



Agricultura Técnica en México

ISSN: 0568-2517

contacto@agriculturarecnica.net.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Tarango Rivero, Socorro Héctor; Macías López, Berta Catalina; Alarcón, Alejandro; Pérez Moreno,  
Jesús

Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrientos en nogal pecanero y  
pistachero

Agricultura Técnica en México, vol. 30, núm. 2, julio-diciembre, 2004, pp. 191-203

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60830206>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## COLONIZACIÓN MICORRÍZICA, CRECIMIENTO Y CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIMENTOS EN NOGAL PECANERO Y PISTACHERO\*

### MYCORRHIZAL COLONIZATION, GROWTH AND LEAF NUTRIENT CONTENT IN PECAN AND PISTACHIO

Socorro Héctor Tarango Rivero<sup>1</sup>, Bertha Catalina Macías López<sup>2</sup>, Alejandro Alarcón<sup>3</sup> y Jesús Pérez Moreno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Delicias, INIFAP. Km 2 carr. Delicias-Rosales. Apartado Postal 81. 33000 Cd. Delicias, Chih., México. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad Autónoma de Chihuahua. <sup>3</sup>Microbiología, Edafología-IRENAT, Colegio de Postgraduados. \*Autor para correspondencia: shtarango@yahoo.com.mx

#### RESUMEN

Para determinar la influencia de la inoculación micorrízica en el desarrollo y la concentración foliar de nutrientes, se realizaron dos experimentos en los que se inocularon plántulas de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangh.) K. Koch] y de pistachero (*Pistacia atlantica* L.) con cepas de hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos. Los experimentos se realizaron durante el periodo de 2000 a 2002 en el área de Cd. Delicias, Chih., México. Se encontró que las raíces de nogal sólo fueron ectomicorrizadas y la colonización varió de 0 a 83%. Se identificaron hifas ornamentadas de *Pisolithus tinctorius*. Las raíces de pistachero sólo fueron endomicorrizadas con porcentajes de colonización entre 0 y 34% en un experimento y entre 0 y 78% en otro. El hongo *Glomus intraradix* cepa AM-CP fue la especie que mejor colonizó al pistachero. Se observó una relación positiva significativa entre el porcentaje de colonización micorrízica y el grosor y la altura del tallo, con un coeficiente  $r^2$  que varió de 0.64 a 0.74 en nogal y de 0.63 a 0.77 en pistachero. En nogal, la ectomicorrización favoreció la concentración foliar de Zn, mientras que en pistachero la endomicorrización favoreció la concentración de cobre.

**Palabras clave:** *Carya illinoensis*, *Glomus intraradix*, *Pisolithus tinctorius*, *Pistacia atlantica*.

#### ABSTRACT

In order to determine the effects of mycorrhizal inoculation on the development and leaf nutrient content in pecan and pistachio seedlings of both trees were inoculated with arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal (ECM) fungi under nursery conditions. Two experiments were carried out during the period of 2000 to 2002 in Delicias, Chihuahua, Mexico. Roots of pecan seedlings were only colonized by ECM fungi and colonization varied from 0 to 83%. Ornamented *Pisolithus tinctorius* hyphae were observed. On the contrary, pistachio roots were only colonized by arbuscular mycorrhizal fungi with colonization reaching up to 78%. *Glomus intraradix* strain AM-CP produced the highest mycorrhizal colonization in pistachio. A significant positive relationship between mycorrhizal colonization and stem height and diameter was found in both pecan and pistachio, the  $r^2$  values varied from 0.64 to 0.74 in pecan and from 0.63 to 0.77 in pistachio. Mycorrhizal colonization increased

\* Fecha de recepción: 16 de diciembre de 2003  
Fecha de aceptación: 8 de noviembre de 2004

foliar nutrient content of Zn in pecan and of Cu in pistachio.

**Key words:** *Carya illinoensis*, *Glomus intraradix*, *Pisolithus tinctorius*, *Pistacia atlantica*.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero *Carya illinoensis* (Wangh.) K. Koch se cultiva en más de 35 000 ha en el estado de Chihuahua y en más de 60 000 ha en México, superficie que aumenta cada año con la plantación de nuevas huertas (Puente, 2002). El pistachero *Pistacia vera* L. es un árbol que crece bien en distintas áreas de la misma entidad (Figueroa, 2001; Tarango y Ronquillo, 2001), donde produce frutos de alta calidad, comparable con la de los principales países productores (Ornelas y Anzaldúa, 2001; Tarango *et al.*, 2001). Actualmente hay en el estado de Chihuahua alrededor de 250 ha plantadas con pistachero y existe un creciente interés por su cultivo en la región.

En México las huertas de nogal y de pistachero se establecen con plantas producidas en viveros. Así, para el nogal, el vivero se establece en el suelo, con semilla proveniente de árboles criollos; las plántulas permanecen en estas condiciones alrededor de tres años y luego son trasplantadas en el campo. En el caso del pistachero, las plantas se producen en macetas que contienen diversos sustratos, en donde permanecen aproximadamente dos años y después se llevan al campo. La tecnología de viveros, por tanto, es muy tradicional, no obstante que actualmente se dispone de métodos biotecnológicos, como es el uso de hongos micorrízicos, que producen múltiples beneficios en la propagación de plantas, tanto ecológica como económicamente (González *et al.*, 1998).

El nogal pecanero tiene raíz pivotante y la parte superior de su sistema radical es fibrosa; en estas raíces fibrosas crecen las raicillas alimentadoras, que son pequeñas y delgadas, las cuales se forman y se secan en forma continua debido principalmente al contenido de humedad del suelo (Stockton, 1985; Hanna, 1987). Como la raíz del nogal no tiene pelos absorbentes, son las raicillas alimentadoras las que absorben agua y

nutrientes, las cuales en su mayoría están micorrizadas (Brison, 1976). Las especies de árboles del género *Carya* usualmente establecen en sus raíces simbiosis ectomicorrízicas típicas con hongos que pertenecen a los géneros *Astraeus*, *Gyrodont*, *Pisolithus*, *Russula*, *Scleroderma*, *Tuber* y *Tylopilus*. Adicionalmente, se ha reportado que algunos miembros de *Carya* también establecen en sus raíces asociaciones con hongos endomicorrízicos, pertenecientes a los géneros *Glomus*, *Gigaspora* y *Sclerocystis* (Taber *et al.*, 1982; Brundrett *et al.*, 1990). Se ha observado en viveros que las raíces del nogal son micorrizadas por *Scleroderma bovista* (Marx y Bryan, 1969; Marx, 1971).

El pistachero, por su parte, tiene una fuerte raíz pivotante y conforme el árbol crece desarrolla un abundante sistema de raíces laterales, que exploran el suelo en extensión y profundidad (Maggs, 1988). En las especies del género *Pistacia* se ha reportado la colonización por hongos endomicorrízicos (Ferguson *et al.*, 1998; Caravaca *et al.*, 2002). En el pistachero del Mediterráneo (*P. lentiscus*) la micorrización inducida con *Glomus intraradix* aumenta en 22% la altura de la planta, en 7% el diámetro del tallo y en 50% la concentración foliar de fósforo (Caravaca *et al.*, 2002).

La ectomicorrización favorece el crecimiento y desarrollo de los árboles debido a que: 1) La ramificación de la micorriza y el manto fungoso aumentan la superficie de exploración y de absorción del sistema radical; 2) Hay una mayor absorción de agua y de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn y Cu; 3) El hongo puede desdoblar complejos minerales y orgánicos del suelo en nutrientes asimilables por las plantas; 4) Hay un sistema radical más sano, ya que el manto fungoso actúa como una barrera al ataque de patógenos y muchas especies de hongos producen antibióticos y 5) Hay producción de reguladores del crecimiento que estimulan la elongación y ramificación de las raicillas alimentadoras (Marx y Bryan, 1969; Marx, 1971; Taber *et al.*, 1982; Castellano y Molina, 1989). Por su parte, la endomicorrización no modifica la forma de la raíz, sino que el micelio externo del hongo explora grandes volúmenes de suelo, lo que permite que la absorción de agua y nutrientes ocurra más allá de la zona de los pelos radicales (Castellano y Molina,

1989). Además, el hongo almacena nutrientes en su biomasa (arbúsculos) y amortigua algunos efectos adversos del suelo (Sylvia y Williams, 1991). Este proceso es importante como componente de la "fertilización biológica" de las plantas y necesario en el manejo de la agricultura sostenible (Bethlenfalvay, 1991). Las plantas endomicorrizadas absorben mejor el fósforo, cinc y cobre, y exhiben una ligera mejoría en la absorción de nitrógeno y de potasio (Marschner y Dell, 1994).

No obstante la importancia de las micorrizas, existen pocos estudios relacionados con la inoculación de hongos micorrízicos en nogal pecanero y en pistachero y, en términos generales, con el estudio de la simbiosis micorrízica en estos frutales, por lo que resulta de gran interés la obtención de información relacionada con este tema. El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de la inoculación micorrízica en el desarrollo y la concentración foliar de nutrientes en plantas de nogal y pistachero, con hongos ectomicorrízicos y endomicorrízicos en ambos frutales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Cd. Delicias, Chihuahua, México, en los años 2000-2002, y consistió en inocular con hongos ecto y endomicorrízicos a las raíces de plántulas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangh.) y de pistachero (*Pistacia atlantica* L.), de los genotipos utilizados como portainjertos en la región. Se realizaron dos experimentos, el primero se estableció en el año 2000 y el segundo en el año 2001.

### Experimento 1 (2000-2002)

**Material biológico.** Las plántulas de nogal pecanero se obtuvieron de semillas del genotipo criollo "El General", un portainjerto muy común en la región centro-sur del estado de Chihuahua. En el caso del pistachero *Pistacia atlantica* (el patrón estándar), las semillas provinieron de árboles de un huerto del Campo Experimental Valle de Juárez, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se utilizó una multicepa del hongo endomicorrízico *Glomus* spp., denominada Zac-19, que

incluye a las especies *Glomus albidum*, *G. claroides* y *G. diaphanum* (Chamizo *et al.*, 1998), la cual fue proporcionada por el Área de Microbiología de Suelos del Instituto de Recursos Naturales, del Colegio de Postgraduados; dicha multicepa se propagó en plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) utilizadas como hospedantes y como sustrato se usó arena. El inóculo consistió en: i) Segmentos de raíces de alfalfa micorrizadas con más de 60% de colonización e hifas y ii) Sustrato con más de 170 esporas por 10 g de suelo-inóculo. También se evaluaron dos inoculantes comerciales: 1) BuRIZE® (de Buckman Laboratories) que contiene *Glomus intraradix* en concentración de 1.0 propágulo/mL, según la etiqueta, y 2) Mycor-Tree® Ectoinjectable (de Plant Health Care Inc.) con  $4 \times 10^6$  esporas del hongo ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius* y  $4 \times 10^5$  esporas de *Scleroderma* sp. por gramo de producto, respectivamente, según la etiqueta.

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 10 repeticiones (plántulas-macetas) para ambos frutales.

**Tratamientos.** En nogal se probaron cinco tratamientos: 1) Testigo, suelo esterilizado (T1), 2) Inoculación con la multicepa Zac-19 (T2), 3) Inoculación con BuRIZE (T3), 4) Inoculación con Mycor-Tree (T4) y 5) Inoculación con Zac-19 + Mycor-Tree (T5). En pistachero se evaluaron los siguientes tratamientos: 1) Testigo A, suelo sin esterilizar (T1), 2) Testigo B, suelo esterilizado (T2), 3) Inoculación con la multicepa Zac-19 (T3), 4) Inoculación con BuRIZE (T4), 5) Inoculación con Mycor-Tree (T5) y 6) Inoculación con Zac-19 + Mycor-Tree (T6).

**Propagación de plantas.** Las semillas de nogal se estratificaron a 4°C durante 30 días y posteriormente se sembraron en macetas de 500 mL, con suelo aluvial de arroyo sin esterilizar. Este material se utiliza en los viveros regionales debido a su textura ligera, facilidad de manejo y disponibilidad. Para el pistachero, las semillas se germinaron sobre una tela húmeda y luego se sembraron en charolas con cavidades de 3.2 x 3.2 x 6.5 cm con musgo esfagníneo sin esterilizar como medio. Los tratamientos se aplicaron a las plántulas de ambas especies cuando tenían una altura media de 10 cm.

**Macetas y suelo.** Se utilizaron macetas de polietileno negro, con capacidad de 8 L para el pistachero y de 11.4 L para el nogal. El suelo utilizado fue azolve de arroyo, cuyas características físicas y químicas fueron las siguientes: textura migajón arenoso, pH 7.5, 1.84 mmhos/cm de conductividad eléctrica, 0.7% de contenido de materia orgánica y concentraciones de 25, 0.1 y 1162 mg kg<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente. Este sustrato se esterilizó con calor húmedo durante 18 a 24 horas, a 90°C, con un esterilizador para suelo marca Olson<sup>4</sup> modelo 7.

**Inoculación.** Para la inoculación de las plántulas se siguió el método propuesto por González (1993) y González *et al.* (1998), consistente en: 1) Cada maceta se llenó con suelo hasta 3/4 de su capacidad, 2) El inóculo micorrízico se aplicó en dos partes: 50% se esparció en forma de capa sobre el suelo de la maceta y el otro 50% se aplicó sobre el cepellón húmedo de las plántulas y 3) Se colocó el cepellón sobre la capa de inóculo de la maceta y luego ésta se llenó con el azolve. Así mismo, de la multicepa Zac-19 se aplicaron 25 g de suelo-inóculo por planta; del producto BuRIZE se hizo una suspensión consistente en 21 g del preparado de esporas en 6 L del vehículo y, por último, respecto al inoculante Mycor-Tree también se preparó una suspensión con 113.5 g del preparado de esporas en 6 L de agua; en ambos casos se aplicaron 300 mL de suspensión por planta. Una vez inoculadas las plantas, las macetas se colocaron bajo un "sombreadero" de lados abiertos (50% de sombra). El riego se aplicó periódicamente para mantener el suelo siempre húmedo. No se aplicó fertilizante a ningún tratamiento. A los nueve meses de la inoculación, las plantas de nogal y de pistachero se trasplantaron en el campo definitivo.

**Análisis foliar.** Se colectaron hojas a los seis meses después de la inoculación en ambos frutales; se formaron tres muestras compuestas por tratamiento, integradas cada una con hojas de tres plantas. El análisis incluyó la determinación de N, P, K, Cu y Zn, y se realizó en el laboratorio de la Unión de Fruticultores del Estado de Chihuahua. El N se determinó con microkjeldahl según Bremmer (1965) y los demás nutrientes por medio de digestión con HNO<sub>3</sub>/HCl<sub>4</sub> según Allan (1971).

**Colonización micorrízica.** A los ocho meses de la inoculación se recolectaron raíces laterales, secundarias y terciarias, las cuales se lavaron con agua corriente. Para medir la ectomicorrización se contaron las macroformas por muestra, según las claves fotográficas y los criterios de Marx y Bryan (1969), Castellano y Molina (1989), Ferrera (1993), Peterson y Bonfante (1994) y Agerer (2002), los cuales señalan que: 1) La micorriza es macroscópica, 2) Son estructuras engrosadas y sin pelos radicales, 3) Su crecimiento es dicotómico (ramificado) y 4) Están rodeadas de manto fungoso, de color diferente al de la raíz alimentadora, la cual cuando no está micorrizada es delgada, con pelos absorbentes y, en muchas especies de plantas, no es ramificada. Se recolectaron cinco muestras (repeticiones) por tratamiento. La revisión se hizo a simple vista, con un estereoscopio Carl Zeiss® 10 x 4 y con un microscopio Carl Zeiss® 10 x 40.

Para evaluar el porcentaje de colonización por hongos endomicorrízicos se empleó el método de clareo y tinción de Phillips y Hayman (1970), modificado para raíces de plantas leñosas por el Área de Microbiología, de la especialidad de Edafología-IRENAT del Colegio de Postgraduados. El método consistió en lo siguiente: 1) Se recolectaron tres muestras (repeticiones) por tratamiento; 2) Las raíces se colocaron en bolsas de polietileno con un poco de suelo húmedo; 3) Se lavaron con agua corriente en el laboratorio; 4) Se colocaron en una solución de KOH a 10%, tres períodos de 24 h para nogal y dos períodos para pistachero, cambiando en cada uno dicha solución; 5) Despues las raíces se colocaron en cápsulas esterilizables, donde las de nogal recibieron cinco clareos y cuatro las de pistachero, las cuales se calentaron en KOH a 10% y a 10 libras de presión; 6) Se retiró el KOH de las muestras y éstas se enjuagaron con agua destilada; 7) Enseguida las cápsulas con las raíces se sumergieron en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por 25 minutos; 8) Luego se enjuagaron con agua destilada por 30 minutos; 9) Posteriormente las raíces se cubrieron con HCl a 10% durante 3 minutos; 10) Se retiró el ácido y sin enjuagar las raíces se tiñeron con azul tripano a 0.05% en lactoglicerol, y se calentaron por 15 minutos a 10 libras de presión; 11) Una vez clareadas y teñidas las raíces se cortaron en segmentos de 1.0 cm de longitud, se montaron de manera paralela 20 de ellos en un portaobjetos, se añadieron algunas gotas de lactoglicerol, se colocó un cubreobjetos y se selló con esmalte. La

evaluación del porcentaje de micorrización se efectuó observando los montajes con microscopio óptico a 40X, mediante tres pasajes equidistantes por laminilla. Se consideró que un segmento de raíz estaba colonizado si tenía vesículas o arbúsculos.

**Análisis estadístico.** Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS 6.03 (SAS Institute, 1988). Se midieron las siguientes variables: 1) Porcentaje de colonización micorrízica (por conteo de macroformas para ectomicorras y de vesículas y arbúsculos para endomicorras), 2) Crecimiento de las plantas (altura y diámetro del tallo) y 3) Concentración foliar de nutrientes.

## Experimento 2 (2001)

**Material biológico.** El origen de las plantas de ambos frutales fue el mismo que en el experimento 1. Se utilizaron cepas de los hongos endomicorrízicos *Glomus* spp. Zac-19 y *Glomus intraradix* AM-CP, las cuales fueron proporcionadas por el Área de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgrados; ambas cepas se propagaron en plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) utilizadas como hospedantes y arena, como sustrato. El inóculo consistió en: i) Segmentos de raíces de alfalfa micorrizadas, con más de 60% de colonización e hifas y ii) Sustrato con más de 170 y 200 esporas por cepa, en 10 g de suelo-inóculo, respectivamente. También se evaluó el inoculante comercial Mycor-Tree® Ectoinjectable, en la forma ya descrita.

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones (plántulas-macetas), para ambos frutales.

**Tratamientos.** Tanto en nogal como en pistachero se probaron los siguientes tratamientos: 1) Testigo, con suelo esterilizado (T1), 2) Inoculación con la multicepa Zac-19 (T2), 3) Inoculación con la cepa AM-CP de *Glomus intraradix* (T3) y 4) Inoculación con Mycor-Tree (T4).

**Propagación de plantas.** Las semillas se trataron en la misma forma como en el experimento 1 y se

sembraron en musgo esfagníneo esterilizado, en charolas con cavidades de 3.2 x 3.2 x 6.5 cm. Los tratamientos se aplicaron a las plantas de ambas especies cuando tenían una altura media de 10 cm.

**Macetas y suelo.** Se usaron macetas de polietileno negro de 6 L de capacidad en ambos frutales. Se utilizó el mismo suelo y su esterilización fue igual que en el experimento 1.

**Inoculación.** Se siguió el mismo procedimiento descrito en el experimento 1. De la cepa AM-CP se aplicaron 25 g de suelo-inóculo por planta. Las plantas permanecieron un año en maceta y no se trasplantaron en campo.

**Colonización micorrízica.** Sólo se midió endomicorrización, con el método descrito en el experimento 1.

**Análisis estadístico.** Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS 6.03 (SAS Institute, 1988). Se midieron las siguientes variables: 1) Porcentaje de colonización micorrízica (por conteo de vesículas y arbúsculos) y 2) Crecimiento de las plantas (altura y diámetro del tallo). No hubo análisis foliar de nutrientes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Colonización micorrízica

**Nogal.** Según los datos de colonización micorrízica en nogal pecanero, obtenidos en el experimento 1, éstos indican que en las raíces muestreadas se encontraron únicamente ectomicorras (macroformas y manto fúngico) y no se detectó indicio de colonización endomicorrízica en ningún tratamiento (Cuadro 1). Este resultado concuerda con lo reportado por Marx (1971), Taber *et al.* (1982) y Brundrett *et al.* (1990), respecto de que las raíces del género *Carya* son básicamente colonizadas por hongos ectomicorrízicos, aunque Taber *et al.* (1982) mencionan que en nogaleras de regiones semiáridas también pueden encontrarse raíces infectadas por *Glomus*. Es importante destacar la menor formación de ectomicorras en los tratamientos

inoculados con hongos endomicorrízicos (T2, T3 y T5) en relación con T4 (Cuadro 1); esto puede explicarse, en parte, con los hallazgos de Solís (2002), quien encontró que las hifas de *Glomus claroideum* son capaces de crecer superficialmente en la epidermis de la raíz sin efectuar colonización intrarradical, lo cual probablemente se debe a cierta competencia por los sitios de infección y colonización en la raíz entre hongos ecto y endomicorrízicos.

**Cuadro 1. Colonización micorrízica en plántulas de nogal determinada ocho meses después de la inoculación (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	Colonización micorrízica (%)	
	Ectomicorriza <sup>1</sup>	Endomicorriza <sup>2</sup>
T1 (testigo, SE)	0	0
T2 (Zac-19)	50	0
T3 (BuRIZE)	66	0
T4 (Mycor-Tree)	83	0
T5 (T2 + T4)	50	0

<sup>1</sup>Presencia de formas macroscópicas; <sup>2</sup>Presencia de vesículas y arbúsculos; SE= Suelo esterilizado.

En el presente estudio se observó que fue suficiente un pequeño volumen de suelo sin esterilizar (500 mL del cepellón donde se sembró la nuez) para que ocurriera la ectomicorrización natural (T2 y T3). En el testigo con suelo esterilizado no se encontraron macroformas de hongos ectomicorrízicos, aunque sí se observaron hifas en el ápice de las raíces de algunas muestras. Cuando se agregó inóculo de *Pisolithus tinctorius* y de *Scleroderma* sp. (T4), la presencia de formas macroscópicas o de manto fúngico ocurrió en 83% de las raíces muestradas (Cuadro 1). A este respecto, Marx (1977), Taber *et al.* (1982) y Smiley *et al.* (1997) señalan que, en un alto porcentaje de las huertas de nogal, las micorrizas más comunes corresponden a los géneros *Scleroderma* y *Pisolithus*. El porcentaje de ectomicorrización encontrado coincide con los datos reportados por Marx y Bryan (1969), quienes

observaron que en nogales plantados en suelo la colonización puede variar de 30 a 80%.

Con relación a las formas macroscópicas observadas y de acuerdo con la literatura consultada, la mayoría de ellas correspondió al tipo simple, varias fueron del tipo coraloides y sólo algunas del tipo bifurcado. En el ápice de varias de las micorrizas muestradas se encontró el manto fúngico formado por *P. tinctorius*, donde se observó una profusa formación de hifas sobre las raízillas, así como la ornamentación característica de dichas hifas. Las macroformas del tipo simple encontradas eran similares a las reportadas como dominantes en huertas de nogal en Georgia (EUA), que fueron identificadas como *Scleroderma bovista* (Marx y Bryan, 1969), pero de color café como ocurre en suelos de regiones semiáridas (Marx, 1971).

En el experimento 2 no se evaluó la colonización ectomicorrízica, aunque nuevamente se encontró que no existió formación de endomicorrizas en la planta de nogal, ni cuando se inoculó con las cepas de *Glomus* Zac-19 y AM-CP (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Colonización endomicorrízica en plántulas de nogal y pistachero determinada ocho meses después de la inoculación (Experimento 2). Cd. Delicias, Chih., México. 2001.**

Tratamiento	Colonización <sup>1</sup> micorrízica (%)	
	Nogal	Pistachero
T1 (testigo SE)	0	0.0 b <sup>2</sup>
T2 (Zac-19)	0	2.8 b
T3 (AM-CP)	0	78.0 a
T4 (Mycor-Tree)	0	0.0 b
Pr>F		0.0002

<sup>1</sup>Presencia de vesículas y arbúsculos; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Pistachero.** Los resultados del experimento 1 indican que en las raíces de *Pistacia atlantica* se encontró sólo colonización endomicorrízica, básicamente vesículas y en menor proporción arbúsculos. Cuando no se esterilizó el suelo de la maceta, la micorrización natural fue de 29% (T1), en cambio cuando el suelo se esterilizó, ésta fue de 5% (T2), con diferencia estadísticamente significativa. Cuando se inoculó con Zac-19 la micorrización varió de 29 a 34% (T3 y T6), similar a la micorrización natural (Cuadro 3). El inoculante comercial BURIZE fue ineficiente para micorrizar la raíz del pistachero (T4), posiblemente debido a la baja densidad de propágulos por mL de producto. En el experimento 2 se observó que cuando el suelo y el cepellón de musgo esfagníneo fueron esterilizados, no hubo micorrización (testigo) y tampoco cuando se inoculó la planta con Mycor-Tree (hongos ectomicorrízicos). Con la cepa Zac-19 la endomicorrización fue incipiente, pero con la cepa AM-CP de *G. intraradix* resultó muy efectiva (Cuadro 2). Al respecto, la colonización con hongos endomicorrízicos ha sido reportada previamente en diversas especies del género *Pistacia*, con valores que varían de 19 a 39% en *P. terebinthus* (Campubri *et al.*, 1992) y de 7 a 47% en *P. lentiscus* (Palenzuela *et al.*, 2002).

**Cuadro 3. Colonización micorrízica en plántulas de pistachero determinada ocho meses después de la inoculación (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	Colonización micorrízica (%)	
	Ectomicoriza <sup>1</sup>	Endomicoriza <sup>2</sup>
T1 (testigo A, SNE)	0	29.0 a <sup>3</sup>
T2 (testigo B, SE)	0	5.0 b
T3 (Zac-19)	0	29.0 a
T4 (BuRIZE)	0	0.0 b
T5 (Mycor-Trec)	0	4.0 b
T6 (T3 + T5)	0	34.0 a
Pr>F		0.038

<sup>1</sup>Presencia de formas macroscópicas; <sup>2</sup>Presencia de vesículas y arbúsculos; SNE=Suelo no esterilizado; SE=Suelo esterilizado; <sup>3</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Resultados del experimento 1 mostraron que, tanto en nogal como en pistachero, ocurrió micorrización natural, la cual pudo deberse a: 1) Que el suelo (500 mL) y el musgo (66.5 mL) sin esterilizar del cepellón, donde se sembró la semilla, contenían inóculo para causar una micorrización de ligera (4%), Cuadro 3, a moderada (66%), Cuadro 1; 2) Las macetas pasaron los primeros ocho meses en un vivero con "sombreadero" abierto, por lo que probablemente recibieron esporas de hongos micorrízicos a través del viento. Sobre este particular, Chen *et al.* (2000) encontraron que el transporte de esporas de hongos micorrízicos por el viento es un medio eficaz de inocular macetas y promover la formación de micorrizas en plantas de eucalipto.

### Crecimiento

**Nogal.** En el experimento 1 se encontró que a los seis meses de la inoculación, la diferencia en altura del tallo fue estadísticamente significativa entre tratamientos; el diámetro mostró una tendencia similar. La diferencia en altura de plántula entre el tratamiento con más presencia de ectomicorizas (T4) y aquel con menos (T1) fue de 29.1% (Cuadro 4). A los 16 meses la diferencia fue altamente significativa en altura y diámetro del tallo, con una variación entre tratamientos de 47.3% (Cuadro 4). Esto sugiere que el efecto de la micorrización en el crecimiento de plántulas de nogal requiere de tiempo para hacerse más evidente. Independientemente del tipo de inóculo que se haya utilizado, la mayor altura de planta correspondió al tratamiento con más ectomicorizas (T4) y la menor al que tuvo menos (T1); una respuesta similar ocurrió con el diámetro del tallo (Cuadro 4).

A los seis meses después de la inoculación se encontró una relación lineal, positiva y altamente significativa ( $Pr>F = 0.0118$ ,  $r^2 = 0.74$ ) entre porcentaje de colonización micorrízica y altura de plántula; la ecuación que describe la relación es:  $Y = 18.63 + 0.1082X$ . A los 16 meses de la inoculación se obtuvo el mismo tipo de relación ( $Pr>F = 0.030$ ,  $r^2 = 0.64$ ), cuyo modelo es:  $Y = 65.39 + 0.892X$ . Estos modelos indican que el crecimiento de plántulas de nogal en maceta y sin fertilizar se explica en 74% por el grado de micorrización de su raíz y ya trasplantadas en campo,

en el primer año, en 64%. Como referencia, Chen *et al.* (2000) encontraron una correlación positiva entre el grado de ectomicorrización y el crecimiento de plántulas de eucalipto, cuyos parámetros fueron  $P>F=0.001$  y  $r^2=0.41$ . En el experimento 2 existió también una tendencia de mayor crecimiento en las plantas inoculadas, independientemente del tipo de hongo (Cuadro 5), lo que coincide con los resultados de Sharpe y Marx (1986), quienes reportan que la inoculación con hongos ectomicorrízicos favorece el crecimiento de plántulas de nogal.

**Pistachero.** En el experimento 1, a los seis meses después de la inoculación, la diferencia en crecimiento fue altamente significativa y fueron los tratamientos con la cepa Zac-19 (T3 y T6) los que causaron mayor altura y diámetro del tallo (Cuadro 6); el T2 cuyo suelo fue esterilizado tuvo el menor crecimiento total y el T4 (BuRIZE) exhibió la menor altura de plántula. A los 16 meses, cuando las plantas tenían seis meses creciendo en el campo (un ciclo completo de crecimiento), la diferencia en altura fue significativa, con una respuesta similar entre tratamientos (Cuadro 6).

**Cuadro 4. Altura y diámetro del tallo de plántulas de nogal con diferente tratamiento de micorrización (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	6 meses DI		16 meses <sup>1</sup> DI	
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (testigo, SE)	19.5 b <sup>2</sup>	5.0	74.5 b	15.4 b
T2 (Zac-19)	26.7 a	6.1	122.7 ab	24.6 a
T3 (BuRIZE)	26.6 a	5.6	144.1 a	26.7 a
T4 (Mycor-Tree)	27.5 a	6.1	141.5 a	25.2 a
T5 (T2 + T4)	22.2 ab	5.8	104.1 ab	20.9 ab
$P>F$	0.036	0.118	0.003	0.002

DI= Despues de la inoculación; <sup>1</sup>Seis meses despues del trasplante; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 5. Altura y diámetro del tallo de plántulas de nogal y pistachero con diferente tratamiento de micorrización (Experimento 2). Cd. Delicias, Chih., México. 2001.**

Tratamiento	Nogal		Pistachero	
	Altura <sup>1</sup> (cm)	Diámetro (mm)	Altura <sup>1</sup> (cm)	Diámetro (mm)
T1 (testigo, SE)	23.1	4.3	8.4 b <sup>2</sup>	2.3 b
T2 (Zac-19)	30.5	4.9	19.7 ab	5.0 ab
T3 (AM-CP)	29.1	5.0	31.1 a	5.6 a
T4 (Mycor-Tree)	28.1	5.3	13.5 b	3.4 ab
$P>F$	0.166	0.185	0.010	0.016

<sup>1</sup>Seis meses despues de la inoculación; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 6. Altura y diámetro del tallo de plántulas de pistachero con diferente tratamiento de micorrización (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	6 meses DI		16 meses <sup>1</sup> DI	
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Diámetro (mm)
T1 (testigo A, SNE)	77.7 abc <sup>2</sup>	7.5 a	148.6	18.2
T2 (testigo B, SE)	63.1 bc	6.2 b	125.4	17.0
T3 (Zac-19)	88.2 ab	7.7 a	159.2	17.0
T4 (BuRIZE)	54.3 c	7.2 ab	135.3	16.7
T5 (Mycor-Tree)	71.2 abc	7.6 a	140.0	16.8
T6 (T3 + T5)	93.0 a	8.2 a	147.5	18.8
Pr>F	0.002	0.001	0.232	0.411

DI= Despues de la inoculación; <sup>1</sup>Seis meses despues del trasplante; SNE= Suelo no esterilizado; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En este frutal también se encontró que el crecimiento del tallo en plantas sin fertilizar depende principalmente del porcentaje de colonización micorrízica de la raíz. Para la variable altura de plántula los parámetros de la regresión, después de seis meses de inoculación, fueron  $Pr>F = 0.009$  y  $r^2 = 0.77$  y el modelo que describe la relación es  $Y = 61.68 + 0.848X$ ; a los 16 meses de la inoculación los parámetros fueron  $Pr>F = 0.033$  y  $r^2 = 0.63$  y el modelo es  $Y = 132.77 + 0.603X$ .

En el experimento 2, el crecimiento de las plántulas mostró una respuesta altamente significativa en relación con la endomicorrización. Resultó sobresaliente el tratamiento con *G. intraradix* cepa AM-CP, cuya altura de plántula superó en 36, 56 y 73% a la de Zac-19, Mycor-Tree y el testigo, respectivamente (Cuadro 5); el crecimiento secundario exhibió la misma respuesta. A este respecto, algunos investigadores han reportado que la inoculación con hongos endomicorrízicos origina incrementos en el crecimiento y supervivencia de algunas especies de *Pistacia*, como lo reportó Campubri *et al.* (1992) quienes encontraron incrementos de 2.2 a 2.6 veces el peso seco del tallo de *P. terebinthus* como resultado de la inoculación con *Glomus mosseae*.

#### Concentración foliar de nutrientes

**Nogal.** En este estudio las plántulas de nogal crecieron en macetas con 11.4 L de suelo migajón arenoso, cuyo contenido de nutrientes fue el siguiente: fósforo, muy

bajo ( $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$ ); nitratos, moderado ( $25.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ); potasio, alto ( $1162 \text{ mg kg}^{-1}$ ); cinc, moderado ( $1.0 \text{ mg kg}^{-1}$ ); cobre, bajo ( $0 \text{ mg kg}^{-1}$ ); materia orgánica, muy bajo (0.7%) y pH ligeramente alcalino (7.5), según el análisis de laboratorio y los criterios de interpretación de Cihacek (1985). En este medio de crecimiento y sin fertilizar al nogal, no se encontraron diferencias en la concentración foliar de N, P, K y Cu, a excepción del Zn, entre los distintos tratamientos inoculados con hongos micorrízicos (Cuadro 7). No se observó correlación entre porcentaje de micorrización (Cuadro 1), crecimiento (Cuadro 4) y estado nutrimental (Cuadro 7). El tratamiento que exhibió mayor altura de plántula (T4) fue el que tuvo menor contenido de N en la hoja, lo que parcialmente puede deberse a un efecto de dilución del nutriente, como ocurre en nogales cuando se promueve su vigor (Tarango y Ojeda, 1999).

Las plántulas del tratamiento con la mayor presencia de ectomicorrizas (T4) presentaron también la más alta concentración foliar de Zn, con una diferencia altamente significativa (Cuadro 7); ésta es una respuesta interesante, debido a que el cinc es el nutriente que más limita a los nogales en los suelos de pH alcalino de las regiones productoras de nuez en México (Medina y Chávez, 1999); lo anterior sugiere que la dificultad del nogal para abastecerse de cinc no es sólo un problema de indisponibilidad química del nutriente en el suelo (Smith y Storey, 1979), sino que también es un problema de ineficiencia en la absorción del elemento por la raíz.

**Cuadro 7. Concentración foliar de nutrientes en plántulas de nogal<sup>1</sup> con diferente tratamiento de micorrización (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	Concentración de nutrientes				
	N (%)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
T1 (testigo, SE)	2.11	0.28	1.23	7.6 b <sup>2</sup>	2.0
T2 (Zac-19)	2.16	0.25	1.22	9.8 b	2.1
T3 (BuRIZE)	2.17	0.20	0.99	9.1 b	3.0
T4 (Mycor-Tree)	1.93	0.18	1.19	30.1 a	2.0
T5 (T2 + T4)	1.96	0.15	0.96	6.3 b	1.8
Pr>F	0.313	0.232	0.326	0.002	0.072

<sup>1</sup>Seis meses después de la inoculación; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Los resultados del presente trabajo indican que la micorrización del nogal es clave para mejorar el aprovechamiento del cinc edáfico. Así mismo, Sharpe y Marx (1986) encontraron que en plántulas de nogal con ectomicorizas de *P. tinctorius* y fertilizadas, se incrementó la concentración en tallo y raíz de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Mn; la de Zn sólo aumentó cuando su disponibilidad en el suelo era baja.

**Pistachero.** El contenido de nutrientes en el follaje (Cuadro 8) no mostró correlación con el porcentaje de colonización micorrízica (Cuadro 3) ni con el crecimiento de la plántula (Cuadro 6). El tratamiento con mayor crecimiento y mayor grado de colonización endomicorrízica (T6) fue el que tuvo menos N foliar, sin alcanzar diferencia estadística, lo que pudo tratarse de un efecto de dilución nutrimental, como ocurre en

otros frutales al promover su crecimiento (Tarango y Ojeda, 1999).

Se observó que la concentración de P, K y Zn en la hoja no fue consecuencia del grado de colonización endomicorrízica en la raíz de las plántulas. En cambio, el contenido de Cu fue significativamente más alto cuando se inoculó con Zac-19, mientras que su concentración más baja se presentó en el tratamiento T5, con hongos ectomicorrízicos (Cuadro 8). Esta respuesta es importante porque algunos de los portainjertos de pistachero más utilizados en la región son inefficientes en la absorción de Cu (Tarango, 1993). Por su parte, Caravaca *et al.* (2002) encontraron que plántulas de *P. lentiscus* incrementaron sus contenidos de fósforo foliar como resultado de la inoculación con *G. intraradix*.

**Cuadro 8. Concentración foliar de nutrientes en plántulas de pistachero con diferente tratamiento de micorrización (Experimento 1). Cd. Delicias, Chih., México. 2000-2002.**

Tratamiento	Concentración de nutrientes <sup>1</sup>				
	N (%)	P (%)	K (%)	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )
T1 (testigo A, SNE)	2.39	0.16	0.82	11.0	4.1 b <sup>2</sup>
T2 (testigo B, SE)	2.15	0.36	0.94	12.6	4.3 b
T3 (Zac-19)	2.24	0.32	1.03	11.6	8.6 a
T4 (BuRIZE)	2.14	0.21	0.92	14.8	4.1 b
T5 (Mycor-Tree)	2.08	0.25	0.90	13.1	2.5 b
T6 (T3 + T5)	2.05	0.33	0.94	12.6	4.3 b
Pr>F	0.520	0.149	0.553	0.327	0.0001

<sup>1</sup>Seis meses después de la inoculación; SNE= Suelo no esterilizado; SE= Suelo esterilizado; <sup>2</sup>Medias con la misma letra son iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

### Raíz y micorriza

Las raicillas del nogal no tienen pelos absorbentes y cuando no están micorrizadas aparecen sin ramificar y de un grosor similar en toda su longitud. En las condiciones del presente estudio las raíces del nogal únicamente fueron ectomicorrizadas; en cambio, las raicillas del pistachero presentaron abundantes pelos absorbentes y se observaron más delgadas en el ápice que en su parte proximal, las cuales sólo fueron colonizadas por hongos endomicorrízicos. Para el caso del nogal, como ocurre en otros frutales, el manto fúngico y el micelio externo de los hongos ectomicorrízicos compensan la ausencia de pelos radicales. Así mismo, la respuesta de este frutal coincide en parte con lo señalado por González *et al.* (1998), quienes reportan que entre menor es la capacidad de una raíz para formar pelos radicales y emitir raicillas laterales, mayor es su dependencia respecto de los hongos micorrízicos.

Debido a que la producción de plantas tanto de nogal pecanero como de pistachero requiere de una fase de vivero obligada, previa a su trasplante en campo, la inoculación con hongos micorrízicos tiene un gran potencial de aplicación. Las micorrizas han demostrado aportar múltiples beneficios en muchas especies de árboles frutales, entre ellos: mayor vigor de las plantas, incremento de la supervivencia después del trasplante, más sanidad de las plantas y utilización reducida de agroquímicos (González *et al.*, 1998).

### CONCLUSIONES

Las plántulas de nogal formaron únicamente ectomicorrizas, en las que la colonización varió de 0 a 83%, en tanto que las de pistachero formaron endomicorrizas, cuya inoculación varió de 0 a 78%.

El crecimiento de plántulas de nogal y de pistachero, medido en altura y diámetro del tallo, fue mayor conforme aumentó el grado de colonización micorrízica.

La aplicación del inoculante Mycor-Tree en nogal favoreció la presencia de ectomicorrizas; la cepa AM-

CP de *Glomus intraradix* colonizó muy bien la raíz del pistachero atlántica e influyó en su crecimiento, mientras que el producto BuRIZE no tuvo efecto alguno.

La micorrización no tuvo efecto sobre la concentración foliar de N, P y K en ambas especies de frutales y en plantas sin fertilizar; en cambio, la ectomicorrización incrementó la concentración foliar de Zn en nogal y la endomicorrización, la concentración de Cu en pistachero.

### AGRADECIMIENTOS

Se expresa un amplio reconocimiento al Dr. Ronald Ferrera Cerrato, profesor-investigador del Área de Microbiología del IRENAT del Colegio de Postgraduados, por su autorización para utilizar cepas de hongos micorrízicos de esa institución y realizar parte del trabajo en su laboratorio. A los señores Luis Carlos Pérez F. y Juan Manuel Martínez F., del Campo Experimental Delicias-INIFAP, por su asistencia en los trabajos de campo. A los colaboradores M.C. Cristian Nava D., Ing. Alicia Franco R., M.C. Fernando Almícar Solís D., M.C. Claudia Katia Reyes Q. e Ismael Cervantes R., del Área de Microbiología del IRENAT-CP, por su apoyo en el trabajo de laboratorio.

### LITERATURA CITADA

- Agerer, R. (ed.). 2002. Color atlas of ectomycorrhizae. Ed. Einhorn-Verlag + Druck GmbH. Germany. s/p.
- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walnut Creek, California, USA.
- Bethlenfalvay, G. J. 1991. Mycorrhizae and crop productivity. In: Bethlenfalvay, G. J. and Linderman, R. G. (eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA. p. 1-27. (ASA special publication number 54).
- Bremmer, J. M. 1965. Total nitrogen. In: Black, C. A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. American

- Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. p. 1149-1178.
- Brison, F. R. 1976. Cultivo del nogal pecanero. Trad. del inglés por Federico Garza F. Comisión Nacional de Fruticultura. México, D.F. 349 p.
- Brundrett, M.; Murase, G. and Kendrick, B. 1990. Comparative anatomy of roots and mycorrhizae of common Ontario trees. Can. J. Bot. 68:551-578.
- Campubri, A.; Estaun, V. and Calvet, V. 1992. Effect of aromatic plant-species on vesicular-arbuscular mycorrhizal establishment in *Pistacia terebinthus*. Plant and Soil 139:299-301.
- Caravaca, F.; Barea, J. M. and Roldan, A. 2002. Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and organic amendment on *Pistacia lentiscus* L. seedlings afforested in a degraded semiarid soil. Soil Biol. Biochem. 34:1139-1145.
- Castellano M., A. and Molina, R. 1989. Mycorrhizae. In: Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E. and Barnett, J. P. (eds.). The container tree nursery manual. Vol. 5. United States Department of Agriculture (USDA-Forest Service). p.101-167. (Agric. Handbook 674).
- Chamizo, A.; Ferrera-Cerrato, R. y Varela, L. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. Revista Mexicana de Micología 14:37-40.
- Chen, Y. L.; Brundrett, M. C. and Dell, B. 2000. Effects of ectomycorrhizas and vesicular-arbuscular mycorrhizas, alone or in competition, on root colonization and growth of *Eucalyptus globulus* and *E. urophylla*. New Phytol. 146:545-556.
- Cihacek, L. J. 1985. Interpreting soil analysis. Guide A-126. New Mexico State University. Las Cruces, NM, USA. 4 p.
- Ferguson, L.; Kaur, S. and Epstein, L. 1998. Arbuscular mycorrhizal fungi on pistachio rootstocks in California. Acta Horticulturae 470:211-218.
- Ferrera C., R. 1993. Ectomicorriza. In: Ferrera C., R.; González C., M. C. A. y Rodríguez M., M. N. (eds.). Manual de agromicrobiología. Trillas. México, D.F. p. 93-120.
- Figueroa V., U. 2001. Evaluación de las variedades de pistachero *Pistacia vera* L. Kerman y Peters en el Valle de Juárez, Chihuahua, cultivadas en condiciones de salinidad. In: La investigación en pistachero en Chihuahua, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Universidad Autónoma de Chihuahua. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fundación Produce Chihuahua. Chihuahua, Chih., México. p. 11-15.
- González C., M. C. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular. In: Ferrera C., R.; González C., M. C. A. y Rodríguez M., M. N. (eds.). Manual de agromicrobiología. Trillas. México. D.F. p. 53-91.
- González C., C.; Ferrera C., R. y Pérez M., J. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Postgraduados. Ed. de Méx., México. 131 p.
- Hanna, J. D. 1987. Pecan rootstocks. In: Rom, R. C. and Carlson, R. F. (eds.). Rootstocks for fruit crops. John Wiley and Sons. USA. p. 401-410.
- Maggs, D. H. 1988. An introduction to pistachio growing in Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Australia. 36 p.
- Marschner, H. and Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant Soil 159:89-102.
- Marx, D. H. 1971. Root inhabiting mycorrhizal fungi benefit growth of trees. 5<sup>th</sup> Annual Western Irrigated Pecan Growers Association Conference. New Mexico State University. Las Cruces, NM, USA. p.14-18.
- Marx, D. H. 1977. Tree host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. Can. J. Microbiol. 23: 217-223.
- Marx, D. H. and Bryan, W. C. 1969. *Scleroderma bovista*, an ectotrophic mycorrhizal fungus of pecan. Phytopathology 59(8):1128-1132.
- Medina M., M. C. y Chávez G., J. F. J. 1999. Efecto del abastecimiento foliar de zinc sobre el balance nutrimental del nogal pecanero. Terra 17(4):293-298.
- Ornelas T., M. y Anzaldúa M., A. 2001. Evaluación de la calidad de pistachos producidos en el Valle de Juárez. In: La investigación en pistachero en Chihuahua, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y

- Pecuarias. Universidad Autónoma de Chihuahua. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fundación Produce Chihuahua. Chihuahua, Chih., México. p. 59-64.
- Palenzuela, J.; Azcon-Aguilar, C.; Figueiroa, D.; Caravaca, F.; Roldan, A. and Barea, J. M. 2002. Effects of mycorrhizal inoculation of shrubs from Mediterranean ecosystems and composted residue application on transplant performance and mycorrhizal development in a desertified soil. *Biol. Fertil. Soils* 36: 170-175.
- Peterson, R. L. and Bonfante, P. 1994. Comparative structure of vesicular-arbuscular mycorrhizas and ectomycorrhizas. In: Robson, A. D.; Abbot, L. K. and Malajczuk, N. (eds.). Management of mycorrhizae in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. p. 79-88.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Puente G., A. 2002. Nuez, análisis de su rentabilidad. Claridades Agropecuarias (Méjico) 107:3-30.
- Sharpe, R. R. and Marx, D. H. 1986. Influence of soil pH and *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on growth and nutrient uptake of pecan seedlings. *HortScience* 21(6):1388-1390.
- Smiley, E. T.; Marx, D. H. and Fraedrich, B. R. 1997. Ectomycorrhizal fungus inoculations of established residential trees. *J. Arboric.* 23:113-115.
- Smith, M. W. and Storey, J. B. 1979. Zinc concentration of pecan leaflets and yield as influenced by zinc source and adjuvants. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 104(4):474-477.
- Solís D., F. 2002. Cultivo monoxénico de las especies del consorcio *Glomus* Zac-19. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méj., México.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1988. SAS/STAT User's guide. Release 6.03 ed. SAS Institute. Cary, NC., USA.
- Stockton, A. 1985. Interpreting pecan tree nutritional levels through leaf analysis. Proc. Nineteenth West. Pecan Conf. CES-New Mexico State University. Las Cruces, NM, USA. p. 99-100.
- Sylvia, D. W. and Williams, S. E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: Bethlenfalvay, G. J. and Linderman, R. G. (eds.). Mycorrhizae in sustainable agriculture. American Society of Agronomy. Crop Science Society American. Soil Science Society American. Madison, Wis., USA. p.101-124. (ASA special publication number 54).
- Taber, R.A.; Worthington, J. W.; Trappe, J. M. and Taber, W. A. 1982. Mycorrhizal fungi associated with native and improved varieties of pecan in Texas (Abstract). *Phytopathology* 72:951.
- Tarango R., S. H. 1993. El cultivo del pistachero. Colección Agropecuaria. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México. 183 p.
- Tarango R., S. H.; Chávez S., N. y Ortiz C., M. J. 2001. Análisis comparativo de la calidad de pistachos producidos en Delicias y en el Valle de Juárez (Chihuahua) e Irán. In: La investigación en pistachero en Chihuahua, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Universidad Autónoma de Chihuahua. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fundación Produce Chihuahua. Chihuahua, Chih., México. p. 65-71.
- Tarango R., S. H. y Ojeda B., D. L. 1999. Efecto de la poda de renovación en el crecimiento, nutrición y producción de nogales de bajo vigor y alternancia completa. *Agric. Téc. Méj.* 25(2):123-133.
- Tarango R., S. H. y Ronquillo A., G. 2001. Fenología de siete variedades de pistachero *Pistacia vera* L. en la región de Delicias, Chihuahua. In: La investigación en pistachero en Chihuahua, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Universidad Autónoma de Chihuahua. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Fundación Produce Chihuahua. Chihuahua, Chih., México. p.17-30.