

# Corrección de la sintomatología “oreja de ratón” en nogal pecanero con aplicaciones foliares de níquel

## Correction of “mouse ear” symptoms in pecan with foliar applications of nickel

Mónica Hernández-López<sup>1</sup> , Juan Carlos Rodríguez-Ortiz<sup>2</sup> ,  
Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>3</sup> , Uriel Figueroa-Viramontes<sup>4</sup> ,  
Gerardo Zapata-Sifuentes<sup>5</sup>  y Pablo Preciado-Rangel<sup>6\*</sup> 

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico no. 1555 sur Periférico Gómez-Lerdo km 14.5. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis - Matehuala km 14.5, Ejido Palma de la Cruz. 78321 Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, B.C.S., México.

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Laguna. Boulevard José Santos Valdez 1200, Colonia Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México.

<sup>5</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez, Col. Valle Verde. 27054 Torreón, Coahuila, México.

<sup>6</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón - San Pedro de las Colonias km 7.5, Ejido Ana. 27170 Torreón, Coahuila, México.

\* Autor para correspondencia (ppreciador@yahoo.com.mx)

---

### RESUMEN

La deficiencia de níquel (Ni) en los árboles de nogal (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) afecta negativamente el crecimiento de hojas, el metabolismo del nitrógeno y de carbono durante la expansión del follaje y consecuente el rendimiento. La fertilización con micronutrientes al suelo es poco efectiva en suelos con alto contenido de carbonatos y pH alto. Evaluar el efecto de la aplicación foliar de níquel sobre el rendimiento, contenido nutrimental y área foliar en hojas de nogal. En un diseño bloques al azar se asperjaron foliarmente cuatro dosis crecientes: 100, 150, 200 y 250 mg L<sup>-1</sup> y un testigo sin aplicación. Los resultados indican que la aspersión foliar de Ni corrige la anomalía conocida como oreja de ratón (aumento en el área foliar) e incrementa la absorción de este elemento inhibiendo la absorción del Cu y Mn. La aspersión de 100 mg L<sup>-1</sup> incrementó el rendimiento de nuez por árbol y el área foliar en hojas de nogal.

**Palabra clave:** área foliar, fertilización foliar, rendimiento.

### SUMMARY

Nickel (Ni) deficiency in pecan trees (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) negatively affects leaf growth, nitrogen and carbon metabolism during foliage expansion, and consequently yield. Fertilization to the soil with micronutrients is ineffective in soils with high carbonate content and high pH. To evaluate the effect of foliar application of nickel on yield, nutritional content, and leaf area of pecan leaves, in a randomized block design four increasing doses were sprayed on foliage: 100, 150, 200 mg L<sup>-1</sup> and one control with no application. The results indicate that Ni foliar spraying corrects the abnormality known as mouse ear (increase in leaf area) and increases absorption of this element by inhibiting the absorption of Cu and Mn. Spraying 100 mg L<sup>-1</sup> increased leaf area and pecan yield per tree.

**Index word:** leaf area, foliar fertilization, yield.

---

#### Cita recomendada:

Hernández-López, M., J. C. Rodríguez-Ortiz, L. G. Hernández-Montiel, U. Figueroa-Viramontes, G. Zapata-Sifuentes y P. Preciado-Rangel. 2020. Corrección de la sintomatología “oreja de ratón” en nogal pecanero con aplicaciones foliares de níquel. *Terra Latinoamericana* 38: 833-840. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.791>

---

Recibido: 08 de mayo de 2020.

Aceptado: 04 de julio de 2020.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 38: 833-840.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pacanero (*Carya illinoensis* (Wangh.) K. Koch) es una especie hortofrutícola de alta rentabilidad por lo que anualmente se incrementa la superficie dedicada a este frutal (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011). México es el segundo productor de nueces en el mundo, con una superficie plantada de 113 000 ha, produciendo alrededor del 40% de la producción mundial y 56% del volumen comercializado internacionalmente, los principales estados productores se sitúan en el norte del país y son Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León (SIAP, 2016), estos estados se caracterizan por tener suelos calcáreos con un alto contenido de carbonatos y pH, lo que limita la biodisponibilidad de algunos nutrimentos especialmente los micronutrientes (Vargas y Arreola, 2008); es por eso que el manejo de la nutrición es de suma importancia para obtener altos rendimientos (Salas-Rivera *et al.*, 2018). Al respecto este cultivo demanda altos suministros de NPK y Zn (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2017). Sin embargo, en los últimos tiempos se han observado deficiencias severas de níquel (Ni) lo cual puede provocar distorsiones o alteraciones de crecimiento en el follaje, sintomatología comúnmente conocida como “oreja de ratón” (Rodríguez-Jiménez *et al.*, 2016), la cual consiste en una necrosis de las puntas de los folíolos, causando que estos sean pequeños y redondeados, disminuyendo así el área foliar y el rendimiento del árbol (Ojeda-Barrios *et al.*, 2009). El Ni desde el 2004 es considerado esencial para las plantas por la Asociación Americana de Control de Nutrientes Vegetales (Bai *et al.*, 2007). Este elemento es requerido en bajas concentraciones por los cultivos y en altas concentraciones es fitotóxico (Almanza *et al.*, 2009; Muñoz-Ugarte *et al.*, 2015). El Ni es tomado como catión  $Ni^{+2}$  y es absorbido rápidamente a los sitios metabólicamente activos de la planta (Díaz-Aguilar *et al.*, 2001). Este elemento actúa como catalizador y componente de la enzima ureasa (Bai *et al.*, 2007). La deficiencia de este elemento interrumpe la asimilación de N y el C durante el proceso de la expansión del follaje (Bai *et al.*, 2007). La carencia de este elemento inhibe la acción de la ureasa, provocando la acumulación de urea, causando la aparición de manchas necróticas en las hojas (Wood *et al.*, 2006). Además, su deficiencia puede interrumpir el metabolismo de ureidos, aminoácidos y ácidos orgánicos, y acumular ácidos oxaláticos y lácticos (Malavolta y Moraes, 2007). El nogal pecanero es

una especie que transportan el N como ureidos y la ausencia de Ni en estos árboles afecta el metabolismo de ureidos, amidas y la composición de la savia en el xilema (Mayz-Figueroa, 2004). Bajo esta perspectiva el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de níquel sobre el rendimiento, el contenido nutrimental y el área foliar en hojas de nogal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en la pequeña propiedad “Tierra Blanca”, en el municipio de Matamoros, Coahuila, localizado en las coordenadas 25° 20' 28" N y 102° 48' 16" O. El suelo es de textura limo-arcillosa, con un pH de 7.4, materia orgánica de 2.4%.

### Manejo de la Huerta

Se utilizaron arboles de 63 años de edad, de la variedad “Squirrel Delight”. La huerta esta plantada en un sistema de marco real a 14 por 14 m, con una densidad de 50 árboles por hectárea. El riego de la huerta es por goteo mediante cintilla enterrada a 40 cm; la lámina total es de 120 cm al año, aplicada desde el 1 de marzo hasta el 15 de octubre. Se realizó una fertilización semanal de N al suelo, con una dosis de 31 kg ha<sup>-1</sup> de urea, de abril a julio. Se realizaron cinco aplicaciones de nutrientes al follaje, enfocados a abastecer de Zn a los árboles, con una solución que contenía 3 kg de sulfato de Zn, 1 kg de sulfato de Mn y 5 kg de urea libre de Biuret en 1000 L ha<sup>-1</sup> de agua, dichas aplicaciones son las que se manejan cada año en esta huerta. Se aplicaron insecticidas para el control del barrenador de la nuez (*Acrobasis nuxvorella*), barrenador de ruezno (*Cydia caryana*) y pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari*).

### Tratamientos

Se seleccionaron 25 árboles de la parte media de la huerta, todos con síntomas visibles de deficiencia de Ni. Los tratamientos consistieron en un testigo y cuatro dosis de Ni, aplicados en tres fechas sobre los mismos árboles. Se utilizó diseño en bloques al azar, con cinco repeticiones, siendo un árbol una unidad experimental.

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar del fertilizante comercial Speedfol Pecano SP<sup>®</sup> (SQM), en concentraciones de 100, 150, 200 y 250 mg L<sup>-1</sup> y un testigo sin aplicación. El fertilizante comercial de Ni, presenta la siguiente composición: N 5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2%, K<sub>2</sub>O 18%, MgO 4.2% y NiO 5.4%. Las fechas de aplicación fueron: 1) 20 de abril, antes de la floración, 2) 9 de mayo, en el crecimiento de frutos, y 3) 24 de junio durante el estadio acuoso de la nuez. Las aspersiones se realizaron con una maquina aspersora marca UNIGREEN AIRDROP T20C. CARBO 153.MOV y se realizaron en el transcurso de la mañana (8 a 10 AM); en cada aspersión se cubrió completamente el follaje hasta el punto de rocío. En todas las formulaciones, se añadió 0.1% de urea como ion transportador y 0.02% de Tween 20 como agente tensioactivo, el pH de las soluciones asperjadas fue ajustado con ácido sulfúrico entre 6-6.5.

### Muestreo y Análisis Foliar

El análisis foliar es una técnica muy utilizada para relacionar la concentración de los nutrimentos en el tejido foliar y el rendimiento o desarrollo de la planta. Se realizaron tres muestreos foliares para evaluar el efecto de los tratamientos, los cuales se llevaron a cabo 15 días después de cada fecha de aplicación de tratamientos. Los muestreos se realizaron en los cuatro puntos cardinales de la parte media del árbol y se tomó el tercer par de folíolos de los brotes seleccionados; para cada muestra se tomaron alrededor de 80 folíolos por árbol. Las hojas obtenidas en los diferentes muestreos se utilizaron para determinar el verdor de la hoja, área foliar y las concentraciones foliares de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Ni, Cu. Las muestras colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de análisis de Suelo, Agua y Planta del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila. Las hojas fueron lavadas con agua corriente, posteriormente con agua desionizada, dejándolas a secar a temperatura ambiente, posteriormente fueron introducidas a una estufa de circulación forzada de aire a 60 °C hasta seco constante y se molieron utilizando un tamiz malla. En estas muestras se determinó la concentración de K, Ca, Mg, Zn, Mn, Ni, y Cu mediante espectroscopía de absorción atómica, N por el método Kjeldahl y P por espectroscopía UV-Vis (Jones, 2017). El área foliar fue determinado, después de la última aplicación de

los tratamientos. La medición se realizó en una muestra de 25 hojas por árbol y se utilizó un medidor de área foliar portátil (Li-Cor 3000).

### Rendimiento de Nuez y Porcentaje de Almendra

Se evaluó la producción de nuez por árbol. Una muestra de 30 nueces por repetición se secó en estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante, luego se pesaron en seco, se descascararon y se pesó por separado la almendra para obtener el porcentaje de almendra (Wood, 2002).

### Análisis Estadístico

Para cumplir con los supuestos de normalidad, los datos de la variable porcentaje de almendra se transformaron mediante arcoseno y posteriormente resultados obtenidos incluido esta variable fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos y donde se detectó diferencia significativa, se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa de Fisher con un nivel de significación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento y Porcentaje de Almendra

La aplicación de Ni en las concentraciones evaluadas afectó el rendimiento, no así el peso de nuez o el porcentaje de almendra con respecto al testigo (Cuadro 1). El rendimiento de la huerta en general fue bajo, de 11 a 27 kg árbol<sup>-1</sup>, debido a que ese año fue de baja producción (alternancia). Se obtuvo el mayor rendimiento en la dosis de 100 mg L<sup>-1</sup> con 1.3 Mg ha<sup>-1</sup>, lo cual se encuentra por debajo de la media nacional que es de 1.76 Mg ha<sup>-1</sup> de las variedades Western y Wichita (SIAP, 2009). En el peso por nuez y porcentaje de almendra existió menos variación, con valores de 6 a 6.3 g nuez<sup>-1</sup> y de 45.1 a 49.2% de almendra; los valores anteriores son menores al promedio de las variedades Western y Wichita, que son las de mayor presencia en las zonas productoras del norte del país (Orona-Castillo *et al.*, 2013) debido entre otras características a que presentan una mayor concentración de compuesto bioactivos en la almendra (Flores-Cordova *et al.*, 2017), con más de 7 y 9 g nuez<sup>-1</sup>, respectivamente y más de 55% de almendra (Ojeda-Barrios *et al.*, 2016).

**Cuadro 1. Efecto de la aspersión foliar con níquel (Ni) sobre el rendimiento, peso de nuez y almendra de nuez.****Table 1. Effect of foliar spraying with nickel (Ni) on pecan yield, total weight, and shelled pecan weight.**

Níquel	Rendimiento	Peso de una nuez	Porcentaje de almendra
mg L <sup>-1</sup>	kg árbol <sup>-1</sup>	g	%
0	15.9ab <sup>†</sup>	5.96a	47.4a
100	26.8a	6.16a	47.4a
150	15.83ab	6.33a	45.1a
200	16.9ab	6.29a	49.2a
250	11.0b	6.12a	44.8a

<sup>†</sup> Promedios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Averages with different letters in the same column are statistically different, according to Fisher's test ( $P \leq 0.05$ ).

De acuerdo con Wood (2002), la calidad de la nuez está fuertemente relacionada con un buen abastecimiento nutrimental, sin embargo, la aplicación de Ni no influyó en el porcentaje de almendra. Altas concentraciones de Ni también pueden ocasionar un bajo rendimiento en nogal, debido a una posible toxicidad de este elemento. La dosis con 250 mg L<sup>-1</sup> de Ni presenta un rendimiento de 11 kg árbol<sup>-1</sup>, quedando incluso por debajo del testigo con 15.9 kg árbol<sup>-1</sup>; sin embargo, el área foliar se incrementó de 130.55 a 304.25 cm<sup>2</sup> (Cuadro 5), corrigiéndose así la sintomatología conocida como oreja de ratón.

## Análisis Foliar

El análisis foliar determina el estado nutricional de la planta, en el presente estudio, se encontraron diferencias significativas en la concentración foliar de nutrientes después de la aplicación de Ni (Cuadro 1-3). Los valores encontrados para los nutrientes están dentro del rango de suficiencia recomendado por Medina-Morales (2004). El Ni tiene relación con el Fe, Zn, Cu y Mn (así como con N y P a través de la interacción de Ni en las vías bioquímicas que son críticas para brotación, formación de dosel y formación de frutos de nuez (Wood *et al.*, 2004).

En el primer muestreo foliar, a los 15 días después de la primera aplicación de Ni, existió una menor concentración de N, P, Zn y Mn en las hojas, con la aspersión de Ni. Diversos estudios demuestran que el Cu, Mn y Zn están estrechamente relacionados, debido a que concentraciones elevadas de estos micronutrientes inhiben la absorción de Ni o viceversa debido a la competencia entre estos cationes divalentes por los sitios de absorción en raíces y hojas, por lo cual no es recomendable hacer aplicaciones foliares de estos micronutrientes con el Ni (Wagle *et al.*, 2011). Con respecto a K y Ca, la concentración fue mayor en los árboles tratados con Ni. La concentración de Mg no mostró diferencias significativas con respecto al testigo, mientras que en Cu sí mostró diferencias significativas entre dosis de Ni, pero no con el testigo (Cuadro 2). En el caso de Ni, las dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> o más, tuvieron mayor concentración de Ni en las hojas,

**Cuadro 2. Efecto de la aspersión foliar de níquel (Ni) antes de la floración, sobre la composición mineral de hojas de nogal (20 de abril).****Table 2. Effect of nickel (Ni) foliar spraying before flowering on mineral composition of pecan leaves (April 20).**

Ni	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Ni	Mn	Cu
mg L <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
0	3.62 a <sup>†</sup>	0.17a	1.43 b	0.59 b	0.39	230 a	5 c	93 a	13 ab
100	2.81 b	0.11 b	1.86 a	0.97 ab	0.35	130 b	29 bc	92 b	15 a
150	2.80 b	0.11 b	1.50 ab	0.87 ab	0.32	130 b	49 a	95 b	14 ab
200	2.61 b	0.11 b	1.71 ab	1.05 a	0.38	140 b	57 a	93 b	10 b
250	2.75 b	0.12 ab	1.51 ab	1.11 a	0.36	140 b	43 ab	93 b	11 b

<sup>†</sup> Promedios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Averages with different letters in the same column are statistically different, according to Fisher's test ( $P \leq 0.05$ ).

el cual se considera esencial para algunas plantas superiores como el nogal pecanero y es necesario para la actividad de la enzima ureasa (Mengel y Kirkby, 2001), la cual cataliza una reacción bioquímica para dejar disponible el nitrógeno (Caldwell, 2005; Carpa, 2009), incrementando así el área foliar debido a la mayor disponibilidad de este (Peil y Gálvez, 2012).

Para la segunda aplicación de Ni, el análisis foliar registró tendencias similares al primer análisis, observándose una menor concentración de N, P, Zn y Mn en los árboles tratados con Ni (Cuadro 3). La baja concentración de N en hojas, se debe a que existe un incremento en el área foliar (Cuadro 5) ya que, al existir una mayor superficie, el N contenido se extiende sobre una mayor área (Bai *et al.*, 2006). En el caso de Ca también hubo un incremento al aplicar Ni, pero solo en la dosis mayor de Ni fue significativamente mayor. La concentración de K, Mg y Cu no varió de manera significativa (Cuadro 3). Al igual que con la primera aplicación, la concentración de Ni se incrementó en las dosis de 150 mg L<sup>-1</sup> o más de Ni al follaje.

En el tercer análisis foliar, durante el estadio acuoso de la nuez, se observó nuevamente una menor concentración de N y P en los árboles tratados con Ni, esto se debe a que existe una menor concentración de N en un área foliar más grande y posiblemente un efecto de dilución, no así para Zn y Mn, que en este caso no variaron significativamente con respecto al testigo (Cuadro 4). El K tampoco mostró diferencias significativas entre tratamientos, de manera similar al segundo análisis. El Ca tuvo una mayor concentración

en todos los tratamientos de Ni, con un promedio de 1.59% comparado con 0.62% en el testigo (Cuadro 4), esto es debido a que existe un antagonismo directo entre Ni y Mn en el cual, la presencia de Ni disminuye las concentraciones de Mn y éste a su vez aumenta las concentraciones de Ca (Medina-Morales *et al.*, 1999). En Cu, solo el tratamiento de 200 mg L<sup>-1</sup> tuvo una concentración mayor que el testigo, con valores de 21 y 10 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sin embargo, se debe considerar la concentración de este elemento, debido a que su presencia, disminuye la concentración del Ni y viceversa (Wagle *et al.*, 2011).

En el caso de Ni, los tratamientos de 200 y 250 mg L<sup>-1</sup> tuvieron una mayor concentración que el testigo, con valores de 13, 19 y 3 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente (Cuadro 4), quedando por encima de los valores de suficiencia de Ni (7 mg kg<sup>-1</sup>) establecidos por (Wood, 2002).

### Área Foliar

Se determinó el área foliar de las hojas que presentaban sintomatología de “oreja de ratón” obteniendo una media de 137.95 cm<sup>2</sup> en hojas deficientes de Ni, después de realizar las aplicaciones foliares de níquel se incrementó significativamente (2.16 veces más) el área foliar (Figura 1, Cuadro 5), lo anterior coincide con lo indicado por Ruter (2005), el cual logró incrementos significativos en el área foliar con aplicaciones de sulfato de níquel. Wood *et al.* (2003) indica que la aplicación foliar de níquel

**Cuadro 3. Efecto de la aspersión foliar de níquel, sobre la composición mineral de hojas de nogal en el crecimiento de frutos (23 de mayo).**

**Table 3. Effect of nickel foliar spraying on the mineral composition of pecan leaves on fruit growth (May 23).**

Ni	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Ni	Mn	Cu
mg L <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
0	3.61a <sup>†</sup>	0.172 a	1.61 a	0.58 b	0.40 a	210 a	4 c	173 a	15 a
100	2.75 b	0.070 c	1.84 a	0.89 ab	0.38 a	180 b	14 bc	80 b	14 a
150	2.84 b	0.079 c	1.77 a	0.86 ab	0.33 a	160 b	17 ab	75 b	14 a
200	2.71 b	0.079 c	1.54 a	0.99 ab	0.35 a	150 b	21 ab	57 b	14 a
250	2.69 b	0.121 b	1.66 a	1.06 a	0.37 a	160 b	25 a	65 b	14 a

<sup>†</sup> Promedios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Averages with different letters in the same column are statistically different, according to Fisher's test ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 4. Efecto de la aspersión foliar de níquel (Ni), sobre la composición mineral de hojas de nogal durante el estado acuoso de la nuez (24 de junio).**

**Table 4. Effect of nickel (Ni) foliar spraying on the mineral composition of pecan leaves during the aqueous state of the pecan (June 24).**

Ni	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Ni	Mn	Cu
mg L <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
0	2.70 a <sup>†</sup>	0.14 a	1.29 a	0.62 b	0.31 ab	133 a	3 b	56 a	21 a
100	2.09 bc	0.05 b	1.18 a	1.55 a	0.23 b	94 a	10 ab	53 a	11 b
150	2.25 bc	0.05 b	1.18 a	1.58 a	0.33 a	117 a	12 ab	50 a	13 ab
200	2.01 c	0.05 b	1.29 a	1.69 a	0.38 a	102 a	13 a	31 a	10 b
250	2.29 b	0.06 b	1.24 a	1.55 a	0.35 a	123 a	19 a	36 a	9 b

<sup>†</sup> Promedios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes, según la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Averages with different letters in the same column are statistically different, according to Fisher's test ( $P \leq 0.05$ ).

corrige satisfactoriamente la sintomatología de la oreja del ratón en árboles de nogal; ya que este elemento es necesario para la actividad de la enzima ureasa y en su ausencia se produce una necrosis marginal, debido una alta acumulación de urea a lo largo de los márgenes del follaje (Eskew *et al.*, 1983; Krogmeier *et al.*,

1989). López (2012) señala que la aplicación de níquel al cultivo de arveja incrementa significativamente el área foliar y afecta positivamente la metabolización de la urea (Bonilla, 2000; Epstein y Bloom, 2005), lo que favorece la conversión del N-ureico a N-orgánico o aminoácidos.

**Cuadro 5. Área foliar de hojas de nogal con deficiencia (muestreo 10 de abril) y suficiencia de níquel (muestreo 20 de octubre).**

**Table 5. Foliar area of pecan leaves with deficiency (sampling April 10) and sufficiency (sampling October 20).**

Ni	AA (HD)	DA (HS)
mg L <sup>-1</sup>	cm <sup>2</sup>	
0	150.63 b	171.33 b <sup>†</sup>
100	152.32 b	289.82 a
150	128.11 b	321.29 a
200	133.17 b	287.05 a
250	130.55 b	304.25 a

<sup>†</sup> Promedios con letras diferentes en columnas adyacentes son estadísticamente diferentes según la prueba de Fisher ( $P \leq 0.05$ ). Ni = níquel; AA = antes de la aplicación de níquel (HD = hojas deficientes). DA = después de aplicación foliar de Ni (HS = hojas con suficiencia).

<sup>†</sup> Averages with different letters in adjacent columns are statistically different according to Fisher's test ( $P \leq 0.05$ ). Ni = nickel; AA = prior to nickel application (HD = nickel-deficient leaves). DA = after Ni foliar application (HS = nickel-sufficient leaves).



**Figura 1. Efecto de la aspersión foliar de níquel (Ni) sobre el área foliar de foliolos de nogal. HS = hojas con suficiencia de Ni; HD = hojas con deficiencia de Ni (150 mg L<sup>-1</sup> de Ni).**

**Figure 1. Effect of nickel (Ni) foliar spraying on the leaf area of pecan leaflets. HS = Ni-sufficient leaves; HD = Ni-deficient leaves (150 mg L<sup>-1</sup> Ni).**

## CONCLUSIONES

- La aspersión foliar de níquel corrige la deficiencia de este elemento y la anormalidad conocida como “oreja de ratón” en hojas de nogal, ya que incrementa el área foliar y se obtienen concentraciones adecuadas de níquel en hojas de nogal.
- Bajo las condiciones de este trabajo se recomienda utilizar la dosis de 100 mg L<sup>-1</sup>, la cual registra mayor rendimiento, corrige la deficiencia de este elemento e incrementa el área foliar.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

Durante el desarrollo de la investigación, todos los autores participaron con aportaciones importantes de acuerdo a su experiencia y con un fundamento ético en su proceder.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos presentados en la contribución están disponibles en su totalidad, previa solicitud razonable al Dr. Pablo Preciado Rangel, correo electrónico ([ppreciador@yahoo.com.mx](mailto:ppreciador@yahoo.com.mx))

## CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores integrantes, tienen intereses en competencia que declarar.

## FONDOS

Nada que declarar.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Mónica Hernández-López, Uriel Figueroa-Viramontes. Metodología: Pablo Preciado-Rangel. Software: Juan Carlos Rodríguez-Ortiz. Validación: Gerardo Zapata-Sifuentes. Análisis formal: Mónica Hernández-López. Investigación: Uriel Figueroa-Viramontes. Recursos: Mónica Hernández-López. Curación de datos: Luis Guillermo Hernández-

Montiel. Escritura: preparación del borrador original. Mónica Hernández-López, Pablo Preciado-Rangel. Escritura: revisión y edición: Pablo Preciado-Rangel. Visualización: Luis Guillermo Hernández-Montiel. Supervisión: Uriel Figueroa-Viramontes. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por los conocimientos brindados. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna por el uso de sus laboratorios y a la P.P Casa Blanca por permitir desarrollar el proyecto en sus instalaciones.

## LITERATURA CITADA

- Almanza, P. J., H. A. Rojas, G. del C. Borda, A. R. Galindo, D. R. Galindo. 2009. Aplicación foliar de níquel en Cucurbita ficifolia Bouché para producción de ureasa (EC 3.5. 1.5) cristalina. *Agron. Colomb.* 27: 33-40.
- Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp. 83-97. *In: J. Azcón B. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal.* Mc Graw Hill Interamericana. Barcelona, España.
- Bai, C., C. C. Reilly, and B. W. Wood. 2006. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiol.* 140: 433-443. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.105.072983>.
- Bai, C., C. C. Reilly, and B. W. Wood. 2007. Nickel deficiency affects nitrogenous forms and urease activity in spring xylem sap of pecan. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 132: 302-309. doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.3.302>.
- Caldwell, B. A. 2005. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. *Pedobiología* 49: 637-644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.06.003>.
- Carpa, R. 2009. Enzymological research on soils from different environments. *Ann. Roman. Soci. Cell Biol.* 16: 44-48.
- Díaz Aguilar, I., M. Larqué Saavedra, G. Alcantar González, A. Vázquez Alarcón, F. González Cossio y R. Carrillo González. 2001. Acumulaciones tóxicas de níquel en el crecimiento y la nutrición de trigo. *Terra* 19: 199-209.
- Epstein, E. and A. J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plant: Principles and perspectives. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA. ISBN: 9780878931729.
- Eskew, D. L., R. M. Welch, and E. E. Cary. 1983. Nickel: An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science* 222: 621-623. doi: <https://doi.org/10.1126/science.222.4624.621>.
- Flores-Cordova, M., E. Sánchez, E. Muñoz-Márquez, D. L. Ojeda-Barrios, J. M. Soto-Parra, and P. Preciado-Rangel. 2017. Phytochemical composition and antioxidant capacity in Mexican pecan nut. *Emir. J. Food Agric.* 29: 346-350. doi: <https://doi.org/10.9755/ejfa.EJFA-2016-08-1075>.

- Hernández Rodríguez, O. A., C. H. Rivera Figueroa, E. E. Díaz Ávila, D. L. Ojeda Barrios, and V. M. Guerrero Prieto. 2017. Plant and livestock waste compost compared with inorganic fertilizer: nutrient contribution to soil. *Terra Latinoamericana* 35: 321-328.
- Jones, J. B. 2017. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press. Boca Raton, FL, USA. ISBN-13: 978-1138424388.
- Krogmeier, M. J., G. W. McCarty, and J. M. Bremner. 1989. Phytotoxicity of foliar-applied urea. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 86: 8189-8191. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.86.21.8189>.
- López Murcia, M. Á. 2012. Respuesta del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) a la aplicación de níquel. *Rev. UDCA Act. Divul. Cient.* 15: 357-362. doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.835>.
- Malavolta, E. y M. F. Moraes. 2007. Níquel-de nutriente tóxico a nutriente esencial. *Inf. Agron.* 10-12.
- Mayz-Figueroa, J. 2004. Fijación biológica de nitrógeno. *Rev. Cient. UDO Agrícola* 4: 1-20.
- Medina-Morales, M. C. 2004. Normas DRIS preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinoamericana* 22: 445-450.
- Medina-Morales, M. C., E. J. Moreno, J. H. Aguilar Pérez y S. J. García Garza. 1999. Aspersiones foliares de manganeso y cobre en nogal pecanero. *Terra* 17: 317-323.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. ISBN: 978-0-7923-7150-2.
- Ojeda-Barrios, D. L., O. A. Hernández-Rodríguez, J. Martínez-Téllez, A. Núñez-Barrios y E. Perea-Portillo. 2009. Aplicación foliar de quelatos de zinc en nogal pecanero. *Rev. Chapingo. Ser. Hortic.* 15: 205-210.
- Ojeda-Barrios, D., E. Sánchez-Chávez, J. P. Sida-Arreola, R. Valdez-Cepeda, and M. Balandran-Valladares. 2016. The impact of foliar nickel fertilization on urease activity in pecan trees. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 16: 237-247. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000019>.
- Orona-Castillo, I., D. M. Sangerman-Jarquín, M. Fortis Hernández, C. Vázquez Vázquez y M. Á. Gallegos Robles. 2013. Producción y comercialización de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) en el norte de Coahuila, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 461-476.
- Peil, R. M. y J. L. Gálvez. 2012. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agric. Sci. Technol.* 11: 5-11. doi: <https://doi.org/10.18539/cast.v11i1.1171>.
- Rodríguez-Jiménez, T. J., D. L. Ojeda-Barrios, F. Blanco-Macías, R. D. Valdez-Cepeda y R. Parra-Quezada. 2016. Ureasa y níquel en la fisiología de las plantas. *Rev. Chapingo. Ser. Hortic.* 22: 69-82. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.11.051>.
- Ruter, J. M. 2005. Effect of nickel applications for the control of mouse ear disorder on river birch. *J. Environ. Hortic.* 23: 17-20. doi: <https://doi.org/10.24266/0738-2898-23.1.17>.
- Salas-Rivera, R., L. A. Valdez-Aguilar, R. H. Lira-Saldívar, L. Ibarra-Jiménez y A. Cárdenas-Flores. 2018. Aspersiones foliares con nutrimentos vs. el rajado de nuez en nogal pecanero *Carya illinoensis*. *Acta Univ.* 28: 1-8. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2018.1695>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Anuario estadístico de la producción agrícola. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp) (Consulta: febrero 09, 2018).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Altas Agroalimentario 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016). (Consulta: agosto 10, 2019).
- Muñiz-Ugarte, O., M. Rodríguez-Alfaro, A. Montero-Álvarez, J. Estévez-Álvarez, A. M. de Aguiar-Accioly y C. W. Araujo-Do Nascimento. 2015. El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cult. Tropic.* 36: 25-33.
- Vargas P., G. y J. G. Arreola Á. 2008. Respuesta del nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas.* 7: 7-14.
- Wagle, P., M. W. Smith, B. W. Wood, and C. T. Rohla. 2011. Response of young bearing pecan trees to spring foliar nickel applications. *J. Plant Nutr.* 34: 1558-1566. doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.585210>.
- Wood, B. W. 2002. Late nitrogen fertilization in pecan orchards. A review. pp. 47-59. *In: A review. Proceedings 36<sup>th</sup>. Western pecan conference. Las Cruces, NM, USA.*
- Wood, B. W., C. C. Reilly, and A. Nyczepir. 2003. Nickel corrects mouse-ear. *Pecan Grower* 15: 3-8.
- Wood, B. W., C. C. Reilly, and A. P. Nyczepir. 2004. Mouse-ear of pecan: A nickel deficiency. *HortScience* 39: 1238-1242. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1238>.
- Wood, B. W., R. Chaney, and M. Crawford. 2006. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: Alyssum biomass as a natural product for nickel deficiency correction. *HortScience* 41: 1231-1234. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1231>.
- Zaragoza-Lira, M. M., P. Preciado-Rangel, U. Figueroa-Viramontes, J. L. García-Hernández, M. Fortis-Hernández, M. Á. Segura-Castruita, Á. Lagarda-Murrieta y E. Madero-Tamargo. 2011. Aplicación de composta en la producción de nogal pecanero. *Rev. Chapingo. Ser. Hortic.* 17: 33-34.