

**Incremento en la eficiencia de la fertilización de
portainjertos de aguacate mediante la
inoculación con micorriza vesículo-arbuscular**

Presentado por:

Edwin Fabricio Vinueza Regalado

Honduras
Diciembre, 2002

ZAMORANO

CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Incremento en la eficiencia de la fertilización de portainjertos de aguacate mediante la inoculación con micorriza vesículo-arbuscular

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Edwin Fabricio Vinueza Regalado

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas y jurídicas se reservan los derechos de autor.

Edwin Fabricio Vinueza Regalado

Honduras
Diciembre, 2002

**Incremento en la eficiencia de la fertilización de portainjertos de aguacate
mediante la inoculación con micorriza vesículo-arbuscular**

Presentado por

Edwin Fabricio Vinueza Regalado

Aprobada:

Juan Carlos Rosas, Ph. D.
Asesor Principal

Juan Carlos Rosas, Ph. D.
Coordinador de Área
Temática

Odilo Duarte, Ph. D.
Asesor

Jorge Iván Restrepo, M.B.A.
Cordinador, Carrera de
Ciencia y Producción
Agropecuaria

Cinthyia Martínez, Ing. Agr.
Asesor

Antonio Flores, Ph. D.
Decano Académico

Byron Reyes, Ing. Agr.
Asesor

Mario Contreras, Ph. D.
Director General

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen, por darme el valor y dedicación necesarios para cumplir mis metas.

A mis padres Edwin y Angela, por el apoyo y la confianza que me han brindado y por haberme inculcado desde niño que con trabajo y buena voluntad ninguna barrera es insorteable.

A mi hermano Luis, porque supo transmitirme alegría y ánimos para no desfallecer en los momentos más difíciles.

A mis abuelas Enma y María, por su constante preocupación y sabios consejos.

AGRADECIMIENTO

A Dios Padre y la Virgen María, por ser la luz que guía mi camino.

A mis padres y hermano, por su cariño y los sacrificios que han hecho para que yo pueda cumplir mi sueño de llegar a ser un profesional.

A mis abuelas, tíos y primos, porque a través de sus palabras supieron brindarme aliento y motivación.

Al Dr. Juan Carlos Rosas, por su invaluable contribución en la realización de este proyecto.

Al Dr. Odilo Duarte, por su valiosa colaboración en la realización de este estudio.

Al Ing. Cinthya Martínez, por su importante cooperación en la realización de esta investigación.

A los ingenieros Byron Reyes y Luwbia Aranda, por el apoyo y consejos brindados a lo largo de la ejecución del proyecto.

A Danilo, Jorge y David, por su compañerismo y apoyo a lo largo de este año.

A todo el personal del Laboratorio de Biotecnología, por su cooperación en la realización del estudio, en especial a Luz y Tomasa.

A todos mis amigos en Zamorano, que me brindaron alegría y cariño de hermano haciendo agradable mi estancia en la escuela.

RESUMEN

Vinueza, Edwin. 2002. Incremento en la eficiencia de la fertilización de portainjertos de aguacate mediante la inoculación con micorriza vesículo-arbuscular. Proyecto Especial de Programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria. El Zamorano, Honduras. 50 p.

Las prácticas agrícolas con alta dependencia de insumos externos causan problemas ambientales como la erosión del suelo y contaminación del agua con fertilizantes, pesticidas y desechos animales. En la actualidad se utilizan alternativas más sustentables y productivas, como el empleo de las micorrizas. El término micorriza se refiere a la simbiosis que se establece entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo. El objetivo del experimento fue determinar la contribución de la micorriza vesículo-arbuscular en la eficiencia de la fertilización en portainjertos de aguacate. El experimento se realizó en El Zamorano, Honduras entre marzo y julio de 2002. Se aplicaron seis tratamientos, plantas con y sin micorriza y tres niveles de fertilización (sin fertilizantes, 50% de la cantidad completa de fertilizantes y 100% de la cantidad de fertilizantes). Las fertilizaciones se realizaron cada 15 días y se tomó como el 100% de la cantidad de fertilizantes a 0.91 g de urea/planta y 0.91 g de nitrato de potasio/planta. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones con seis plantas cada una. Se utilizó el diseño de parcelas divididas con bloques completos al azar; los lotes con micorriza y sin micorriza formaron las parcelas principales y los niveles de fertilización las subparcelas. Se evaluó la altura de la planta, diámetro del tallo, volumen de la raíz, peso seco de la biomasa aérea, peso seco de la raíz, número de esporas en 100 g de medio e infección en la raíz. La toma de datos se realizó 124 días después de la siembra. La mejor respuesta se obtuvo al aplicar el 50% de la fertilización y utilizar micorrizas, obteniéndose mayor desarrollo de la biomasa aérea y radical, aunque el número de esporas e infección en la raíz no fueron las más altas. La fertilización tuvo un efecto significativo sobre todas las variables, la infección en la raíz disminuyó al aumentar la cantidad de fertilizante. Las plantas inoculadas y sin fertilizante tuvieron mayor desarrollo radicular. La dosis de 100% del fertilizante redujo el crecimiento de las plantas y el desarrollo de la simbiosis. Las plantas inoculadas presentaron mayor concentración de nutrimentos en el follaje. La micorriza mejoró la capacidad de los portainjertos para aprovechar los nutrimentos aportados por la fertilización, además el no aplicar fertilizante o aplicar 100% afectaron el desarrollo de las plantas y limitaron la eficiencia de la micorriza.

Palabras clave: Hongos, infección, inoculación, micorrizas, *Persea americana*, simbiosis

NOTA DE PRENSA

LA MICORRIZA:

Una alternativa para hacer más eficiente la fertilización en los cultivos.

Prácticas y tecnologías inadecuadas, empleadas en la producción de cultivos y que demandan gran cantidad de insumos externos, resultan en problemas para el ambiente, salud y economía agrícola. Hoy en día se hace necesaria la implementación de una agricultura más viable y productiva, que permita un mejor desempeño del cultivo y sea menos dependiente de fertilizantes y pesticidas.

Investigaciones han demostrado que el uso de micorrizas puede incrementar la producción en tierras marginales, reducir el uso de fertilizantes y pesticidas, estableciendo una agricultura sostenible. Se estima que el 95% de las especies de plantas tienen en su raíz una asociación con hongos del suelo, llamada micorriza, donde existe un beneficio mutuo. El hongo proporciona a la planta macro y micronutrientes y agua que extrae del suelo; en retribución la planta provee al hongo carbohidratos y ciertos sustratos energéticos.

Entre los meses de marzo y julio de 2002 se realizó un estudio en Zamorano, donde se aplicaron tres niveles de fertilización con el uso o no de micorrizas a plántulas de aguacate criollo destinadas para portainjertos. Las plantas con micorriza y sin fertilización se adaptaron mejor a la baja disponibilidad de nutrientes en el medio, presentando un incremento de 28% en el volumen radicular y el 23% en peso de la raíz. Al aplicar 0.41g de urea y 0.41g de nitrato de potasio cada 15 días, la presencia de micorriza incremento en 12% altura, 18% el volumen de raíz y 12% el peso seco de la biomasa aérea. Con 0.91g de urea y 0.91 de nitrato de potasio cada 15 días, las plantas con y sin micorriza tuvieron similar biomasa aérea y radicular, pero hubo una mayor concentración de macro y micronutrientes en el follaje de los portainjertos inoculados con las micorrizas.

La micorriza vesículo-arbuscular mejoró la capacidad de los portainjertos para absorber y aprovechar los nutrientes, tanto los que estaban presentes en el medio como los que se aportaron con la fertilización. La inoculación de portainjertos con estos hongos representa un pequeña parte de los costos de producir una planta de aguacate. El costo de inocular una planta en vivero se compensa, por la mejor nutrición y crecimiento de la plantas, además de la mayor adaptación a condiciones poco favorables. En el caso de establecer una plantación este costo, se diluirá a lo largo de la vida productiva del árbol.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimiento.....	v
	Resumen.....	vi
	Nota de presa.....	vii
	Contenido.....	viii
	Índice de figuras.....	x
	Índice de cuadro.....	xi
	Índice de anexos.....	xii
1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	ORIGEN Y TAXONOMÍA DEL AGUACATE.....	3
2.2	ASPECTOS GENERALES E IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL AGUACATE.....	3
2.3	EL PORTAINJERTO EN EL CULTIVO DEL AGUACATE.....	4
2.4	NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL AGUACATE.....	5
2.5	LA MICORRIZA.....	5
2.6	MICORRIZA VESÍCULO-ARBUSCULAR (VAM).....	6
2.7	MORFOLOGÍA DE LA VAM.....	6
2.7.1	Esporas.....	7
2.7.2	Hifas.....	7
2.7.3	Arbúsculos.....	7
2.7.4	Vesículas.....	7
2.8	DESARROLLO DE LA VAM.....	8
2.9	BENEFICIOS DE LA VAM.....	8
2.9.1	Mayor absorción de nutrimentos.....	8
2.9.2	Biocontrol de patógenos.....	9
2.9.3	Mayor absorción de agua y resistencia al estrés hídrico.....	9
2.9.4	Mejor estructura de suelo.....	9
2.10	PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y SU EFECTO SOBRE LA VAM.....	10
2.10.1	Fertilización.....	10

2.10.2	Control químico de plagas y enfermedades.....	10
2.10.3	Fitomejoramiento.....	11
3	MATERIALES Y METODOS.....	12
3.1	LOCALIZACIÓN.....	12
3.2	MATERIAL EXPERIMENTAL.....	12
3.3	TRATAMIENTOS Y METODOLOGÍA.....	12
3.3.1	Fase en el semillero.....	12
3.3.2	Fase en el vivero.....	13
3.3.4	Medio de crecimiento.....	14
3.3.5	Diseño experimental.....	14
3.3.6	Variables evaluadas.....	14
3.3.7	Análisis estadístico.....	16
3.3.8	Costos diferenciales.....	16
4	RESULTADOS Y DICUSIÓN.....	17
4.1	ANÁLISIS DE VARIABLES EN SEMILLERO.....	17
4.2	ANÁLISIS DE VARIABLES EN VIVERO.....	17
4.3	COSTOS DIFERENCIALES.....	22
5	CONCLUSIONES.....	23
6	RECOMENDACIONES.....	24
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
8	ANEXOS.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		
1	<p>Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz (IR) con el 50% de la cantidad de fertilizantes y sin micorriza (BM-) y 50% de la cantidad de fertilizantes y con micorriza.(BM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad.....</p>	19
2	<p>Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz sin fertilización y sin micorriza (AM-) y sin fertilización y con micorriza (AM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad.....</p>	20
3	<p>Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz con el 100% de la cantidad de fertilizantes y sin micorriza (CM-) y 100% de la cantidad de fertilizantes y con micorriza (CM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad.....</p>	21

ÍNDICE DE CUADROS

1	Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de raíz (PSR), número de esporas (NE) e infección radicular (IR) de portainjertos de aguacate inoculados y no inoculados con micorriza en vivero y diferentes niveles de fertilización.....	18
2	Costos diferenciales de los tratamientos aplicados en portainjertos de aguacate.....	22

ÍNDICE DE ANEXOS

1	Análisis de 100g de pulpa de aguacate Hass.....	28
2	Funciones de los nutrimentos y síntomas de deficiencia nutrimental en el aguacatero.....	29
3	Análisis del contenido de fósforo en el medio de cultivo utilizado por la Sección de Ornamentales.....	30
4	Análisis del contenido de fósforo en el medio de crecimiento preparado para el ensayo.....	31
5	Método para el aislamiento de esporas.....	32
6	Concentración de nutrimentos en el follaje de plantas de aguacate con presencia y sin presencia de síntomas foliares de deficiencia nutricional, 124 días después de la siembra.....	34
7	Incidencia y severidad de síntomas foliares de deficiencia de nutrimentos en portainjertos con y sin micorriza al no fertilizar, 110 días después de la siembra.....	35
8	Fotografía de hoja con síntoma de deficiencia de nutrimentos. Severidad del 100%.....	36
9	Guía para el análisis foliar de aguacates. Diagnóstico nutricional	37
10	Costos de producción por actividad para 1000 portainjertos de aguacate.....	38

1. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la población mundial va de la mano con la necesidad de incrementar la producción y productividad de alimento, fibra y combustible. Como respuesta a esta situación, en la década de los sesenta y setenta del siglo pasado surgió la Revolución Verde que trajo consigo el paquete tecnológico que incrementó la producción mediante: semilla mejorada, mayor mecanización, mejor irrigación y el intensivo empleo de fertilizantes y pesticidas.

La Revolución Verde tuvo un éxito momentáneo, a un costo muy elevado para el ambiente y la biodiversidad. La sobreexplotación de las tierras y el manejo inadecuado de productos químicos han producido un desequilibrio en los agro-ecosistemas, que entran en procesos de degradación, declinando la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos.

Según Kurlle y Pflieger (1994), las prácticas agrícolas que tienen una alta dependencia de insumos externo, causan problemas ambientales que incluyen erosión de suelo y contaminación del agua con fertilizantes, pesticidas y desechos animales; además, resultan en complicaciones para la economía agrícola.

Las tendencias actuales en la producción de cultivos se enmarcan hacia la búsqueda de una agricultura sostenible, que permita un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas, evitando el deterioro ambiental y la pérdida de los recursos naturales; siendo una alternativa el uso de micorriza.

El desarrollo vegetal puede ser promovido por ciertos grupos microbianos entre los que se destacan los hongos formadores de micorriza y otros microorganismos rizosféricos que actúan simultáneamente en la interfase suelo-raíz, afectando el ciclado y disponibilidad de sustancias necesarias para la nutrición de la planta (Azcón, 2000).

El término micorriza se atribuye a la simbiosis que se establece entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo. Existen varios tipos de micorrizas, pero las más importantes y ampliamente distribuidas son las micorrizas vesículo-arbuscular (VAM); cuyo nombre se deriva de las estructuras internas que forma el hongo en la raíz: las vesículas y los arbusculos. Entre la planta y el hongo existe un beneficio mutuo, el hongo proporciona a la planta nutrientes, minerales y agua que extrae del suelo y en retribución la planta provee al hongo carbohidratos y ciertos sustratos energéticos.

El beneficio de la Micorriza Vesículo-Arbuscular en la absorción de fósforo, nitrógeno y micronutrientes ha sido demostrado en varios cultivos. Además, el establecimiento de la asociación hospedero/hongo se relaciona con un incremento en la tolerancia a estrés hídrico y disminución en la susceptibilidad a fitopatógenos por parte de la planta (Kurlle y Pflieger, 1994).

Según Schenck (1982), en el futuro el uso de micorrizas podría incrementar la producción en tierras marginales, reducir el uso de fertilizantes y otros productos químicos, estableciendo así una agricultura sostenible.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la contribución de la Micorriza Vesículo-Arbuscular en la eficiencia de la fertilización en portainjertos de aguacate.

Objetivos específicos

1. Precisar el efecto de la Micorriza Vesículo-Arbuscular en la eficiencia de la fertilización inorgánica de portainjertos de aguacate.
2. Evaluar el efecto de la fertilización en el establecimiento y desarrollo de la simbiosis.
3. Estimar el costo de los tratamientos aplicados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN Y TAXONOMÍA DEL AGUACATE

Según Téliz (2000), el aguacate es nativo de América. El árbol tuvo su origen en varios países y regiones de América Tropical y Subtropical entre los que destacan: México, Centro América, Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú.

Baraona y Sancho (1991) señala que el aguacate fue una de las frutas más apreciadas y cultivadas por las poblaciones indígenas en la época precolombina; la dispersión del frutal hacia otros países y regiones del mundo se inicia con el Descubrimiento y Conquista de América.

Según Téliz (2000), el aguacate pertenece al género *Persea* de la familia Lauraceae; este género contiene alrededor de 85 especies; la gran mayoría se encuentra en el continente Americano. El género *Persea*, se divide en dos subgéneros: *Persea* y *Eriodhapne*. El aguacate *Persea americana* Mill forma parte del subgénero *Persea*, que se conoce como el de los verdaderos aguacates (frutos) y que son de mayor tamaño que los del otro subgénero.

Téliz (2000) menciona que en la especie *Persea americana* Mill se reconocen tres razas o variedades botánicas; la raza Mexicana *Persea americana* var. *drymifolia*, la raza Guatemalteca *Persea americana* var. *guatemalensis* y la raza Antillana *Persea americana* var. *americana*.

2.2 ASPECTOS GENERALES E IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE AGUACATE

La mayoría de variedades cultivadas de aguacate son el producto de cruces entre la raza Mexicana por Guatemalteca o Antillana por Guatemalteca (Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia, 1994).

La raza Mexicana, adaptada a zonas altas y clima semitropical a templado, produce frutos relativamente pequeños (50-400 g), de cáscara delgada y suave, con pulpa rica en aceite (18-28%); las hojas tienen olor a anís. La raza Guatemalteca, está adaptada a zonas de clima subtropical, se caracteriza por permanecer la fruta en el árbol por largo tiempo (10-15 meses) y tener una cáscara gruesa y quebradiza; el peso de la fruta va de 100-2000 g, con un contenido de aceite intermedio (12-18%). La raza Antillana, de frutas grandes con cuello largo, de cáscara lisa y coriácea, bajo contenido de aceite (6-12%) y crece mejor en zonas de clima tropical (Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia, 1994).

De acuerdo con Téliz (2000), “Fuerte” y “Hass” son los principales cultivares a nivel mundial; en México y Estados Unidos el principal cultivar establecido es el “Hass”, mientras que en Israel y Sudáfrica el “Fuerte” es el que domina la superficie plantada.

A pesar de que el aguacate tiene flores perfectas, muy difícilmente tiene lugar la autofecundación, debido a de un mecanismo biológico (dicogamia sincronizada) que no permite que los órganos masculinos y femeninos de las flores se mantengan en estado de madurez al mismo tiempo (Calabrese, 1992).

Según Barahona y Sancho (1991), las variedades de aguacate se clasifican en dos grupos: A y B, de acuerdo con su comportamiento floral. Las flores de los árboles del grupo A se abren en la mañana y actúan como hembras, cerrándose al medio día. Al día siguiente, al comenzar la tarde se abren las flores y actúan como machos. Las flores de los árboles del grupo B, realizan su primera apertura después del medio día y actúan como hembras, cerrándose en la tarde. La segunda apertura se produce en la mañana del día siguiente, comportándose como machos.

Baraona y Sancho (1991) señalan que el aguacate es una de las frutas con mayor contenido de proteína y grasa; y entre los productos frutícolas, se considera como una de las principales fuentes de ácidos grasos no saturados, muy importantes en la dieta humana (Anexo 1). El aguacate tiene un gran mercado para su consumo fresco, además de su utilización en la industria del aceite, cosméticos, jabones, shampoo y de sus productos procesados, tales como guacamole, congelados y pasta (Téliz, 2000).

Téliz (2000) indica que en las últimas décadas, la importancia del aguacate en el mercado internacional ha tenido un crecimiento continuo; en muchos países ha pasado de ser una fruta exótica a formar parte de su dieta. Esta tendencia se ha visto fortalecida por el incremento en el consumo mundial de productos naturales, lo que ha intensificado la explotación comercial de la fruta. Los principales países productores del mundo son México, Indonesia, Estados Unidos, Republica Dominicana y Brasil.

2.3 EL PORTAINJERTO EN EL CULTIVO DE AGUACATE

Según Téliz (2000), en la actualidad, los árboles de aguacate se forman de dos partes resultantes del injerto: la copa y la raíz. La copa tiene origen del cultivar injertado y también forma parte del tronco; mientras que la raíz es parte del portainjerto y que también contribuye al tronco. El objetivo del portainjerto es brindar atributos que confieran una buena adaptación del árbol a factores ambientales y patológicos adversos, y que resulte finalmente en una unidad productiva. El portainjerto permite obtener plantas de menor tamaño, facilitando el manejo de la plantación, además de reducir sustancialmente el tiempo a primera cosecha.

Las investigaciones sobre este tema se han encaminado principalmente a obtener portainjertos que tengan tolerancia a enfermedades (*Phytophthora cinamomi*); adaptación a suelos calcáreos, riego con agua salina y condiciones de sequía. Se han hecho trabajos a largo plazo para seleccionar combinaciones injerto/portainjerto más productivas.

Según Gallo (1995), la *Phytophthora* radicular es la enfermedad más importante que limita la producción de aguacate; su agente causal es el hongo de suelo *Phytophthora cinamomi*, tiene un amplio rango de hospederos y se encuentra en la mayor parte de las áreas dedicadas a la producción de este cultivo. El patógeno afecta las raíces delgadas encargadas de la absorción de nutrimentos; daño que resulta en una notoria disminución del suministro de agua y , provocando el decaimiento de la planta, amarillamiento de hojas, defoliación y por último la muerte.

2.4 NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL AGUACATE

Como nutrimentos se entienden todos aquellos elementos que son requeridos por la planta para su crecimiento y formación de sustancias orgánicas. De acuerdo con ciertos criterios de esencialidad se ha determinado que la planta requiere 16 elementos: tres orgánicos (C, H y O) y 13 minerales que comúnmente se clasifican en macroelementos, elementos secundarios y microelementos (Téliz, 2000).

Téliz (2000) menciona que el sistema radical del aguacatero es poco prolongado y carece de pelos radicales, por lo que es necesaria la presencia de una cantidad elevada de nutrimentos de fácil disponibilidad. En el manejo del árbol de aguacate, la fertilización es una práctica de gran importancia realizada cuando no existe la suficiente cantidad de nutrimentos, para satisfacer las demandas nutrimentales del cultivo. La falta de alimento en el suelo causa síntomas de deficiencia en las plantas (Anexo).

2.5 LA MICORRIZA

Safir (1994) estima que el 95% de las especies de plantas vasculares tienen en su raíz una asociación simbiótica con hongos del suelo llamados micorrizas. Según Raina *et al.* (1999) la palabra micorriza proviene de los vocablos griegos *mikes* y *rhiza* que significan hongo y raíz, respectivamente. El primero en utilizar este término fue el científico alemán Frank en 1885 y lo usó para referirse a la asociación permanente de raíces con estructuras pertenecientes a hongos del suelo (hifas).

Según Gupta *et al.* (1999), la micorriza envuelve un mecanismo de sobrevivencia para la planta y el hongo, permitiendo la subsistencia de ambos en condiciones ambientales de temperaturas extremas, baja fertilidad de suelos, enfermedades y otros estreses naturales. Evidencia fósil y molecular indican que las interacciones simbióticas entre el hongo y la raíz de la planta, se desarrollaron temprano en el proceso de colonización de los ambientes terrestres.

Azcón y Bago (1994) mencionan que las plantas pueden presentar un grado de dependencia variable a la micorriza y de acuerdo con esto, se ha clasificado a los hospederos en plantas micotróficas obligatorias, que dependen fuertemente de la micorriza para su crecimiento, desarrollo y para alcanzar la madurez reproductiva; plantas micotróficas facultativas que se benefician de la micorriza bajo ciertas condiciones, usualmente cuando crecen en suelos con bajos niveles de fertilidad; y plantas no micotróficas, cuyas raíces presentan resistencia a ser colonizadas por el hongo. Hay un cierto número de plantas no dependientes de la micorriza que presentan importancia en la agricultura y horticultura que incluyen miembros de las familias *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Scrophulariaceae*, *Commelinaceae* y *Juncaceae* (Brundrett *et al.*, 1996).

Según Gupta *et al.* (1999) se han reconocido varios tipos de micorriza y en cada uno intervienen diferentes grupos de hongos y plantas hospederas, cada una cuentan con características morfológicas y fisiológicas propias. Según esto existen siete categorías de micorrizas: Micorriza Vesículo-Arbuscular (endomycorriza), ectomicorriza, ectendomycorriza, orchid, ericoid, arbutoid y monotropoid micorrizas.

2.6 MICORRIZA VESÍCULO-ARBUSCULAR (VAM)

Según Sieverding (1991), el tipo más importante y ampliamente distribuido tanto geográficamente como dentro del reino vegetal, es la Micorriza Vesículo-Arbuscular. Bajo condiciones naturales se relaciona con la mayoría de cultivos agronómicos tropicales y subtropicales. Safir (1994) menciona que se ha incrementado el interés en esta asociación porque bajo ciertas condiciones es capaz de incrementar considerablemente el crecimiento y producción de los cultivos. Una de las principales razones para que ocurra este fenómeno, es la mayor eficiencia en la absorción de nutrimentos, en especial fósforo.

Los hongos de la micorriza-vesículo arbuscular pertenecen a la clase *Zygomycetes* del orden de los *Glomales*. El orden de los *Glomales* esta subdividido en los subórdenes *Glomineae* y *Gigasporinae*. El suborden *Glomiane* tiene dos familias, la *Glomaceae* con los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*; y la *Acaulosporaceae* que incluye los géneros *Acaulospora* y *Entrophospora*. La familia *Gigasporaceae* con los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* se han incluido en el suborden *Gigasporine*. Todos estos hongos son simbiontes obligatorios y no crecen en condiciones *in vitro* (Gupta *et al.*, 1999).

2.7 MORFOLOGÍA DE LA VAM

La Micorriza Vesículo-Arbuscular consiste de esporas, hifas, arbusculos y vesículas. Estas estructuras pueden ser usadas para identificar el hongo, cuantificar y propagar la asociación (Brundrett *et al.*, 1996), además no causa alteraciones en la morfología de la raíz, a diferencia de las ectomicorrizas.

2.7.1 Esporas

Según Sieverding (1991), son estructuras reproductivas que se forman en el micelio externo. Usualmente desarrollan paredes gruesas de una o más capas, su diámetro depende de la especie de hongo y puede estar en un rango de 15 – 800 μm . La esporulación puede empezar tres a cuatro semanas después de la infección en algunas especies de hongos, mientras que en otras puede tardar hasta seis meses. Menciona que la germinación de las esporas está principalmente determinada por las condiciones físicas (concentración de O_2 y CO_2 , temperatura, humedad) y químicas (pH, concentración de nutrientes, presencia de factores fungistáticos) del suelo.

Safir (1994) señala que los exudados radiculares pueden estimular la germinación de esporas y el desarrollo de hifas. Niveles elevados de fósforo provocan un detrimento en la producción de exudados radiculares inhibiendo la formación de micorriza. Los flavonoides, flavonoles y glucósidos son compuestos presentes en los exudados radiculares que estimulan la germinación de esporas y crecimiento de hifas.

2.7.2 Hifas

Según Brundrett *et al.* (1996), las hifas intra radiculares crecen en la corteza de la raíz, forman una colonia y posteriormente arbusculos y vesículas; y pueden extenderse en la raíz intra e intercelularmente. Las hifas extra radiculares se encargan de la absorción y transporte de nutrientes a la raíz, distribución de la infección en el sistema radicular y formación de esporas. Las hifas de distribución o “runners” (gruesas) e hifas de absorción (delgadas y altamente ramificadas) son estructuras especializadas que permiten el cumplimiento de algunas de las funciones antes mencionadas.

2.7.3 Arbusculos

Según Sieverding (1991), el arbusculo es una estructura fuertemente ramificada, similar a un árbol pequeño que se forma después que la hifa penetra la pared celular de las células corticales. Éste aumenta la superficie de contacto y es la conexión más intensiva entre el hongo y la planta. La formación del arbusculo aumenta la actividad metabólica de la célula, manteniendo una transferencia bidireccional de fotosintatos y nutrientes con el hongo. Los arbusculos se establecen 2-5 días después de la penetración del hongo a la raíz del hospedero; viven de 4-15 días y cuando se degeneran son reabsorvidos por la célula hospedera, la cual retorna a sus funciones normales.

2.7.4 Vesículas

Son extensiones apicales o intercaladas de las hifas intracelulares; contienen lípidos y son los órganos de reserva del hongo. Durante situaciones de estrés, la planta hospedera sufre bajas cantidades de metabolitos y estas reservas son utilizadas por el hongo. En algunas especies de hongos las esporas cumplen esta función.

2.8 DESARROLLO DE LA VAM

Según Brundrett *et al.* (1996), el desarrollo de la Micorriza Vesículo-Arbuscular cursa por las siguientes etapas:

- La asociación comienza cuando las estructuras reproductivas del hongo responden a la presencia de la raíz, crecen hacia ella, establecen contacto y se extienden a lo largo de su superficie. En el caso de esporas, se produce la germinación y formación del tubo germinativo.
- La penetración radicular ocurre cuando una o más hifas forman apresorios en la superficie de células epidermales y se introducen en ellas.
- Una o varias hifas penetran la hipodermis y se ramifican en el exterior de la corteza.
- Las hifas se extienden inter y intracelularmente a lo largo de la corteza, formando colonias.
- Se inicia el desarrollo de arbuscúlos y luego el establecimiento de vesículas.
- Simultáneamente al proceso de infección, hay un crecimiento de hifas fuera de la raíz y rizósfera. Estas estructuras forman el micelio externo del hongo.

2.9 BENEFICIOS DE LA VAM

2.9.1 Mayor absorción de nutrimentos

Según Sieverding (1991), la principal función de la VAM es incrementar el volumen de suelo explorado aumentando la eficiencia en la absorción de nutrimentos. Miller y Jastrow (1994) señalan que el micelio externo juega un rol importante en la absorción de nutrimentos, especialmente de los iones que son poco móviles en la solución de suelo.

Las plantas generalmente los mayores beneficios se observan cuando los nutrimentos disponibles en el suelo son menores al nivel óptimo. Jakobsen *et al.* (1994) indican que el fósforo es importante porque la planta lo requiere en grandes cantidades y está presente en bajas concentraciones en la solución de suelo. Esto provoca que se formen zonas de desgaste del elemento alrededor de la raíz y la micorriza puede atravesar la zona de desgaste y tener acceso directo al nutrimento. Según Raddatz (1997), los pelos absorbentes cerca de la raíz tiene generalmente una longitud de 1-2 mm, mientras que las hifas del hongo tienen 20 mm en promedio.

Una elevada concentración de fósforo en la planta afecta el establecimiento y desarrollo de la micorriza, debido a que determina la permeabilidad de las membranas celulares y la exudación radicular de carbohidratos y aminoácidos disponibles como metabolitos para el hongo (Kurle y Pflieger, 1994).

Gupta y Kumar (1999) mencionan que la actividad de la micorriza puede convertir las formas no aprovechables de fósforo a formas disponibles para la planta. Además, la red de hifas externas de la micorriza tiene la capacidad de tomar y transportar nitrógeno en forma de amonio (NH_4). La simbiosis aumenta el flujo de agua a través de la planta y en consecuencia se incrementa la migración de nitratos (NO_3^-) hacia la raíz; además, la hifósfera del hongo contiene enzimas que hacen disponible el nitrógeno orgánico y N-reductasa que altera las formas de nitrógeno presentes en el suelo.

Sieverding (1991) indica que nutrientes como potasio, magnesio, manganeso, hierro y cloro frecuentemente son encontrados en mayor concentración en plantas que presentan micorriza en comparación con planta que no tienen la asociación. Se ha comprobado que el micelio externo de la micorriza activamente toma y transporta del suelo a la raíz nutrientes como azufre, zinc, cobre, boro y molibdeno.

2.9.2 Biocontrol de patógenos

Según Linderman (1994), al incrementarse el potencial de absorción de nutrientes minerales del suelo se modifica el estatus nutricional de los tejidos del hospedero, alterando las características estructurales y bioquímicas de las células de la raíz, lo que provoca variaciones en la permeabilidad de la membrana celular, afectando así la calidad y cantidad de exudados radiculares. Esta transformación cambia la composición poblacional de microorganismos en la micorrizósfera, lo que se traduce en una planta más saludable, con mayor resistencia a estrés ambiental y mejor tolerancia a enfermedades.

La micorriza puede ejercer control sobre las enfermedades a través de varios mecanismos como: mejor nutrición de la planta, competencia por sitios de infección y fotosintatos del hospedero, efecto de compensación a daños radiculares, cambios en la morfología de la raíz, alteración en las comunidades de microorganismos de la micorrizósfera y activación de mecanismos de defensa en la planta (Singh *et al.*, 1999).

2.9.3 Mayor absorción de agua y resistencia al estrés hídrico

Según Sieverding (1991), la VAM mejora el balance hídrico de las plantas debido a que incrementa la conductividad hidráulica y altera positivamente el balance hormonal y la regulación estomatal. Sánchez y Honrubia (1994) indican que las hifas tienen menor diámetro que los pelos radiculares y pueden penetrar a porosidades del suelo que no son accesibles para la raíz del hospedero, en consecuencia la VAM puede ser responsable de un incremento en la absorción de agua.

2.9.4 Mejor estructura del suelo

Sieverding (1991) menciona que la VAM puede retener y encadenar las partículas del suelo a través del crecimiento intensivo de micelio, creando agregados estables y mejorando las características estructurales del suelo. Según Miller y Jastrow (1994), la

micorriza crea un sistema que puede reducir la erosión y el lavado de nutrimentos, lo cual se resume en tres pasos: primero, las hifas crecen dentro de la matriz del suelo tomando una estructura esquelética que mantiene juntas a las partículas de suelo primarias a través un encadenamiento físico; segundo, hifas y raíces crean condiciones físicas y químicas y producen materiales orgánicos para adherir las partículas; y tercero, hifas y raíces enmarañan los microagregados transformándolos en macroagregados.

2.10 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y SU EFECTO SOBRE LA VAM

Según Sieverding (1991), la preparación y uso de la tierra envuelven varias prácticas agronómicas que pueden afectar la Micorriza Vesículo-Arbuscular, modificando la población y composición de especies de hongos en el suelo. Las prácticas agronómicas pueden ser realizadas con base en aspectos ecológicos y socio-económicos, pero la meta es obtener un retorno económico de todos los insumos aplicados al sistema de producción. Estos cambios en la composición de especies de hongos pueden resultar en la selección de especies que son más tolerantes a las diferentes prácticas de producción pero menos benéficas para el cultivo (Kurle y Pflieger, 1994).

2.10.1 Fertilización

Kurke y Pflieger (1994) mencionan que la aplicación de fertilizantes es una práctica fundamental para incrementar la producción de los cultivos. El efecto de la fertilización sobre la VAM es influenciado por la especie del macro y microsimbionte, el tipo de suelo, su fertilidad inicial y contenido de materia orgánica; además del efecto de las condiciones ambientales sobre la interacción de dichos factores.

Las especies de hongos micorrizógenos difieren en su respuesta a la aplicación de fertilizantes; además el grado de dependencia del hospedero al hongo tiene una marcada influencia en el efecto de la fertilización sobre la micorriza. Las prácticas agrícolas intensivas envuelven altos niveles de fertilización que pueden limitar el establecimiento y desarrollo de la micorriza en el cultivo (Kurle y Pflieger, 1994).

Según Sieverding (1991) en suelos que contienen bajas concentraciones de fósforo (oxisoles, ultisoles e inceptisoles) pequeñas aplicaciones de fósforo generalmente mejoran la actividad de la VAM. Este autor también señala que la aplicación de excremento fresco puede tener un efecto negativo sobre el grado de colonización de la VAM en la raíz a diferencia del uso de compost, el cual incrementa la eficacia de la simbiosis.

2.10.2 Control químico de plagas y enfermedades

Según Vyas (1999), la mayoría de investigaciones sobre la interacción entre micorriza y pesticidas, indican que los agroquímicos tienen un marcado efecto en el establecimiento y desarrollo de la VAM. Es difícil generalizar sobre estos estudios porque estos productos químicos responden distintamente ante diferentes condiciones ambientales y climáticas.

Existen pocas tendencias acerca del efecto de los fungicidas sobre la VAM; pero se menciona que: cuando son aplicados a la semilla, aparentemente inhiben más la infección del hongo micorrizógeno que cuando son aplicados al follaje. Esto indica que algunos fungicidas pueden tener un efecto negativo sobre el proceso de infección de la micorriza; también se ha confirmado que los fungicidas no tienen efecto negativo sobre el grado de infección de la VAM cuando son aplicados después del establecimiento de la simbiosis (Sieverding, 1991).

Según Sieverding (1991), fungicidas como benomyl, captan, PCNB y triadimefon disminuyen el grado de infección de la VAM; por el contrario, captafol, cloronef, ethazole, triadimenol, metalaxyl, thiabendazole, triam y phosethyl-Al incrementan el grado de infección en algunos casos. Phosethyl-Al aumenta la exudación radicular, lo que probablemente explica el efecto positivo sobre el desarrollo de VAM.

2.10.3 Fitomejoramiento

Kurle y Pflieger (1994) mencionan que los programas de mejoramiento genético inadvertidamente pueden seleccionar genotipos que tengan menor grado de respuesta a la Micorriza Vesículo-Arbuscular.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se llevó a cabo entre los meses de marzo y julio de 2002 en la Sección de Ornamentales de la Zamoempresa de Cultivos Intensivos en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle del río Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, con una pluviosidad y temperatura promedio anual de 1051 mm y 22° C, respectivamente.

El ensayo se dividió en dos fases: Semillero y Vivero. La primera se realizó bajo invernadero y duró 24 días; la segunda, en el área de terrazas a campo abierto y duró 100 días. El análisis de muestras y toma de datos se ejecutó a los 124 días de establecido el experimento en el Laboratorio de Biotecnología de la CCPA.

3.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

- Semilla de aguacate criollo (*Persea americana*), proveniente de El Progreso, Yoro, Honduras.
- Medio de crecimiento pasteurizado, constituido por 1 parte aserrín descompuesto, 4 partes de tierra y 2 partes arena.
- Vasos de 5.5 cm de diámetro por 10 cm de alto.
- Bolsas negras de 23 cm de diámetro por 30 cm de alto (9" x 12").
- Fertilizantes: Urea y nitrato de potasio.
- Mycoral® (inoculante de Micorriza Vesículo-Arbuscular)

3.3. TRATAMIENTOS Y METODOLOGÍA

3.3.1 Fase de semillero

Se realizaron dos tratamientos: semillas con micorriza y semillas sin micorriza. Se regó diario de 8 am. a 3 pm.; con nebulizadores que estaban regulados para activarse cada 5 minutos y emitir una descarga de 380 cc en 20 segundos por boquilla.

Se emplearon semillas de aguacate criollo con un proceso previo de selección por tamaño y escarificación, las mismas que se sembraron en vasos con capacidad de 208 cm³. Para la siembra sin micorriza se llenó con medio la mitad del recipiente, luego se colocó la semilla con su parte más ancha hacia abajo y luego se agregó otra capa de medio evitando tapar la parte superior de la semilla.

En el otro tratamiento las semillas fueron inoculadas con de 30 g de Mycoral[®]. Para la siembra llenó 1/3 del vaso con medio, se agregó una lámina de 1 pulgada de inoculante (80% de la dosis), se colocó la semilla sobre el producto y el inóculo restante se espolvoreo alrededor de la misma; luego se añadió otra capa de medio procurando no tapar la parte superior de la semilla.

El proceso de acondicionamiento de la semillas, incluyó una inmersión por varios segundos en una solución de benomyl (0.8 ppm. de bentale).

Tratamientos en semillero:

M+	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
M-	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○

3.3.2 Fase de vivero

Se realizaron seis tratamientos: tres con micorriza y tres sin micorriza, cada uno con tres niveles de fertilización (sin fertilización, 50% de la cantidad de fertilizante y cantidad completa de fertilizante). La cantidad completa de fertilizante aplicada fue de 0.91g de urea/planta y 0.91g de nitrato de potasio/planta. La fertilización se realizó cada 15 días y los fertilizantes se aplicaron en solución, con ayuda de una probeta (100 ml/planta). La cantidad completa de fertilizantes y la frecuencia de aplicación se determinó con base en el programa de fertilización para portainjertos de aguacate de la Sección de Ornamentales. La dosis utilizada en el vivero se basa en el requerimiento de la planta, sin tomar en cuenta el aporte del medio de crecimiento.

Para determinar el momento de transplante se tomó como punto de referencia que la mayor parte de semillas estuvieran germinadas y presentaran indicios de desarrollo de la plántula. Previo al transplante, se llenaron las bolsas plásticas aproximadamente con 4360 cm³ de medio, el cual se humedeció ligeramente para facilitar el proceso de “ahollado”. A las plántulas inoculadas durante semillero se les aplicó una segunda dosis de Mycoral[®] a razón de 50 g por bolsa; la mayor parte del producto se colocó en el fondo del hoyo (80%) y el sobrante (20%) se espolvoreo en las paredes del pilón.

Se realizó una aplicación de phosethy-Al (3.4 ppm. de aliete) para el control de tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinamomi*) y chlorpyrifos para zompopos (*Atta sp.*).

Tratamientos en vivero:

		1	2	3	4
M+	0% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	50% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	100% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
M-	0% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	50% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	100% fert.	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3.3.4 Medio de crecimiento

El medio de crecimiento utilizado para el experimento fue diferente al que normalmente se emplea en el proceso de producción debido al elevado contenido de fósforo que presentaba. Las proporciones para preparar el medio se determinaron aplicando el método de balance proporcional, con base en la concentración de fósforo de cada componente. Se determinó que la proporción: 1 aserrín, 4 de tierra y 2 de arena resultaba en un medio con un nivel de fósforo aceptable. Para corroborar lo anterior se realizó un análisis del contenido de fósforo del medio, resultando con un contenido de 36 ppm de P (Anexos 3 y 4).

3.3.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcelas divididas distribuidas en bloques completos al azar. Los lotes con micorriza y sin micorriza formaron las parcelas principales y los niveles de fertilización las subparcelas. El experimento contó con cuatro repeticiones y la unidad experimental estuvo formada por seis plantas. Se escogió este modelo experimental para facilitar las actividades de campo (fertilización).

3.3.6 Variables evaluadas

El muestreo se realizó a los 124 días de establecido el experimento y se evaluó:

- **Altura de planta (cm)**, tomada de donde aparecen las primeras raíces hasta el brote de crecimiento apical, con una cinta métrica.
- **Diámetro del tallo (mm)**, medido un centímetro arriba del punto de división entre tallo y raíz., con un calibrador (pie de rey).

- **Volumen de raíz (ml/planta)**, se raíz se extrajo el pilón y se colocó en un recipiente con agua para deshacerlo con mayor facilidad, luego se colocaron las raíces en una probeta de 500ml con un volumen determinado de agua y se calculó la diferencia entre el volumen inicial y final.
- **Peso seco de la biomasa aérea (g/planta) y de la raíz (g/planta)**, para lo cual se separó la parte aérea de la raíz, cada estructura fue colocada en una bolsa de papel etiquetada, secándose en un horno a 70° C durante tres días, luego se peso.

Para medir el desarrollo de la micorriza se evaluaron:

- **Número de esporas en 100g de medio**, utilizando el método del Laboratorio de Biotecnología de Zamorano. (Anexo 5)
- **Porcentaje de infección en la raíz**, al método empleado en el Laboratorio de Biotecnología se le hicieron algunas variantes:

Materiales y equipo

Vasos
 Bisturí
 Pinzas
 Regla
 Cassetes de plástico
 Pequeños trozos de malla
 Beaker de 2000ml
 Hidróxido de potasio (KOH)
 Tinte tripan blue (0.025%)
 Agua oxigenada (H₂O₂)
 Plato petri
 Porta y cubre objetos
 Microscopio

Medir el porcentaje de infección en la raíz involucra tres procesos:

Preparación y acondicionamiento de las raíces

- Extraer una pequeña muestra de raíces de la planta. En lo posible se debe seleccionar raíces jóvenes y delgadas para facilitar el proceso de tinción y clarificación.
- Lavar las raíces seleccionadas.
- Con ayuda de bisturí y regla seccionar las raíces en pedazos de 1.5cm.
- Envolver 8-10 segmentos con pequeños trozos de malla y colocarlos dentro de un cassette.

Las raíces de aguacate tienen a oxidarse y descomponerse con facilidad (2-3 días) por lo que las actividades antes mencionadas se deben realizar con relativa rapidez. Una alternativa para evitar su rápido deterioro es almacenar las muestras en lugares refrigerados.

Clarificación y tinción de las raíces

- Colocar los cassetes en KOH (previamente calentado a 80° C) y dejarlas por 15 minutos. Se redujo el tiempo de exposición de las raíces a la acción del reactivo, para evitar que se tornaran demasiado delicadas y difíciles de manipular.
- Verter el KOH en otro recipiente y dejar que las muestras se enfríen; cuando alcancen una temperatura menor a 50° C enjuagar 5 veces.
- Sumergir los cassetes en agua oxigenada por 10 minutos (para eliminar pigmentos que el paso anterior no pudo)
- Poner las raíces en Tripán blue al 0.025% a 80° C y esperar 25 minutos, verter el tinte en otro recipiente. Se utilizó el tinte con menor concentración para evitar que las raíces adquieran una coloración demasiado intensa que dificulta o impide la observación de las estructuras del hongo.
- Guardar las muestras bajo refrigeración.

El procedimiento que normalmente se utiliza para clarificar y teñir raíces en el Laboratorio de Biotecnología no pudo aplicarse, las raíces al final del mismo se presentaban oscuras y extremadamente delicadas. Se hicieron varias pruebas usando diferentes reactivos, temperaturas y tiempos para lograr determinar un proceso que permitiera observar las estructuras del hongo en las raíces del aguacate.

Determinar el porcentaje de infección

- Tomar cinco segmentos de raíz teñidos y preparar una placa usando porta y cubre objetos.
- Observar con el microscopio (lente 10X) los segmentos de raíz y determinar el porcentaje de infección para las áreas visualizadas (8-10 áreas/segmento).
- Promediar los datos obtenidos por segmento, con estos resultados obtener un promedio por placa.

El porcentaje de infección se determina con base en una escala (0, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 75 y 100%). La escala asigna los diferentes valores tomando en cuenta estructuras presentes (hifas, vesículas y arbusculos) y superficie de la raíz ocupada por el hongo.

3.3.7 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el programa Statistical Análisis System (S.A.S. ®) realizándose un análisis de varianza y una separación de medias (DMS y LSMEANS).

3.3.8 Costos diferenciales

Se calcularon con base en el manual de CIMMYT (1988). Se consideró al Mycoral®, fertilizantes (urea y nitrato de potasio) y la mano de obra como los costos que varían entre tratamientos, basándose en los precios utilizados por Zamorano al momento del ensayo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE VARIABLES EN SEMILLERO

No se evaluó ninguna variable al final de esta etapa por el poco desarrollo que las plántulas presentaban y principalmente porque la mayoría de especies frutícolas arbóreas en sus primeros días dependen de los nutrimentos almacenados en sus cotiledones.

4.2 ANÁLISIS DE VARIABLES EN VIVERO

Se observó que la fertilización tuvo un efecto significativo sobre las variables relacionadas con el desarrollo de la planta (ALT, DIAM, VOLR, PSBA y PSR) y las variables que representan la efectividad de la VAM (NE e IR).

Los portainjertos con mayor ALT, DIAM, VOLR, PSBA, PSR se encontraron en los tratamientos con 50% de la cantidad de fertilizante. Estas plantas contaron con una cantidad adecuada de nutrimentos, siendo más saludables y presentado mayor resistencia al estrés ambiental y tolerancia al ataque de patógenos (Cuadro 1).

Los portainjertos sin fertilización y con 100% de la cantidad de fertilizante presentaron valores similares en ALT y DIAM. Los primeros tuvieron un mejor desarrollo radicular obteniendo mayor VOLR y PSR mientras que los segundos tuvieron un mejor desarrollo foliar presentando mayor PSA (Cuadro 1). Esto indica que las plantas sin fertilizante se adaptaron a la baja concentración de nutrimentos, desarrollando más su sistema radicular; por otra parte las plantas con 100% de la fertilización incrementaron su masa foliar para aprovechar la gran cantidad de nutrimentos disponibles en el medio.

La reducida concentración de nutrimentos en el medio de crecimiento provocó el menor desarrollo de las plantas sin fertilización. Según Téliz (2000) el sistema radical del aguacatero es poco prolongado y carece de pelos radicales, por lo que es necesaria la presencia de una cantidad elevada de nutrimentos de fácil disponibilidad en el suelo.

El menor crecimiento de los portainjertos con fertilización completa se debió a una mayor incidencia de enfermedades fungosas, ya que las plantas fertilizadas con elevadas cantidades de nitrógeno son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades. Según Chirinos (1999), altas concentraciones de nitrógeno provocan incrementos en salinidad y presión osmótica, perjudicando las raíces del aguacatero.

Se observó un mayor NE al no fertilizar; con 50% y 100% de la fertilización se obtuvieron valores más bajos y no se encontró diferencia significativa entre ellos. La fertilización completa tuvo los valores más bajos de IR; aplicando 50% de la fertilización hubo un incremento de 20% y sin fertilización de 126% (Cuadro 1). Esto

demuestra que a mayor cantidad de fertilizante hay un menor desarrollo de VAM y sus efectos. Kurlle y Pflieger (1994) ratifican esto al mencionar que intensivas prácticas agrícolas que envuelven altos niveles de fertilización pueden limitar el establecimiento y desarrollo de la micorriza en el cultivo.

El efecto de la micorriza fue significativo en el VOLR e IR. Las plantas inoculadas presentaron un incremento de 13% en el volumen de raíz en comparación con las no inoculadas. El valor de la IR en los portainjertos inoculados fue 6.4 veces más alto que el de los no inoculados, lo que sugiere una inoculación efectiva. No se encontró diferencias significativas en la ALT, DIAM, PSBA y PSR; esto se debió probablemente a que el efecto de la micorriza se encubrió por la influencia que ejerció la fertilización sobre el crecimiento de la planta y el desarrollo de VAM. Respecto al NE, no se observaron diferencias significativas; posiblemente debido a una contaminación cruzada.

Cuadro 1. Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de raíz (PSR), número de esporas (NE) e infección radicular (IR) de portainjertos de aguacate inoculados y no inoculados con micorriza en vivero y diferentes niveles de fertilización. Zamorano, Honduras, 2002

FACTOR ^y	Variables ^x						
	ALT (cm)	DIAM (mm)	VOLR (cc)	PSPA (g)	PSR (g)	NE (/cc/100 g suelo)	IR (%)
Fertilización (F)							
Sin fertilizantes (A)	19.47 b	7.06 b	32.38 b	4.80c	4.46b	31.18 a	4.78 a
50% fertilizantes (B)	28.54 a	7.48 a	38.17 a	8.58a	5.25a	24.21 b	2.99 b
100% fertilizantes (C)	21.74 b	6.80 b	26.79 c	6.45b	3.11c	25.10 b	2.11 c
ANDEVA	**	*	**	**	**	*	**
Micorriza (M)							
Sin micorriza (M-)	22.70	7.03	30.00 b	6.58	3.95	24.85	0.89 b
Con micorriza (M+)	23.80	7.19	34.89 a	6.63	4.50	28.81	5.70 a
ANDEVA	ns	ns	**	ns	ns	ns	**
F x M							
M- x A	19.67 d	7.08 b	27.13 e	4.82 d	3.89 de	24.14 b	0.78 d
M+ x A	19.27 d	7.04 b	37.63 b	4.78 d	5.03 bc	38.21 a	8.79 a
M- x B	26.65 b	7.25 b	34.29 cd	7.95 bc	4.58 cd	24.00 b	0.68 d
M+ x B	30.44 a	7.71 a	42.04 ab	9.02 a	5.92 ab	24.42 b	5.29 b
M- x C	21.79 c	6.77 b	28.58 de	6.67cd	3.37 ef	26.40 b	1.20 d
M+ x C	21.69 c	6.83 b	25.00 e	5.93 d	2.85 f	23.81 b	3.01 c
ANDEVA	**	ns	*	**	ns	**	**
CV (%)	5.22	6.15	14.59	6.83	18.73	18.93	26.82
R ²	0.98	0.79	0.91	0.99	0.91	0.83	0.98
Modelo	**	ns	*	**	*	ns	**

ns: no significativo; *: significativo ($P \leq 0.1$); **: altamente significativo ($P \leq 0.05$).

^x Valores con distinta letra en la misma columna difieren entre ellos ($P \leq 0.1$)

^y A: sin fertilización; B: 50% de la fertilización; C: cantidad completa de fertilizantes

El tratamiento con 50% de la fertilización y con micorriza (BM+), presentó un mayor desarrollo en la mayoría de las variables evaluadas. En este tratamiento, se observaron diferencias significativas en ATL, VOLR, PSBA, PSR e IR, comparado al tratamiento con 50% de la fertilización y sin micorriza. Es probable que estas respuestas se deban a la mayor capacidad de absorción de nutrimentos de la planta gracias a la simbiosis con el hongo micorrizógeno y a una disponibilidad adecuada de los mismos (Figura 1).

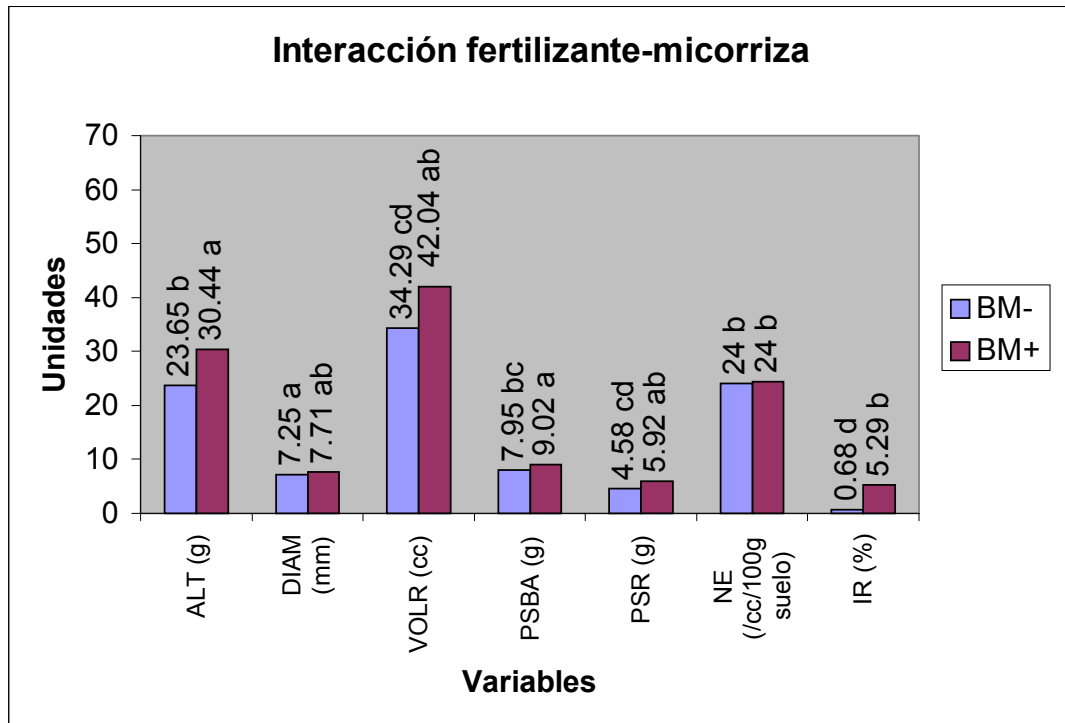


Figura 1. Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz (IR) con el 50% de la cantidad de fertilizantes y sin micorriza (BM-) y 50% de la cantidad de fertilizantes y con micorriza (BM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad. Zamorano, Honduras, 2002.

En el tratamiento con micorriza y sin fertilización (AM+) la respuesta de las variables fueron mayores que las plantas no fertilizadas y sin micorrizas (AM-); sin embargo no se observaron diferencias significativas en la biomasa foliar y en el diámetro del tallo. Las plantas inoculadas presentaron diferencias significativas en su volumen y peso seco de raíz en relación con las no inoculadas. Esta respuesta pudo deberse al efecto benéfico de la VAM, cuyas variables (NE e IR) fueron estadísticamente diferentes al tratamiento sin micorriza (Figura 2).

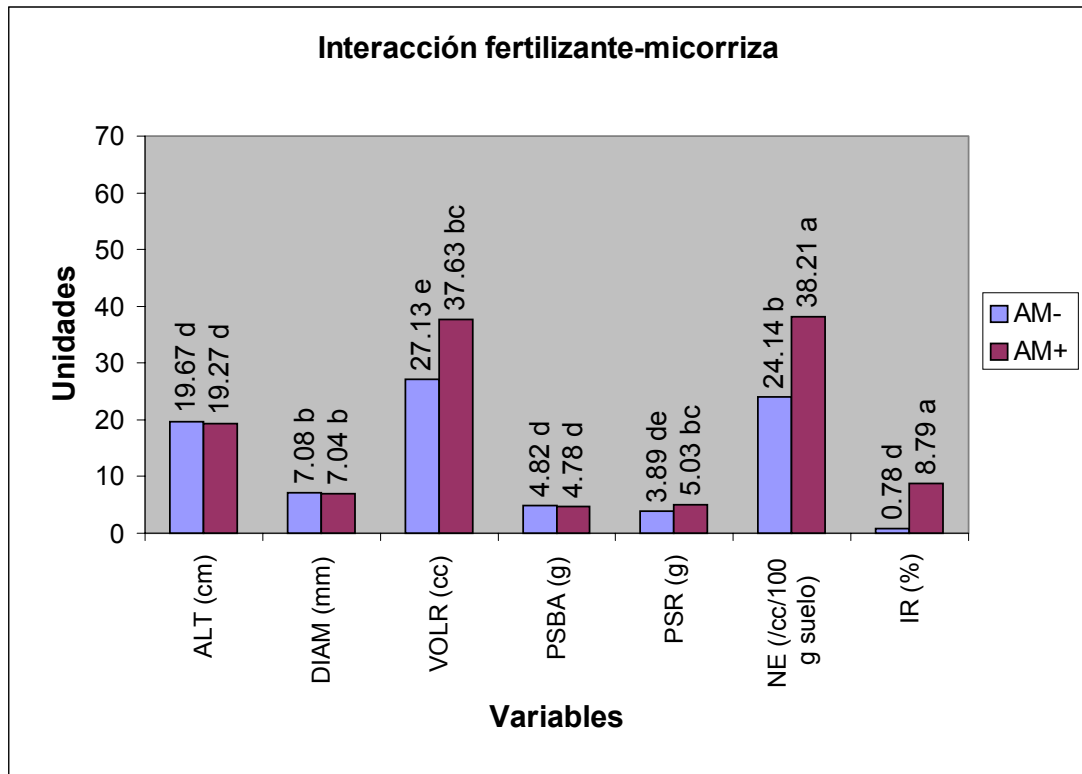


Figura 2. Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz sin fertilización y sin micorriza (AM-) y sin fertilización y con micorriza (AM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad. Zamorano, Honduras, 2002.

El tratamiento con 100% de la fertilización y sin micorriza (CM-) fue superior en todas las variables (excepto la IR), al tratamiento con 100% de la fertilización y con micorriza (CM+), aunque no se observaron diferencias significativas. Esto se debió al efecto negativo que ejerció la fertilización sobre el desarrollo y efectividad de la VAM. Por otra parte la IR del CM+ fue significativamente superior al CM- (Figura 3).

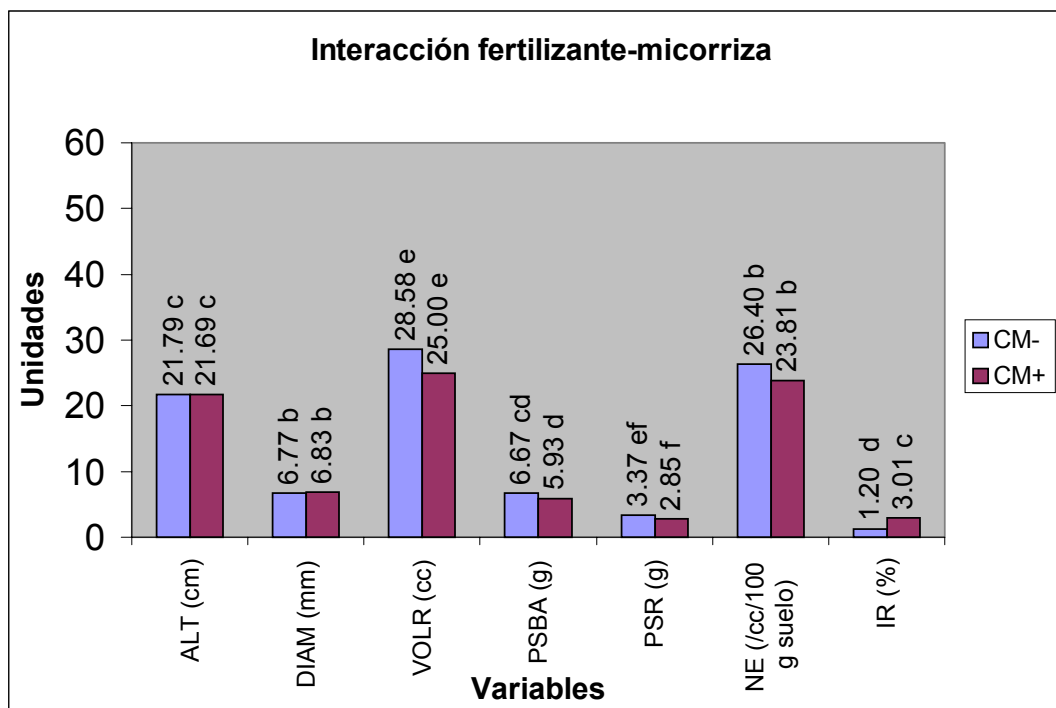


Figura 3. Altura (ALT), diámetro (DIAM), volumen de raíz (VOLR), peso seco de la biomasa aérea (PSBA), peso seco de la raíz (PDR), número de esporas (NE) e infección en la raíz con el 100% de la cantidad de fertilizantes y sin micorriza (CM-) y 100% de la cantidad de fertilizantes y con micorriza (CM+) de portainjertos de aguacate con cuatro meses de edad. Zamorano, Honduras, 2002.

El mejor tratamiento fue BM+, ya que presentó una mayor biomasa aérea y radicular, aunque el NE e IR por VAM no fueron los mejores. Esto se explica a que la cantidad de nutrientes aportados por la fertilización permitió un mejor crecimiento de la planta y una mayor eficiencia de la VAM con una infección media. Gracias a la micorriza, las plantas captaron más eficientemente los nutrientes aportados por la fertilización; por esto tuvieron más vigor y sanidad.

En la fase de vivero, el 87.5% de las plantas sin fertilización presentaron síntomas foliares de deficiencia nutricional; los portainjertos con VAM presentaron síntomas foliares con una incidencia de 83% y severidad del 12% mientras que los no inoculados tuvieron una mayor incidencia y severidad con 93 y 17%, respectivamente. En los demás niveles de fertilización, la incidencia fue nula. Los resultados de un análisis foliar mostraron que las plantas con VAM tenían mayor concentración de nutrientes que las no inoculadas, en todos los niveles de fertilización; posiblemente el síntoma foliar observado se debió a la deficiencia de nitrógeno y zinc (Anexo 6, 7, 8 y 9).

Otra observación en la fase de vivero fue que el 22% de las plantas sometidas a la fertilización completa presentaron síntomas de ataque de enfermedades fungosas. En los demás tratamientos esta incidencia fue casi nula.

4.3 COSTOS DIFERENCIALES

Se observó que inocular portainjertos con VAM representa una pequeña parte de los costos totales de producir una planta de aguacate en vivero, además dichos costos se diluyen a lo largo de la vida productiva del árbol al establecer una plantación. La micorriza ofrece beneficios para el cultivo en vivero a bajo costo y permite una producción más sostenible, aprovechando de mejor manera los insumos aplicados (Cuadro 2). Existe una diferencia de \$0.61/m³ entre el medio de crecimiento para aguacate empleado por las Sección de Ornamentales y el utilizado en el experimento.

Cuadro 2. Costos diferenciales de los tratamientos aplicados en portainjertos de aguacate. Zamorano, Honduras, 2002.

Costos (\$/1000 plantas)	Tratamientos					
	AM+	A	BM+	B	CM+	C
Mycoral	24.24		24.24		24.24	
Mano de Obra: inocular	7.54		7.54		7.54	
fertilizar			7.64	7.64	7.64	7.64
Fertilizantes			2.45	2.45	4.89	4.89
Total costos que varían	31.79		41.87	10.08	44.31	12.53
<i>Costos comunes</i>	<i>590.68</i>	<i>590.68</i>	<i>590.68</i>	<i>590.68</i>	<i>590.68</i>	<i>590.68</i>
<i>Costos totales</i>	<i>622.47</i>	<i>590.68</i>	<i>632.55</i>	<i>600.76</i>	<i>634.99</i>	<i>603.20</i>

^x A= 0% cantidad de fertilizantes; B= 50% cantidad de fertilizantes; C= cantidad de fertilizantes completa.; M+= con micorriza, M-= sin micorriza.

^yTasa de cambio: Lps 16.50/dólar

5. CONCLUSIONES

- La VAM mejoró la capacidad de los portainjertos para absorber y aprovechar los nutrimentos aportados por la fertilización.
- Las plantas sin fertilización y con VAM presentaron mejor adaptación a la baja disponibilidad de nutrimentos en el medio.
- La fertilización tuvo marcados efectos sobre el establecimiento y desarrollo de la VAM, a medida que aumentó la cantidad de fertilizante aplicada, hubo menor colonización del hongo en las raíces.
- Cantidades nulas o altas de fertilizante reprimieron el crecimiento de la planta y limitaron la eficiencia de la simbiosis.
- El mejor tratamiento fue de 50% de la cantidad de fertilizantes con VAM, seguido por 50% de la cantidad de fertilizantes sin VAM, encontrándose diferencias entre ambos en la mayoría de variables.
- La inoculación de portainjertos con VAM representó una pequeña parte de los costos de producir una planta de aguacate.

6. RECOMENDACIONES

- En la producción de portainjertos de aguacate se debe inocular las plantas con VAM y aplicar el 50% de la fertilización.
- Inocular con VAM al momento de la siembra, transplante a bolsa y campo.
- En próximos estudios fraccionar la fertilización en intervalos más cortos para determinar con mayor exactitud la cantidad de fertilizante que permita un mayor crecimiento de la planta y eficiencia de la simbiosis.
- Establecer ensayos que permitan evaluar el efecto de Mycoral[®] en la producción del árbol, tomando en cuenta la calidad y cantidad de producto.
- Evaluar el efectos de la VAM sobre enfermedades fungosas del suelo como la tristeza de aguacatero (*Phytophthora cinamomi*), para lo cual se debe realizar inoculación del patógeno para garantizar una infección.
- Determinar el efecto de funguicidas como benomyl y phosethy-al en el establecimiento y desarrollo de VAM, tanto al aplicarlos a la semilla como al follaje.
- En futuros experimentos evaluar el contenido de nutrimentos en el follaje y validarlo estadísticamente.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Azcón, R. 2000. Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. *In: Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Eds. Alarcón, A.; y Ferrera, R. Montecillo, México. Colegio de Postgraduados. p. 1-15.

Azcón, C.; Bago, B. 1994. Physiological characteristics of the host plant promoting an undisturbed functioning of the micorrhizal symbiosis. *In: Impact of arbuscular mycorrhizae on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Eds. Gianinazzi, S.; Schüepp, H. Verlag Basel, Switzerland. Birkhäuser. p. 47-59.

Baraona, M.; Sancho, E. 1991. Fruticultura especial aguacate y mango. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia. 86 p.

Brundrett, M.; Bougher, N.; Grove, T.; Malajczuk, N. 1996. Working with micorrhizae in forestry and agriculture. Canberra, Australia. ACIAR Monograph. 374 p.

Calabrese. 1992. El aguacate. Madrid, España. Mundi Prensa. 249 p.

Chirinos, H. 1999. El aguacatero. La fertilización en aguacate (*Persea americana*). Consultado 18 de octubre 2002. Disponible en <http://www.aproam.com/aguater9.htm#2>.

CIMMYT. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. México D.F., México. CYMMYT. 79 p.

Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia (FNCC). 1994. El cultivo del aguacate. Bogota, Colombia. FNCC. 28 p.

Gallo, L. 1995. Sustainable agriculture: the role of integrated management of root rot (*Phytophthora cinnamomi*) in avocado (*Persea americana*). España. Consultado el 10 de octubre 2002. Disponible en <http://www.agricta.org/pubs/std/vol2/pdf/308.pdf>.

Gupta. R.; Kumar P. 1999. Mycorrhizal plants in response to adverse environmental conditions. *In: Mycorrhizal biology*. Eds. Mukerji, K.; Chamola, B.; J. Singh, S. New York, USA. Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 57-64.

Gupta, V.; Satyanarayana, T; Garg, S. 1999. General aspects of mycorrhizal. *In: Mycorrhizal biology*. Eds. Mukerji, K.; Chamola, B.; J. Singh, S. New York, USA. Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 27-40.

Jakobsen, I.; Joner, E.; Larsen, J. 1994. Hyphal phosphorus transport, a keystone to mycorrhizal enhancement of plant growth. *In: Impact of arbuscular mycorrhizae on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Eds. Gianinazzi, S.; Schüepp, H. Verlag Basel, Switzerland. Birkhäuser. p. 133-145.

Kurle, J.; Pflieger. 1994. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi. *In: Mycorrhizae and plant health*. Eds. Pflieger, F.; Linderman, R. Minnesota, USA. The American Phytopathological Society. p. 101-131.

Linderman, R. 1994. Role of VAM fungi in biocontrol. *In: Mycorrhizae and plant health*. Eds. Pflieger, F.; Linderman, R. Minnesota, USA. The American Phytopathological Society. p. 1-26.

Miller, R.; Jastrow, J. 1994. Vesicular – arbuscular mycorrhizae and biogeochemical cycling. *In: Mycorrhizae and plant health*. Eds. Pflieger, F.; Linderman, R. Minnesota, USA. The American Phytopathological Society. p.189-212.

Raddatz, E. 1997. Nuevas tecnologías para reforestar. Conferencia Corpocuenas. Cali, Colombia. 6 p.

Raina, S.; Chamola, B.; Mukerji, K. 1999. Evolution of Mycorrhizal. *In: Mycorrhizal biology*. Eds. Mukerji, K.; Chamola, B.; J. Singh, S. New York, USA. Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 1-20.

Sanchez, M.; Honrubia, M. 1994. Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. *In: Impact of arbuscular mycorrhizae on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Eds. Gianinazzi, S.; Schüepp, H. Verlag Basel, Switzerland. Birkhäuser. p. 167-178.

Safir, G. 1994. Involvement of cropping systems, plant produced compounds and inoculum production in functioning of VAM fungi. *In: Mycorrhizae and plant health*. Eds. Pflieger, F.; Linderman, R. Minnesota, USA. The American Phytopathological Society. p. 239-259.

Schenck, N. 1982. Methods and principles of mycorrhizal research. Minnesota, USA. APS. 244 p.

Sieverding, E. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn, Germany. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 184 p.

Singh, R.; Adholeya, A.; Mukerji, K. 1999. Mycorrhizal in control of soil borne pathogens. *In: Mycorrhizal biology*. Eds. Mukerji, K.; Chamola, B.; J. Singh, S. New York, USA. Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 173-191.

Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado. D.F., México. Mundi Prensa. 215 p.

Vyas, S. 1999. Effect of agrochemicals on mycorrhizae. *In*: Mycorrhizal biology. Eds. Mukerji, K.; Chamola, B.; J. Singh, S New York, USA. Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 289-322.

Anexo 1. Análisis de 100g de pulpa de aguacate Hass.

Fibra	0.4 g
Carbohidratos	5.9 g
Proteínas	1.8 g
Grasa total	18.4 g
Acidos grasos	
Saturados	3.0 g
Monoinsaturados	8.9 g
Poliinsaturados	2.0 g
Retinol (A)	17.00 mg
Tiamina	0.10 mg
Riboflavina	0.10 mg
Niacina	1.80 mg
Vitamina C	15.00 mg
Vitamina E	1.53 mg
Vitamina B6	0.25 mg
Folate	10.00%
Ácido pantoténico	0.87 mg
Calcio	24.00 mg
Hierro	0.50 mg
Magnesio	45.00 mg
Sodio	4.00 mg
Potasio	604.00 mg
Zinc	0.42 mg
Kilocalorías	181.00 kc

Fuente: Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado: Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. D.F., México. Mundi Prensa. p. 7.

Anexo 2. Funciones de los nutrimentos y síntomas de deficiencia nutrimental en el aguacatero.

ELEMENTO	FUNCIONES	SINTOMAS DE DEFICIENCIA
Nitrógeno (N)	<ul style="list-style-type: none"> * Forma parte de todas la proteínas * Forma parte estructural de la clorofila 	<ul style="list-style-type: none"> * Restricción del crecimiento * Amarillamiento, reducción y caída prematura de las hojas * Frutos pequeños y escasos con bajos contenidos de N, P, K y Ca. * Plantas sensible a heladas
Fósforo (P)	<ul style="list-style-type: none"> * Fotosíntesis * Almacenamiento y transferencia de energía * Acelera la madurez * Formación de semilla 	<ul style="list-style-type: none"> * Reducción del crecimiento * Reducción del tamaño de las hojas y caída prematura de estas * Marchitamiento de hojas con presencia de quemaduras
Potasio (K)	<ul style="list-style-type: none"> * Activación de enzimas * Fotosíntesis * Resistencia a fitopatógenos * Calidad de fruto 	<ul style="list-style-type: none"> * Coloración café en el envés de la hoja * Manchas cloróticas entre las venas
Calcio (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> * Crecimiento y resistencia a enfermedades 	<ul style="list-style-type: none"> * Quemaduras en el ápice de la hoja * Rigidez de las células
Magnesio (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> * Activador enzimático * Forma parte de la clorofila * Respiración 	<ul style="list-style-type: none"> * Restricción del crecimiento * Amarillamiento de la hojas con manchas café en los márgenes
Azufre (S)	<ul style="list-style-type: none"> * Síntesis de aminoácidos y proteínas * Fotosíntesis 	<ul style="list-style-type: none"> * Amarillamiento de hojas y necrosis en los márgenes
Zinc (Zn)	<ul style="list-style-type: none"> * Activación enzimático 	<ul style="list-style-type: none"> * Amarillamiento internerval de la hojas jóvenes * Hojas pequeñas * Arrocetamiento de los brotes * Frutos pequeños
Hierro (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> * Fotosíntesis * Síntesis de proteínas * Respiración * Transferencia de energía 	<ul style="list-style-type: none"> * Hojas jóvenes amarillas con nervaduras verdes
Cobre (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> * Fotosíntesis 	<ul style="list-style-type: none"> * Coloración café rojiza de las nervaduras de las hojas * Defoliación premature * Brotación anormal
Manganeso (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> * Crecimiento * Reproducción 	<ul style="list-style-type: none"> * Clorosis intervenla * Manchas necróticas en las hojas * Amarillamiento internerval
Boro (B)	<ul style="list-style-type: none"> * Crecimiento, reproducción, floración y desarrollo de fruto 	<ul style="list-style-type: none"> * Caída de hojas * Hojas nuevas secas, enrolladas y quebradizas
Cloro (Cl)	<ul style="list-style-type: none"> * Fotólisis del agua en al fotosíntesis 	<ul style="list-style-type: none"> * Clorosis generalizada de la hojas
Molibdeno (Mo)	<ul style="list-style-type: none"> * Reducción de nitratos 	<ul style="list-style-type: none"> * No se tiene evidencias

Fuente: Téliz, D. 2000. El aguacate y su manejo integrado: Fertilización y Nutrición. D.F., México. Mundi Prensa. p. 105.

Anexo 3. Análisis del contenido de fósforo en el medio de cultivo utilizado por la Sección de Ornamentales.

Anexo 4. Análisis del contenido de fósforo en el medio de crecimiento preparado para el ensayo.

Anexo 5. Método para el aislamiento de esporas.

SUGERENCIAS:

- A. Utilizar equipo apropiado para mayor seguridad y protección personal (anteojos, guantes y delantal).
- B. Todas las etapas que incluyan calentamiento de químicos deben ser manejadas y supervisadas cuidadosamente.

PROCEDIMIENTO

1. Seleccione en el campo un cultivo de interés y obtenga una muestra compuesta (varias submuestras) de por lo menos 100 g de suelo o medio de crecimiento.
2. En el laboratorio, pese 100 g. de la muestra de suelo o medio de crecimiento recolectado para iniciar el proceso lo más pronto posible para evitar la desecación de las esporas.
3. Vacíe esta submuestra en un envase de 4.0 L y, utilizando una manguera delgada, aspérgela con un fuerte chorro de agua para separar las partículas de suelo. Llénelo hasta 3.0 L y deje reposar por 15–30 segundos (suelos arenosos requieren menos tiempo).
4. Coloque tres tamices (425, 250 y 75 micrometros) uno sobre otro con el de mayor número de micrometros encima, para extraer las esporas.
5. Vacíe la mezcla sin perturbar el sedimento y pásela por los tamices. Repita el proceso una vez. El tamaño del tamiz refleja el tamaño de las esporas deseadas; así, esporas de *Glomus etunicatum* pueden ser recolectadas en un tamiz de 63 micrones, las cuales estarán relativamente libres de material inerte si antes se usa un tamiz de 200 micrones.
6. Transfiera el material filtrado a un tubo para centrifugación con 50 ml de capacidad. Use un embudo pequeño de chorro fino para evitar pérdidas del material filtrado. Enjuague cuidadosamente el tamiz para recolectar la mayoría de las esporas en los tubos. De ser necesario, añada agua hasta aproximadamente un centímetro del borde del tubo.
7. Centrifugue a 3000 rpm por 3 minutos ó 2000 rpm por 5 minutos. No utilice el freno de la centrifuga. Vacíe la mezcla en solución sin perturbar el sedimento (las esporas están mezcladas con el sedimento).
8. Al tubo con sedimento, agregue una solución de sucrosa al 40% (p/v). Agite hasta que el sedimento quede en suspensión y centrifugue inmediatamente a 3000 rpm por un minuto. No utilice el freno de la centrifuga. Vacíe la solución en un tamiz de 45 micrometros evitando salpicar agua. Enjuague las esporas cuidadosamente durante un minuto para remover la sucrosa y evitar deshidratación. Elimine el sedimento.
9. Transfiera las esporas a un tubo para centrifuga y afore a 25 ml.

10. Coloque 1.0 ml de la solución con esporas en un plato de petri plástico de 5 cm de capacidad. Observe en el estereoscopio. Si desea guardar la solución con esporas, séllela con papel parafinado y almacénela en el refrigerador a 4 °C.

Método por:

JARSTFER, A.G. 1963. University of Florida, Soil Science Department, 2171 McCarty Hall, Gainesville, FL 32611-0151 USA. Plant Dis. Rep. 48:692.

Anexo 6. Concentración de nutrimentos en el follaje de plantas de aguacate con presencia y sin presencia de síntomas foliares de deficiencia nutricional, 124 días después de la siembra. Zamorano, Honduras, 2002.

Muestra ^x	Nutrimentos ^y								
	%					ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
A con síntoma	1.05 d	0.07d	1.26 nd	1.31nd	0.32 nd	7 nd	96 nd	118 nd	12.00d
AM+ con síntoma	1.20 d	0.10 nd	1.28 nd	1.23 nd	0.35 nd	10 nd	97 nd	121nd	19.00d
A sin síntoma	1.40 d	0.11 nd	1.19 nd	0.83 nd	0.25 nd	7 nd	71nd	74 nd	15.00d
A M+ sin síntoma	1.57 d	0.13 nd	1.29 nd	1.12 nd	0.30 nd	9 nd	81nd	108 nd	19.00d
B	2.15 nd	0.11 nd	1.62 nd	0.93 nd	0.28 nd	5 nd	71nd	83 nd	29 nd
B M+	2.51 nd	0.23 nd	1.37 nd	0.88 nd	0.28 nd	10 nd	92 nd	126 nd	29 nd
C	2.30 nd	0.13 nd	1.64 nd	1.22 nd	0.31nd	5 nd	68 nd	186 nd	17.00d
CM+	2.75 nd	0.19 nd	1.65 nd	1.40 nd	0.32 nd	7 nd	101nd	185 nd	29 nd

^x A= sin fertilización; B= 50% cantidad de fertilizante; C= cantidad completa de fertilizante; M+= con micorriza; M-= sin micorriza

d: deficiencia

^y d= deficiencia; nd= no deficiencia

Para realizar el análisis foliar se tomaron ocho hojas al azar de las plantas por cada tratamiento. En el caso de los tratamientos sin fertilización, se detectaron síntomas de deficiencia nutricional en el follaje, por lo cual se procedió a recolectar 16 hojas al azar de cada tratamiento, ocho con síntomas y ocho sin síntomas.

Anexo 7. Incidencia y severidad de síntomas foliares por deficiencia de nutrimentos en portainjertos de aguacate con y sin micorriza al no fertilizar, 110 días después de la siembra. Zamorano, Honduras, 2002.

M-			M+		
Repetición	Planta	Severidad*	Repetición	Planta	Severidad*
R1	A1	7.50	R1	A1	0.89
	A2	2.92		A2	1.10
	A3	1.63		A3	0.17
	A4	1.71		A4	0.00
	A5	0.47		A5	0.18
	A6	1.80		A6	3.00
R2	A1	0.42	R2	A1	2.50
	A2	0.00		A2	2.42
	A3	0.25		A3	0.69
	A4	0.00		A4	0.00
	A5	0.36		A5	0.73
	A6	0.83		A6	1.00
R3	A1	1.00	R3	A1	1.13
	A2	1.79		A2	3.58
	A3	3.00		A3	0.00
	A4	5.08		A4	0.63
	A5	0.69		A5	0.20
	A6	1.00		A6	0.00
R4	A1	0.36	R4	A1	1.00
	A2	3.82		A2	0.79
	A3	2.00		A3	0.14
	A4	0.07		A4	1.00
	A5	2.00		A5	5.22
	A6	2.13		A6	1.44
Total		40.83	Total		27.81
Promedio		1.70	Promedio		1.16
Incidencia		0.92	Incidencia		0.83
Severidad		12%	Severidad		17%

*Escala de 1-10, donde uno representa severidad mínima y 10 máxima.

La valoración de la incidencia del síntoma se realizó en todas las hojas y se obtuvo un promedio por planta.

Anexo 8. Fotografía de hoja con síntoma de deficiencia de nutrientes. Severidad del 100%, valor que corresponde a 10 en la escala empleada.



Anexo 9. Guía para el análisis foliar de aguacates . Diagnóstico nutricional

Elemento	Unidad	Rangos		
		Deficiencia (menos de)	Adecuado	Exceso (más de)
Nitrógeno	%	1.60	1.60~2.00	2.00
Fósforo	%	0.05	0.08~0.25	0.30
Potasio	%	0.35	0.75~2.00	3.00
Calcio	%	0.50	1.00~3.00	4.00
Magnesio	%	0.15	0.25~0.80	1.00
Azufre	%	0.05	0.20~0.60	1.00
Boro	ppm	10~20	50~100	100~250
Hierro	ppm	20~40	50~200	
Manganeso	ppm	10~15	30~500	1000
Zinc	ppm	10~20	30~150	300
Cobre	ppm	2~3	5~15	25.00
Cloro	%			0.25~0.50
Sodio	%			0.25~0.50

Guía elaborada por la Universidad de California Riverside y adaptada d Gooll *et al.* en 1965. Se toma como guía en el análisis foliar para diagnosticar el estado nutricional de árboles de aguacate adultos.

Fuente: Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. El cultivo del aguacate (1994).

Anexo 10. Costos de producción por actividad para 1000 portainjertos de aguacate.

COSTOS COMUNES				
DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	TOTAL (\$)
ELABORACIÓN DE MEDIO DE CULTIVO				172.141
Insumos				
Aserrín	m ³	0.650	4.850	3.153
Tierra	m ³	2.600	6.061	15.758
Arena	m ³	1.300	6.554	8.520
Cal	lb	18.000	0.033	0.589
Mano de obra				
Preparación	hora/hombre	12.000	0.545	6.545
Varios				
Transporte	viaje	1.000	16.364	16.364
Pasteurización	troco	2.000	60.606	121.212
PREPARACIÓN Y SIEMBRA DE LA SEMILLA				255.913
Insumos				
Semilla	u	1000.000	0.212	212.121
Benlate	g	120.000	0.030	3.636
Vasos desechables	u	1000.000	0.015	15.152
Mano de obra				
Extraer	hora/hombre	4.170	0.545	2.275
Escarificar	hora/hombre	25.000	0.545	13.636
Sembrar	hora/hombre	16.670	0.545	9.093
TRANSPLANTE				92.125
Insumos				
Bolsas	u	1000.000	0.030	30.303
Mano de obra				
Lenar	hora/hombre	21.670	0.545	11.820
Acarrear	hora/hombre	66.670	0.545	36.365
Transplantar	hora/hombre	25.000	0.545	13.636
RIEGO				65.458
Insumos				
Agua	m ³	37.330	0.380	14.185
Mano de obra				
Regar	hora/hombre	94.000	0.545	51.273
CONTROL DE MALEZAS				1.544
Mano de obra				
Deshierba	hora/hombre	2.830	0.545	1.544
CONTROL DE PLAGAS				3.499
Insumos				
Benlate	g	12.000	0.030	0.364
Insectrol	g	100.000	0.002	0.182
Aliete	g	51.000	0.030	1.515
Adherente	cc	25.000	0.003	0.076
Mano de obra				
Aplicar	hora/hombre	2.500	0.545	1.364

COSTOS DIFERENCIALES				
DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	TOTAL (\$)
INOCULACIÓN DE LA SEMILLA				12.091
Insumos				
Mycoral	kg	30.000	0.303	9.091
Mano de obra				
Inocular	hora/hombre	5.500	0.545	3.000
INOCULACIÓN DE PLÁNTULA				19.695
Insumos				
Mycoral	kg	50.000	0.303	15.152
Mano de obra				
Inocular	hora/hombre	8.330	0.545	4.544
FERTILIZACIÓN (50%)				10.083
Insumos				
Urea	lb	7.020	0.082	0.574
Nitrato de Potasio	lb	7.020	0.267	1.872
Mano de obra				
Fertilizar	hora/hombre	14.000	0.545	7.636
FERTILIZACIÓN (100%)				12.526
Insumos				
Urea	lb	14.030	0.082	1.148
Nitrato de Potasio	lb	14.030	0.267	3.741
Mano de obra				
Fertilizar	hora/hombre	14.000	0.545	7.636

Tasa de cambio: Lps 16.50/dólar