

El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero

The zinc as a promoter of growth and fruiting in pecan trees

ELOISA PEREA-PORTILLO¹, DÁMARIS LEOPOLDINA OJEDA-BARRIOS^{1,2}, OFELIA ADRIANA HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ¹, DALILA JACQUELINE ESCUDERO-ALMANZA¹, JAIME JAVIER MARTÍNEZ-TÉLLEZ¹ Y GUSTAVO ROGELIO LÓPEZ-OCHOA¹

Recibido: Mayo 19, 2010

Aceptado: Julio 7, 2010

Resumen

Las necesidades de zinc (Zn) que tiene el nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]; lo ubican como uno de los micronutrientes más requeridos por este árbol. Esto es presuntamente originado por su indisponibilidad en suelos calcáreos que predominan en el norte de México. En la actualidad la deficiencia de este elemento produce un decremento aproximado del 20 % en la producción y la calidad de la nuez. Las prácticas de manejo de este nutriente en las huertas nogaleras consisten en aplicaciones foliares; desde el periodo de brotación hasta el crecimiento rápido de fruto, aplicando productos de Zn, incluyendo sulfatos y quelatos. El presente escrito pone en relieve el estado del arte sobre la importancia del Zn en los procesos fisiológicos y bioquímicos; así como también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero. Se puede concluir que el Zn es un elemento esencial, que influye en los procesos de crecimiento y fructificación en el árbol de nogal pecanero, el cual si es aplicado foliarmente prevé y corrige la deficiencia que presente el árbol, pero si es aplicado edáficamente; la respuesta puede tardar algunos años.

Palabras clave: *Carya illinoensis*, ácido indolacético, fertilización foliar, quelatos.

Abstract

The need of Zinc (Zn) the pecan tree [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] has ranks Zinc as one of the most required micronutrients. This need is presumably caused by Zn unavailability in calcareous soils that predominate in the north of Mexico. Currently, the deficiency of this element causes an approximate 20% decrease in the production and quality of the pecan nut. The management practices of this nutrient in the pecan tree orchards consist in foliar applications, from sprouting to fruit's rapid growth period, using Zn products, including sulfates and chelates. This article highlights the state of the art about the role that Zn plays in the physiological and biochemical processes, as well as the causes and correction of its deficiency and toxicity in pecan tree growing. It can be concluded that Zn is an essential element that influences the growth and fruiting processes of the pecan tree, which if applied foliar prevents and corrects the deficiency presented by the tree, but if it is edaphically applied then response may take some years.

Keywords: *Carya illinoensis*, indoleacetic acid, foliar fertilization, chelates.

Introducción

Uno de los principales factores a considerar en el manejo técnico de una huerta nogalera es la nutrición mineral, ya que el 30 % de los gastos dentro de una huerta corresponden a fertilización; 15 % a nitrógeno (N) y el otro 15 % a Zn (SAGARPA, 2008). En la actualidad, la práctica de corrección de la deficiencia de Zn en nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.)

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Ciudad Universitaria S/N Campus 1, Chihuahua, Chih., 31310.

² Dirección electrónica del autor de correspondencia: dojeda@uach.mx.

C. Koch], cultivado en suelos alcalinos, consiste en aplicaciones foliares, en el periodo de brotación hasta crecimiento rápido de fruto con diferentes productos de Zn, incluyendo sulfatos y quelatos. Sin embargo, en la actualidad no hay un consenso de qué producto es más efectivo para suministrar este micronutriente al árbol (Ojeda *et al.*, 2009). Es por lo anterior, que el presente escrito pretende discernir los procesos bioquímicos y fisiológicos que guarda el zinc, así como, también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero para plantear el estado del arte que guarda este tema.

Bioquímica y Fisiología del Zinc. El Zn es esencial para los procesos fisiológicos de las células. Este elemento no tiene actividad redox pero participa en la estructura y/o catálisis de muchos procesos y es el único metal de su clase presente en las enzimas (Barak y Helmke 1993). Cuando existe un exceso de Zn en la planta, disminuye la absorción de N, magnesio (Mg), potasio (K) y manganeso (Mn), considerando que la concentración de fósforo (P) y calcio (Ca) aumentan solamente en la raíz (Sagardoy *et al.*, 2008). El mecanismo que controla la homeostasis del Zn aún no se conoce (Hacisalihoglu *et al.*, 2004; Broadley *et al.*, 2007; Kramer *et al.*, 2007). Las raíces de las plantas adquieren el Zn predominantemente como ion divalente (Zn^{+2}) y es totalmente distribuido en la planta para complementar una serie de procesos. Se descubrió en años recientes que varias familias de plantas transportan metales pesados y que existe un medio de transporte de Zn por la membrana, pero es complicado en una minoría de árboles: ZIP (IRT-like proteínas) (Wintz *et al.*, 2003), CDF (Cación Facilitador de Difusión de proteínas) (Blaudez *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2003; Kobae *et al.*, 2004; Kramer, 2005) y P1B-type ATP-asas (HMAs, metal transportador de ATP-asas) (Hussain *et al.*, 2004; Papoyan y Kochian 2004; Verret *et al.*, 2004; Mills *et al.*, 2005). Entre las funciones del Zn en la planta son en el transporte, captación, emisión de vapores, compartimentación, almacenaje y

desintoxicación (Kramer *et al.*, 2007). El Zn también es un activador o cofactor de enzimas tales como la anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, ARN polimerasa y superóxido dismutasas (Marchner, 1986). Después de ser captado, el Zn es transportado por medio del xilema donde es quelado por diferentes moléculas pequeñas (Haydon y Cobbet, 2007), incluidos los ácidos orgánicos tales como citrato (Broadley *et al.*, 2007), malato y nicotinamina (Callahan *et al.*, 2006). Cuando la oferta de Zn es alta, una gran parte de este nutriente en la célula también es quelatado por ácidos orgánicos como el malato y citrato (Kupper *et al.*, 2004), aminoácidos como histidina (Callahan *et al.*, 2006), fitatos y metalotioninas (Papoyan y Kochian, 2004) y lo demás es almacenado en las vacuolas. Srivastava y Singh (2009) explican que el Zn cataliza la síntesis de la serina, la cual es precursora del aminoácido triptófano, que en la hoja es convertido en ácido indolacético. Esta auxina es responsable del crecimiento del brote y de la hoja, por lo que es normal que ambos disminuyan su tamaño cuando el Zn llega a ser deficiente, deteniéndose el crecimiento terminal y forzando a las yemas laterales a crecer débilmente, lo cual forma el síntoma de roseta (Flores *et al.*, 2009).

Importancia del Zinc en el Nogal. Además del N, el Zn es el nutriente que más atención ha recibido en los programas de manejo e investigación del cultivo del nogal; debido a su poca disponibilidad en el suelo y a las necesidades de los árboles, se ha vuelto un elemento clave (Wood, 2007). Las necesidades de Zn que tiene el nogal, lo ubican como uno de los nutrientes más requeridos por este árbol; la deficiencia de Zn produce clorosis intervenal fácil de observar, lo que se ha relacionado con un papel estabilizador del Zn sobre la molécula de clorofila (Ojeda *et al.*, 2009). Wood (2007) indica que después de la brotación, la concentración foliar de Zn baja, debido a un efecto de disolución causado por el crecimiento e incremento en la densidad de foliolos, en relación a una cantidad aproximadamente constante del nutriente en el tejido. Cuando este

elemento es acumulado en la hoja, generalmente permanece en ella y en el mejor de los casos es transportado a los puntos de crecimiento (Wood, 2007). Hay una clara relación entre los niveles de Zn y la concentración de auxinas que, incluso, llega a disminuir antes de que se manifieste la deficiencia de Zn en la planta (Smith *et al.*, 2007). Sin embargo, la absorción de Zn puede ser impedida por las concentraciones altas de boro (B) en el agua de riego y el suelo, ocasionando un antagonismo entre estos dos nutrientes sin que a la fecha se tengan reportes de trabajos similares (Wells y Wood, 2008).

Deficiencia de Zinc. Los síntomas de deficiencia de Zn aparecen en el nogal cuando el contenido foliar del elemento es de 20 mg kg⁻¹ peso seco o menos, para la región de Aldama, Chihuahua (Ojeda *et al.*, 2009). Wood (2007) considera que la carencia se presenta cuando en el ciclo anterior aparecieron síntomas leves y el análisis foliar mostró menos de 60 mg kg⁻¹. Núñez-Moreno *et al.* (2009a) opinan que los síntomas de deficiencia aparecen cuando su concentración en la hoja baja de 20 mg kg⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración foliar de Zinc donde aparecen síntomas visuales de deficiencia en el cultivo del nogal pecanero, para la regiones de Aldama, Chihuahua, México; Arizona y Georgia, Estados Unidos de Norteamérica, de acuerdo a diferentes autores.

| Deficiencia | Autor |
|--------------------------|------------------------------------|
| < 20 mg kg ⁻¹ | Ojeda <i>et al.</i> , 2009 |
| < 20 mg kg ⁻¹ | Núñez-Moreno <i>et al.</i> , 2009a |
| < 60 mg kg ⁻¹ | Wood, 2007 |

También indican que huertas con un promedio de 20 a 40 mg kg⁻¹ de Zn foliar son poco productivas, considerándose este nivel como de “hambre oculta”. El síntoma de muerte regresiva generalmente aparece después de que

los árboles han sufrido deficiencia de Zn durante varios años; pero la producción es afectada antes de que los síntomas de rosetado o muerte regresiva se expresen (Flores *et al.*, 2009). Vargas y Arreola (2008) indican que tanto la concentración de clorofila como la fotosíntesis neta disminuyen en las hojas del nogal cuando hay carencia de dicho elemento. De ahí que uno de los síntomas de la falta del nutriente sea una clorosis en los folíolos por lo anterior se puede decir que la reducción de la fotosíntesis significa hojas menos productivas (Srivastava y Singh, 2009). De acuerdo con la deficiencia de Zn, puede ser ligera cuando las hojas tienen un color claro, presentando algunas amarillamiento intervenal y ondulado marginal, siendo su tamaño más pequeño; cuando es moderada, se presentan hojas con una pronunciada reducción de su tamaño y con amarillamiento entre las venas (Smith *et al.*, 2007), los folíolos son angostos y el crecimiento apical es corto; la carencia severa se caracteriza por hojas extremadamente pequeñas con folíolos angostos sin crecimiento apical, de un color verde claro con amarillamiento intervenal; en este nivel, los árboles presentan muerte regresiva en sus brotes y en algunos casos mueren por completo (Hu y Sparks, 1991). Según Srivastava y Singh (2009) bajo condiciones de campo la deficiencia de Zn generalmente ocurre sólo en una parte de los árboles de la huerta o en partes de los árboles individuales (Figura 1).

Toxicidad con Zinc. Cuando existe un exceso de Zn en la planta disminuye la absorción de N, Mg, K y Mn, considerando que la concentración de P y Ca aumentan solamente en la raíz (Sagardoy *et al.*, 2008). En muchos casos, el exceso de Zn genera una especie de reactivación oxidativa y/o desplaza a otros metales del lugar de activación de la síntesis de proteína. La toxicidad induce clorosis en hojas jóvenes y también provoca la deficiencia de hierro (Fe) y Mg por suplantación, esto es debido a que los tres metales tienen ión divalente; otro síntoma común incluye reducción del contenido de agua en los tejidos y cambios en la concentración de P y Mg en el tejido de la planta (Kramer *et al.*, 2007).

Figura 1. De derecha a izquierda: hojas cloróticas en nogal pecanero, síntoma de roseteado y hojas con síntoma visible de necrosis



Causas y Corrección de la Deficiencia de Zinc en Nogal

El Zinc en el Suelo de Huertas Nogaleras. El nogal pecanero generalmente presenta problemas de deficiencias de elementos menores como Zn, Mn y Fe (Smith *et al.*, 2007). El Zn generalmente se encuentra disponible en un suelo con un pH de 5.0 a 7.0; a pH más alto, el Zn forma compuestos poco solubles como $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ y $Zn_3(PO_4)_2$ (Ojeda *et al.*, 2009). La disponibilidad del Zn para las plantas en suelos de pH alcalino es reducida y el nogal pecanero, particularmente, presenta poca habilidad para obtener este nutriente de dichos suelos debido a que el carbonato de calcio reacciona con el Zn, lo que reduce su disponibilidad (Wells y Wood, 2008; Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Se ha establecido que en los suelos alcalinos con pH que varía de 7 a 8.6 el Zn es atado por el ión carbonato, formando $ZnCO_3$, el cual es muy insoluble, de ahí que las aplicaciones de Zn al suelo no resulten efectivas y que sólo se restrinjan estrictamente a suelos que no son calcáreos, por lo tanto, si los nogales crecen en un suelo de este tipo, la carencia de Zn se presentará invariablemente (Wood, 2007; Rivera-Ortiz *et al.*, 2008). Otra causa común de la deficiencia de Zn, es la reducida penetración radicular debido a la compactación del suelo por el tráfico, la existencia de capas endurecidas (Broadley *et al.*, 2007) o el anegamiento. Hay que señalar que la cantidad total de micronutrientes en un suelo no es suficiente para indicar su posibilidad de

utilización por un cultivo, puesto que una parte importante puede encontrarse en los minerales no alterados, que no serán solubles (Núñez-Moreno *et al.*, 2009b). La disponibilidad de un micronutriente está en función de la “forma” en que se encuentre en el suelo, la cual determina su “movilidad” hacia las raíces de las plantas (Ojeda *et al.*, 2009). Por tanto, los principales factores susceptibles de generar o agravar la deficiencia de Zn son la escasez natural o la baja disponibilidad que presenta este nutriente en los suelos (Amiri *et al.*, 2008). Los factores que afectan a la deficiencia han sido estudiados por numerosos autores (Kim *et al.*, 2003; Ojeda *et al.*, 2009; Núñez-Moreno *et al.*, 2009b) siendo los más importantes la cantidad de Zn total en la mayoría de los suelos que es superior a las necesidades de los cultivos y las deficiencias de Zn que se encuentran sobre todo en los suelos con pH elevado o en los suelos que han sido fuertemente encalados (Flores *et al.*, 2009).

Aplicaciones Edáficas con Zinc. Núñez-Moreno *et al.* (2009b) mencionan que los problemas nutricionales frecuentemente limitan la productividad de las huertas nogaleras; además, señalan que para su crecimiento y producción normal, el nogal requiere de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn y Na; El nogal también requiere de azufre (S), cloro (Cl), B y molibdeno (Mo). Estos elementos, al igual que los descritos anteriormente, son esenciales en plantas superiores. Durante el periodo de crecimiento del fruto, su contenido de K se incrementa ocho veces, el del Cu seis, el del N, P, Fe y Zn cinco veces y el del Mg y B tres veces,

el Ca y el Mn sólo 1.5 veces (Wells y Wood, 2008). Se ha observado que en el nogal el N, P, K, Zn y Cu foliar disminuyen con la edad de la hoja, mientras que el Ca, Mg, Fe y Mn aumentan (Acuña *et al.*, 2003). Al aplicar Zn edáficamente, este puede reaccionar con hidróxidos y carbonatos en suelos alcalinos y calcáreos, formando compuestos de baja solubilidad, limitando la disponibilidad de este nutriente para las plantas (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Sin embargo, las aplicaciones edáficas con Zn han resultado efectivas en suelos ácidos en el sureste de Estados Unidos (Wood, 2007), pero son menos efectivas para suelos alcalinos y particularmente en suelos calcáreos (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a), por otra parte, en suelos alcalinos, se ha encontrado respuesta a la aplicación de materia orgánica y Zn (Núñez-Moreno *et al.*, 2009b). La respuesta del nogal a las aplicaciones edáficas con Zn pueden tomar algunos años dependiendo del rango de aplicaciones, manera de fertilizar y método de aplicación.

En un suelo ácido en Georgia, EE. UU. se realizó un experimento en donde se aplicaron 35 mg Kg⁻¹ de sulfato de Zn, 35 mg Kg⁻¹ de óxido de zinc y 3.5 mg kg⁻¹ de Zn-EDTA, esto con el motivo de recuperar los árboles que mostraban síntomas de deficiencia de Zn, pero sólo después de cuatro años se logró llevar a estos árboles a los óptimos niveles de Zn en la hoja, y se eliminaron los síntomas de deficiencia; aunque la recuperación fue muy baja, la respuesta a las aplicaciones de Zn-EDTA fue significativa después de dos años. Los efectos al aplicar óxido de Zn sólo aparecieron a los cuatro años y con sulfato de Zn no se tuvo ningún efecto (Núñez-Moreno *et al.*, 2009a). Fertilizar adecuadamente la huerta de nogal significa proveer la cantidad apropiada de nutrientes; la fertilización insuficiente produce la deficiencia nutricional y fertilizar en exceso origina un desbalance en la nutrición del árbol, situación no siempre tomada en cuenta por ser más difícil su detección e interpretación, pero tan perjudicial o más para el nogal que una deficiencia (Vargas-Piedra y Arreola-Ávila, 2008).

Ambas situaciones disminuyen la productividad de los árboles.

Aplicaciones Foliars de Zinc. La relativa inmovilidad del Zn en el árbol se ilustra con el crecimiento de un brote vegetativo largo, en el cual las hojas basales pueden ser de tamaño normal y las apicales pequeñas; esto es, la deficiencia en las hojas ocurre de manera inmediata cuando el nutrimento no es aplicado al follaje (Wood, 2007; Amiri *et al.*, 2008). Los brotes que tienen hojas grandes en la base, seguidas de hojas pequeñas carentes de Zn y luego hojas más grandes hacia la parte terminal son una ligera variante de esta deficiencia (Kilby, 2006). Vargas-Piedra y Arreola-Ávila (2008) recomiendan que la fertilización foliar se realice cubriendo completamente las partes aéreas de los árboles hasta llegar al punto de goteo o región inferior del dosel. Una vez absorbidos por la hoja, el N, P, K y Na se mueven libremente en el floema por todas las estructuras de la planta incluyendo raíces; el Zn, Cu, Mn y Fe tienen baja movilidad y sólo se extienden a los tejidos circundantes (Wood, 2007). Wood y Payne (1997) especifican que como el Zn no es transportado en el tejido vegetal, su aplicación foliar debe cubrir todo el árbol.

Núñez-Moreno *et al.* (2009b) mencionan que en el nogal pecanero, cultivado en suelos alcalinos de la región norte de México, el nivel de Zn varía entre 57 y 73 mg kg⁻¹ en hojas recolectadas en el mes de julio cuando el árbol se encuentra en pleno crecimiento. Se recomienda que la aspersión al follaje de elementos menores en los frutales es un método de suministro más rápido y efectivo que la aplicación al suelo (Wood, 2007). Aunque el efecto de la aspersión foliar sobre la nutrición del árbol es temporal, esta forma de fertilizar tiene ventajas cuando las bajas temperaturas, al inicio de la estación de crecimiento y el pH alcalino del suelo, no favorecen la disponibilidad de Zn (Lucena, 2009). En general, se reconocen tres épocas de aspersión vía foliar; en primer término la de primavera, al iniciar el periodo de crecimiento vegetativo. Enseguida la de verano, cuando el árbol está en pleno crecimiento hasta

antes de la cosecha (Ojeda *et al.*, 2009). Finalmente, las aplicaciones de otoño y de reposo, las cuales se realizan posteriormente a la cosecha; se consideran como fuente de reservas de elementos requeridos al inicio del siguiente ciclo de crecimiento (Wood, 2007). Se procura siempre que las hojas se encuentren todavía en buen estado para aprovechar al máximo su capacidad de absorción y el proceso de retranslocación hacia los órganos de reserva (Flores *et al.*, 2009). Finalmente, Rivera-Ortiz *et al.* (2008) mencionan que en frutales caducifolios se ha demostrado que los nutrientes asperjados no solamente son absorbidos por las hojas, sino también por los tallos y las ramas, donde la penetración se efectúa por las cicatrices de las ramas rotas, lenticelas y fisuras longitudinales de la corteza de los árboles en defoliación o en periodo de reposo, como se ha observado en algunos cítricos (Maldonado *et al.*, 2008).

Quelatos de Zinc. Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ión metálico, de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior, evitando su oxidación y precipitación. Los quelatos, químicamente hablando, son por tanto, moléculas muy estables (Lucena, 2009). A nivel nutritivo, ya sea foliar o edáficamente, los quelatos resultan muy eficientes para corregir deficiencias o necesidades de la planta, es por lo anterior que se deben quelatar los elementos (Rodríguez-Lucena *et al.*, 2010). Si el quelato es aplicado al suelo, se usa para evitar que el elemento se precipite o sea más asimilable por la planta, o para agregar una dosis muy grande del elemento sin que sea fitotóxico, y si su uso es vía foliar, se usa para que no se precipite en el medio extracelular o también para poder agregar una dosis relativamente grande sin que sea fitotóxico (Lucena, 2009). En la actualidad, los quelatos atraen fuertemente la atención, ya que son una excelente alternativa para adicionar metales de manera edáfica y foliar a las plantas, estos pueden ser aplicados teniendo siempre presente las siguientes


consideraciones: 1) incrementan la solubilización de los metales, Fe, Zn y Mn; 2) transportan el elemento hacia la raíz y/u hoja de la planta; 3) una vez ahí, ceder el metal y 4) la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más metal (Knepper *et al.*, 2005; Maldonado *et al.*, 2008). La concentración de Zn en el suelo depende de la composición del material parental y de la mineralogía del suelo, especialmente de la concentración de cuarzo (Flores *et al.*, 2009). Solamente una pequeña fracción del Zn está en forma intercambiable o soluble. Cerca de la mitad del Zn disuelto está presente como catión Zn hidratado (Ojeda *et al.*, 2009). La fracción soluble como catión divalente hidratado está inmediatamente disponible para las plantas (Srivastava y Singh, 2009).

Conclusión

La presente revisión resalta el estado del arte que guarda el Zn en los procesos bioquímicos y fisiológicos; incluyendo también las causas y corrección de su deficiencia y toxicidad en el cultivo del nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch]. Se concluye que el Zn es un elemento esencial, que influye en los procesos de crecimiento y fructificación en el árbol, el cual si es aplicado foliarmente, prevé y corrige cualquier deficiencia que presente el árbol, pero si es aplicado edáficamente la respuesta puede tardar algunos años. Sin embargo, en varios trabajos reportados se ha demostrado que en suelos alcalinos existe respuesta a la aplicación edáfica de materia orgánica y Zn, y en suelos ácidos las aplicaciones edáficas con Zn corrigen deficiencias de este nutriente.

Literatura citada

- ACUÑA-MALDONADO, L., M. Smith, N. Maness, B. Cheary. 2003. Influence of nitrogen absorption, partitioning, and yield of pecan. *HortScience* 128:155-162.
- AMIRI, M. E., E. Fallahi, A. Golchin. 2008. Influence of foliar and ground fertilization on yield, fruit quality, and soil, leaf, and fruit mineral nutrients in apple. *Plant Nutrition* 31:515-525.
- BARAK, P., P. Helmke. 1993. The chemistry of zinc. In: Robson A.D. (Ed.), *Zinc in Soil and Plants. Kluwer Academic Publishers*: 1-13.

- BLAUDEZ, D., A. Kohler, F. Martin, D. Sanders, M. Chalot. 2003. Poplar metal tolerance protein 1 confers zinc tolerance and is an oligomeric vacuolar zinc transporter with an essential leucine zipper motif. *Plant Cell* 15:2911-2928.
- BROADLEY, M.R., P.J. White, J.P. Hammond, I. Zelko, A. Lux. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist* 173:677-702.
- CALLAHAN, D.L., A.J.M. Baker, S.D. Kolev, A.G. Wedd. 2006. Metal ion ligands in hyperaccumulating plants. *Journal of Biological Inorganic Chemistry* 11:2-12.
- FLORES, M., A. Anchondo, M. Olivas, E. Sánchez. 2009. Acidificación en banda, labranza invernal y zinc en nogal pecanero. *En: memoria de artículos en resumen y en extenso. Memorias del 13º Día del Nogalero, Chihuahua, Chih. México.*
- HACISALIHOGU, G., J.J. Hart, C.E. Vallejos, L.V. Kochian. 2004. The role of shoot-localized processes in the mechanism of Zn efficiency in common bean. *Planta* 218:704-711.
- HAYDON, M.J., C.S. Cobbet. 2007. Transporters of ligands for essential metal ions in plants. *New Phytologist* 174:499-506.
- HU, H., D. Sparks. 1991. Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in 'Stuart' pecan. *HortScience* 26:267-268.
- HUSSAIN, D., M.J. Haydon, Y. Wang, E. Wong, S.M. Sherson, J. Young, J. Camakariz, J.F. Harper, C.S. Cobbet. 2004. P-Type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 16:1327-1339.
- KIM, T., H. Mills, H. Wefzstein. 2003. Cytological and ultrastructural evaluations of Zinc deficiency in leaves. *HortScience* 128:171-175.
- KILBY, M. W. 2006. Fall-applied foliar Zinc for pecan. *HortScience* 41:275-276.
- KNEPPER, T. P., A. Werner, G. Bogenschutz. 2005. Determination of synthetic chelating agents in surface and waste water by ion chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography* 1085:240-246.
- KOBAE, Y., T. Uemura, M.H. Sato, M. Ohnishi, T. Mimura, T. Nakagawa, M. Maeshima. 2004. Zinc transporter of *Arabidopsis thaliana* AtMTP1 is localized to vacuolar membranes and implicated in zinc homeostasis. *Plant and Cell Physiology* 45:1749-1758.
- KRAMER, U. 2005. MTP1 mops up excess zinc in *Arabidopsis* cells. *Trends in Plant Science* 10:313-315.
- KRAMER U., I.N. Talke, M. Hanikenne. 2007. Transition metal transport. *FEBS letters* 581:2263-2272.
- KUPPER, H., A. Mijovilovich, W. Meyer-Klaucke, P.M.H. Kroneck. 2004. Tissue and age-dependent differences in the complexation of cadmium and zinc in the cadmium/zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* (Ganges Ecotype) revealed by X-ray absorption spectroscopy. *Plant Physiology* 134:748-757.
- LUCENA, J. J. 2009. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Ceres* 56:527-535.
- MALDONADO, R. T., G. Almaguer, M. E. Álvarez, E. Robledo. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. *Terra Latinoamericana* 26:341-349.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press: Harcourt Brace Jovannovich, Publishers. London, San Diego, New York and Tokyo, p. 301, 312, 321.
- MILLS, R. F., A. Francini, P. S. C. Ferreira da Rocha, P. J. Baccharini, M. Aylett, G. C. Krijger, L. E. Williams. 2005. The plant P1B-type ATPase AtHMA4 transports Zn and Cd and plays a role in detoxification of transition metals supplied at elevated levels. *FEBS letters* 579:783-791.
- NÚÑEZ-MORENO, H., J. L. Walworth, A. P. Pond, M. Kilby. 2009a. Soil zinc fertilization of 'Wichita' pecan trees growing under alkaline soil conditions. *HortScience* 44:1736-1740.
- NÚÑEZ-MORENO, H., J. L. Walworth, A. P. Pond. 2009b. Manure and soil zinc application to "Wichita" pecan trees growing under alkaline conditions. *HortScience* 44:1741-1745.
- OJEDA-BARRIOS, D. L., O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios, E. Perea-Portillo. 2009. Aplicación foliar de quelato de zinc en nogal pecanero. *Revista Chapingo serie especial Horticultura* 15:205-210.
- PAPOYAN, A., L. V. Kochian. 2004. Identification of *Thlaspi caerulescens* genes that may be involved in heavy metal hyperaccumulation and tolerance. Characterization of a novel heavy metal transporting ATPase. *Plant Physiology* 136:3814-3823.
- RIVERA-ORTIZ, P., B. I. Castro-Meza, F. R. de la Garza-Requena. 2008. Clorosis férrica en cítricos y fertilización foliar. *Terra Latinoamericana* 27:11-16.
- RODRIGUEZ-LUCENA, P., L. Hernández-Apaolaza, J. J. Lucena. 2010. Comparision of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. *Soil Science* 173:120-126.
- SAGARDOY, R., A. F. Morales, López-Millán, A. Abadía, J. Abadía. 2008. Effects of zinc toxicity on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants grown in hydroponics. *Plant Biology* 11:339-350.
- SAGARPA. 2008. Crecimiento en producción de nuez, favorece exportación a Norteamérica. Boletín NUM. 074/06. (www.sagarpa.gob.mx).
- SMITH, M. W., C. T. Rohla, N. O. Maness. 2007. Correlations of crop load and return bloom with root and shoot concentrations of potassium, nitrogen and nonstructural carbohydrates in pecan. *HortScience* 132:44-51.
- SRIVASTAVA, A. K., S. Singh. 2009. Zinc nutrition in Nagpur mandarin on Haplustert. National research centre for citrus, Nagpur, Maharashtra, India. *Plant Nutrition* 32:1065-1081.
- VARGAS-PIEDRA, G., J. G. Arreola-Ávila. 2008. Respuesta del nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 7:7-14.
- VERRET, F., A. Gravot, P. Auroy, N. Leonhardt, P. David, L. Nussaume, A. Vavasseur, P. Richard. 2004. Overexpression of AtHMA4 enhances root-to-shoot translocation of zinc and cadmium and plant metal tolerance. *FEBS letters* 576:306-312.
- WELLS M. L., B. W. Wood. 2008. Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. *HortScience* 43:1437-1440.
- WINTZ H., T. Fox, Y.-Y. Wu, V. Feng, W. Cheng, H.-S. Chang, T. Zhu, C. Vulpe. 2003. Expression profiles of *Arabidopsis thaliana* in mineral deficiencies reveal novel transporters involved in metal homeostasis. *Journal of Biological Chemistry* 278:47644-47653.
- WOOD, B. W., J. A. Payne. 1997. Comparison of ZnO and ZnSO₄ for correcting severe foliar zinc deficiency in pecan. *HortScience* 32:53-56.
- WOOD, B. W. 2007. Correction of zinc deficiency in pecan by soil banding. Dept. of Agriculture. *HortScience* 42:1554-1558. 

Este artículo es citado así:

Perea-Portillo, E., D. L. Ojeda-Barrios, O. A. Hernández-Rodríguez, D. J. Escudero-Almanza, J. J. Martínez-Téllez y G. R. López-Ochoa: 2010. *El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 4(2): 64-71.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

ELOISA PEREA PORTILLO. Egresada de la carrera de Ingeniero en Producción y Comercialización Hortícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, realizó su tesis titulada: Aplicaciones foliares de quelatos de zinc en nogal pecanero, en diciembre del 2008. Actualmente es becaria CONACyT para realizar estudios de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Ha participado en varios proyectos en el cultivo de nogal pecanero.

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 desórdenes 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. Ha sido responsable de varios proyectos de investigación en proceso y concluidos a nivel licenciatura. Ha participado como ponente en congresos científicos nacionales e internacionales, y en publicaciones de artículos científicos y de divulgación como autora y coautora.

DALILA JACQUELINE ESCUDERO-ALMANZA. Egresada de la carrera de Químico Bacteriólogo Parasitólogo en la Facultad de Ciencias Químicas en 2009. Actualmente es becaria CONACyT para realizar estudios de maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

GUSTAVO R. LÓPEZ-OCHOA. Ingeniero Industrial en Producción titulado por el Instituto Tecnológico de Chihuahua en 1990, con Maestría en Administración por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Trabajó por más de diez años en el Departamento de Análisis e Integración de Tecnologías de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UACH. Actualmente es profesor en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH. Su área de interés es la gestión de la tecnología.

JAIME JAVIER MARTÍNEZ-TÉLLEZ. Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Los estudios de licenciatura los llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Chihuahua, la maestría y doctorado los realizó en la Université de Bordeaux II Francia. Es asesor de estudiantes de posgrado y licenciatura. Actualmente lleva a cabo proyectos de investigación en patología en diferentes cultivos, con énfasis en agricultura orgánica.