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of Strophostyles helvola in coastal foredunes. s.l. Plant Ecology 1999, v. 144, p. 159-166

¹⁸⁷ OKEEFE, D.M., AND SYLVIA, D. Mechanisms of vesicular-arbuscular mycorrhizal plant growth response. En: D.K. ARORA; B. RAI, KG. MUKERJI, G.R. Knudsen (eds), Handbook of applied mycology; vol. 1. Soil and plants. Marcel-Dekker, Inc., New York: 1991. p. 35-53.

5. CONCLUSIONES

- El porcentaje de infección fue mayor al inocular hongos MA, en cuanto a especies inoculadas, *Acaulospora* permitió obtener mejores porcentajes de colonización en comparación a *Glomus sp* y *G. fasciculatum*; se encontró que las micorrizas con la aplicación de dosis de 50Kg de P ha⁻¹ respondieron favorablemente y por lo contrario con las dosis mayores los porcentajes tienden a disminuir su infectividad, además los resultados muestran que en suelos sin esterilizar se incrementan los porcentajes de colonización por los HMA.
- La inoculación de HMA logró incrementar las respuestas obtenidas en altura, *Acaulospora* en comparación a *Glomus sp* y *G. fasciculatum* permitió obtener mejores resultados en el crecimiento, de igual manera se lograron incrementos en el crecimiento con la adición de dosis altas de P (500Kg de P ha⁻¹) para las especies de cacao y borjón; se encontró además que las plantas respondieron positivamente en suelos naturales sin esterilización.
- El contenido de fósforo en el tejido vegetal en parte aérea fue de mayor cuando se inoculó micorrizas arbusculares, las especies de HMA inoculados (*Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum*) no mostraron diferencias en su efectividad de absorción de P; la aplicación de fósforo, en cacao y chontaduro tuvo un efecto positivo en la absorción de este por la planta, especialmente cuando se adicionó cantidades de 500 Kg. de P ha⁻¹, en cambio en borjón se obtuvo mayores resultados con la aplicación de 50 Kg de P ha⁻¹; los tratamientos en suelo sin esterilizar reportaron los mejores resultados.
- El peso de la materia seca de la parte aérea de cacao, borjón y chontaduro no guardó una relación directa con las otras variables estudiadas: porcentaje de infección, altura de plantas y absorción de fósforo foliar. Además las diferencias encontradas en las comparaciones de los grupos de tratamientos: con y sin inoculación de HMA, diferentes especies utilizadas (*Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum*), fertilización con diferentes dosis de fósforo fueron no significativas; los resultados obtenidos en sustratos sin esterilizar muestran incrementos del peso seco en relación a los esterilizados.
- La materia seca de raíces de cacao y borjón mostró que la inoculación con los hongos MA produjo incrementos en el peso seco, para chontaduro la inoculación no mostró incrementos del peso seco; en cuanto a especies inoculadas

(*Acaulospora*, *Glomus sp* y *G. fasciculatum*) mostraron similar efectividad, la fertilización con fósforo solo permitió obtener incrementos superiores del peso seco de la parte radical en la especie de chontaduro; además, la utilización de suelos sin esterilizar permitió obtener respuestas favorables en comparación a los suelos esterilizados.

- La especie de *Acaulospora* mostró tener mayor efectividad e infectividad en los suelos de cacao, borjón y chontaduro, pues permitió incrementar el porcentaje de infección especialmente cuando se trabajó con dosis menores de P, de igual manera el crecimiento de las plantas, absorción de fósforo, peso de la materia seca de la parte aérea y raíz para la mayoría de las ocasiones fueron superiores, pues las plantas inoculadas permitieron un uso más racional del fosfato liberado en el suelo y al parecer la especie de *acaulospora* presentó mayor adaptación a las condiciones físico químicas y ambientales de la zona.

6. RECOMENDACIONES

- Seguir evaluando las micorrizas nativas e introducidas en los sistemas de producción en la zona de la Costa Pacífica de Nariño, para conocer los efectos de las micorrizas en el mejoramiento de la producción agrícola.
- Evaluar en una siguiente etapa de investigación, la supervivencia al trasplante al campo abierto de las plantas micorrizadas con diferentes cepas.
- Evaluar la infectividad y efectividad de las HMA dentro de un sistema agroforestal y observar que beneficios y limitaciones genera su establecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ABBOT, Lynette and ROBSON, A. The role of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. En: Victoria. Vol. 33 (1982); p. 389-408.

AZCON, Concepción y BAREA, José. Avances recientes en el estudio de las micorrizas vesículo arbusculares II: factores que afectan su formación y función y aplicaciones practicas en la agricultura. En Revista : Anales de Edafología y Agrobiología. España. Vol. 43 No. 56 (1984); p. 943 -958.

_____. Micorriza. En: Biología vegetal. Libro de investigación y Ciencia. España : Prensa científica, 1988. p. 83-89.

_____. “Applying micorrhiza biotechnonogy to horticultura significance and potentials“. s.l. : Scientia Horticulturae, 1997. 68 p.

BARACALDO, Raúl. El chontaduro un cultivo promisorio de América intertropical. Bogotá: INCORA. 1982. 45 p.

BAREA, José. Micorrizas Vesículo Arbusculares. En: Microbiología. Vol. II. España : Universidad Sevilla, 1992. p. 271-278.

BAREA, José; AZCON, Concepción; OCAMPO, José y AZCON, Roldan. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas V.A. en fijación y movilización biológica de nutrientes. Madrid, España: Concejo superior de Investigaciones Científicas, Vol. 3 (1991); p.149 – 173.

BASTIDAS, V.; SANCHEZ DE PRAGER, M. y MUÑOS, J. Evaluación preliminar de la micorriza vesículo arbuscular en dos sistemas: pastizal y cebolla de bulbo *Allium cepa*. En: revista Acta Agronómica. Vol43, No. (1/4). (1993); p.84-94.

BASTIDAS, Silvio. Botánica y morfología del chontaduro. Curso Cultivo de la Palma para Palmito. Memorias. Tumaco : ICA, CI el Mira, 1997.45 p.

BENAVIDES, Ángel. Las micorrizas y su papel en la naturaleza. En: Revista Ciencia y Tecnología. Colombia. Vol. 2 No. 7 (1986); p. 1-171.

BORIE, Fernando. y BAREA, José. M. Ciclo del fósforo II papel de los microorganismos y repercusión en la nutrición vegetal. En: revista Anales de Edafología y Agrobiología. España. Vol. 41(1991); p. 235 -238.

BOLAN, N. and. ABBOTT Lynette K. Seasonal variation in infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in relation to plant response to applied phosphorus. *Aust. J. of Soil Res.* 21 (1984); p. 208-210.

BOLAN, N. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. En: *Plant and Soil*. Vol. 134 (1991); p. 189-207.

BOTINA, Mauricio. ERAZO Y, y MUÑOS, D. Algunos aspectos preliminares del borjón. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1983. 21 p.

BOWEN, G. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: *Tropical mycorrhiza research*. P. Micola eds. Oxford University Press, 1980. p. 166 -189.

BOWEN, N. A critical review of a role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. En: *Plant Soil*. Vol. 134 (1991); p. 189 -207.

BURBANO Fernando y URBANO Jaime. Efecto de la inoculación de HMA en plantas de café (*Coffea arabica* L. var Colombia) en la etapa de almácigo. San Juan de Pasto, 1992, 92 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

BURCKHARDT, E. y HOWELER, R. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de la yuca, estudiado en ensayos de invernadero. En: CONGRESO COLOMBIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SUELOS ECUATORIALES. (14º: 1984: Colombia). Ponencias del XIV Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: s.n., 1984. p. 158 -165.

CANO, R. y SANTANA L. Micorrizas en *Chysanthemum morifolium*. Trabajo de tesis, Fac. De Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1982.108 p.

CARDOSO, Elke y Marcio y LAMBAIS, R. Eficiencia de fungos micorrízicos vesículo – arbusculares em porta-enxertos de citros. En: *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. Vol. 10 (1986); p. 199 – 205.

CARDOSO, Elke. Efeito da micorriza vesículo – arbuscular e fosfato de rocha na com *Rhizobium japonicum* e fosfato e rocha, em funcao do tipo de sol. En: *Revista Brasileira de Ciencia*. Campinas. Vol. 10 (1986); p. 25 – 30.

CARDOSO, Elke y Marcio y LAMBAIS, R. Aplicaciones prácticas de micorrizas vesículo arbusculares (MVA). In: *Microbiología do Solo*. Campinas, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 1992. p.

CARNEIRO Marco, SIQUIERA José y CURI N. Fungos micorrizicos e superfosfato no crecimiento de especies herbaceas en solo degradado. En: XIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DO SOLO EN BRASIL. (XIII: 1996 : Brasil). Memorias del XIII Congreso Latinoamericano de Ciencias do Solo en Brasil. Brasil: s.n, 1996. 230 p.

CERON, Maria y LARAÑAGA, Ana. Respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a la inoculación de hongos micorrizicos arbusculares con diferentes dosis de fertilizante fosfórico en los suelos de Obonuco y Torobajo. San Juan de Pasto, 1984, 110 p. Tesis de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

CORDOBA, Julio. El cultivo del Borojón, el Cacaotero Colombiano. Medellín, Vol. 11, No. 36 (1988); p 3-12.

CORPOICA. Las Micorrizas como Alternativa para el Manejo Sostenible de los Agroecosistemas Tropicales. En: Boletín técnico No.12. Villavicencio: CORPOICA, 1998. p. 9-12.

CORREDOR, Gloria. Micorrizas arbusculares, aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. [en línea]. [Colombia] 2003 [citado Nov., 2005]. Disponible en Internet : URL:<http://www.turipana.com.co/2003>.

CUENCA, G., De ANDRADE And . ESCALANTE, G. Arbuscular mycorrhizae En: the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. Biol. Fertil. Soils 26:(1998). 81p.

DAVILA, C. y NAVIA, Fernando. Estudio de la biología floral del Chontaduro. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencia Agropecuarias, 1981. 81 p.

DIEDERICHS, Cropper y MOAWAD, A. The Potential of VA Mycorrhizae for plant nutrition in the tropics. s.l: Angew Bot, 1993. p. 91 – 96.

DOMINGUEZ, Roldan y VEGA, K. Ensayo de validación de “Mycoral” micorrizas vesículo arbuscular en yuca con agricultores de Honduras. [en línea] [Colombia]. 2000 [citado Nov., 2005]. Disponible en Internet: URL:<http://www.cidicco.nn/ensayo-de-validación-de-mycotal.htm>.>

ERAZO, José y ORTIZ, José. Determinación de la presencia de hongos formadores de micorriza arbuscular (MA) en Laurel de Cera (*Myrica pubescens H&B ex WILLD*) en el municipio de San Pablo, departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 2000, 90 p. Trabajo de grado (Ingenieros Agroforestales). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

ESCOBAR B, y LOPEZ M, Efecto de la interacción de fuentes de fósforo y HMA en la infección y en componentes de rendimiento de tres materiales de trigo en Imués, Nariño. San Juan de Pasto, 1996, 65 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

FERRERA, Ronald y PEREZ, Joel. Micorrizas elemento útil en la agricultura sostenible. Montecillo, México: Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, 1995. p. 48-49.

FORERO, Luz; CHAVES, Germán; y UNIGARRO, Alberto. Evaluación cuantitativa de hongos formadores de micorriza vesículo–arbuscular en malezas de clima medio. San Juan de Pasto: VIPRI, Universidad de Nariño, 1999. 111 p.

GIRONZA, Maricela y MAMIAN, Rubiela. Influencia de la inoculación con hongos MVA sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt), lulo (*Solanum quitoense* Lam), curuba (*Passiflora mollissima* HBK) y granadilla (*Passiflora ligularis* L.) la etapa de vivero. San Juan de Pasto, 1988, 140 p. Tesis de grado (Ingenieras Agrónomas). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

GIANINAZZI-PEARSON, V. y AZCON-AGUILAR. 1991. Fisiología de las micorrizas vesículo-arbusculares. En: Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes España: CSIC, 1991 p. 175-202.

GONZALES, Ana. y CHAVES, jorge. Evaluación de la micorriza vesículo arbuscular (MVA) en papa (*Solanum tuberosum* L. spp.) en el departamento de Nariño. San Juan de Pasto, 1990, 125 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

GUERRERO, Eduardo. Micorriza fundamentos biológicos y estado de arte. Micorrizas. Recurso biológico del suelo. Bogotá, Colombia: Fondo FEN, 1996. p 1-46.

HABTE, M; ZHANG y and SCHMIDT, P. Effectiveness of *Glomus* species in protecting white clover against nematode damage. Journal of Botany. Canadian: 1999. p. 135-139.

HAMEL, C. Ecología de los hongos micorrícicos en campos cultivados. En: IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Suelos Ecuatoriales. Colombia: 2001. p. 198- 205.

HARLEY, J. and SMITH, S. Mycorrhizal Symbiosis. Influence of soils and fertility on the activity and survival of arbuscular mycorrhizal fungi. New York : Academic Press New York, 1982. p. 1119-1125.

HERNADEZ, Martha y CARDENAS M. Efecto de la micorriza vesículo – arbuscular en *Centrosema pubescens* IH-129. En: Pastos y Forrajes. Cuba. Vol. 17, No. 2 (1994); p. 149 -152.

HERNÁNDEZ, Maria. LOPES S. y VARGAS A. Complementación de la nutrición mineral del tomate mediante el uso de biofertilizantes. IV Taller de Biofertilizante en los Trópicos. XI SEMINARIO DEL INCA. Programas y Resúmenes del 11º Seminario del INCA. La Habana Cuba: INCA, 1998. 192 p.

HOOKE, José; JAIME-VEGAS, and D. ATKINSON. Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In: Silvio. Gianinazzi and H. Schuepp (eds), Impacts of arbuscular mycorrhizal on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland : s.n., 1994. p. 191-199.

HOWELER, R. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: algunos cultivos tropicales. Colombia, Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1983. 28 p.

HOWELER, R. y SIEVERDING, Edwal. La importancia de las micorrizas en la absorción de fósforo por la yuca. En: XII CONGRESO COLOMBIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO ECUATORIALES Vol. 2. En memorias del 12º Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo Ecuatoriales Vol. 2. Palmira: s.n., 1982. p. 182– 194.

JIMENEZ, Mauricio. Micorrizas Vesículo Arbusculares asociados con cítricos en el Valle de Azapata, I región. Chile: IDESIA, Instituto de Agronomía, Universidad de Tarapana, 1993. p. 63 – 69.

KVUT, Jhons, NECAS D. and JARVIS. Methods of growth analysis. Aguirre, M. J, ed, Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Chapingo, México, 1985, p. 21-22. Trabajo de grado (M. Sc.). Instituto de enseñanza en investigación de ciencias agrícolas.

LOPEZ DE SIQUEIRA, D. y ZAMBOLIN, Laercio y CARDOSO, Elke. Crecimiento vegetativo do abacaxizeiro, associado a fungos micorrizicos, con diferentes dosis de fósforo. En: Revista ceres. Vol. 43 s.n. s.l. (1996); p. 409 – 425.

LOPEZ DE SIQUEIRA, D., ZAMBOLIN, Laercio. Caracterización de las micorrizas vesículo – arbusculares (MVA) y sus efectos en el crecimiento de las plantas. En: Revista brasileira de la ciencia del suelo. Brasil. Vol. 7 (1983); p. 1-19.

MEDINA , María. Evaluación de diferentes especies de bacterias y hongos MA y sus combinaciones como biofertilizantes para el tomate cultivado fuera de época. En: VIII SEMINARIO CIENTÍFICO DEL INCA. Ponencias del 8º Seminario Científico del INCA. s.l. : inca, 1992. 38 p.

MILLER, M. T.P. Gonigle, Mc. Funcional ecology of vesicular arbuscular micorrizas as influenced by phosphate fertilization and tillage in a agricultural ecosystem. In: Ecological Applications. Vol 5, No. 3 (1995); p. 776 – 778.

MILLER, A. and SMITH, S. Mycorrhizal Symbiosis. 2 e.d. Cambridge: Academic Press, 1997. 605 p.

MONTESINOS, Camila. Manejo Biológico del fósforo en el suelo. [en línea]. [Colombia] CLADES, 2003. [citado Nov., 205]. Disponible en Internet : <URL: [http:// www.clades.cl/revistas/8/rev89.htm](http://www.clades.cl/revistas/8/rev89.htm)>

MORA-URPI, Jorge. Historia. En Segundo Curso Internacional cultivo de chontaduro para palmito. San José, Costa Rica: s.n, 1997. p 2 – 4.

MORA-URPI, Jorge y CLEMENT, Cesar. Aspectos taxonómicos relativos del chontaduro. En: Revista de Biología Tropical. Costa Rica. Vol. 29, No. 1 (1981); p.139 – 142.

MORTON, Jhosep. Evolutionary relationships among arbuscular micorrhizal fungi in the *Endogonaceae*. In: Mycologia. Vol. 82 (1990); p. 192 – 207.

MORTON, Jhosep. and BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Zigomycetes*): a new order, *Glomales*, two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. In: Mycotaxon. Vol. 37 (1991); p. 471 –491.

MORTON, Jhosep. and Redecker, D. Two new families of *Glomales*, *Archaeosporaceae* and *Paraglomaceae*, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. In: *Mycologia* Vol. 93 No. 1. [en línea] [Colombia] 2001 [citado 15 nov., 2005]. [disponible en Internet : <URL :<http://invam.caf.wvu.edu>>

MOSQUERA, Octavio. Influencia de la inoculación con micorrizas sobre la respuesta del frijol Carioca a la fertilización fosfórica En: SÁNCHEZ DE PRAGER, M y BRAVO, N. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1984. p. 209 -223.

MOSSE, Ann. Advances in the study of vesicular – arbuscular mycorrhiza. In: Ann Rev. Phytopath. Vol. 11 (1973); p. 171-196.

_____. Vesicular arbuscular Micorriza. Research for Tropical Agriculture. Research Bulletin Hawaii: Universidad de Hawaii, 1991 v. 194, p. 1-82.

_____. Vesicular arbuscular mycorrhiza. In Sieverding, E., Sánchez de Prager, M., Bravo, N., eds. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1984. p. 5-10.

_____. Vesicular – arbuscular Mycorrhiza research for tropical Agriculture and Human Resources. Research Bull: University of Hawaii, 1982. p. 82

NOVELLA, Rocio y MEDINA, N. La biofertilización con hongos micorrizógenos como fuente de nitrógeno para la producción de tomate (*Lycopersicon sculentum* *mil*). IV Taller de Biofertilizante en los Trópicos. En: SEMINARIO DEL INCA. (11: 1998 : Cuba). Programas y Resúmenes DEL XIº Seminario del INCA. La Habana, Cuba : INCA, 1998. 190 p.

OKEEFE, D. and SYLVIA, D. Mechanisms of vesicular-arbuscular mycorrhizal plant growth response. In: D.K. ARORA; B. RAI, KG. MUKERJI, G.R. Knudsen (eds), Handbook of applied mycology; Vol. 1. Soil and plants. Marcel-Dekker, Inc., New York : 1991. p. 35-53.

ORTEGA, Luís y VALENCIA, Newman. Análisis del crecimiento y distribución del sistema radical del chontaduro (*Bactris gasipaes*) en monocultivo para el fruto de Palmito en asocio con otros cultivos. San Juan de Pasto, 2004, 70 p. Trabajo de grado (Ing. Agroforestal). Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas.

OSPINA, Aliro. y MARTINEZ, Fredy. Las micorrizas milagro como fertilizantes en cultivos agrícolas y forestales en Colombia. En revista: Agronomía. Vol. 5 No. 2-3 (1993); p. 67-68

PATIÑO, Rafael. Algunas plantas útiles de la región Chocoana. Cali, Colombia: Imprenta departamental, 1987. 124 p.

REYES, Rafael. Cosecha y producción de chontaduro para palmito. CORPOICA, explotación de chontaduro para palmito. Curso cualitativo de la palma de chontaduro. Memorias. Tumaco: C.I El mira, 1997. 70 p.

_____. Las Micorrizas y el Chontaduro. CORPOICA, Curso Cultivo de la Palma de Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Palmito. Memorias. Tumaco. Tumaco: ICA, C.I. El Mira, 1997. 55 p.

RINCÓN, Silvio. Manual del cacaotero. Bogotá: Temas de orientación Agropecuaria, 1982. 120p.

ROSERO, Shirley y SOLARTE, Andrea. Determinación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) en los sistemas agroforestales tradicionales del municipio de Tumaco, Nariño. Pasto, 2004, 104 p. Trabajo de grado (Ingenieras Agroforestales). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

SAIF, Uruhamn. Interacción *Rhizobium* – HMA en leguminosas tropicales. SIEVERIDING, Ewald, SÁNCHEZ DE PRAGER, Marina y BRAVO N. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1984. 125 p.

SÁNCHEZ DE PRAGER, Marina. Endomicorrizas y Agroecosistemas. En: Congreso De Fitopatología Y Ciencias Afines (18º : 1997 : Palmira). Ponencias del XVIII Congreso de Fitopatología y Ciencias afines. Palmira: ASCOLFI. Pineda, L.B. CIAT., 1997. p. 81-92.

SATIZABAL, José. Interacción micorriza vesículo – arbuscular, *Rhizobium-leguminosa* en un oxisol de los llanos orientales de Colombia. Palmira, Colombia, 1985. 125 p. Tesis (Magíster en suelos y aguas). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

SIEVERDING, Edwal. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio. Cali, Colombia: CIAT, 1983. 56p.

_____. Aspectos de la taxonomía e identificación de hongos formadores de micorriza vesículo arbuscular. Sieverding, E., Sánchez de Prager, M Y Bravo, N. Ed. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia, Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1984. p 1-14.

_____. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo arbuscular. SÁNCHEZ DE PRAGER, M Y BRAVO, N. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira : Universidad Nacional de Colombia, 1984. p. 209 -223.

_____. Edwal y TORO, Silvia. Evaluación cuantitativa y cualitativa de hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares en la región de Mondomo, Colombia. En : Suelos Ecuatoriales. Colombia. Vol. 16, No. 1 (1986); .p. 109-128.

_____. Efecto de la Inoculación de hongos micorrícicos vesículo-arbusculares en plántulas de café *Coffea arabica* L. y té *Camelia siniensis* L. O. Kuntze. En: Investigaciones sobre micorrias en Colombia. Medellín. Vol. 2. (1988); p .173.

_____. Vesicular -arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Bremer, Germany : s.n.,1991. p. 5 – 10.

SMITH, S. E. JARSTFER, J.A.G. and BAGYARAJ, D.J. Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glasshouse-grown *Allium cepa* L. In : New Phytol. Vol. 103 (1986); p. 359-373.

TEJEDA, Tamara; y GUERRERO, G. Utilización de algunas variantes de infección micorrizica como alternativa nutricionales en obtención de posturas de cafeto mediante vías orgánicas. Cultivos Tropicales. La Habana. Vol. 19, No, 1 (1998); p. 28-32.

TSANG, Arnaud, and MAUN Uber. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastal foredunes. s.l. In: Plant Ecology 1999, v. 144, p. 159-166.

VAZQUEZ, B.E. y TORRES G. S. Fisiología vegetal. Pueblo y educación. La Habana. 1995. 451 p.

WALKER, Chistoper. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (*Glomales*) – a posible way forward. In: Agronomie, Vol. 120 (1992); p. 887 – 897.

WRIGHT, Lankers. and UPADHYAYA, Arditti. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparision of hyphal protein of Arbuscular mycorrhizal fungi. s.l : Soil Science, 1996 586 p.

ZAMBRANO, Harold. Mycoral - Micorrizas arbuscular, biofertilizante que favorece el desarrollo de las plantas, programa biotecnología aplicada carrera de ciencias y producción agropecuario. [en línea] [Honduras]. 2002. [citado nv., 2005]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fertiveria2.com/información-fertilización/artículos.micorrizas.html>>.

ANEXOS

Anexo A. Análisis de los suelos utilizados para los cultivos de Cacao, Chontaduro y Borojón, en muestras tomadas en el municipio de Tumaco, Nariño.

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTRA		
		CACAO	CHONTADURO	BOROJO
Potenciómetro-relación-Suelo: Agua(1:1)		5,5	5,4	4,3
Materia Orgánica (Walkey-Black) (Colorimetrico)		12,8	7,7	12,8
Densidad aparente	g/cc	0,7	0,9	0,9
Fósforo (P) Bray II	ppm	91,5	20,0	20,2
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	meq/100g	35,4	30,4	34,6
Calcio de Cambio	meq/100g	14,6	7,3	8,8
Magnesio de Cambio	meq/100g	2,0	2,2	1,1
Potasio de Cambio	meq/100g	0,77	0,52	1,9
Acidez de cambio	meq/100g	*	0,1	0,4
Hierro	ppm	248	74	336
Manganeso	ppm	10,8	8,0	4,72
Cobre	ppm	15,6	1,32	8,0
Zinc	ppm	4,26	1,82	2,52
F= Franco Ar=Arcilloso A= Arenoso	Gra.	A	A	A
Nitrógeno Total	%	0,49	0,33	0,49
Carbono Orgánico	%	7,44	4,45	7,44
Boro, Extracción con agua caliente		0,36	0,26	0,47

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño 2006

Anexo B. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Cacao, Tumaco-

		CUADRADO MEDIO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS				
F.V.	G.L.	Infeción (%)	Altura (cm)	Abs. Fósforo %	Peso seco. Aérea (g)	Peso seco. Raíz (g)
Tratamiento	23	0,8904 **	1,8406 **	0.0109 **	2,1875 **	1,9740 ns
C1	1	1.4000 *	6.4291 *	0.0064 **	0.3022 ns	2.1945 *
C2	1	0.1466 ns	0.9867 ns	0.0001 ns	0.1395 ns	0.7267 ns
C3	1	1.2775 *	0.9690 ns	0.0002 ns	0.1463 ns	0.5655 ns
C4	1	1.5720 *	3.3946 *	0.0072 **	0.0709 ns	2.5993 *
C5	1	0.0198 ns	0.1856 ns	0.0122 **	0.5402 ns	0.4356 ns
C6	1	0.0050 ns	1.0005 ns	0.0111 **	0.5334 ns	0.0161 ns
C7	1	0.0918 ns	0.0001 ns	0.0102 **	0.0225 ns	0.1485 ns
C8	1	0.2862 ns	0.6765 ns	0.0272 **	0.2220 ns	0.5439 ns
C9	1	2.1590 **	4.5325 *	0.0438 **	6.9084 **	0.9400 ns
C10	1	1.6480 *	4.9395 *	0.0126 **	0.3570 ns	0.1580 ns
C11	1	2.3364 **	1.9320 ns	0.0140 **	2.2663 ns	0.4033 ns
C12	1	1.4823 *	1.7226 ns	0.0090 **	1.2712 ns	1.8360 *
C13	1	0.7360 ns	2.6719 *	0.0156 **	9.1022 **	2.2791 *
C14	1	1.5520 *	2.5741 *	0.0088 **	3.8497 *	1.4162 *
ERROR	72	0,165	0,581	0,165	0,745	0,268
C.V.		8,84	10,75	4,41	17,55	12,96

** Diferencias estadísticas Altamente significativas

* Diferencias estadísticas significativas

NS No significativo

Anexo C. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Borojón, Tumaco-Nariño.

F.V.	G.L.	CUADRADO MEDIO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS				
		Infección (%)	Altura (cm)	Abs. Fósforo %	Peso seco. Aérea (g)	Peso seco. Raíz (g)
Tratamiento	23	5.6148 **	1,8800 **	0.0020 *	1.4176 *	0.5198 *
C1	1	29.670 **	2.9394 *	0.0026 *	0.7907 ns	1.2272 *
C2	1	35.085 **	0.1049 ns	0.0001 ns	0.3192 ns	0.0925 ns
C3	1	15.481 **	3.0438 *	0.0009 ns	0.0645 ns	0.0379 ns
C4	1	20.880 **	16.420 **	0.0019 *	0.5083 ns	2.3122 *
C5	1	1.5834 *	4.7233 *	0.0001 ns	3.3672 *	1.7204 ns
C6	1	0.9464 ns	0.0208 ns	0.0045 **	0.0768 ns	0.1102 ns
C7	1	0.0744 ns	4.2900 *	0.0005 ns	5.7963 *	0.4706 ns
C8	1	0.2730 ns	0.7307 ns	0.0038 **	0.0144 ns	0.0473 ns
C9	1	4.3260 **	1.9280 *	0.0001 ns	0.6097 ns	0.3185 ns
C10	1	0.0001 ns	0.9604 ns	0.0022 **	0.0001 ns	0.0085 ns
C11	1	0.0300 ns	1.0927 *	0.0001 ns	0.0001 ns	0.0184 ns
C12	1	4.8180 **	0.8510 ns	0.0066 **	0.3510 ns	0.2025 ns
C13	1	0.8646 ns	0.1012 ns	0.0066 **	0.8085 ns	0.5530 ns
C14	1	0.9640 ns	2.1122 *	0.0020 *	0.6080 ns	0.0477 ns
ERROR	72	0.282	0.519	0,165	0.511	0.22
C.V.		1.67	17.31	4,41	27.93	23.80

** Diferencias estadísticas Altamente significativas

* Diferencias estadísticas significativas

NS No significativo

Anexo D. Análisis de varianza para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Chontaduro, Tumaco- Nariño.

F.V.	G.L.	CUADRADO MEDIO DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS				
		Infección (%)	Altura (cm.)	Abs. Fósforo %	Peso seco. Aérea (g)	Peso seco. Raíz (g)
Tratamiento	23	6.6967 **	1.7396 **	0.0039 **	0.0094 *	3.3404 **
C1	1	12.292 **	0.7080 ns	0.0010 *	0.0522 ns	0.7040 ns
C2	1	12.308 **	0.9900 ns	0.0001 ns	0.5232 ns	0.9009 ns
C3	1	10.887 **	0.4800 ns	0.0012 *	0.0374 ns	0.0063 ns
C4	1	18.376 **	0.4760 ns	0.0011 *	0.3283 ns	0.0001 ns
C5	1	2.6759 *	1.3572 ns	0.0011 *	0.6655 ns	0.2541 ns
C6	1	3.8476 *	1.3467 ns	0.0225 **	0.7625 ns	7.6720 *
C7	1	0.2241 ns	0.3008 ns	0.0021 *	0.0022 ns	1.1718 ns
C8	1	4.2025 *	1.1820 ns	0.0154 **	0.2139 ns	9.3330 *
C9	1	12.495 **	7.1071 **	0.0051 **	0.3285 ns	0.5742 ns
C10	1	12.477 **	0.0105 ns	0.0252 **	0.9241 ns	7.9665 *
C11	1	3.0520 *	1.4317 ns	0.0040 **	0.2106 ns	0.9352 ns
C12	1	12.960 **	0.0189 ns	0.0015 *	0.4356 ns	1.1664 ns
C13	1	0.0008 ns	0.8866 ns	0.0133 **	6.2304 *	11.480 **
C14	1	14.477 **	1.0458 ns	0.0050 **	4.0016 *	8.9670 *
ERROR	69	0.486	0.425	0.001	0.468	1.100
C.V.		13.34	14.35	5.21	17.61	23.93

** Diferencias estadísticas Altamente significativas

* Diferencias estadísticas significativas

NS No significativo

Anexo E. Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Cacao, Tumaco-Nariño.

CONTRASTE	INFECCION (%)	ALTURA (cm.)	ABS. FÓSFORO %	P. S. AEREA (g)	P. S. RAIZ (g)
C1	16,94 Vs 32,92	40,50 Vs 54,49	0,14 Vs 0,17	18,51 Vs 27,55	12,55 Vs 17,68
C2	23,50 Vs 22,64	55,87 Vs 53,80	0,18 Vs 0,17	28,10 Vs 27,27	18,71 Vs 17,16
C3	23,94 Vs 21,84	54,60 Vs 53,00	0,18 Vs 0,16	28,18 Vs 26,37	18,04 Vs 16,28
C4	17,94 Vs 24,45	42,78 Vs 58,77	0,16 Vs 0,19	19,17 Vs 30,84	13,02 Vs 19,34
C5	19,88 Vs 24,45	45,94 Vs 58,77	0,13 Vs 0,19	20,98 Vs 30,84	14,35 Vs 19,34
C6	27,12 Vs 21,78	55,55 Vs 61,98	0,17 Vs 0,22	27,46 Vs 34,21	17,68 Vs 21,00
C7	19,11 Vs 25,70	40,98 Vs 63,32	0,13 Vs 0,20	20,18 Vs 32,07	13,79 Vs 21,18
C8	29,73 Vs 21,68	59,54 Vs 67,10	0,18 Vs 0,22	28,14 Vs 35,99	20,20 Vs 22,16
C9	19,97 Vs 25,17	49,16 Vs 57,31	0,13 Vs 0,20	20,93 Vs 31,80	14,57 Vs 19,77
C10	27,11 Vs 23,24	53,95 Vs 60,68	0,18 Vs 0,23	30,91 Vs 32,68	17,84 Vs 21,71
C11	20,56 Vs 22,47	47,68 Vs 55,67	0,11 Vs 0,18	21,81 Vs 28,65	14,70 Vs 17,07
C12	24,53 Vs 20,42	53,16 Vs 58,18	0,15 Vs 0,20	23,33 Vs 33,97	15,02 Vs 19,13
C13	22,41 Vs 23,44	54,36 Vs 54,63	0,17 Vs 0,19	26,37 Vs 28,73	16,95 Vs 18,41
C14	7,03 Vs 18,85	39,56 Vs 41,44	0,12 Vs 0,15	17,13 Vs 19,90	11,09 Vs 14,01

Anexo F. Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz, obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Borojón, Tumaco-Nariño.

CONTRASTE	INFECCION (%)	ALTURA (cm.)	ABS. FÓSFORO %	P. S. AEREA (g)	P. S. RAIZ (g)
C1	10,07 Vs 29,41	14,49 Vs 19,39	0,16 Vs 0,19	5,47 Vs 7,73	3,43 Vs 4,45
C2	28,54 Vs 29,85	20,26 Vs 18,96	0,19 Vs 0,19	8,45 Vs 7,38	5,00 Vs 4,17
C3	34,92 Vs 24,78	23,16 Vs 14,76	0,20 Vs 0,18	8,37 Vs 6,38	4,55 Vs 3,79
C4	9,45 Vs 28,85	14,40 Vs 19,62	0,17 Vs 0,19	4,97 Vs 5,83	3,22 Vs 4,56
C5	30,54 Vs 28,85	18,94 Vs 19,62	0,18 Vs 0,19	7,55 Vs 7,83	4,22 Vs 4,56
C6	32,12 Vs 25,58	23,04 Vs 16,20	0,21 Vs 0,18	9,82 Vs 5,83	5,69 Vs 3,43
C7	28,08 Vs 28,77	18,84 Vs 20,97	0,18 Vs 0,19	8,05 Vs 8,66	4,80 Vs 5,09
C8	30,60 Vs 26,94	24,36 Vs 19,58	0,21 Vs 0,18	11,57 Vs 5,75	6,45 Vs 3,74
C9	30,79 Vs 34,99	21,70 Vs 22,39	0,19 Vs 0,21	9,37 Vs 7,87	4,41 Vs 4,63
C10	38,76 Vs 31,21	25,89 Vs 18,89	0,22 Vs 0,20	10,42 Vs 5,32	6,32 Vs 2,93
C11	28,74 Vs 22,79	13,28 Vs 15,51	0,18 Vs 0,18	5,25 Vs 6,95	3,46 Vs 3,96
C12	26,99 Vs 18,60	18,88 Vs 12,14	0,20 Vs 0,17	7,48 Vs 6,42	4,31 Vs 3,61
C13	28,13 Vs 30,69	19,30 Vs 19,48	0,18 Vs 0,21	7,91 Vs 7,56	4,65 Vs 4,25
C14	5,68 Vs 14,45	13,97 Vs 15,01	0,15 vs 0,18	4,66 Vs 6,28	2,74 Vs 4,12

Anexo G. Promedios generales para las variables porcentaje de infección por HMA, altura de las plantas, porcentaje de absorción de fósforo en la parte aérea, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz; obtenidos al evaluar la aplicación de dosis de fósforo y la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares en Chontaduro, Tumaco- Nariño.

CONTRASTE	INFECCION (%)	ALTURA (cm.)	ABS. FÓSFORP %	P. S. AEREA (g)	P. S. RAIZ (g)
C1	15,74 Vs 33,79	21,08 Vs 21,51	0,19 Vs 0,22	13,68 Vs 17,09	17,03 Vs 23,00
C2	26,61 Vs 37,38	21,39 Vs 21,57	0,21 Vs 0,22	16,54 Vs 17,36	22,85 Vs 23,07
C3	40,93 Vs 33,82	23,15 Vs 19,99	0,23 Vs 0,21	17,27 Vs 17,45	26,08 Vs 20,06
C4	15,06 Vs 34,12	23,13 Vs 24,44	0,21 Vs 0,24	15,55 Vs 18,21	19,94 Vs 25,82
C5	33,12 Vs 34,12	15,65 Vs 24,44	0,18 Vs 0,24	14,84 Vs 18,21	17,35 Vs 25,82
C6	35,34 Vs 32,90	21,31 Vs 27,57	0,23 Vs 0,24	16,05 Vs 20,37	25,42 Vs 26,23
C7	25,25 Vs 27,29	16,14 Vs 24,01	0,17 Vs 0,22	12,00 Vs 18,80	16,05 Vs 26,25
C8	29,79 Vs 24,78	22,74 Vs 25,29	0,22 Vs 0,23	14,65 Vs 22,95	22,71 Vs 29,80
C9	47,29 Vs 37,75	16,21 Vs 26,63	0,18 Vs 0,24	16,18 Vs 17,82	22,06 Vs 28,09
C10	38,74 Vs 38,36	23,70 Vs 29,55	0,24 Vs 0,25	16,91 Vs 18,74	28,27 Vs 26,92
C11	26,83 Vs 37,32	14,61 Vs 22,68	0,18 Vs 0,24	16,35 Vs 18,01	13,93 Vs 23,12
C12	39,08 Vs 35,56	17,49 Vs 27,88	0,24 Vs 0,25	16,60 Vs 19,42	25,28 Vs 25,97
C13	34,55 Vs 34,02	21,93 Vs 21,10	0,20 Vs 0,23	14,48 Vs 19,70	18,54 Vs 27,45
C14	6,79 Vs 23,69	16,98 Vs 25,18	0,18 Vs 0,20	13,38 Vs 13,97	15,65 Vs 18,41

