

Ectomicorrizas en nogal pecanero

Ectomycorrhitic on pecan

B. PATRICIA GONZÁLEZ-CHÁVEZ², DÁMARIS L. OJEDA-BARRIOS^{1,3}, O. ADRIANA HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ¹, JAIME MARTÍNEZ-TÉLLEZ¹ Y ABELARDO NÚÑEZ-BARRIOS¹

Recibido: Febrero 6, 2009

Aceptado: Octubre 8, 2009

Resumen

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) tiene una asociación en las raíces alimentadoras con hongos benéficos altamente especializados. Esta colonización en las raíces es llamada «micorrizas» (hongo-raíz), y debe ser considerada como un elemento esencial en el marco de la agricultura sustentable, para promover el abastecimiento de agua, nutrientes, sanidad y productividad en el nogal. Se presentan las características morfológicas, fisiológicas y composición química de las raíces del nogal asociadas a las ectomicorrizas. También se resalta la relación raíz-micorriza en un ambiente natural como respuesta a la colonización micorrízica. Como evidencia de la simbiosis se presenta un estudio histológico de raíz en donde se observa el grado de asociación, así como su micromorfología: manto fúngico, «Red de Hartig», y cuerpo fructífero al microscopio, revelando la importancia de la relación raíz-ectomicorrizas para promover un ambiente de intercambio de nutrientes.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, hongos ectomicorrízicos, estudio histológico, raíces alimentadoras, *Pisolithus spp*

Abstract

The pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) is a partnership feeder roots with beneficial fungi highly specialized. This colonization of the roots is called mycorrhizae (fungus-root), and should be considered as an essential element in the framework of sustainable agriculture, to promote water, nutrients, health and productivity in pecan. We present the morphological, physiological and chemical composition of the roots of pecan associated with ectomycorrhizas. Just as, highlight the root-mycorrhizal relationship in a natural response to mycorrhizal colonization. As evidence of the symbiosis is presented a histological study of root where it can be seen the degree of association and their micromorphology: fungal mantle, «Red Hartig», and fruiting body under the microscope, revealing the importance of ectomycorrhizas to root to promote an atmosphere of exchange of nutrients.

Keywords: *Carya illinoensis*, ectomycorrhizal fungi, histology studio, pecan root, *Pisolithus spp*.

Introducción

El cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) ha alcanzado un importante crecimiento en el norte de México en las últimas décadas, la producción se destina al mercado de exportación en un 62.5 %, y el resto se consume en el país.

¹ Maestro(a)-Investigador(a). Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. V. Carranza y Escorza S/N. Col. Centro. 31000. Chihuahua, Chihuahua, México. Apartado Postal:24.

² Estudiante de Maestría. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Universidad Autónoma de Chihuahua. V. Carranza y Escorza S/N. Col. Centro. 31000. Chihuahua, Chihuahua, México.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.

En la actualidad el nogal es de los cultivos agrícolas más importantes en el Estado de Chihuahua, con una superficie plantada de 48,000 ha y una producción de 32 mil toneladas que equivale a 27 %, de la producción mundial y 58 % del total nacional, que lo hace el primer productor de nuez en el país. Las variedades más importantes son Western Schley y Wichita, las cuales se cultivan en zonas áridas y semiáridas del estado (Ojeda *et al.*, 2003).

En el Estado de Chihuahua la región productora más importante comprende los municipios de Jiménez y Delicias aportando el 73 % de su producción estatal, así mismo; Villa López, Meoqui, Rosales, Ojinaga, Nuevo Casas Grandes, Buenaventura, Villa Ahumada y Flores Magón, producen el 27 % restante (FIRA, 2005).

Los nogales en su hábitat natural tienen una asociación con hongos no dañinos altamente especializados en las raíces alimentadoras. Esta infección en las raíces es llamada «micorrizas» (hongo-raíz), la relación le permite al árbol la optimización en la toma de nutrientes del suelo por la raíz, mejorando así la eficiencia productiva del árbol (Marx, 1974; Marx y Bryan, 1977; Tarango, 2004).

Especies de micorriza comúnmente asociadas a raíces de nogal y otras especies

La micorrización es un proceso particularmente importante en la 'fertilización biológica' de las plantas, necesario en el contexto de la agricultura sostenible y de la producción orgánica (Alarcón y Ferrera, 2000; Bethlenfalvay, 1991; Brundett *et al.*, 1990; Marx, 1971 y Silva y Williams, 1991). La ramificación y engrosamiento de la ectomicorriza y el manto fúngico aumentan la superficie de exploración del sistema radical, por lo que la absorción de agua y de los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre es mayor; también el hongo puede desdoblarse complejos minerales y orgánicos del suelo a nutrientes asimilables por las plantas (Carrera y López Ríos, 2004; Chamizo *et al.*, 2000; Tehryung *et al.*, 2000).

Las raíces micorrizadas viven por más tiempo y son menos sensibles a las enfermedades (Marx *et al.*, 1990; Sharpe y Marx, 1986). El mecanismo básico por el cual el hongo micorrízico protege a una raíz de los patógenos es: a) al mejorar la nutrición de la planta, particularmente del P; b) al ocupar los sitios de infección en la superficie radical y al actuar el manto fúngico como barrera; y c) al producir antibióticos y otras sustancias de defensa (Mukerji *et al.*, 1999). En algunas regiones el nogal pecanero sufre de una fungosis llamada necrosis de las raicillas alimentadoras, causada por varias especies de *Pythium*; sin embargo, cuando las raicillas son micorrizadas por *S. bovista*, la enfermedad no se presenta, pues este hongo benéfico produce antibióticos (Marx *et al.*, 1990).

Dadas sus necesidades nutricionales, el hongo micorrízico restringe su hábitat a la raíz y al suelo vecino a ella, y se reproduce cuando está colonizando una raíz. El 95 % de las plantas desarrollan micorrizas, las cuales se clasifican en dos tipos básicos: ectomicorrizas y endomicorrizas (Castellano y Molina, 1999, Marschner y Dell, 1994). Los hongos micorrízicos también producen reguladores del crecimiento que estimulan la elongación y ramificación de las raicillas alimentadoras (González, 1993; González *et al.*, 1998).

Las raíces asociadas a los hongos del suelo difieren morfológicamente de aquellas que carecen de estos hongos y representan un fenómeno de naturaleza generalizada resultante de la unión orgánica entre las raíces y el micelio del hongo, en un órgano morfológicamente independiente, con dependencia fisiológica, íntima y recíproca, seguida por el crecimiento de ambas partes y con funciones fisiológicas muy estrechas (De la Rosa, 1999). En suelo natural virgen la micorriza se desarrolla cuando las raíces de una planta en crecimiento encuentran esporas o micelio de hongos micorrízicos (Cihacek, 1985). Las esporas germinan y las hifas en crecimiento rodean las raíces (Agrios, 2001; Mukerji *et al.*, 1999; Sharpe y Marx, 1986).

Existen evidencias de la capacidad simbiótica de hongos ectomicorrízicos con *Pinus patula* y *Pinus greggi*, en los cuales los porcentajes de colonización micorrízica variaron entre especies de 9 a 66 %. La caracterización micromorfológica muestra una asociación típica de gimnospermas con una red de Hartig penetrando varias capas de células corticales (Carrera-Nieva y López-Ríos, 2004). El eucalipto (*Eucalyptus globules* y *Eucalyptus urophylla*) es reportado con asociación de endo y ectomicorrización (Chen *et al.*, 2000).

En un estudio efectuado durante dos años en Delicias, Chihuahua, México, se observó que las raíces de Pistachero (*Pistacia atlántica* L.) solo fueron endomicorrizadas con porcentajes de colonización entre 0 y 78 %. El hongo *Glomus intraradix* cepa AM-CP fue la especie que mejor colonizó a este cultivo (Tarango, *et al.*, 2004). En las especies del género *Pistacia* se ha reportado la colonización por hongos endomicorrízicos (Caravaca *et al.*, 2002; Ferguson *et al.*, 1998; Figueroa, 2001).

Existen evidencias de su alta capacidad de asociación con micorrizas en nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch), por lo que presentan un alto potencial para mejorar la climatización de plantas propagadas en vivero y posteriormente trasplantadas a campo, donde frecuentemente son sometidas a condiciones de estrés por nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, estrés por sequía y altas temperaturas, así como problemas por toxicidad de compuestos de aluminio y sales, entre otros (Hanna, 1987; Tarango, 2004).

También se determinó la influencia de la inoculación micorrízica en el desarrollo y la concentración foliar de nutrientes, en los que se inocularon con cepas de hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos en plántulas de nogal pecanero, se encontró que las raíces del nogal fueron ectomicorrizadas y la colonización varió de 0 a 83 %, se identificaron hifas ornamentadas de *Pisolithus tinctorius*. También se observó una relación positiva relativa entre el porcentaje de colonización y el grosor y la altura del tallo, con un coeficiente r^2 , que varió

de 0.64 a 0.74, se favoreció la concentración foliar de zinc con la ectomicorrización (Tarango *et al.*, 2004).

Se evaluó la aplicación de biosólidos anaeróbicos digeridos como una fuente de nutrientes para el nogal. La aplicación de fertilizantes NPK y biosólidos, así como un tratamiento con hongos rizosféricos. Después de tres años de evaluación el área seccional del tronco con los tratamientos de biosólidos crecieron 9.0 % más con la aplicación de la fertilización convencional, el árbol y la producción por brote fue incrementada por la aplicación de biosólidos, la concentración foliar de nutrientes y la calidad de la nuez fue estadísticamente igual con la adición convencional que con la de biosólidos. La inoculación con hongos micorrízicos promovió el crecimiento del brote en un 19.4 % con la aplicación de fertilizantes convencionales. El estatus nutricional y el rendimiento no se incrementaron con la adición de micorrizas. La adición de *Trichoderma* no favoreció ninguna de las variables evaluadas con ninguna de las fuentes de nutrientes. Los biosólidos son promotores eficientes del crecimiento, producción y calidad de la nuez en árboles de nogal pecanero (Tarango *et al.*, 2009).

Características morfológicas, fisiológicas y composición química de raíces del nogal asociadas a ectomicorrizas

El nogal pecanero tiene raíz pivotante y la parte superior de su sistema radical es fibrosa. En dichas raíces fibrosas crecen las raicillas alimentadoras, que son pequeñas y delgadas, las cuales se forman y se secan de manera continua debido en gran parte al contenido de humedad del suelo (Sparks, 2004). Como la raíz de este árbol no tiene pelos absorbentes (Figura 1) son las raicillas alimentadoras las que absorben agua y nutrientes, la mayoría de las cuales están micorrizadas, apareciendo sus cofias más redondeadas y cubiertas por micelio fungoso. Específicamente, los hongos que han

sido reportados asociados con el nogal pecanero pertenecen a los géneros *Astraeus*, *Gyrodon*, *Pisolithus*, *Russula*, *Scleroderma*, *Tuber* y *Tylophilus* (Taber *et al.*, 1982; Smith y Read, 1998). En viveros se ha observado que las raíces del nogal son micorrizadas por *S. bovista*, cuyas macroformas son de color blanco y multiramificadas (Brunner y Brodbeck, 2001). En viveros de regiones semiáridas son más comunes raíces ectomicorrizadas con macroformas de color café o café rojizo (Carrera y López Ríos, 2004; Marx, 1977; Marx y Bryan, 1969; Tarango *et al.*, 2004).

Figura 1. Raíz de nogal pecanero, en su lado derecho se encuentra abundantemente colonizada por el micelio de un hongo ectomicorrízico y en su lado izquierdo se observan raicillas alimentadoras sin micorrizar (Tarango, 2004).



Relación raíz-ectomicorriza: ambiente natural como respuesta a la colonización micorrízica

Las micorrizas se forman más eficazmente cuando la fertilidad del suelo es moderada a baja, particularmente en su contenido de fósforo (Cihacek, 1985; Tarango y Ojeda, 1999). La micorrización es mayor en árboles con una tasa fotosintética alta, lo que permite una acumulación de carbohidratos en la raíz, lo cual la hace más susceptible a la infección micorrízica (Castellano y Molina, 1999).

Suelos bien drenados, con adecuada humedad, con temperatura moderada, buena aireación y ricos en materia orgánica estimulan el crecimiento de la raíz y de los hongos

micorrízicos (Alarcón *et al.*, 2000; Smile y Williams, 1991). La presencia en las huertas de una cobertera de zacates anuales nativos favorece la micorrización natural de la raíz de los árboles (Alarcón y Ferrera, 2000). Mediante el segado de la cobertera y el no laboreo, se incrementa la materia orgánica en la primera capa del suelo y la formación de raicillas laterales y superficiales micorrizadas, lo que mejora la absorción de nutrimentos, particularmente del fósforo y zinc (Davies *et al.*, 2000).

En un trabajo realizado con el propósito de determinar el grado de ectomicorrización y la identificación de géneros de hongos ectomicorrízicos nativos a partir de cuerpos fructíferos asociados a las raíces de nogal pecanero en producción en tres huertas de la región de Delicias-Rosales, Chihuahua, México, para lo cual se recolectaron trozos de raíz micorrizadas y cuerpos fructíferos presentes en el suelo para su identificación, se encontraron porcentajes de ectomicorrización desde un 6 % hasta un 46 %. La mayoría de las raíces micorrizadas se localizan entre los 5 y 35 cm de profundidad. El tipo de macroestructuras ectomicorrízicas encontradas en las raíces de nogal fueron de tipo simple, coraloide, monopodial piramidal, monopodial pinnada y dicotómica, de coloraciones blancas, beige, ocre y café. El hongo ectomicorrízico que se encontró asociado al nogal fue *Pisolithus spp* (Muñoz-Márquez *et al.*, 2009).

Técnicas para evaluar las ectomicorrizas en nogal pecanero

La ectomicorriza se forma en las raíces cortas y en las raicillas alimentadoras, modificando su forma, tamaño y a veces su color. El hongo micorrízico crece en la superficie de la raíz, formando un manto compacto de hifas como se muestra en la Figura 2; luego forma una vaina que penetra la epidermis y las hifas crecen entre las células corticales para formar la «Red de Hartig». Las hifas del manto fúngico se prolongan hacia el suelo, donde forman rizomorfos; ambas estructuras absorben y

transportan agua y nutrientes minerales como se muestra en la Figura 1. En zona de la raíz que abarca la «Red de Hartig» ocurre el intercambio: el hongo trasloca a la raíz agua y nutrientes, y la raíz pasa al hongo carbohidratos y otras sustancias nutritivas (Castellano y Molina, 1999; Tarango, 2004).

Figura 2. A la derecha la punta de una raicilla de nogal pecanero forrada por el micelio de un hongo ectomicorrízico (manto fúngico), a la izquierda una raicilla sin colonizar (Tarango, 2004).



Los hongos ectomicorrízicos forman cuerpos fructíferos llamados 'esporocarpos', los cuales pueden verse en el piso de las huertas en época de lluvias, dichas estructuras producen y liberan las esporas con las cuales el hongo se propaga (Alarcón *et al.*, 2000; Ferrera, 1993; Muñoz-Márquez *et al.*, 2009).

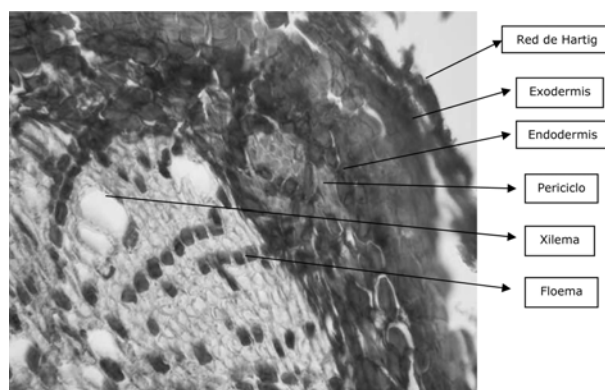
El desarrollo ectomicorrízico se inicia de propágulos, de esporas o de hifas del hongo simbiote que se encuentra en la rizosfera del sistema radicular. El propágulo se estimula por exudados de la raíz y crece vegetativamente sobre las raicillas, formando el manto fúngico. Los tejidos meristemáticos y vasculares de la raíz no son infectados. Los compuestos reguladores de crecimiento se producen tanto por el hongo como por la planta, causando un incremento en el tamaño de las células de la raíz, lo cual trae consigo cambios morfológicos en el sistema radicular, lo que origina formas simples, bifurcadas o coraloideas. El color de la ectomicorriza puede ser café, negro, gris,

blanco, rojo, amarillo o mezcla de estos colores (Marx, 1974; Marx y Bryan, 1977; Muñoz-Márquez, *et al.*, 2009; Tarango *et al.*, 2004).

En ambientes edáficos naturales, los árboles no se desarrollan normalmente sin micorrizas; en una buena huerta los arbolitos no micorrizados no sobreviven más de un año después del trasplante (Tarango *et al.*, 2004). En ectomicorrizas, el hongo envuelve enteramente a la punta de la raíz con una vaina densa llamada manto hifa, el cual penetra en los espacios intercelulares. Las raíces son cortas, ramificadas y aparecen hinchadas, el desarrollo de los pelos radicales está disminuido, los volúmenes de meristemo apical y cofia pueden estar reducidos (Alarcón y Ferrera, 2000).

En las raíces de nogal con micorrizas muestreadas en la región nogalera de Aldama, Chihuahua, México, se encontró en ellas el manto fúngico formado por hifas que cubrían a las raicillas como se muestra en la Figura 3, similares a las reportadas en las huertas nogaleras de Georgia (EUA) identificadas de color café como ocurre en suelos de regiones semiáridas (González *et al.*, 2008).

Figura 3. Microfotografía tomada a 40x, de raíces de nogal pecanero. Aldama, Chih. Diciembre, 2008.

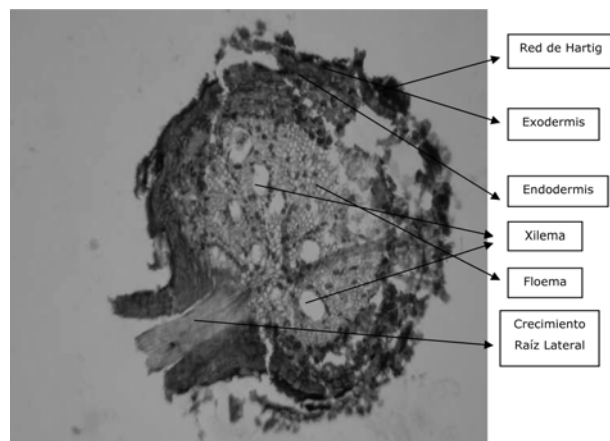


El corte transversal de la raíz de nogal en estado primario de crecimiento como se observa en la Figura 3, muestra la separación nítida entre los tres tipos de sistemas de tejidos: en la epidermis se puede ver la presencia del

hongo ectomicorrítico formando la Red de Hartig, en la endodermis prácticamente adherida a ésta, el periciclo y en el sistema vascular se aprecia la presencia del xilema y floema claramente, tras la formación del manto, el micelio penetra en dirección a la endodermis y entra en contacto con las células epidérmicas, pero no penetra el córtex, formando así la «Red de Hartig», el micelio presenta un manto septado que se prolonga y hace incrementar enormemente la rizosfera. En la Figura 4, existe presencia de una raíz lateral que emerge de la endodermis. En el cilindro vascular se puede apreciar elementos de protoxilema formando un cuerpo con proyecciones que se ven como filas que se extienden al periciclo y ocupan una posición central (Izco, 2005).

Los elementos cribosos del protofloema ocupan una posición periférica en el sistema vascular y el metafloema aparece más adentro (González *et al.*, 2008). En las condiciones de este estudio las raíces del nogal únicamente fueron ectomicorrizadas, y desde el punto de vista estructural y funcional, el micelio externo de los hongos ectomicorrízicos compensa la ausencia de pelos absorbentes. Asimismo, la respuesta de este frutal coincide con lo señalado por Tarango (2004), de que entre menor es la capacidad de una raíz de formar pelos radicales y de emitir raicillas laterales, mayor dependencia tiene de los hongos ectomicorrízicos.

Figura 4. Microfotografía tomada a 10 X, de raíces de nogal pecanero. Aldama, Chih. Diciembre, 2008.



Consecuencias morfológicas de la relación raíz-ectomicorrizas para promover un ambiente de intercambio de nutrientes

Las características y consecuencias morfológicas de la infección en la raíz de nogal son las siguientes:

- Aumenta el número de raíces cortas, muy ramificadas, de estructura primaria y crecimiento limitado, con el ápice redondeado, que presentan formas características (dicotómicas, coraloides, cilíndricas, cilíndricas con constricciones, etc.) según las especies de planta y de hongo de que se trate (Marschner y Dell, 1994).

- El manto tiene un grosor y una estructura característica del hongo formador (que varía con las especies y con las razas), además el manto presenta un micelio septado con unas hifas poco ramificadas y características de la especie fúngica (Carrera y López Ríos, 2004; Tarango *et al.*, 2004).

- El manto ya aparece en la primera etapa de la infección, tras la aparición de cada nueva raicilla, cuando el hongo recubre y desarrolla un micelio con los carbohidratos cedidos por la planta. El micelio envuelve las células corticales con una estructura de cobertura. Posteriormente, el manto puede morir en las raíces largas o puede perdurar, como lo hace en las cortas. El micelio se prolonga expansivamente desde el manto hacia el exterior, lo que hace aumentar enormemente la rizósfera por agrupaciones de hifas (volumen de suelo explorado por el sistema radical).


- Tras la formación del manto, el micelio penetra en dirección a la endodermis y entra en contacto con células epidérmicas o corticales pero sin penetrar en el córtex. Se forma así la «Red de Hartig», cuya función es el establecimiento de una superficie de intercambio bidireccional de nutrientes (evidencias reportan que se incrementa la concentración de fósforo y zinc foliar) y otras sustancias entre planta y hongo (Domínguez, 2002; Sparks, 1994; Tarango *et al.*, 2004).

Conclusiones

La presente revisión resalta la interacción de los hongos ectomicorrízicos con *Carya illinoensis* (Wangeh) K. Koch como promotores del crecimiento, producción y calidad en los nogales. Los resultados obtenidos en base a la revisión realizada, muestran las evidencias de la asociación ectomicorrizas-raíces en huertas de la región centro del Estado de Chihuahua, México. Se presentan las características morfológicas, fisiológicas y composición química de las raíces del nogal asociadas a las ectomicorrizas. Se resalta la relación raíz-micorriza en un ambiente natural como respuesta a la colonización micorrízica. Como evidencia de la simbiosis se presenta un estudio histológico de raíz en donde se observa el grado de asociación así como su micromorfología: manto fúngico, «Red de Hartig», y cuerpo fructífero al microscopio y muestra la importancia de la relación raíz-ectomicorrizas para promover un ambiente de intercambio de nutrientes. Sería conveniente continuar con estudios que identifiquen los factores que propician el desarrollo del hongo ectomicorrízico en las huertas de nogal pecanero en el marco de la agricultura sustentable.

Literatura citada

- AGRIOS, G.N. 2001. Fitopatología. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México. P. 279, 528-530.
- ALARCÓN, A.; M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2000. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo in vitro. Revista Terra 18(3) 211-218.
- ALARCÓN, A. y R. Ferrera C. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. Agric. Téc. Mex. 26(2): 191-203.
- 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).
- BRUNDRETT, M.; Murace, G. and Kendrick, R. 1990. Comparative anatomy of root and mycorrhizae of common Ontario trees. Can. J. Bot. 68:551-578.
- BRUNNER, I; Brodbeck, S. 2001. Response of mycorrhizal Norway spruce seedlings to various nitrogen loads and sources. Environmental Pollution 114: 223-233.
- CARAVACA, F; Barea, J.M. y 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
- CARRERA N.A. y G. F López Ríos. 2004. Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. Revista Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente. 10(2): 93-98
- CASTELLANO, M.A. and R. Molina. 1999. Mycorrhizae. In: T.D. Landis, R.W. Tinus, S.E. McDonald and J.P. Barnett (eds.). The container tree nursery manual. Vol. 5. Agric. Handbook 674. USDA-FS.P. 101-167.
- 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.; Brundert, M. C. and Dell, B. 2000. Effects of ectomycorrhizas and vesicular-arbuscular mycorrhizas, alone or in competition, on root colonization and growth of *Eucalyptus globules* and *E. urophylla*. New Phytol. 146:545-556.
- CIHACEK, L. J. 1985. Interpreting soil analysis. Guide A-126. New México State University. Las Cruces, NM, USA. 4p.
- DAVIES, F.T.; V. Olalde-Portugal, M.J. Alvarado, H.M. Escamilla, R. Ferrera-Cerrato and J.I. Espinosa. 2000. Alleviating phosphorus stress of chile ancho pepper (*Capsicum annum* L. San Luis by arbuscular mycorrhizal inoculation. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75:655-661.
- DE LA ROSA ALVARADO INDIRA ISELA, 1999. Micorrizas Asociadas a los Cultivos de Papa (*Solanum tuberosum*), Manzano (*Pirus malus*) y Nogal (*Carya illinoensi*) en el Área de la Influencia Inmediata a la UAAAN.
- DOMÍNGUEZ NÚÑEZ JOSÉ ALFONSO, 2002. Aportaciones de la Micorrización Artificial con Trufa Negra en Planta Forestal, Dpto. Silvopascicultura. E.T.S.I. Montes de Madrid.
- 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 agronomicrobiología. Trillas. México, D. F. p.93-120.
- FIDEICOMISOS INSTITUIDOS EN RELACIÓN CON LA AGRICULTURA (FIRA), 2005. Diagnostico de la Red Nuez en el Estado de Chihuahua. Informe Estatal Chihuahua.
- FIGUEROA V., U. 2001. Evaluacion de las variedades de pistachero *Pistacia vera* L. Kerman y Pegers en el Valle de Juarez, 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 CHÁVEZ B. PATRICIA, Ojeda-Barrios Dámaris L., Martínez-Téllez Jaime., Nuñez-Barríos Abelardo y Hernández-Rodríguez Adriana. 2008. Ectomicorriza en Nogal Pecanero: estudio Histológico. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de Productividad Frutícola. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 86 p.
- GONZÁLEZ C., M. C. 1993. La endomicorriza vesiculo-arbuscular. In: Ferrera C., M.C. A. y Rodríguez M., M. N. (eds.) Manual de agronomicrobiología. Trillas. México. D. F. p. 53-91.
- GONZÁLEZ C., C.; Ferrera C., R. y Pérez M., J. 1998. Biotecnología de micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Posgraduados, Edo. 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.

- IZCO JESÚS, BOTÁNICA, 2005. Mc Graw Hill. Interamericana, Madrid, España, 2a. Ed. P.906.
- 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. 5th Annual Western Irrigated Pecan Growers Association Conference. New Mexico State University. Las Cruces, NM, US. 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 bavista*, an ectotrophic mycorrhizal fungus of pecan, *Phytopathology* 59(8): 1128-1132.
- MARX D.H., Brundrett M., G. Murase, B. Kendrick, 1990. Tree host range and world distribution of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius*. *Canadian Journal of Microbiology* 23: 217-223.
- MUÑOZ-MÁRQUEZ E., Macías-López B.C., Sánchez-Chávez E., Avila-Quezada G., Silva-Rojas H., Jiménez_Castro J., González-García J. 2009. Identificación y niveles de ectomicorrización natural en huertas nogaleras de la región de Delicias, Chihuahua. *Memorias de Resúmenes XIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas A.C.* ISBN 978-607-95106-3-3. Torreón, Coahuila, México. 215-219 p.
- MUKERJI, K.G., R. Jalpal, M. Bali y R. Rani. 1999. The Importance of Micorrizas for Roots and Plant Roots and Their Environment. *Proceeding of an ISRR, Iupsala Symposium.* August 21st-26th Sweden. H. Pearson Amsterdam Elsevier 249 p.
- OJEDA, D., Reyes A., Ramírez H., Lagarda A., Chávez F.I., Uvalle J.X., Ramírez R.M y Romero L. 2003. Uso eficiente de la fertilización nitrogenada en el cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) Variedad Western Schley. Segunda Edición. Editorial Placido Cuadros. Granada, España. P. 26-50.
- SHARPE, R. R. and Marx, D. H. 1986. Influence of soil pH and *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae on growth and nutrient uptake of pecan seedling. *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, S.E. and Read, D.J. 1998. *Mycorrhizal Symbiosis*, 2da edición. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- SPARKS D. 1994. Leaf zinc for maximum yield, growth in pecan. *Pecan South.* 27:19-24.
- SPARKS, D. 2004. A letter from L.D. Romberg. *Pecan South* 36(12): 14-20
- SYLVA, D. W. and Williams, S. E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: Bethlenfalvai, G. J. and Linderman, R.G. (eds.) *Mycorrhizae in sustainable agriculture.* American Society of Agronomy. Corp. Science Society American. Soil Science Society American. Madison, Wis., USA. p. 101-124. (ASA special publication number 54).
- TABER, R.A., J.W. Worthington; J.M. Trappe and W.A. Taber. 1982. Mycorrhizal fungi associated with native and improved varieties of pecan in Texas (Abstract). *Phytopathology* 72:951.
- TARANGO, R. S. H. 2004. Micorrizas en nogal pecanero y pistachero. Folleto Técnico No. 16 del INIFAP-Delicias. Centro de investigaciones regionales norte-centro campo experimental Delicias, Agosto del 2004. Chihuahua, México. 39 p.
- TARANGO, R., S.H.; Macías, B.C., L.; A. Alarcón, J., Pérez, M., 2004. Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrimentos en nogal pecanero y pistachero. *Agríc. Téc. Méx.* 30(2), 191-203.
- TARANGO, R., S.H.; G. Nevárez Morillón, L.; Orrantia Borunda E. 2009. Growth, yield, and nutrient status of pecans fertilized with biosolids and inoculated with rhizosphere fungi. *Bioresource Technology* 100(6): 1992-1997.
- TARANGO, R. S.H. y Ojeda Barrios D. L. 1999. Efecto de la poda de renovación en el crecimiento, nutrición y producción de nogales de bajo rigor y alternancia completa. *Agríc. Téc. Méx.* 25(2): 123-133
- TEHYRUNG K., Mills H., Wetzstein H. 2000. Studies on the effect of zinc supply on growth and nutrient uptake in pecan. *J. Plant Nutrition* 25(9): 1987-2000. 

Este artículo es citado así:

González-Chávez B. P., D. L. Ojeda-Barrios, O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez y A. Núñez-Barrios. 2009: *Ectomicorrizas en nogal pecanero.* *TECNOCIENCIA Chihuahua* 3(3): 138-146.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA BARRIOS. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Obtuvo su Doctorado y Maestría en la Universidad Autónoma Agraria «Antonio Narro», su Licenciatura en la Universidad Autónoma de Chihuahua. Actualmente conduce investigaciones sobre desordenes nutricionales en frutales caducifolios. Imparte los cursos de Nutrición Vegetal, Fisiología Vegetal y Anatomía Vegetal. Asesora de estudiantes de posgrado y licenciatura. Es responsable del área de Fisiología y Nutrición Vegetal con énfasis en Frutales Caducifolios en los cultivos de manzano y nogal pecanero en el Laboratorio de Bioquímica Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-UACH.

OFELIA ADRIANA HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ. Maestra-investigadora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Cursó la licenciatura en la Facultad de Fruticultura de la Universidad Autónoma de Chihuahua, otorgándosele en 1985 el título de Ingeniero Fruticultor. Realizó estudios de posgrado en la misma Facultad, obteniendo en el año de 1994 el grado de Maestro en Ciencias de la Productividad Frutícola. Posee el Doctorado in Philosophia, con Área Mayor en Manejo de Recursos Naturales, grado conferido en 2008 por la Facultad de Zootecnia de la UACH. Se desempeña como Maestra de Tiempo Completo en la UACH desde 1986 y ha sido miembro del Cuerpo Académico CA-11 UACH Frutales de Zona Templada, desde el 2006. Es responsable de varios proyectos de investigación en proceso y concluidos a nivel licenciatura y maestría y actualmente es responsable técnico de un proyecto de investigación con financiamiento externo FOMIX Chihuahua-UACH. Ha participado como ponente en congresos científicos nacionales e internacionales y en publicaciones de artículos científicos y de divulgación como autora y coautora.

ABELARDO NÚÑEZ BARRIOS. Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agro tecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Los estudios de Licenciatura los llevo a cabo en la Universidad Autónoma de Chapingo, la maestría la realizo en la Universidad de Guelph, Canada y el Doctorado en la Universidad Estatal de Michigan, EU. Asesor de estudiantes de posgrado y licenciatura. Actualmente lleva a cabo proyectos de investigación en fisiología del estrés en diferentes cultivos incluyendo sequia, uso eficiente del agua, nutrición y cambio climático.

JAIME MARTÍNEZ TÉLLEZ. Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agro tecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Los estudios de Licenciatura los llevo a cabo en la Universidad Autónoma de Chihuahua, la maestría y Doctorado la realizo en la Université de Bordeaux II Francia. Asesor de estudiantes de posgrado y licenciatura. Actualmente lleva a cabo proyectos de investigación en Patología en diferentes cultivos con énfasis en Agricultura Orgánica.

BLANCA PATRICIA GONZÁLEZ CHÁVEZ. Egresada de la Maestría en Productividad Frutícola de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.