

**SIMBIOSIS MICORRÍZICA Y VERMICOMPOSTA EN EL DESARROLLO DE
PORTAINJERTOS DE AGUACATE CRECIDOS EN SUSTRATOS AGRÍCOLA Y
FORESTAL**

**MYCORRHIZAL SYMBIOSIS AND EARTHWORM COMPOST ON AVOCADO
ROOTSTOCK DEVELOPMENT GROWN ON AGRICULTURAL
AND FOREST SOIL**

Juan C. Reyes Alemán¹, Ronald Ferrera-Cerrato², José I. Cortés Flores³ y Alejandro Alarcón²

RESUMEN. Se evaluó el desarrollo de portainjertos de aguacate creciendo en un sustrato alternativo al suelo forestal el cual consistió de suelo agrícola + arena (1/1 v/v), en ellos, se inocularon plantas de aguacate de raza mexicana con hongos micorrízicos y se adicionó vermicomposta durante el trasplante. Se tomaron lecturas de parámetros agronómicos, fisiológicos y colonización micorrízica a los 90, 150 y 200 días del trasplante. Se encontró que el suelo agrícola solo, incrementó el diámetro de tallo de planta, actividad fotosintética y conductancia estomática en forma más eficiente que el suelo forestal, la inoculación con hongos micorrízicos favoreció el desarrollo de planta e incrementó la tasa fotosintética, la vermicomposta favoreció altura de planta, relación parte aérea / raíz, fotosíntesis y conductancia estomática. En interacción sustrato x vermicomposta, el suelo agrícola favoreció el desarrollo de planta sin adición de vermicomposta, y el suelo forestal lo hizo solo al ser adicionada. La micorriza y vermicomposta tendieron a aumentar el contenido de N y P en la planta.

Palabras clave: *Glomus*, vermicomposta, aguacate, propagación, sustrato.

SUMMARY. It was evaluated the avocado rootstock development growth on a substrate consisting of agricultural soil + river sand (1/1 v/v), plants of Mexican Race were inoculated with mycorrhizal fungus and added with earthworm compost during the transplant. Plants were measured 90, 150 and 200 days after transplanting. It was found that agricultural soil increased stem diameter of plant and photosynthesis. The earthworm compost increased height plant, shoot root ratio, photosynthesis and stomatal conductance. On the interaction substrate x earthworm compost, agricultural soil increased plant development without addition of earthworm compost, and the forest soil increased plant development only when earthworm compost was added. Existed a tendency to increase N and P plant content due to mycorrhiza and earthworm compost.

Key words: *Glomus*, earthworm compost, avocado, propagation, substrate.

¹ Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C. ,Ignacio Zaragoza 6 Coatepec Harinas, Méx. C.P. 51700. Tel: (714) 50160

² Area de Microbiología, Especialidad de Edafología. IRENAT-CP, Carretera México-Texcoco, km 36.5 Montecillo, Méx. CP 56230.

³ Area de Fertilidad, Especialidad de Edafología. IRENAT-CP, Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, MéxicoCP 56230.

INTRODUCCIÓN

En México 16 Estados cultivan aguacates en forma comercial en una superficie aproximada de 124,000 ha., Michoacán es el principal estado productor con la variedad Hass, el 75 % de las plantaciones se encuentran en producción y el 25 % restante aún en desarrollo (Sánchez y Rubí, 1994).

En México, la propagación de aguacate se ha realizado utilizando suelo forestal como sustrato de crecimiento, lo cual ha provocado un deterioro ecológico. En el Estado de México no se cuenta con cifras exactas respecto a volúmenes de mantillo utilizado para este fin, pero su uso junto con el problema de la deforestación, sobrepastoreo, incendios y otros, promueven la degradación de terrenos forestales y de zonas arboladas facilitando la erosión y pérdida del suelo. (PROBOSQUE, 1994). En vivero para producir plantas de aguacate sin provocar daños excesivos a la ecología, se desarrollan tecnologías de carácter biológico, de bajo costo que pueden hacer más eficiente el uso de sustratos alternativos como el suelo agrícola.

En el proceso de propagación, 5 factores son fundamentales en el desarrollo de plantas: luz, agua, temperatura, aireación y nutrición (Hartmann *et al.* 1990). Los materiales más utilizados como sustrato de vivero han sido; suelo, arena, peat moss, vermiculita, turba, perlita, pómx, aserrín, corteza de árbol, agregados plásticos sintéticos y compostas.

Algunas mezclas de sustratos se han desarrollado eficientemente en otros países, como la UC # 2 de la Universidad de California que consiste en $\frac{1}{2}$ arena, $\frac{1}{4}$ peat moss, $\frac{1}{4}$ composta de madera nitrogenada, más la adición de nutrimentos (Whitsell *et al.* 1989). Esta mezcla es utilizada para la germinación y desarrollo inicial de plantas de aguacate, luego son transplantadas en una mezcla de suelo, posteriormente son injertadas para su desarrollo final. En México, se han estudiado estrategias biológicas en vivero, como la simbiosis micorrízica y vermicomposta (Ferrera-Cerrato, 1995), cuyo manejo puede disminuir al máximo la utilización de suelo forestal e incrementar el desarrollo de la planta.

Los hongos micorrízicos-arbusculares en la propagación de frutales son una práctica ecológica eficiente. Los hongos establecen una asociación natural que favorece la nutrición de planta al inocularse en vivero (Alarcón, 1997; Ferrera-Cerrato, 1995) aunque también se encuentra en forma natural en plantaciones de aguacate (Hass y Menge, 1990), donde son eliminados comúnmente por las prácticas agrícolas.

La vermicomposta como fuente de materia orgánica producida por la lombriz de tierra, posee características de conservación de la humedad, aumentar el contenido nutrimental y la actividad fitohormonal, su utilización en vivero podría reducir al máximo el uso de fertilizantes químicos (Grappelli, 1985). Al ser adicionada, la vermicomposta podría satisfacer las necesidades nutrimentales de la planta durante el periodo vegetativo de vivero. Por lo que ambas tecnologías pueden resultar eficientes en la sustitución del suelo forestal, de tal manera que en la presente investigación se tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia de la simbiosis micorrízica y la adición de vermicomposta en el desarrollo y fisiología de plantas de aguacate desarrollando en un sustrato de suelo agrícola utilizado como alternativa al suelo forestal.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales utilizados fueron; arena de río (1 a 2 mm de diámetro), suelo agrícola de Montecillo, Méx., suelo forestal proveniente del municipio de Coatepec Harinas, Méx. La vermicomposta se elaboró con paja de trigo mediante la lombriz de tierra *Eisenia andrei* (Bouché) en el módulo de vermicomposteo perteneciente a la Sección de Microbiología de suelos del Colegio de Postgraduados (Cuadro 1). La cepa *Glomus* sp. "Zac-19" es un complejo de especies del género *Glomus* sp. integrado por *G. diaphanum*, *G. albidum* y *G. claroides* (Chamizo *et al.*, 1998) propagada en la misma Sección. El portainjerto provino de semilla de árboles criollos Raza Mexicana (*Persea americana* Mill.) de 30 años de edad denominados "Tolimanes" localizado en el Centro Experimental "La Cruz" de la Fundación Salvador Sánchez Colín.

Siembra de la semilla y manejo de plántulas

El sustrato de germinación, fue una mezcla de arena y vermicomposta (8:2 v/v) esterilizado con vapor. El trasplante se realizó 4 meses después de la siembra en bolsas de polietileno oscuras de 3 L; en este momento se aplicaron los tratamientos. Como complemento nutricional se adicionó la solución nutritiva de Hoagland a los 130 y 160 días después del trasplante.

Cuadro 1. Contenido de N P K en los sustratos de crecimiento.

Mezcla de sustrato	N (%)	P	K
		Olsen ppm	NH ₄ Oac 1N Ph 7 Meq/100 g
Suelo agrícola ¹	0.01	8	0.63
Suelo agrícola ¹ + Vermicomposta ²	0.41	135	3.40
Suelo forestal	0.80	3	0.54
Suelo forestal + Vermicomposta ²	0.76	38	4.48
Vermicomposta	0.23 (NO ₃ meq / L)	411	32.0 (meq/L)

¹ Suelo agrícola = suelo agrícola + arena (1:1 v/v), ² adicionada en la maceta al 12%

Aplicación de tratamientos

Se utilizó la mezcla suelo agrícola + arena (1:1, v/v) y suelo forestal, en ellos se hizo el trasplante. Los tratamientos se indican en el Cuadro 2. El inóculo micorrízico se aplicó a razón de 10 g planta⁻¹, La vermicomposta, 12 % maceta⁻¹. Los parámetros se evaluaron a los 90, 150 y 200 días después del trasplante (Cuadro 3).

Diseño experimental y de tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar y un diseño de tratamientos factorial 2³.

Cuadro 2. Lista de tratamientos.

Número de Tratamiento	Sustrato	Vermicomposta (% en la maceta)	Micorriza (g planta ⁻¹)
1	Suelo agrícola ¹	0	0
2	Suelo agrícola ¹	0	10
3	Suelo agrícola ¹	12	0
4	Suelo agrícola ¹	12	10
5	Suelo forestal	0	0
6	Suelo forestal	0	10
7	Suelo forestal	12	0
8	Suelo forestal	12	10

¹ Suelo agrícola = suelo agrícola + arena (1:1 v/v)

Cuadro 3. Variables agronómicas y fisiológicas.

Variables agronómicas		Variables fisiológicas
Altura de planta	Tasa de crecimiento relativo	Actividad fotosintética
Díametro de tallo		Conductancia estomática
		Contenido nutrimental en hoja y tallo
		Colonización micorrízica

Evaluación de parámetros

La Colonización Endomicorrízica se determinó por el método de Clareo y Tinción. El conteo de estructuras por el método de Phillips y Hayman (1970), Refiriéndose a los segmentos con presencia de arbusculos, vesículas e hifas de acuerdo a Giovannetti (1985).

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados}}{\text{Número total de segmentos observados}} \times 100$$

El área foliar se determinó con un integrador de área LI-COR, modelo LI-3100, la tasa de crecimiento relativo de acuerdo a Hurtado y Sieverding (1986).

$$\text{TCR (cm}^3 \text{ día}^{-1}) = \frac{\text{Biovolumen}}{\text{Días después de la aplicación de tratamientos}}$$

$$\text{Biovolumen} = \pi \left(\frac{\text{diámetro}}{2} \right)^2 \times \text{altura}$$

La fotosíntesis y conductancia estomática se determinó mediante un analizador de gases infrarrojo (IRGA) portátil modelo Li-6200 (LI-COR Inc) (Long, 1981). El contenido de nitrógeno en hojas y tallo se determinó mediante el método Microkjeldhal y el fósforo por el método Colorimétrico Vanadato-Molibdato.

Lugar de realización

El trabajo fue realizado en el invernadero y laboratorio del Área de Microbiología de Suelos del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, México.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura y diámetro

El crecimiento en altura y diámetro del tallo de la planta fue afectado por los tratamientos con mayor claridad a partir de los 150 días después del transplante. Fue afectado principalmente por el sustrato, la micorriza, la vermicomposta y la interacción sustrato x vermicomposta (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento de altura y diámetro de la planta a los 90, 150 Y 200 días después del transplante.

Tratamientos				Altura (cm)				Diámetro de tallo (cm)			
Sustrato	Vermicomposta (%)	Micorriza (g inóculo planta ⁻¹)	al transplante	a 90 días	a 150 días	a 200 días al transplante	a 90 días	a 150 días	a 200 días		
1 S. agrícola	0	0	35.5	46.9	69.2	80.0	0.48	0.48	0.74	0.90	
2 S. agrícola	0	10	31.3	40.1	58.6	96.1	0.44	0.49	0.65	1.0	
3 S. agrícola	12	0	33.9	40.5	58.9	74.5	0.45	0.47	0.57	0.83	
4 S. agrícola	12	10	33.3	40.3	56.4	95.0	0.45	0.45	0.61	0.87	
5 S. forestal	0	0	27.9	42.8	60.0	68.4	0.46	0.54	0.60	0.82	
6 S. forestal	0	10	27.2	41.4	57.6	76.0	0.43	0.57	0.68	0.85	
7 S. forestal	12	0	28.9	48.5	70.5	87.4	0.50	0.53	0.70	0.84	
8 S. forestal	12	10	32.0	44.0	59.7	98.0	0.49	0.51	0.65	0.96	
Significancia de las pruebas de F											
Sustrato (S)				**	NS	NS	NS	NS	**	NS	*
Micorriza (M)				NS	NS	*	**	NS	NS	NS	**
S x M				NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Vermicomposta (V)				NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
S x V				NS	NS	*	*	NS	NS	**	**
M x V				NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S x M x V				NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

NS = No significativo * = Significativo a P= 0.05 ** = Significativo a P = 0.01

El crecimiento del portainjerto llevado a cabo en suelo forestal con respecto al sucedido en suelo agrícola fue menor, no obstante que a los 90 días después de la aplicación de los tratamientos el diámetro de tallo del portainjerto había aumentado 0.07 cm de diámetro de tallo en suelo forestal, al final, a los 200 días de aplicados los tratamientos el suelo agrícola determinó un aumento en el diámetro de tallo

siendo este de 0.05 cm mas en comparación con el obtenido en suelo forestal. Lo anterior podría ser explicado en base a que hubo un bajo contenido de P y K en el suelo forestal en comparación con el suelo agrícola (Cuadro 1), lo cual pudo haber contrarrestando las características favorables de poseer un alto contenido de N y materia orgánica.

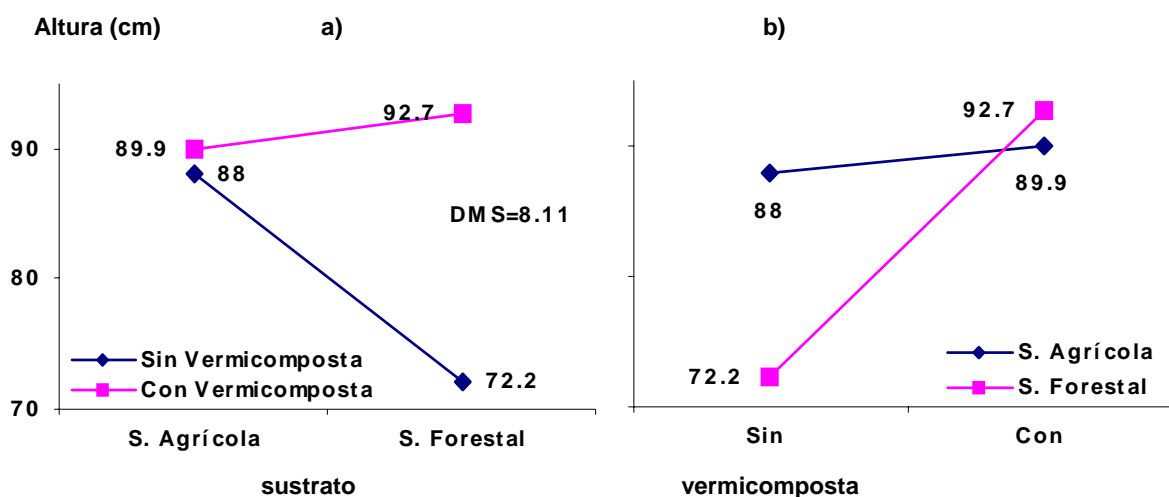


Figura 1. Efecto de la interacción **sustrato x vermicomposta** en altura de planta, 200 días después del transplante.

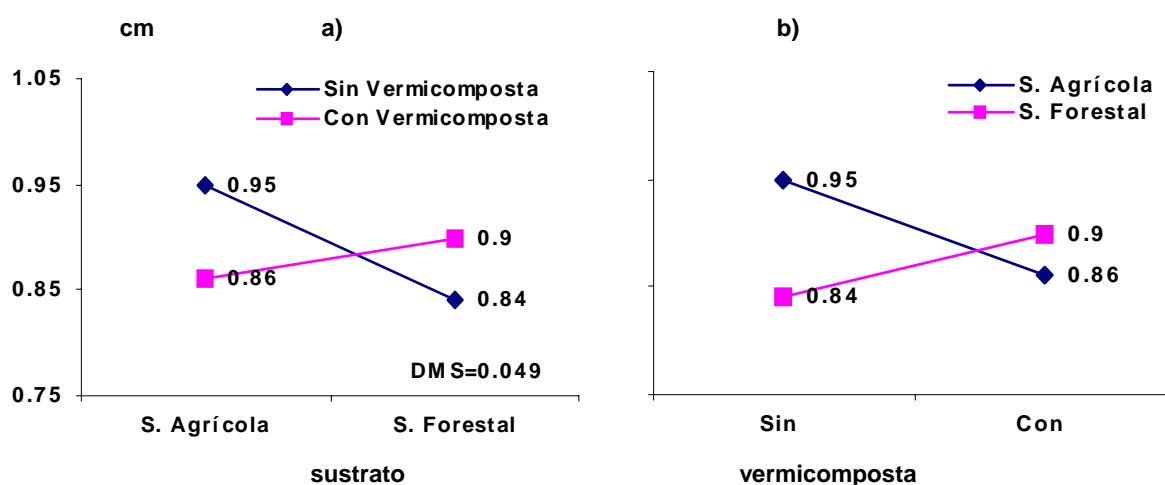


Figura 2. Efecto de la interacción **sustrato x vermicomposta** en el diámetro de tallo de planta, 200 días después del transplante.

El crecimiento en altura y diámetro de tallo de planta fue afectado de manera positiva por el tratamiento donde se inocularon hongos micorrízicos a la planta, efectos similares fueron reportados por Ginsburg y Avizhoar–Hershenson (1965) y Hall y Finch, (1974). 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, lo anterior sucedió no obstante que 50 días antes la altura había sido disminuido 6.7 cm en el tratamiento inoculado. La adaptación de los hongos micorrízicos pudo haberse desarrollado en forma lenta, muchas veces la colonización se limita cuando el sustrato de crecimiento de la planta es rico, o posiblemente que algunas especies tengan mayor facilidad de respuesta que otras como es el caso de papaya, piña y banana, en aguacate el efecto no fue inmediato pero se demostró el carácter micotrófico de la planta (Jaizme-Vega y Azcón, 1995).

La altura de planta de los portainjertos adicionados con vermicomposta con respecto a los no tratados fue mayor. A los 200 días después de haber sido aplicada, la altura del portainjerto aumentó 11.7 cm. La vermicomposta, manifestó su alto contenido de nutrimentos y materia orgánica al transferir estímulos para el desarrollo de planta.

La respuesta en el crecimiento del portainjerto expresado en altura y diámetro de la planta bajo efecto de la combinación sustrato y vermicomposta aumentó cuando el suelo agrícola actuó solo y cuando la vermicomposta se adicionó al suelo forestal el efecto tal fue similar a los 150 y 200 días después de aplicados los tratamientos. A los 200 días, la altura y diámetro de tallo aumentaron 15.8 y 0.11 cm respectivamente al actuar en suelo agrícola respecto con el suelo forestal, sin la adición de vermicomposta, cuando la vermicomposta fue aplicada hubo la tendencia a incrementarse 2.8 y 0.4 cm en suelo forestal con respecto al suelo agrícola (Figura 1 y 2). La vermicomposta provee los nutrimentos requeridos durante el ciclo vegetativo de la planta que permanece en la maceta mejorando al sustrato, lo anterior ha resultado exitoso en ornamentales (Tomati, *et al.*, 1993), y en diversas especies (García, 1999), adicionada al suelo forestal se observa que aumentó el contenido de P y K (Cuadro 1), esto pudo haber aumentado su efecto positivo. El suelo agrícola solo, fue un sustrato útil en la propagación de aguacate, el cual superó al suelo forestal. Aunque, al adicionar vermicomposta el mejor efecto fue en el forestal, elevándose el contenido de N (Tomati, 1993). Posiblemente, la combinación con el suelo agrícola debido a su pH (8.1) (Cuadro 1) no fue eficiente, así como alto contenido en sales de la vermicomposta (Santamaría, 1999).

Tasa de crecimiento relativo

El crecimiento de la planta expresado en base a la tasa de crecimiento relativo que presentaron las plantas durante el periodo de tiempo que estuvieron sometidas al efecto de los tratamientos, indican que el crecimiento fue afectado principalmente por la micorriza, la interacción sustrato x vermicomposta y la interacción sustrato x micorriza x vermicomposta (Cuadro 5). En la Figura 3 se observa la tendencia de la dinámica de crecimiento, después de los 150 días de aplicados los tratamientos las plantas comenzaron a crecer con mayor rapidez y presentar diferenciación entre tratamientos.

Cuadro 5. Dinámica de la Tasa de crecimiento relativo en el desarrollo de portainjertos de aguacate

Número de tratamiento	Tratamientos			al transplante	a 90 días	a 150 días	a 200 días
	Sustrato	Vermi Composta (%)	Micorriza (g inóculo planta ⁻¹)				
1	S. agrícola	0	0	0.043	0.096	0.200	0.26
2	S. agrícola	0	3	0.039	0.086	0.133	0.38
3	S. agrícola	12	0	0.037	0.082	0.105	0.20
4	S. agrícola	12	3	0.034	0.076	0.120	0.29
5	S. forestal	0	0	0.048	0.108	0.118	0.18
6	S. forestal	0	3	0.053	0.118	0.144	0.22
7	S. forestal	12	0	0.056	0.124	0.185	0.25
8	S. forestal	12	3	0.048	0.107	0.143	0.38

Significancia de las pruebas de F					
Sustrato (S)		**	**	NS	NS
Micorriza (B)		NS	NS	NS	**
S x M		NS	NS	NS	NS
Vermicomposta (V)		NS	NS	NS	NS
S x V		NS	NS	**	**
M x V		NS	NS	NS	NS
S x M x V		NS	NS	**	NS

NS = No significativo ** = significativo a p= 0.05 * = significativo a p=0.01

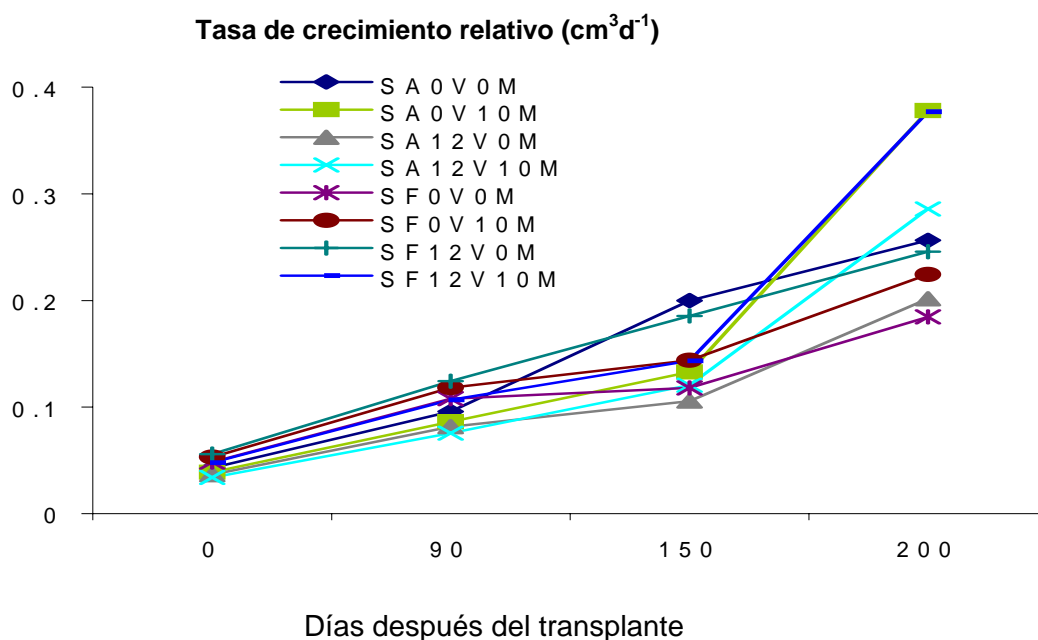


Figura 3. Dinámica de la Tasa de Crecimiento Relativo (SA= suelo agrícola, SF= suelo forestal, 0M= Sin micorriza, 10M= 10 g de inóculo micorrizado planta⁻¹, 0V= Sin vermicomposta, 12V= 12 % de vermicomposta adicionada al sustrato).

La tasa de crecimiento relativo de la planta inoculada con hongos micorrízicos con respecto a la no tratada fue mayor, 200 días después de aplicados los tratamientos el crecimiento aumentó $0.09 \text{ cm}^3\text{d}^{-1}$. El efecto benéfico de los hongos se manifestó en forma lenta, sin embargo, al final del experimento la tasa de crecimiento fue mayor por efecto de la micorriza. De acuerdo a lo anterior, parece ser que el transplante detiene temporalmente el crecimiento de planta, por lo tanto puede ser importante evaluar formas de inoculación del hongo micorrízico sin realización de transplante. De cualquier manera, la planta micorrizada aumentó su crecimiento como ha sido indicado por varios autores (González-Chávez, *et al.*, 1998).

La tasa de crecimiento relativo de la planta adicionada con vermicomposta fue afectada al interaccionar con el sustrato. A los 200 días después de aplicados los tratamientos la tasa de crecimiento relativo aumentó $0.12 \text{ cm}^3\text{d}^{-1}$ cuando el sustrato consistió de suelo agrícola con respecto al suelo forestal, por otra parte, cuando la vermicomposta se aplicó al suelo forestal se incrementó $0.05 \text{ cm}^3\text{d}^{-1}$ con respecto a su aplicación en suelo agrícola (figura 4). De acuerdo al objetivo de la investigación, el suelo agrícola es un sustituto apropiado del suelo forestal para promover el crecimiento de planta. La vermicomposta funcionó apropiadamente en suelo forestal, pero no en suelo agrícola como se ha explicado, debido posiblemente a las características de un alto pH del suelo agrícola así como elevado contenido en sales de la vermicomposta (Santamaría, 1999).

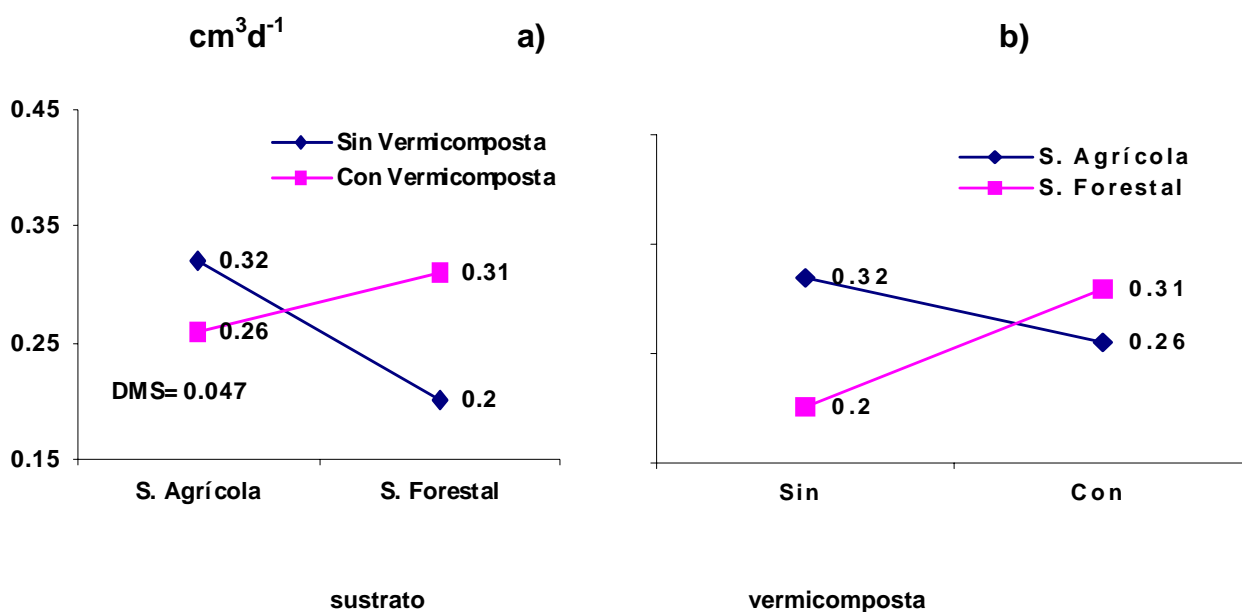


Figura 4. Efecto de la interacción **sustrato x vermicomposta** en la tasa de crecimiento relativo de planta, 200 días después del transplante.

Respuesta en parámetros fisiológicos

La actividad fotosintética y conductancia estomática durante el periodo de tiempo que estuvieron las plantas sometidas a los tratamientos fueron afectadas principalmente por el sustrato, la micorriza, la vermicomposta y la interacción de estos, sustrato x micorriza x vermicomposta (Cuadro 6). La fotosíntesis y conductancia estomática muestran una respuesta similar al efecto de los tratamientos que afectaron al crecimiento de la planta.

Fotosíntesis y Conductancia estomática

La actividad fotosintética y la conductancia estomática de la planta 200 días después de aplicados los tratamientos fueron afectadas por el sustrato, al crecer la planta en suelo agrícola aumentaron $6.9 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 0.04 cm s^{-1} respectivamente en comparación con el suelo forestal. La adición de vermicomposta en el sustrato presentó efecto similar en la planta, Las plantas adicionadas con la vermicomposta la aumentaron $3.2 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 0.06 cm s^{-1} respectivamente. Con la inoculación de hongos micorrízicos la fotosíntesis de la planta también se afectó, la micorriza la incrementó $3.6 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Cuadro 6. Efecto de tratamientos y significancia estadística en la fotosíntesis y conductancia estomática.

T r a t a m i e n t o s					
	Sustrato	Vermi composta (%)	Micorriza (g inóculo planta ⁻¹)	Fotosíntesis ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática (cm s^{-1})
1	S. agrícola	0	0	4.57	0.51
2	S. agrícola	0	10	18.74	0.16
3	S. agrícola	12	0	15.96	0.25
4	S. agrícola	12	10	9.8	0.11
5	S. forestal	0	0	4.27	0.10
6	S. forestal	0	10	1.28	0.05
7	S. forestal	12	0	3.53	0.07
8	S. forestal	12	10	12.46	0.16
Significancia de las pruebas de F					
Sustrato (S)				**	*
Micorriza (M)				*	NS
S x M				NS	NS
Vermicomposta (V)				*	**
S x V				NS	NS
M x V				NS	NS
S x M x V				**	**

NS = No significativo ** = Significativo a P = 0.05 * = Significativo a P = 0.01

El suelo agrícola favoreció el desarrollo de la planta en forma más eficiente que el suelo forestal, al permitir un crecimiento y mayor estímulo de la actividad

fotosintética . La micorriza produjo un efecto similar tanto en crecimiento como en fotosíntesis. La micorriza induce mayor capacidad para captar y aprovechar el P que será a la vez fuente para generar compuestos altamente energéticos como el ATP además de incrementar el flujo pasivo de fotosintatos de las células corticales (Schwab, *et al.* 1991; Alarcón, 1997). La vermicomposta por su parte tiene un alto contenido de fósforo, el P es un elemento fundamental que aporta la energía necesaria en el proceso de la fotosíntesis, en consecuencia, una adecuada fabricación de fotosintatos (Ryugo, 1993).

Las plantas que crecieron en sustrato agrícola y que tuvieron aplicación de vermicomposta aumentaron su conductancia estomática, de manera similar que la fotosíntesis, por lo que es posible señalar que el incremento en la conductancia estomática obedece a un aumento del intercambio gaseoso por una adecuada transpiración y actividad fotosintética de la planta. La función primaria de los estomas es la de regular la entrada de CO₂ y la transpiración del agua. Las dos células guardia y células adyacentes o subsidiarias constituyen el aparato estomático. Es importante saber que como la pérdida de agua así como la absorción de CO₂ sucede a través de los estomas, entonces hay una buena correlación entre la conductancia estomatal, la tasa a la cual un volumen de vapor de agua se mueve afuera de las hojas con la tasa fotosintética (Ryugo, 1993), por lo tanto el balance hídrico y la transpiración dependen de la apertura y cierre de los estomas así como de su densidad (Salisbury y Ross, 1985). Es importante señalar que la hora de lectura fue en la mañana antes de las 11:00 am, y las plantas fueron irrigadas un día antes, por lo que se evitó el estrés hídrico que encubriera las lecturas. Por otra parte, la micorriza no afectó la conductancia estomática pero otros autores encontraron lo contrario; Manjarrez (1997) encontró mayor tendencia en plantas de Chile donde estuvo presente la micorriza, al igual que Alarcón (1997) en cítricos, concluyó que tiene influencia en la regulación de la conductancia estomática, no obstante que en aguacate el efecto no fue significativo.

Contenido de nitrógeno en la planta

La función del hongo micorrízico y la actividad de la vermicomposta en suelo agrícola tuvieron una mayor tendencia en favorecer la translocación de N y P hacia la planta a diferencia del suelo forestal (Fig. 5), El hongo micorrízico también se ha encontrado que toma el N en forma inorgánica del suelo (Ames *et al.*, 1983). Se observa comparativamente una mayor acumulación de N en follaje que en tallo en los tratamientos (Fig. 5).

Contenido de fósforo en la planta

Se conoce respecto al mejor funcionamiento de la micorriza en suelos con bajo contenido de fósforo (Harley y Smith, 1983 citados por Gonzalez-Chávez *et al.*, 1998), tanto el suelo agrícola como el forestal presentaron bajo contenido de este elemento el cual es considerado alto cuando existen 18 ppm en un sustrato parecido (Alarcón, 1997). La vermicomposta cuando fue aplicada enriqueció considerablemente a los sustratos, además de proveerlos con un alto contenido de fósforo y potasio, también favoreció el aumento de nitrógeno en el suelo agrícola (Cuadro 1).

mg N g⁻¹ ms

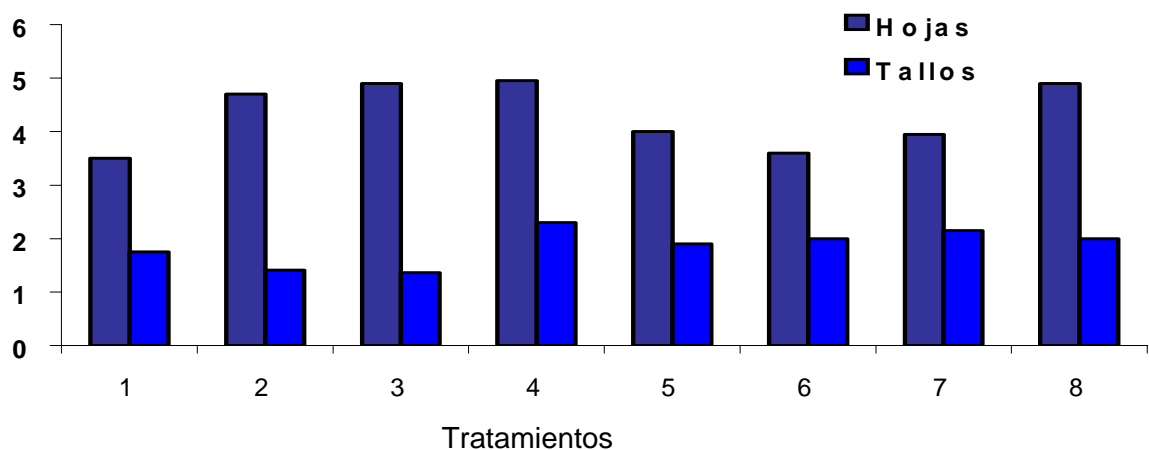


Figura 5. Distribución de nitrógeno en hoja y tallo de portainjertos de aguacate. 1= Suelo agrícola, 2= Suelo agrícola + Micorriza, 3= Suelo agrícola + Vermicomposta, 4= Suelo agrícola + Vermicomposta + Micorriza, 5= Suelo forestal, 6= Suelo forestal + Micorriza, 7= Suelo forestal + Vermicomposta, 8= Suelo forestal + Vermicomposta + Micorriza.

mg P g⁻¹ ms

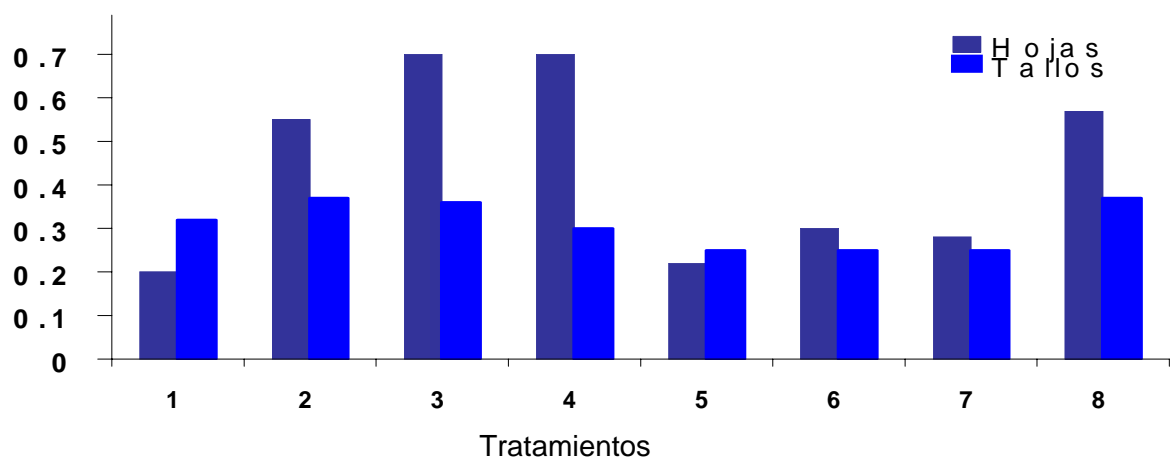


Figura 6. Distribución de fósforo en hoja y tallo de portainjertos de aguacate. 1= Suelo agrícola, 2= Suelo agrícola + Micorriza, 3= Suelo agrícola + Vermicomposta, 4= Suelo agrícola + Vermicomposta + Micorriza, 5= Suelo forestal, 6= Suelo forestal + Micorriza, 7= Suelo forestal + Vermicomposta, 8= Suelo forestal + Vermicomposta + Micorriza.

El fósforo aumentó su contenido en el follaje con la presencia de micorriza y/o vermicomposta, la función del hongo micorrízico y la actividad de la vermicomposta estimuló mayor translocación de N y P hacia la planta en comparación con el suelo forestal (Figura 6). La vermicomposta incrementa el contenido de K, así como P, Ca y Mg en la planta (García *et al.*, 1991). La micorriza tiene su mejor función en suelos con poco contenido de fósforo (Harley y Smith, citado por González-Chávez *et al.*, 1993), el fósforo en el suelo se mueve muy lentamente, pero su velocidad aumenta cuando se transloca dentro de la hifa del hongo, debido a la presencia de mecanismos de transporte activo y corriente citoplasmática en las hifas de los hongos (González-Chávez *et al.* 1993).

Colonización micorrízica

A los 60 días después de la inoculación se observó mayor colonización micorrízica en la raíz de la planta cuando fue desarrollada en suelo forestal (Fig. 7). 200 días luego de la inoculación, mayor cantidad de hifas y vesículas se desarrollaron en el sustrato suelo agrícola que en el forestal (Fig. 8). En suelo forestal, el porcentaje de colonización fue menor que en el suelo agrícola, en este caso, si se considera el pH, en suelo forestal es bajo (5.5) y presenta menor colonización y mayor en suelo agrícola (pH 8.1) (Cuadro 1), haciendo una comparación, este aspecto difiere en manzano donde se encontró baja colonización en suelos con pH alto y que el contenido alto de N pudo favorecer una mayor colonización (Dorgo, *et al.* 1997). De acuerdo al Cuadro 1, el suelo agrícola fue un sustrato de menor fertilidad que el suelo forestal lo cual pudo haber favorecido el desarrollo del hongo micorrízico y su efecto en la planta.

Colonización micorrízica

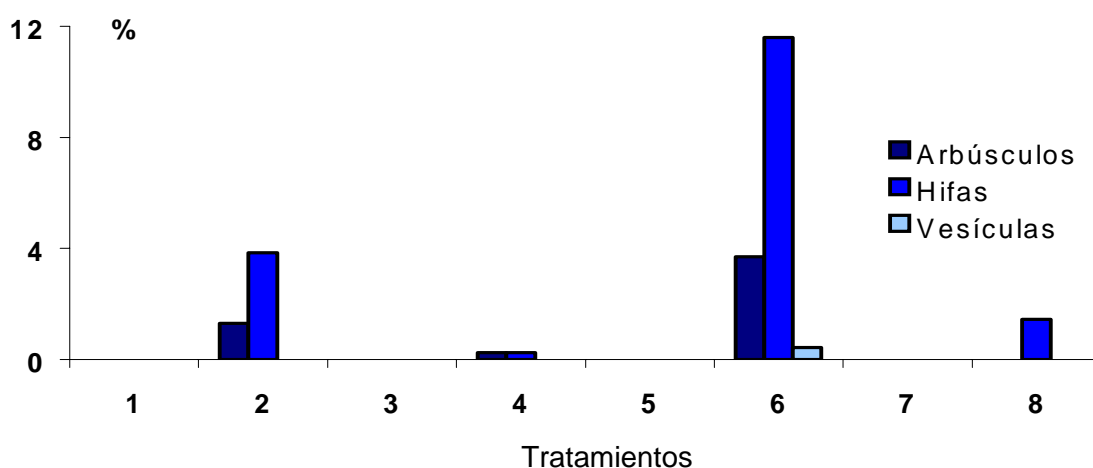


Figura 7. Colonización micorrízica a **60 días de la inoculación** 1= Suelo agrícola, 2= Suelo agrícola + Micorriza, 3= Suelo agrícola + Vermicomposta, 4= Suelo agrícola + Vermicomposta + Micorriza, 5= Suelo forestal, 6= Suelo forestal + Micorriza, 7= Suelo forestal + Vermicomposta, 8= Suelo forestal + Vermicomposta + Micorriza.

Colonización micorrizica (%)

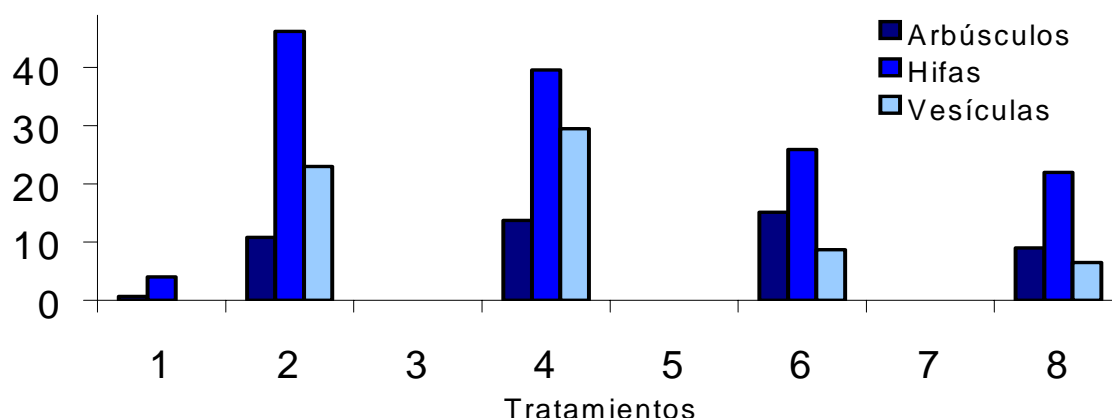


Figura 8. Colonización micorrizica a **200 días de inoculación**. 1= Suelo agrícola, 2= Suelo agrícola + Micorriza, 3= Suelo agrícola + Vermicomposta, 4= Suelo agrícola + Vermicomposta + Micorriza, 5= Suelo forestal, 6= Suelo forestal + Micorriza, 7= Suelo forestal + Vermicomposta, 8= Suelo forestal + Vermicomposta + Micorriza.

La infección inicia por el crecimiento de la hifa del hongo a partir de algún propágulo en el suelo, después sucede una serie de eventos de reconocimiento entre las dos especies que conduce a cambios anatómicos y fisiológicos en ambos simbioses (Koide y Schreiner, 1992), el primer signo visible es la formación de la apresoria en la superficie de la raíz (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988). El aguacate fue una especie que manifestó el efecto de la infección en forma lenta, se indica que la distribución hifal en la raíz es estimulada por factores ambientales así como por el tipo de tejido colonizado lo cual difiere de especie en especie (Smith y Gianinazzi-Pearson, 1988) por lo que en aguacate esta pudo haber sido la causa.

CONCLUSIÓN

El suelo forestal puede ser substituido por suelo agrícola como sustrato principal en la propagación de aguacate en vivero. El suelo agrícola al actuar solo favoreció algunos parámetros agronómicos y fisiológicos en la planta de manera más eficiente que el suelo forestal. La combinación vermicomposta + suelo agrícola no resultó eficiente, posiblemente debido a que aumentó el contenido en sales. El efecto de suelo forestal en el desarrollo de planta fue favorable solamente mediante la adición de vermicomposta. La inoculación con hongos micorrízicos favoreció el desarrollo de planta en ambos sustratos tanto agrícola como forestal.

LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. 1997. Capacidad fotosintética del portainjerto *Citrus volkameriana* inoculado con micorriza arbuscular. Tesis de Maestría en Ciencias. Especialidad de Edafología. Montecillo, México. pp. 117.
- Ames, R.N., C.P. Reid, L.K. Porter and C. Cambardella. 1983. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ¹⁵N-labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytol.* 95: 381-396.
- Chamizo, A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Rev. Mex. Micología.* 14:37-40.
- Dorgo, J. P., C. Doboly y T. Bubán. 1997. Influence of different soil conditions and nitrogen applications on arbuscular mycorrhizas with apple trees. *Acta Hort.* 448:119-123.
- Ferrera-Cerrato, R. 1995. Agricultura en México. Primera reunión Internacional de Ecología Microbiana, programa y resúmenes. I.P.N. 8-12 de mayo. México Distrito Federal. p 43.
- García, C., T. Hernandez and F. Costa. 1991. The influence of composting on the fertilizing value of an aerobic sewage sludge. *Plant and Soil.* 136:269-272.
- García, P., R.E. 1999. La lombricología en la agricultura orgánica. *In.* Memorias del IV Foro Nacional de Agricultura Orgánica, Agricultura orgánica, una ventana abierta a un futuro biosustentable. Colegio de postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. pp 256-261.
- Ginsburg, O., and Avizohar-Hershenson. 1965. Observations on vesicular-arbuscular mycorrhiza associated with avocado roots in Israel. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 48: 101-104.
- Giovannetti, M. 1985. Seasonal variations of vesicular-arbuscular mycorrhizas and endogenous spores in a maritime sand dune. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 84:679-684.
- González, Ch. C. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular. *In.* Ferrera-Cerrato, R. Manual de Agromicrobiología. México. ed. Trillas. pp. 53-92.
- González-Chávez C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Area de Microbiología, Colegio de Postgraduados. 131 p.
- Grappelli A., U. Tomati and E. Galli. 1985. Earthworm casts in plant propagation. *Hortsci.* 20 (5): 874-876.
- Hall, J.B. and H.C. Finch. 1974. Mycorrhiza in roots of avocado: effect upon chemotaxis of *Phytophthora cinnamomi* zoospores. *Proc. Amer. Phytopathol. Soc.* 1:86.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester and F.D. Davies. 1990. Plant propagation. Principles and practices. Fifth edition. ed. Prentice Hall. Printed U.S.A. 647 p.
- Hass, J.H. and J.A. Menge. 1990. VA-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea americana* Mill) orchard soils. *Plant and Soil.* 127: 207-212.
- Hurtado, T. y E. Sieverding. 1986. Estudio del efecto de hongos formadores de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en cinco especies latifoliadas regionales en la zona geográfica del Valle de Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales.* 16:109-115.
- Jaizme-Vega, M.C. and R. Azcon. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 213-217.

- Koide, R.T. y R. P. Schreiner. 1992. Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:557-81.
- Long, S.P. 1981. Whole plant photosynthesis and productivity. *In*. Combs, J., D.O. Hall (Eds) *Techniques in productivity and photosynthesis*. Pergamon Press. Oxford. p. 3-57.
- Manjarrez, M, M.J. 1997. La vermicomposta y la micorriza arbuscular en la producción de especies hortícolas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. 95 p.
- Phillips, J.M. and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment to infecction. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- PROBOSQUE. 1994. Situación actual de los recursos forestales en el Estado de México. Rancho Guadalupe, Metepec. México. 98 pp.
- Ryugo, K. 1993. El suelo y la fertilidad de suelos. *In*. Fruticultura, Ciencia y Arte. 1993. AGT editor. pp 255-271.
- Salisbury, B. and C. Ross. 1985. *Plant Physiology*. Third edition. Wadsworth Publishing Company. U.S.A.
- Sánchez, C. S. and M. Rubí. 1994. The current state of avocado cultivation in México. *California Avocado Society*. pp. 75-82.
- Santamaría, R, S. 1999. Escalamiento de los procesos de composteo y vermicomposteo: Aspectos biológicos y nutrimentales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. 104 p.
- Schwab, M, S., J. A, Menge and P. B, Tinker. 1991. Regulation of nutrient transfer between host and fungus in vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* 117: 387-398.
- Smith, S. E. y V. Gianinazzi-Pearson. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39:221-44.
- Tomati, U., E. Galli y R. Buffone. 1993. Compost in floriculture. *Acta Horticulturae*. 342:175-181.
- Whitsell, R.H., G.E. Martin, B.O. Bergh, A.V. Lypps and W.H. Brokaw. 1989. Propagating avocados, Principles and techniques of nursery and field grafting. University of California. Publication 21461. 30 p.