

Aspersiones foliares con nutrimentos vs. el rajado de nuez en nogal pecanero *Carya illinoensis*

Macronutrient and micronutrient foliar sprays vs. water stage fruit split in pecan *Carya illinoensis*

Ramiro Salas-Rivera*, Luis Alonso Valdez-Aguilar**, Ricardo Hugo Lira-Saldívar***, Luis Ibarra-Jiménez***, Antonio Cárdenas-Flores****

Recibido: 23 de noviembre del 2016

Aceptado: 26 de noviembre del 2017

Publicado: 16 de marzo del 2018

Cómo citar:

Salas-Rivera, R., Valdez-Aguilar, L. A., Lira-Saldívar, R. H., Ibarra-Jiménez, L., & Cárdenas-Flores, A. (2018). Aspersiones foliares con nutrimentos vs. el rajado de nuez en nogal pecanero *Carya illinoensis*. *Acta Universitaria*, 28(1), 1-8. doi: 10.15174/au.2018.1695

* Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

** Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

*** Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna 140. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25294. correo electrónico: antonio.cardenas@ciqua.edu.mx

° Autor de correspondencia.

Palabras Clave:

Hierro; lignina; nutrición vegetal; peroxidadas.

Keywords:

Iron; lignin; plant nutrition; peroxidases.

RESUMEN

En el estado de Coahuila, México, se reportaron pérdidas económicas por rajado del fruto (RF) en nogal pecanero, probablemente relacionadas con carencias nutrimentales. Considerando lo anterior se evaluó la ocurrencia del RF en respuesta a fertilizaciones foliares en cultivares Wichita y Western. Para ello, se aplicaron macronutrientes, micronutrientes y una mezcla de ambos. A mediados del ciclo se estimó la ocurrencia de RF y se muestrearon hojas de ápices que soportaban nueces no rajadas o rajadas para determinar su contenido nutrimental. El RF solo se observó en el cv. Wichita y aunque las aspersiones mejoraron su nutrición, no hubo diferencias estadísticas en el porcentaje de nueces rajadas comparadas con un testigo. Finalmente, los folíolos de ápices con nueces rajadas presentaron mayor concentración de nitrógeno (N) y menor concentración de hierro (Fe) que aquellos con nueces no rajadas. Esto sugiere que el N y el Fe tienen una función importante en las causas del RF del pecanero.

ABSTRACT

Northern Mexican pecan growers from Coahuila reported yield losses caused by the water stage fruit split (WS) probably linked to nutrient deficiencies. Therefore, the effect of foliar fertilizations on the occurrence of WS in Wichita and Western pecan cvs. was evaluated. First, trees were sprayed with macronutrients, micronutrients or both. At the midpoint of the growing season, the percentage of split nuts was measured and the leaflets from leaves next to nut clusters containing non-split and split fruits were sampled to measure their nutrient concentration. The WS was only detected in Wichita trees, but even if the fertilizations improved their nutrient status, compared to non-fertilized control, they did not significantly impact the WS occurrence. However, leaflets next to split fruit containing clusters showed higher nitrogen (N) and lower iron (Fe) concentration than leaflets next to non-split clusters. This suggests that N and Fe play an important role on the WS disorder.

INTRODUCCIÓN

Las áreas productoras de nogal pecanero alrededor del mundo se localizan principalmente entre los 25° y 35° de latitud norte y entre 25° y 35° latitud sur. El nogal pecanero es originario del sureste de los Estados Unidos de América y del Norte de México (Ojeda-Barríos *et al.*, 2010). En México, alrededor del 97% del cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) está distribuido en los estados norteños de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León. De ellos, en el 2015 destacaron Chihuahua, Sonora y Coahuila como los estados con mayor producción con 65.1, 12.2 y 10.2% respectivamente (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SIAP-Sagarpa], 2016). Coahuila es uno de los centros de origen de *C. illinoensis*. No obstante ello, en años recientes los productores del norte de Coahuila han reportado severos problemas fisiológicos del cultivo como el inicio prematuro de la germinación (llamado comúnmente "viviparidad") o el rajado del fruto (Corral-Garza, 2010; Salas-Rivera, Valdez-Aguilar, Corral-Garza & Cárdenas-Flores, 2013), los cuales podrían estar ligados con el estado nutrimental del árbol.

El rajado es una fractura longitudinal del involucro frutal o bien de la cáscara debajo del involucro, que se presenta en etapa acuosa del desarrollo y que provoca la pérdida del fruto (Wells, 2010). Dicho desorden no es infeccioso y su incidencia y severidad varía grandemente dependiendo del cultivar, la carga de frutos en los árboles, las relaciones hídricas suelo-árbol y las condiciones atmosféricas de humedad y temperatura, pudiendo generar incluso más del 30% de pérdidas de producción (Wood & Reilly, 1999).

De acuerdo con Wells & Wood (2008), el rajado se presenta cuando la turgencia generada por los solutos del endospermo presiona en exceso a la testa de la semilla desde el interior. Wells & Wood (2008) demostraron que la deficiencia de micronutrientes, como el boro (B) y el níquel (Ni), están asociados con la incidencia o severidad del rajado del fruto en nogal (Wells & Wood, 2008).

Por otro lado, según las normas reportadas por Medina-Morales (2002), los niveles recomendados de nutrimentos en las hojas de nogal de la región norte de Coahuila son nitrógeno (N) 2.3%; fósforo (P) 1300 ppm; potasio (K) 11 110 ppm; calcio (Ca) 19 300 ppm; magnesio (Mg) 400 ppm; hierro (Fe) 125 ppm; manganeso (Mn) 108 ppm; zinc (Zn) 65 ppm; cobre (Cu) 8 ppm y B 94 ppm. Finalmente, de acuerdo a Beverly & Worley (1992), el nivel aceptable de molibdeno (Mo) es de 6.3 ppm.

Según datos proporcionados por la organización de productores denominada Asociación Nueces del Bravo

SPR de RL, la nutrición del nogal es un problema que enfrentan constantemente los productores de esta región. En muestreos de nueve huertas de socios y, tomando como base las normas y valores mencionados en el párrafo anterior, se reportó que las huertas tuvieron niveles inferiores en el contenido de macronutrientes: especialmente K (67% de las huertas), Ca (100% de las huertas), P (100% de las huertas); y micronutrientes: Zn (22% de las huertas), Fe (67% de las huertas) y Mn (100% de las huertas). Estas deficiencias pueden ser causadas por inaccesibilidad de nutrientes debido a las condiciones de alcalinidad de suelo y/o de la calidad de agua de riego. Con base en lo anterior, se investigó la relación entre la aspersión foliar de una mezcla integral de macronutrientes y micronutrientes y la ocurrencia del rajado de fruto (RF) en nogal pecanero cvs. Western y Wichita, proponiéndose que la aspersión foliar de nutrimentos pueden disminuir la ocurrencia del rajado de la nuez pecanera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área experimental se situó en la Huerta Santa Julia ubicada en el municipio de Morelos, Coahuila, México, (28° 21' 40.8" N y 100° 55' 51" O); la cual cuenta con nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) de las variedades Wichita y Western Schley; ambas variedades se encontraban en plena edad reproductiva con un promedio de 24 años de edad. El clima de la región está clasificado como seco según el Instituto Nacional de Estadística y Geología (INEGI, 2017).

En dos muestras compuestas ("cinco de oros") tomadas (en dos profundidades) de la parcela experimental un mes antes de iniciar el experimento, el suelo en el sitio resultó tener una textura arcillo-limosa, un pH de 8.91 en el estrato 0 - 30 y de 8.29 en el 30 - 60, así como una conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación de 0.72 dS m⁻¹ y 0.81 dS m⁻¹, respectivamente, además de un contenido de materia orgánica de 1.75% y 1.08%. La concentración de macronutrientes y micronutrientes en el suelo se muestran en la tabla 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1 Concentración de macronutrientes en una muestra de suelo realizada en el mes de marzo en la Huerta Santa Julia, Morelos, Coahuila, México.

Estrato de suelo	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
0 cm - 30 cm	9.2	4.6	470	112	8040	900
30 cm - 60 cm	18.2	4.3	464	136	8938	884

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2 Concentración de micronutrimentos en una muestra de suelo realizada en el mes de marzo en la Huerta Santa Julia, Morelos, Coahuila, México.

Estrato de suelo	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Ni (ppm)
0 cm - 30 cm	5.6	1.0	1.6	13.0	1.0	0.07
30 cm - 60 cm	5.7	0.9	1.3	10.4	0.8	0.05

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos de estudio fueron: (i) tratamiento con macronutrimentos asperjando N (990 ppm), P (650 ppm), K (750 ppm) y Ca (350 ppm); (ii) tratamiento con micronutrimentos con aspersiones foliares de Cu (50 ppm), Ni (80 ppm), Mn (50 ppm), Zn (80 ppm), Fe (300 ppm), B (80 ppm) y Mo (40 ppm); y un último (iii) tratamiento que incluyó la mezcla de ambos, micronutrimentos y macronutrimentos a las concentraciones indicadas anteriormente. Todas las soluciones se prepararon empleando como fuente de nutrimentos sales grado analítico o grado fertilizante. El pH de la soluciones fue ajustado a 6.5 con HCl 1N y la CE de la solución final fue de 2.46 dS m⁻¹, 7.20 dS m⁻¹, y 11.7 dS m⁻¹, para las soluciones con micronutrimentos, macronutrimentos y la mezcla de ambos, respectivamente. El tratamiento testigo consistió en la aspersión de solo agua, la cual reportó un pH original de 8.3 (6.5 ajustado) y una CE de 0.40 dS m⁻¹.

En el sitio experimental se seleccionaron 4 lotes de 16 árboles cada uno, los cuales estuvieran a proximidad entre ellos y que además tuvieran a la vez ocho árboles de la variedad Wichita y ocho de la variedad Western Schley para tratarlos (64 árboles en total). Estos tratamientos fueron aplicados mensualmente a partir del 15 de abril y hasta el mes de agosto en dos árboles de cada variedad, por cada tratamiento (ocho árboles asperjados por tratamiento, para cada variedad). Las aplicaciones foliares se realizaron con un equipo de aspersión de alta presión, con motor de gasolina de dos tiempos, de modo que se aseguró la cobertura total de la superficie foliar hasta el punto de goteo, lo cual se obtuvo con una aspersión aproximada de 12 l por árbol. Todas las aspersiones se realizaron en el transcurso de la mañana, entre las 8:00 h y 10:00 h.

A mediados del ciclo agronómico del nogal, es decir, aproximadamente después de 125 días de iniciada la brotación, se hizo un muestreo destructivo de follaje para determinar su estado nutrimental. Para ello se tomaron aleatoriamente entre 80 y 100 folíolos intermedios pertenecientes a las hojas centrales de los brotes apicales producidos en el mismo año. Este muestreo se hizo por separado en hojas cercanas a racimos de nueces que incluían a

simple vista nueces rajadas o no rajadas respectivamente. Inmediatamente, las muestras de follaje fueron lavadas con una solución diluida de HCl (~ 0.5%) y después enjuagadas por duplicado con agua destilada (Hammar, 1956). Entonces, los folíolos se dejaron escurrir para luego almacenarlos en bolsas de papel y transportarlos a una estufa de secado donde se almacenaron por 72 h a 70 °C registrando su peso cada 24 h. Una vez confirmado que las muestras alcanzaron un peso constante fueron molidas en un molino Analytical Mill (A-10, Tekmar Co.) y cribadas con un filtro de 40 mallas.

Variables Evaluadas

La rajadura de la nuez

De manera simultánea al muestreo de folíolos previamente descrito se realizó un muestreo no destructivo de racimos de nueces en cuatro árboles elegidos al azar en cada tratamiento de las variedades Wichita y Western. Se seleccionaron 50 racimos al azar, se contó el número de nueces por racimo (aproximadamente 145 nueces en los 50 racimos) y nueces rajadas en cada uno de los racimos. Esto fue para determinar la proporción (%) de nueces rajadas mientras que a las muestras tamizadas se les analizó el contenido nutrimental con cuatro repeticiones por tratamiento por cada variedad (Wichita y Western).

Estado nutricional de los árboles

El N total fue determinado con base en el método de Micro-Kjeldahl (Chapman & Pratt, 1973), en el cual el material previamente molido (0.5 g) se llevó a digestión con una mezcla de H₂SO₄:HClO₄ (2:1 ml) y 2 ml de H₂O₂ al 30%. La concentración de nitrógeno se obtuvo mediante titulación con H₂SO₄ 0.05 N. La concentración de K⁺ en el tejido foliar se determinó con un flamómetro Corning 400 a partir de una muestra preparada tomando una alícuota del material previamente digerido al que se le añadieron 4 ml de H₂SO₄:HClO₄ (2:1 ml), incubada luego a 50 °C y posteriormente suplementada con 2 ml de H₂O₂ al 30% (Alcántar & Sandoval, 1999). La concentración de P, Ca, Mg y de los micronutrientes se determinaron por espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES VARIAN, modelo Liberty) utilizando el extracto diluido (1:50) obtenido con la digestión ácida de las muestras secas. El S estaba previsto en la investigación pero no pudo ser determinado por lo tanto no se reportaron resultados de este elemento.

Análisis Estadísticos

Los datos de porcentaje de nuez rajada fueron transformados por el método del arcocoseno antes de ser analizados

estadísticamente. Para comparar entre variedades (Western y Wichita) el porcentaje de nueces rajadas, los datos de rajado fueron analizados por Análisis de Varianza (ANVA) de una sola vía ($\alpha = 0.05$). Dado que la variedad Wichita fue aquella que presentó rajado, el efecto de los tratamientos de aspersión sobre la rajadura de la nuez también fue analizado con ANVA de una sola vía ($\alpha = 0.05$), pero solo para esta variedad. Finalmente, para detectar si alguno de los nutrimentos esenciales analizados tenía alguna relación con la incidencia de nueces rajadas en Wichita, la concentración de nutrimentos en el follaje se analizó por un ANVA de dos vías ($\alpha = 0.05$), considerando a la condición de la nuez (rajada vs. no rajada) y a las aspersiones foliares como factores de variación. En caso de significancia estadística se realizó un prueba de medias por el método de Duncan con $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La rajadura de la nuez

Contundentemente, el rajado de la nuez en esta investigación no se observó en el cultivar Western y solo se detectó en nueces del cv. Wichita (figura 1). Este hecho confirmó que el cv. Western es menos susceptible al rajado que Wichita, mismo fenómeno que empíricamente han observado los productores y técnicos de la asociación Nueces del Bravo S.P.R. de R.L. (com. pers.). Asimismo, los productores mencionaron que perciben que el cv. Western tiene una cáscara relativamente más gruesa y firme y que empieza a endurecer más rápido que la cáscara de las nueces del cv. Wichita. Es quizás por estos motivos, que logró soportar más la presión de turgencia del líquido interno del endospermo, ya que es mayor en la parte terminal de la etapa acuosa (Wells & Wood, 2008). No obstante, es necesario conducir estudios sobre el espesor, la firmeza y la fenología del endurecimiento (lignificación) de la cáscara para corroborar dichos supuestos.

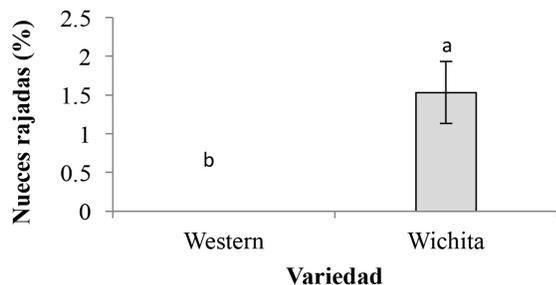


Figura 1

Incidencia del rajado de la nuez en árboles de variedad Western y Wichita. Promedios ($n = 16$) \pm error estándar con letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

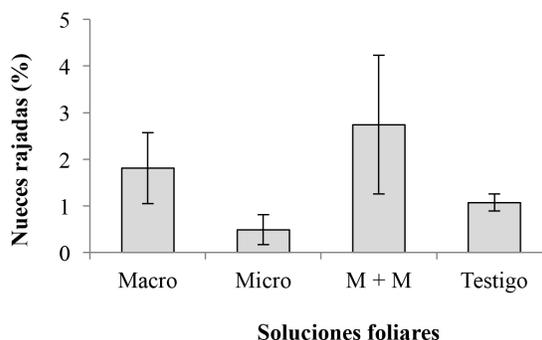


Figura 2

Efecto de la aplicación de soluciones foliares de macronutrimentos (Macro), micronutrimentos (Micro) y la combinación de macro y micronutrimentos (M+M) sobre la incidencia del rajado de nuez en el cv. Wichita. Columnas sin letra son estadísticamente similares según la prueba de Duncan ($p > 0.05$). Las barras de error representan el error estándar de la media ($n = 4$).

Fuente: Elaboración propia.

Proporcionalmente, fueron muy pocas las nueces rajadas obtenidas en el cv. Wichita ya que en ninguno de los tratamientos la media superó el 3% de daño por esta fisiopatía (figura 2). Los técnicos asesores de la asociación Nueces del Bravo S.P.R. de R.L. (com. pers.) también detectaron que los porcentajes de rajado en el ciclo de estudio fueron muy por debajo de las pérdidas que se suelen llegar a presentar, ya que en años previos al experimento los productores han reportado pérdidas de rendimiento del 20% al 30% por consecuencia del rajado de nuez (Fernández-Aguirre et al., 2009). Por otro lado nuestros resultados también contrastan con lo reportado por Wood & Reilly (1999), quienes en un experimento realizado en Arizona (EUA), en el cv. Wichita observaron entre 12% y hasta el 33% de nueces con presencia de rajadura en esa región. Este suceso se dio en suelos secos y con precipitaciones presentes en la etapa de susceptibilidad al rajado. Inclusive, los mismos autores mencionan que esos valores son bajos ya que en la zona de Arizona suele presentarse con mayor intensidad el rajado de nuez.

La baja incidencia de nuez rajada en este estudio pudo deberse en gran medida a que no se presentaron las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de este desorden. Entre estas, los escenarios ambientales que favorecen el rajado se destaca una precipitación pluvial repentina o riego pesado al que se ha invocado como principal factor por el cual se origina el rajado de la nuez, asociado a condiciones de suelo de cultivo seco o con poca humedad (Wells, 2010), durante la etapa de endurecimiento de la cáscara de la nuez. Ya que es en este lapso cuando se presenta el periodo de susceptibilidad del rajado de nuez (Wood & Reilly, 1999). De acuerdo con datos de la estación

meteorológica del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Zaragoza, Coahuila (INIFAP, 2017), ubicada a 25 km del sitio experimental, en el ciclo agrícola del estudio no hubo eventos importantes de precipitación durante la etapa de endurecimiento de la cáscara (mes de julio), registrándose un acumulado mensual de 15.8 mm cuyo evento predominante fue de 11.8 mm, escasa precipitación que no fue adecuada para que se presentara el rajado.

Estado nutricional de los árboles

La mayoría de los agricultores nogaleros del norte de Coahuila realizan una fertilización periódica en sus huertas. Por ese motivo, resulta un tanto extraño que se presenten problemas tan marcados en cuanto al estado nutrimental de los árboles; esto está muy probablemente relacionado con las condiciones de alcalinidad en suelo y agua, factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes aportados al suelo para que puedan ser absorbidos por las raíces. Por estos motivos, en el presente estudio se trabajó con aspersiones foliares de los macronutrimentos y micronutrimentos.

En la variedad Wichita el tratamiento de micronutrimentos fue el único que llegó a promediar valores menores

de nueces rajadas que la solución utilizada como testigo, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p > 0.05$; figura 2). Por el contrario, el tratamiento de macro más micronutrimentos, así como el de solo macronutrimentos, presentaron porcentajes mayores que el tratamiento testigo en ambos casos (figura 2).

A pesar de que la aplicación de soluciones foliares impactó significativamente el contenido de N, P, Ca (tabla 3), Fe, Cu, Zn, B y Ni (tabla 4), solo hubo diferencia significativa por efecto de la condición de la nuez en la concentración foliar de N y Fe (tablas 3 y 4, respectivamente). Considerando que el enfoque de esta investigación es sobre el rajado de la nuez y su relación con el estado nutricional de los árboles, además de que la fertilización foliar ha sido abordada previamente en varias investigaciones (Favela *et al.* 2000; Medina-Morales, 2002; Medina-Morales, Medina-Moreno, Aguilar-Pérez & García-Garza, 1999; Vargas-Piedra & Arreola-Ávila, 2008), en este reporte no profundizamos la discusión en el impacto de las aspersiones foliares sobre la concentración de nutrientes en el tejido foliar del nogal.

En árboles Wichita la concentración foliar de N fue mayor en los brotes apicales que soportaban racimos de nueces que contenían nueces rajadas que aquellos que soportaban racimos sin nueces rajadas (figura 3).

Tabla 3 Concentración media de macronutrimentos en hojas de brotes apicales con racimos con y sin presencia de nueces rajadas, en los distintos tratamientos, en el cultivar Wichita.

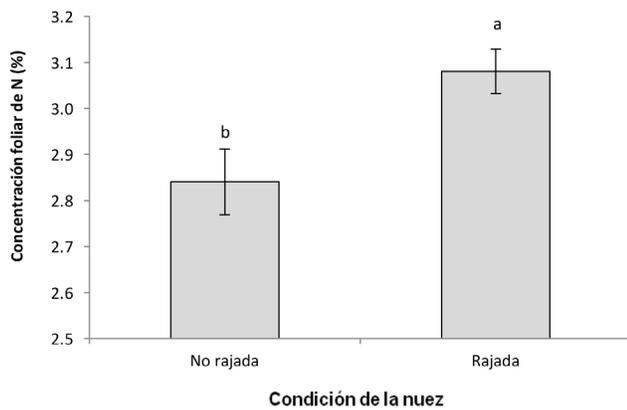
Aspersión	Condición	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
Macronutrimentos	No rajado	2.6 ± 0.08 f	1147 ± 36 a	3219 ± 247 a	30 905 ± 1313 a	4822 ± 301 a
	Rajado	3.3 ± 0.08 a	1015 ± 71 a	3170 ± 268 a	24 761 ± 1682 a	4233 ± 252 a
Micronutrimentos	No rajado	3.2 ± 0.04 ab	981 ± 42 a	3298 ± 391a	23 731 ± 2363 a	4941 ± 506 a
	Rajado	3.0 ± 0.02 cd	998 ± 47 a	4067 ± 395 a	22 798 ± 2230 a	5352 ± 809 a
M+M	No rajado	2.7 ± 0.07 ef	974 ± 119 a	4107 ± 609 a	23 704 ± 1733 a	4361 ± 466 a
	Rajado	2.9 ± 0.04 cd	1041 ± 74 a	3435 ± 246 a	26 139 ± 361 a	5120 ± 570 a
Testigo	No rajado	2.8 ± 0.08 de	890 ± 20 a	4175 ± 122 a	21 776 ± 907 a	4350 ± 82 a
	Rajado	3.0 ± 0.04 bc	823 ± 17 a	4269 ± 378 a	17 975 ± 658 a	3405 ± 299 a
²ANVA (p)	Condición	0.0001	³NS	NS	NS	NS
	Aspersión	0.0098	0.0001	NS	0.0004	NS
	Interacción	0.0001	NS	NS	NS	NS

²ANVA: Análisis de varianza; ³NS: No significativo; M + M: Mezcla completa de Macronutrimentos y Micronutrimentos; Promedios ± el error estándar de la media, dentro de la misma columna, seguidos con letra diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($p < 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4 Concentración media de micronutrientos en hojas de brotes apicales con racimos con y sin presencia de nueces rajadas, en los distintos tratamientos, en el cultivar Wichita.

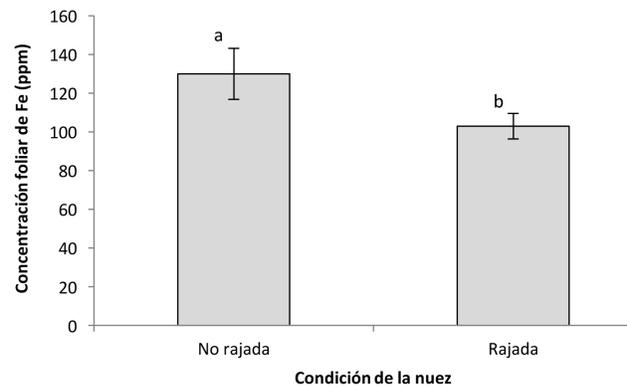
Aspersión	Condición	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Ni (ppm)	B (ppm)
Macronutrientos	No rajado	118 ± 1.2 a	11 ± 0.2 a	70 ± 7.7 a	41 ± 2.8 a	112 ± 4.4 a	4 ± 0.8 a	4 ± 0.6 a
	Rajado	88 ± 4.6 a	10 ± 0.5 a	64 ± 8.4 a	28 ± 3.2 a	113 ± 7.8 a	3 ± 0.4 a	2 ± 1.3 a
Micronutrientos	No rajado	122 ± 15.0 a	14 ± 1.4 a	73 ± 6.8 a	34 ± 3.0 a	135 ± 5.4 a	13 ± 2.3 a	3 ± 0.9 a
	Rajado	129 ± 8.7 a	16 ± 0.5 a	57 ± 9.6 a	29 ± 1.8 a	137 ± 15.5 a	13 ± 0.9 a	4 ± 0.5 a
M+M	No rajado	187 ± 40.5 a	14 ± 3.1 a	56 ± 6.9 a	122 ± 78.9 a	129 ± 13.2 a	13 ± 5.3 a	2 ± 0.9 a
	Rajado	118 ± 6.9 a	13 ± 1.4 a	63 ± 12.9 a	34 ± 1.6 a	140 ± 1.3 a	12 ± 1.3 a	3 ± 1.5 a
Testigo	No rajado	93 ± 4.4 a	9 ± 0.2 a	90 ± 3.9 a	41 ± 1.1 a	129 ± 1.3 a	1 ± 0.1 a	1 ± 0.4 a
	Rajado	76 ± 5.8 a	9 ± 0.5 a	84 ± 11.1 a	40 ± 8.3 a	127 ± 6.1 a	1 ± 0.5 a	4 ± 0.6 a
*ANVA (p)	Condición	0.0277	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Aspersión	0.0016	<0.0001	0.0276	NS	0.0293	0.0001	NS
	Interacción	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*ANVA: Análisis de varianza; NS: No significativo; M + M: Mezcla completa de Macronutrientos y Micronutrientos; Promedios ± el error estándar de la media, dentro de la misma columna, seguidos con letra diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($p < 0.05$).
 Fuente: Elaboración propia.


Figura 3

Concentración foliar de N en hojas del cv. Wichita, de ápices que soportaban racimos con nueces no rajadas o rajadas. Columnas con letra diferente son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ($p < 0.05$). Las barras de error representan el error estándar de la media ($n = 16$).
 Fuente: Elaboración propia.

Este fenómeno podría tener explicación en el hecho de que una nutrición más favorable de N pudo haber generado tejidos más suaves que permitieron el rajado, toda vez que hay evidencias de que una mayor nutrición nitrogenada en las plantas produce tejidos menos lignificados (Fritz, Palacios-Rojas, Feil & Stitt, 2006; Pitre et al., 2007; Novaes, Kirst, Chiang, Winter-Sederoff & Sederoff, 2010). Además, la concentración más alta de Fe se presentó en las hojas de ápices sin presencia de nueces rajadas (figura 4), la cual fue superior en un 26% en comparación con la presentada en las hojas de brotes apicales sin presencia de nueces rajadas.


Figura 4

Concentración foliar de Fe en hojas del cv. Wichita, de ápices que soportaban racimos con nueces no rajadas o rajadas. Columnas con letra diferente son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ($p < 0.05$). Las barras de error representan el error estándar de la media ($n = 16$).
 Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior sugiere que la menor concentración de Fe encontrada en las hojas de ápices con presencia de nueces rajadas puede ser uno de los motivos por el cual se manifiesta este desorden fisiológico. Como lo mencionan Wells & Wood (2008), el Fe y otros micronutrientos como el Zn, Mn, Cu, B y Ni podrían estar relacionados directa o indirectamente en el proceso de lignificación de las paredes celulares. De hecho, el papel del Fe en el proceso de lignificación de las paredes celulares de la cáscara de la nuez podría radicar en las peroxidases. Estas proteínas son enzimas que catalizan la oxidación de diferentes sustratos a expensas del H_2O_2 (Uzal, 2008), participan en

la síntesis de lignina (Schoemaker & Piontek, 1996) y contienen como grupo prostético una molécula de protohemina IX (hemo b), la cual contiene hierro. El grupo prostético resulta esencial para la actividad enzimática ya que su eliminación provoca la total inactivación de la enzima (Uzal, 2008). En los frutos, la peroxidasa está localizada principalmente en las paredes celulares, tanto en las paredes celulares primarias fundamentalmente a nivel de las esquinas celulares y la lámina media, como en los engrosamientos secundarios (Uzal, 2008). En este sentido, la deficiencia de Fe aunada a un mejor estatus nutricional de N en los ápices cercanos a las nueces rajadas podría provocar un desabasto de Fe y una menor lignificación en los frutos haciéndolos más susceptibles al rajado. Sin embargo, mayores estudios son requeridos para confirmar si esto es lo que ocurre en el nogal pecanero.

CONCLUSIONES

De acuerdo con nuestros resultados una simple mejora en el estado nutricional de árboles de nogal pecanero mediante aspersiones foliares no es suficiente para prevenir la aparición de nueces rajadas cuando la incidencia del problema es menor al 3%. Sin embargo, consideramos que los balances nutrimentales de N y Fe podrían manipularse para que esta fisiopatía pueda ser controlada previniendo pérdidas en la producción. Por otro lado, tomando en cuenta las diferencias encontradas entre Wichita y Western, encontramos indicios de que una posible solución a la fisiopatía es más factible si se desarrollan variedades con propiedades similares a las de la variedad Western. Es recomendable que los productores sigan un programa de monitoreo anual de la nutrición de los árboles de nogal para observar el comportamiento del rajado de la nuez respecto de la asimilación de nutrientes, especialmente en los años donde la ocurrencia de dicha fisiopatía sea superior a la reportada en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las aportaciones del fondo (FOMIX) COAH-2010-C12-137628-CONACYT para la realización de este estudio. Los autores también agradecen al M.C. Juan Corral Garza por su asesoría en campo y por poner su huerta a disposición de este estudio.

REFERENCIAS

Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal: Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación*. Chapingo, México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., Publicación Especial No. 10.

Beverly, R. B., & Worley, R. E. (1992). Preliminary DRIS diagnostic norms for pecan. *HortScience*, 27(3), 271-271.

Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1973). *Método de Análisis para Suelos, Aguas y Plantas* (1ª ed.). México: Trillas.

Corral-Garza, J. (2010). Proyecto estratégico para el desarrollo del cultivo del nogal pecanero *Carya illinoensis* Koch del norte de Coahuila. Nueces del Bravo S.P.R. de R.L. Coahuila, México.

Favela, E., Flores, J. I. C., González, G. A., Barra, J. D. E., Castillo, G. A. B., & Alcázar, J. R. (2000). Aspersiones foliares de zinc en nogal pecanero en suelos alcalinos. *Terra*, 18(3), 239-245.

Fernández-Aguirre, H., Pérez-Mata, L. E., Godoy-Ávila, S., Reyes-López, A., Valdés-Rodríguez, V. M., Prado-Delgado, A., Lagarda-Murrieta, A., Castro-Medina, A., & Ramírez-Contreras, C. E. (2009). Programa de Extensionismo Agropecuario de la Secretaría de Fomento Agropecuario del Gobierno del Estado de Coahuila. *Revista Mexicana de Agronegocios*, XIII(24), 734-743.

Fritz, C., Palacios-Rojas, N., Feil, R., & Stitt, M. (2006). Regulation of secondary metabolism by the carbon-nitrogen status in tobacco: nitrate inhibits large sectors of phenylpropanoid metabolism. *The Plant Journal*, 46(4), 533-548.

Hammar, H. E. (1956). Effect of Spray Residues and Other Contaminants on Leaf Analysis. *Plant physiology*, 31(3), 256-257.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Mapa Digital de México. Recuperado el 2 de mayo de 2017 de <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00j1LjQyMTQwLjGxvbjotMTAxLjA4ODI1LHo6OCxsOmM0MTg=>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2017). Red de Estaciones Meteorológicas. Pabellón de Arteaga: Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. Recuperado el 2 de mayo de 2017 de <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26793>

Medina-Morales, M. C. (2002). Normas DRIS preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 445-450.

Medina-Morales, M. C., Medina-Moreno, E. J., Aguilar-Pérez, J. H., & García-Garza, S. J. (1999). Aspersiones foliares de manganeso y cobre en nogal pecanero. *Terra*, 17(4), 317-323

Novaes, E., Kirst, M., Chiang, V., Winter-Sederoff, H., & Sederoff, R. (2010). Lignin and biomass: a negative correlation for wood formation and lignin content in trees. *Plant Physiology*, 154(2), 555-561.

Ojeda-Barrios, D. L., Arras-Vota, A. M., Hernández-Rodríguez, O. A., López-Díaz, J. C., Aguilar-Valdés, A., & Denogean-Ballesteros, F. G. (2010). Análisis FODA y perspectivas del cultivo del nogal pecanero en Chihuahua. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 14(27), 348-359.

Pitre, F. E., Pollet, B., Lafarguette, F., Cooke, J. E., MacKay, J. J., & Lapierre, C. (2007). Effects of increased nitrogen supply on the lignification of poplar wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(25), 10306-10314.

Salas-Rivera, R., Valdez-Aguilar, L. A., Corral-Garza, J., & Cárdenas-Flores, A. (2013). El rajado de nuez pecanera en el norte de Coahuila y aspersiones foliares para prevenirlo. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 1(5). Recuperado de http://riit.com.mx/apps/site/files/articulo_-_rajado_de_nuez_pecanera_v1.pdf

- Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera–Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (SIAP–Sagarpa). (2016). Anuario estadístico de la producción agrícola. Recuperado el 31 de octubre de 2016 de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp
- Schoemaker, H. E., & Piontek, K. (1996). On the interaction of lignin peroxidase with lignin. *Pure and Applied Chemistry*, 68(11), 2089-2096.
- Uzal E. N. (2008). Lignificación en cultivos celulares de gimnospermas basales. Tesis doctoral. Universidad Da Coruña. La Coruña, España.
- Vargas-Piedra, G., & Arreola-Ávila, J. G. (2008). Respuesta del nogal pecanero *Carya illinoensis* K. Koch a las aplicaciones foliares de nutrimentos. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7, 7-14.
- Wells, L. (2010). Nutritional, Environmental, and Cultural Disorders of Pecan. Estados Unidos: University of Georgia y Fort Valley State University.
- Wells, M. L., & Wood, B. W. (2008). Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. *HortScience*, 43(5), 1437-1440.
- Wood, B. W., & Reilly, C. C. (1999). Factors influencing water split of pecan fruit. *HortScience*, 34(2), 215-217.