

## Rendimiento, Calidad de Nuez y Alternancia en Nogal Pecanero, como Respuesta a la Aplicación de Quelatos de Zinc en un Suelo Alcalino Yield, Nut Quality, Alternate Bearing in Pecan as a Response to Soil Application of Zinc Chelates in Alkaline Soils

Ana Luisa Olivas-Tarango<sup>1</sup>, Dámaris Leopoldina Ojeda-Barrios<sup>2</sup> y Socorro Héctor Tarango-Rivero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Comité de la Nuez del Estado de Chihuahua. Trasviña y Retes No. 3505, San Felipe II Etapa. 31203 Chihuahua, Chihuahua, México; (A.L.O.T.), (S.H.T.R.).

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Avenida Pascual Orozco s/n, Santo Niño Campus I. 31350 Chihuahua, Chihuahua, México; (D.L.O.B.).

<sup>†</sup> Autora para correspondencia: dojeda@uach.mx

### RESUMEN

*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch., es un frutal con alto valor económico, sin embargo, es un cultivo muy sensible a la deficiencia de zinc (Zn) en suelos alcalinos, donde una alternativa para minizar este problema es el suministro edáfico de este micronutriente. El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta de variables fisiológicas (diámetro de tronco, longitud de brote fructífero, área del foliolo terminal y concentración foliar de Zn) y componentes de rendimiento (kg árbol<sup>-1</sup>, peso de la nuez, porcentaje de la almendra e índice de alternancia), a la aplicación de quelato de Zn en nogal pecanero "Western Schley". Durante tres años en Chihuahua, México, se evaluaron cinco dosis edáficas de quelato Zn (Carboxy Zn<sup>®</sup>, Innovak Global) en kg ha<sup>-1</sup> de los siguientes tratamientos: T1 (8.5), T2 (17), T3 (34), T4 (51), T5 (68), donde T0 corresponde al testigo (sin aplicación) en un diseño experimental de parcelas divididas con 5 repeticiones. El análisis estadístico reflejó diferencias estadísticas con la aplicación edáfica de 8.1 (kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy Zn) en parámetros fisiológicos como diámetro de tronco y longitud de brote (19.93 y 19.27 cm respectivamente), área del foliolo terminal (34.08 cm<sup>2</sup>) y concentración foliar de Zn (34.93 mg kg<sup>-1</sup>). Así como los componentes de rendimiento (12.82 kilogramos fruto árbol<sup>-1</sup>, 7.82 g peso de la nuez y 59.15 porcentaje de la almendra) y minimizaron el índice de alternancia. La aplicación edáfica de Carboxy Zn, podría ser una alternativa al suministro de Zn en el manejo agronómico de huertos comerciales de nogal pecanero en suelos alcalinos.

**Palabras clave:** *carya illinoensis*, componentes de rendimiento, manejo agronómico, porcentaje de almendra, Zn foliar.

### SUMMARY

*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch is a fruit tree with high economic value. However, this crop is very sensitive to zinc (Zn) deficiency in alkaline soils, where an alternative to minimize this problem is the edaphic supply of this micronutrient. Thus, the objective of this research is to evaluate the response of some physiological variables (trunk diameter, fruiting shoot length, terminal leaflet area and leaf Zn concentration), yield components (kg tree<sup>-1</sup>, nut weight, kernel percentage and alternation index) to the edaphic Zn chelate application in pecan nut "Western Schley" for three years in Chihuahua, Mexico. Five edaphic doses of Zn chelate (Carboxy Zn<sup>®</sup>, Innovak Global, México kg ha<sup>-1</sup>) T1 (8.5), T2 (17), T3 (34), T4 (51), T5 (68), where T0 corresponds to the control (no application) were evaluated in a split-plot experimental design with five replications. Statistical analyses showed statistical differences in physiological parameters such as trunk diameter and shoot length (19.93 and 19.27 cm, respectively), terminal leaflet area (34.08 cm<sup>2</sup>) and leaf Zn



#### Cita recomendada:

Olivas-Tarango, A. L., Ojeda-Barrios, D. L., & Tarango-Rivero, S. H. (2024). Rendimiento, Calidad de Nuez y Alternancia en Nogal Pecanero, como Respuesta a la Aplicación Edáfica de Quelatos de Zinc en un Suelo Alcalino. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-10. e1708. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1708>

Recibido: 24 de marzo de 2023.  
Aceptado: 31 de enero de 2024.  
Artículo. Volumen 42.  
Abril de 2024.

Editor de Sección:  
Dr. Juan Carlos Noa Carrazana

Editor Técnico:  
Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2024 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

concentration (34.93 mg kg<sup>-1</sup>) with soil application of 8.1 (kg ha<sup>-1</sup> of Carboxy Zn), as well as yield components (12.82 kg tree<sup>-1</sup>, 7.82 g nut weight and 59.15 kernel percentage) and minimize the bearing alternation index. The edaphic application of Carboxy Zn could be an alternative to Zn supply in the agronomic management of commercial pecan nut orchards in alkaline soils.

**Index words:** *carya illinoensis*, yield components, agronomic management, kernel percentage, foliar Zn.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] representa uno de los cultivos más redituables en México y Estados Unidos de Norteamérica, principales países productores de nuez pecanera en el mundo. Otros países en donde se produce comercialmente son Sudáfrica, Australia, Argentina, Chile, Brasil, Perú y China (Smith, Walworth, Comeau, Heerema y Sherman, 2021). Este frutal posee una condición alternante, es decir, variación del rendimiento presentando años altos (ON) seguidos de años bajos (Off) en un patrón que se repite a través de su etapa productiva (Ojeda-Barrios *et al.*, 2022). Este comportamiento se encuentra reportado en otros frutales, incluyendo aguacate (*Persea americana* L.), cítricos (*Citrus spp* L.), manzano [(*Malus silvestres* (L) Mil. Var. Domestica (Borkh) Mansf.), mango (*Mangifera indica* L.), café (*Coffea arabica* L.), olivo (*Olea europaea* L.) y pistacho (*Pistacea vera* L.), (Sharma *et al.*, 2019). Investigaciones recientes describen que los mecanismos que regulan la alternancia, son complejos e incluyen factores externos como el frío invernal inadecuado, intensidad de luz inadecuada, fotoperíodo demasiado largo o corto, poda, sequía y disponibilidad de nutrientes minerales del suelo, entre otros (Dahal, Bhattarai, Midmore, Oag y Walsh, 2019). Asimismo, las prácticas hortícolas (poda, riego, fertilización, control de patógenos y malezas, entre otras) regulan la intensidad de la alternancia en el cultivo de nogal pecanero (Conner y Worley, 2000). Como resultado de la alternancia, se tiene un impacto negativo de alrededor del 30% en el ingreso económico para los productores y comercializadores de este tipo de nuez (Ojeda-Barrios *et al.*, 2022). Por otro lado, Huang, Shen, Wang, S y Wang (2019) mencionan que la fertilización en el nogal pecanero tiene un impacto directo en la calidad y rendimiento del producto cosechado.

En el manejo agronómico, la nutrición mineral con Zn es crucial para incrementar la productividad del nogal pecanero, uno de los frutales caducifolios más sensibles a la deficiencia de este micronutriente (Ashraf *et al.*, 2013). El Zn es crucial debido a que su deficiencia reduce en un 30% el rendimiento y calidad de la nuez (Castillo-González *et al.*, 2019). Existen muchos factores que influyen en la variabilidad de la concentración foliar de Zn en los árboles de nogal pecanero, incluyendo las condiciones de suelo, topografía, riego, microclima, plagas, patógenos y malezas, entre otros (Heerema *et al.*, 2017). En el norte de México, la mayoría de las huertas comerciales de este frutal se encuentran en suelos compactados, calcáreos (> 10% de cal activa) y de pH alcalino (> 7) debido a que el carbonato de calcio reacciona con el zinc lo cual disminuye la biodisponibilidad de este micronutriente (Smith *et al.*, 2021). En ese sentido, una alternativa para subsanar este problema se asocia con el suministro foliar de este micronutriente, con alta eficiencia y reducido impacto ambiental (Fernández y Brown, 2013). Sin embargo, su aplicación requiere de equipo y mano de obra especializada, lo cual incrementa los costos de producción (Walworth, White, Comeau y Heerema, 2017).

Varios estudios publicados han mostrado opciones prometedoras utilizando quelatos de Zn por su biodisponibilidad en suelos alcalinos de regiones áridas y semiáridas donde se cultiva este frutal caducifolio (Walworth y Heerema, 2019; Olivas-Tarango, Tarango y Ávila, 2021; Smith *et al.*, 2021). Además, los fertilizantes quelados de micronutrientes, podrían ser una excelente opción para suministrarlos en fertirriego por su alta solubilidad (Olivas-Tarango *et al.*, 2021).

Por otro lado, el Zn<sup>2+</sup> es un micronutriente estructural de oxidoreductasas, liasas, isomerasas, transferasas, hidrolasas y ligasas (Rossi, Fedenia, Sharifan, Ma y Lombardini, 2019). Se encuentra involucrado en varios procesos metabólicos y como parte de la membrana celular, incluyendo fotosíntesis, metabolismo de las proteínas y carbohidratos (Nandal y Solanki, 2021). Además, promueve la síntesis de clorofila, triptófano y auxinas (Suganya, Saravanan y Manivannan, 2020), sin dejar de lado su papel en el desarrollo del polen y cuajado del fruto (Subba *et al.*, 2014). La deficiencia de Zn en los árboles de nogal pecanero se caracteriza por entrenudos más cortos (que dan lugar a brotes con apariencia de roseta), área foliar severamente reducida, márgenes foliares ondulados, clorosis y necrosis entre las nervaduras de las hojas y muerte regresiva terminal de los brotes (Walworth y Heerema, 2019). Estudios previos demostraron que la deficiencia de Zn en los árboles de nogal pecanero, los foliolos redujeron su área (particularmente la capa de células del parénquima en empalizada y células desorganizadas en parénquima esponjoso), además de que presentaron un mayor número de estomas por milímetro cuadrado de área foliar (Ojeda-Barrios, Abadía, Lombardini, Abadía y Vázquez, 2012).

Desde el punto de vista fisiológico, los árboles de nogal se ven gravemente dañados por la deficiencia de Zn, que afecta el crecimiento de los árboles y el rendimiento (Smith *et al.*, 2021). La fertilización con este micronutriente generalmente se recomienda en huertos comerciales y las estrategias de aplicación, hacia la eficiencia en el uso de nutrientes, son clave para el manejo exitoso de este cultivo (Castillo-González *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2021). Algunos estudios han evaluado el suministro de micronutrientes a través de la fertilización edáfica con algunos quelatos en cultivos de árboles perennes, evaluando el manejo del suelo con los componentes de rendimiento. Sin embargo, la información limitada sobre la fertilización edáfica de Zn deja espacio para el uso de aspersiones foliares como estrategia principal (uso de suministros y equipos costosos, además requiere de aplicación nocturna) para la fertilización con micronutrientes de árboles de nogal pecanero (Huang *et al.*, 2019). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta fisiológica, rendimiento, calidad e índice de alternancia del nogal pecanero a la aplicación al suelo de quelato de Zn, ofreciendo elementos interesantes a los investigadores y productores de nogal pecanero cultivado en suelos alcalinos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Experimento, Material Vegetal y Manejo del Cultivo

La presente investigación fue realizada durante el periodo 2019-2021 en la localidad de Rosales, Chihuahua, México (28° 14' 09" N y 105° 46' 29" O), con altitud de 1170 m. La temperatura y precipitación media anual fue de 15.8 °C y 356.5 mm, respectivamente. Para el estudio se utilizaron árboles de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] "Western Schley" con catorce años, establecidos sobre portainjertos nativos y un marco de plantación de 9 × 9 m (123 árboles ha<sup>-1</sup>). La huerta se encuentra en un suelo alcalino, representativo de las plantaciones en el norte de México. En el Cuadro 1 se muestra el análisis de suelo, el cual se realizó a finales de febrero del 2019 previo a la aplicación de los tratamientos edáficos con el quelato de Zn (Carboxy Zn<sup>\*</sup>, Innovak Global, México). La huerta, se fertilizó con la fórmula 90 N-5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-20 K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup>, el N como sulfato de amonio (20.5% N y 24% S), para el fósforo (P) fue el ácido fosfórico (49% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1.61 kg L<sup>-1</sup> de densidad) y la fuente de potasio (K) fue el tiosulfato de potasio (12.6% K<sub>2</sub>O y 1.46 kg L<sup>-1</sup> de densidad) divididos en cuatro aplicaciones en el riego tomando en cuenta la fenología del nogal (brotación, floración, amarre de fruto, crecimiento rápido y llenado de fruto) (Tarango-Rivero, 2012a; Tarango-Rivero y García-Nevárez, 2012b). La huerta utiliza riego por microaspersión (emisores de 90 LPH) y la irrigación es semanalmente de marzo a septiembre. Los nogales fueron podados en líder central. La única labor cultural aplicada al suelo fue el segado periódico de las arvenses. No se registraron datos de plagas y enfermedades.

### Diseño Experimental y Tratamientos Evaluados

Se evaluaron cinco tratamientos diferentes y el control, en un diseño en parcelas divididas, donde la parcela grande corresponde a los tratamientos de Zn edáfico y la parcela chica a los años de evaluación del experimento (3), con cinco repeticiones por tratamiento (30 árboles en total). Cada árbol fue considerado como una unidad experimental. La altura del árbol fue de 12±0.5 m y la circunferencia del tronco era de 50±10 cm. Los tratamientos fueron la adición anual de Carboxy-Zn (kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy Zn<sup>\*</sup> Innovak Global con 14% de Zn) T0 (Control), T1 (8.5), T2 (17), T3 (34), T4 (51), T5 (68). La aportación anual de Zn en kg árbol<sup>-1</sup> fue de 0, 0.010, 0.019, 0.039, 0.060 y 0.077 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Durante los tres años del estudio, los tratamientos fueron aplicados en el área de sombreado del árbol, como una banda concentrada sobre la superficie del suelo y de manera manual, cuando los nogales mostraban 80% de brotación. Se realizó una aplicación por año a finales de marzo y principios de abril. Se procedió a regar el área experimental, después de realizar la fertilización.

**Variables fisiológicas** (diámetro de tronco, longitud de brote fructífero, área del foliolo terminal). En los árboles seleccionados se evaluó su circunferencia para lo cual se midió a 0.5 m de la superficie con una cinta métrica. Asimismo, en cada nogal se evaluó la longitud de brote fructífero. De esa sección se tomó el foliolo terminal para determinar su área específica ( $Y = 1.56 + 0.62X$  ( $r^2 = 0.98$ ), donde  $Y$  = área foliar en cm<sup>2</sup> y  $x$  = largo por ancho del foliolo en cm), (Medina-Morales, Lagarda y Arreola, 2004).

**Cuadro 1. Análisis del suelo en el cultivo de nogal pecanero cultivar Western el cual se realizó a finales de febrero del 2019 antes de la aplicación de los tratamientos edáficos con el quelato de Zn (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).****Table 1. Soil analysis in the Western pecan nut crop cultivar performed at the end of February 2019 before the application of the edaphic treatments with Zn chelate. (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).**

Determinación	Método	Profundidad (cm)					
		0-30		30-60		60-90	
		Resultado	Interpretación	Resultado	Interpretación	Resultado	Interpretación
pH	1:2 Agua	8.76	Alcalino	8.81	Alcalino	8.75	Alcalino
C.E dS m <sup>-1</sup>	1:1 Suelo:Agua	1.94	No salino	2.13	Salino	1.53	No salino
% CaCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> OAc (pH 8.5)	5.00	Fuerte	5.00	Fuerte	4.00	Fuerte
% Materia Orgánica	Walkley y Black	0.21	Muy bajo	0.35	Muy bajo	0.42	Bajo
% Saturación	C.E. Extracto Sat. CaCO <sub>3</sub> Met.	40.0		45.0		38.5	
Densidad Aparente g cm <sup>-3</sup>	Visual HCL 0.1 N	1.15		1.23		1.26	
% Arena		65.97		63.97		61.97	
% Limo	Textura	7.28		7.28		9.28	
% Arcilla		26.75		28.75		28.75	
Clasificación textural		franco arcillo arenoso		franco arcillo arenoso		franco arcillo arenoso	
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> Brucina	9.73	Débil	13.67	Débil	11.21	Débil
Fosforo mg kg <sup>-1</sup>		12.76	OLSEN	3.65	OLSEN	5.03	OLSEN
Fierro (Fe) mg kg <sup>-1</sup>		4.50	Bajo	4.98	Bajo	8.02	MB
Manganeso (Mn) mg kg <sup>-1</sup>	E. Menores	4.36	Deficiente	4.18	Deficiente	6.00	Bajo
Zinc (Zn) mg kg <sup>-1</sup>	Determinación A. Ext. DTPA-TEA	1.76	Mediano bajo	2.92	Mediano bajo	3.30	Mediano bajo
Cobre (Cu) mg kg <sup>-1</sup>		0.54	Deficiente	0.58	Deficiente	0.60	Deficiente
Calcio (Ca)mg kg <sup>-1</sup>		5118	Mediano alto	5778	Mediano alto	5682	Mediano alto
Magnesio (Mg) mg kg <sup>-1</sup>		294	Suficiente	324	Suficiente	348	Suficiente
Sodio (Na) mg kg <sup>-1</sup>		1234		1478		939	
Potasio (K) mg kg <sup>-1</sup>	Cationes Determinación	194	Mediano bajo	175.5	Mediano bajo	242.5	Suficiente
meq 100 g-1 Calcio (Ca)	A. A Ext con CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> 1 N	25.59		28.89		28.41	
meq 100 g-1 Magnesio (mg)		2.42		2.67		2.86	
meq 100 g-1 Sodio (Na)		5.37		6.43		4.08	
meq 100 g Potasio (K)		0.49		0.45		0.62	
CIC meq 100 g <sup>-1</sup>		33.87		38.43		35.98	
% Calcio (Ca)		73.53	Suficiente	73.20	Suficiente	76.84	MA
% Magnesio (Mg)		6.95	Bajo	6.76	Bajo	7.75	Bajo
% Sodio (Na)	% Saturación de bases	15.42	Exceso	16.28	Exceso	11.04	Alto
% Potasio (K)		1.42	Débil	1.14	Débil	1.68	Débil
% Otras bases		2.68		2.63		2.69	

**Concentración foliar de Zn.** Para determinar la concentración foliar de Zn, se recolectaron de la copa media de cada árbol 40 pares de foliolos en la temporada de crecimiento el 25 de julio de 2019, 2020 y 2021, respectivamente (220 días después de la brotación). De los cuatro puntos cardinales, las muestras de foliolos se reagruparon de brotes tanto vegetativos como fructíferos, sin daños mecánicos evidentes, plagas o enfermedades. Se trasladaron al Laboratorio de UNIFRUT, en donde se lavaron en una solución de ácido acético al 15% y se secaron hasta peso constante en una estufa ventilada (Heratherm VCA 230<sup>®</sup>, Thermo Scientific, Waltham, EE.UU.) a 70 °C durante 24 h. Posteriormente, cada muestra se homogeneizó en un molino (Willey R-TE-650/1), con una malla de 1 mm, (Tecnal, São Paulo, Brasil), para luego someterse a digestión triácida (HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), (25 mL de la mezcla en proporción 10 : 10 : 25), la cuantificación del analito (Zn) se llevó a cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 100<sup>®</sup> (PerkinElmer<sup>®</sup>, EE. UU.). Los resultados son expresados como mg kg<sup>-1</sup> (Cruz-Alvarez *et al.*, 2020).

**Componentes de rendimiento** (kilogramos por árbol, número de nueces, porcentaje de almendra e índice de alternancia). Se realizaron de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-Ff-084-SCFI-2009 (NMX-Ff-084-SCFI-2009, 2009) se determinaron los componentes de rendimiento. Los datos de rendimiento se expresan como kg árbol<sup>-1</sup>. El peso de las nueces se obtuvo utilizando una balanza Combo-Rhino-122 (Rhino®, México) con una sensibilidad de 0.1 g. Para el número de nueces por kg, se seleccionó y contó al azar 1 kg de frutos secos. A continuación, se seleccionaron 300 g de nueces como submuestra, se eliminaron las cáscaras. Se pesaron las almendras. El porcentaje de almendra se obtuvo como la relación del peso de la nuez dividido por el peso de la submuestra × 100. Para determinar el índice de alternancia se utilizó la fórmula reportada por Medina-Morales *et al.* (2004): Intensidad de producción alterna = (desviación estándar del rendimiento (años analizados) / rendimiento promedio por tratamiento (años analizados) \* 100.

## Análisis Estadístico

El análisis de datos se realizó con información de los tres años de estudio. A los datos obtenidos se les verificó su normalidad y homogeneidad de varianzas con la prueba de Kolmogórov-Smirnov y Bartlett, respectivamente (Sokal y Rohlf, 1995) y cuando no se cumplió este supuesto, se empleó la transformación de datos con logaritmo base 10. A continuación se realizó el análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ). En todos los casos se empleó el programa de análisis estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Fisiológicas de los Árboles

Los aspectos fisiológicos (diámetro de tronco, longitud de brote, área del foliolo y concentración foliar de Zn) se consideran un indicativo del crecimiento y desarrollo de los árboles de nogal pecanero (Smith *et al.*, 2021). En este estudio, los datos obtenidos fueron sobresalientes para tratamientos y son mostrados en el Cuadro 2. Los árboles sometidos a la aplicación edáfica de Carboxy Zn, mostraron un incrementó de forma significativa en diámetro de tronco ( $18.40 \pm 2.09$  -  $20.08 \pm 1.85$  cm), longitud de brote ( $16.80 \pm 3.43$  -  $20.80 \pm 1.92$  cm), área del foliolo ( $29.10 \pm 5.93$  -  $34.69 \pm 3.78$  cm<sup>2</sup>) y concentración de Zn foliar ( $31.20 \pm 6.96$  -  $40.06 \pm 9.03$  mg kg<sup>-1</sup>) con respecto al control. En este sentido, como se muestra en el Cuadro 3, el efecto de parcela chica (años) solo afectó diámetro de tronco y concentración foliar de Zn ( $P \leq 0.000$  y  $0.004$  respectivamente), en donde los sobresalientes fueron 2021 ( $20.34$  cm) y 2020 ( $34$  mg kg<sup>-1</sup>) respectivamente. Asimismo, se observó interacción significativa entre tratamiento × año para longitud de brote ( $P \leq 0.039$ ). Donde en el Cuadro 4 se observa que en 2020 ( $70$  kg ha<sup>-1</sup> de CarboxyZn) mostró el mayor incrementó en esta variable. Estudios previos han demostrado que el quelato-Zn aplicado al suelo entre  $12$  y  $15$  kg ha<sup>-1</sup> permite mayor biodisponibilidad para su absorción, lo que puede mejorar el desempeño en el crecimiento y desarrollo vegetativo de los nogales (Tarango-Rivero *et al.*, 2022). Por otro lado, Tarango-Rivero (2012a) ha reportado en árboles adultos "Western Schley", crecimientos de  $16$  a  $20$  cm de longitud de brote, lo cual induce obtener rendimientos de alrededor de  $2$  Mg ha<sup>-1</sup>. En ese sentido, la menor dosis  $8.5$  kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy-Zn permitió obtener la mayor longitud de brote ( $19.93 \pm 1.96$  cm) y rendimiento mayor con respecto al testigo ( $1.58$  Mg ha<sup>-1</sup>). Asimismo, el área del foliolo ( $34.08 \pm 5.93$  cm<sup>2</sup>) se incrementó con la aplicación del quelato de Zn ( $8.5$  kg ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, de manera similar la dosis de  $51$  kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy-Zn obtuvo significancia en longitud de brote ( $20.80 \pm 1.92$  cm), área del foliolo ( $34.69 \pm 3.78$  cm<sup>2</sup>) y concentración foliar de Zn ( $32.93 \pm 8.31$  mg kg<sup>-1</sup>). En algunas investigaciones se sugiere que el Zn promueve la síntesis de triptófano y auxinas que intervienen en la longitud del brote, diámetro del tronco y área del foliolo (Suganya *et al.*, 2020).

El Zn es un elemento clave para la nutrición de los nogales (Heerema *et al.*, 2017). Pero son muy variables los reportes de la concentración foliar de Zn, ya que se encuentran relacionados con la edad, variedad, y manejo (fertilización del suelo, control de plagas) entre otros aspectos que afectan la obtención de buenos rendimientos comerciales (Hafeez, Khanif y Saleem, 2013). De acuerdo con Núñez-Moreno, Walworth, Pond y Kilby (2009), una concentración de  $20$ - $58$  mg kg<sup>-1</sup> de Zn es suficiente para que se desarrollen de manera adecuada los árboles adultos y para que no presenten deficiencia de este elemento (Moran-Duran, Flynn, Heerema y VanLeeuwen, 2020). En este estudio, se pudo visualizar un incremento significativo en la concentración foliar de Zn de  $16.47$  mg kg<sup>-1</sup>, con  $8.5$  kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy-Zn con respecto al control, lo que sugiere una translocación significativa a los foliolos, con la aplicación edáfica de quelatos de Zinc.

**Cuadro 2. Diámetro del tronco, longitud del brote, área del foliolo, concentración foliar Zn en nogal pecanero con aplicaciones foliares de quelatos de Zn (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).****Table 2. Trunk diameter, shoot length, leaflet area, total chlorophyll, and foliar Zn concentration in pecan with foliar applications of Zn chelates (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).**

Carboxy Zn	DT	LB	AF	Zn
kg ha <sup>-1</sup>	----- cm -----		cm <sup>2</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Testigo	18.40±2.09 a	16.77±2.17 c	30.52±4.31 abc	18.46±8.47 b
8.5	19.93±1.96 a	19.27±3.43 ab	34.08±5.93 ab	34.93±9.96 a
17	18.88±1.96 a	16.80±3.43 c	29.10±5.93 c	38.46±9.96 a
34	19.70±1.96 a	17.02±2.46 bc	29.87±4.11 bc	31.20±6.96 a
51	18.37±2.51 a	20.80±1.92 a	34.69±3.78 a	32.93±8.31 a
68	20.08±1.85 a	17.42±3.42 bc	30.14±4.52 abc	40.06±9.03 a
T	Ns	**	*	**
A	**	Ns	Ns	*
A*T	Ns	**	Ns	Ns

Dt = diámetro del tronco; LB = longitud del brote; AF = área del foliolo; Zn = concentración de Zn; T = tratamientos; A = años; A\*T = año+tratamiento. † Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \geq 0.05$ ). Desviación estándar (n = 5).

Dt = trunk diameter; LB = shoot length; AF = leaflet area; Zn = Zn concentration; T = treatments; A = years; A\*T = year+treatment. † Means with the same letter within columns are statistically equal (Tukey,  $P \geq 0.05$ ). Standard deviation (n = 5).

Por otro lado, la aplicación edáfica total al principio de la primavera podría estar relacionada a la etapa fenológica de rápido crecimiento del brote, como se observa en esta investigación. Es conocido que los árboles de nogal con deficiencia de Zn presentan clorosis intervenal y el acortamiento de entrenudos (roseta), sin embargo, en este experimento, después de tres años de evaluación no se observaron síntomas de deficiencia de Zn, en donde las concentraciones foliares fueron superiores a 30 mg kg<sup>-1</sup> PS, con excepción del T0 (18.46 mg kg<sup>-1</sup> PS) concentración reportada como mínima suficiente para un buen desarrollo en los nogales (Walworth y Heerema, 2019). Este comportamiento indica que los árboles en donde se adicionó el quelato Zn no presentaron síntomas de deficiencia de Zn, lo cual se pudo constatar en el campo. Al respecto, estudios previos han demostrado que el

**Cuadro 3. Rendimiento, peso de la nuez, porcentaje de almendra e índice de alternancia en nogal pecanero en respuesta a la aplicación quelatos de Zn (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).****Table 3. Yield, nut weight, kernel percentage and alternation index in pecan in response to the application of Zn chelates (Carboxy Zn<sup>+</sup> Innovak Global).**

Carboxy Zn	Rendimiento	Peso de la nuez	Porcentaje almendra	IA
kg ha <sup>-1</sup>	kg árbol <sup>-1</sup>	g	----- % -----	
Testigo	8.45±2.55 b	7.04±0.41 b	59.52±1.00 a	30.17
8.5	12.82±3.88 a	7.82±0.49 a	59.15±1.28 a	30.26
17	10.25±3.88 ab	7.70±0.49 a	57.01±1.15 b	37.85
34	9.56±3.10 ab	7.17±0.39 a	59.95±1.09 a	32.43
51	13.00±3.51 a	7.71±0.29 a	59.74±1.15 a	27.00
68	11.34±4.87 ab	7.75±0.48 a	59.71±1.28 a	42.95
T	*	**	**	
A			Ns	
A*T	Ns	**	*	

T = tratamientos; A = años; A\*T = año+tratamiento. † Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Desviación estándar (n = 5). T = treatments; A = years; A\*T = year+treatment. † Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey's,  $P \leq 0.05$ ). Standard deviations (n = 5).

**Cuadro 4. Efecto de la interacción tratamiento y año para longitud del brote, peso de la nuez y porcentaje de almendra en nogal pecanero con aplicaciones foliares de quelatos de Zn.**  
**Table 4. Effect of treatment and year interaction for shoot length, nut weight and kernel percentage in pecan nut trees with foliar applications of Zn chelates.**

T*A	Longitud de brote (cm)					
	Testigo	8.5**	17	34	51	68
2019	15.40ab	16.86ab	13.42b	16.82ab	20.66a	17.12ab
2020	16.64ab	21.14a	20.10a	18.02ab	20.10a	18.92ab
2021	18.28ab	19.82a	16.90ab	16.24ab	20.84a	16.22ab
T*Y	Peso de la nuez (g)					
	Testigo	8.5**	17	34	51	68
2019	6.75e	7.90abc	7.45abcde	7.25bcde	7.82abc	7.80abc
2020	6.90de	7.69abcd	7.58abcd	7.14cde	7.63abcd	8.02ab
2021	7.49abcde	7.87abc	8.08a	7.13cde	7.70abcd	7.43abcde
T*Y	Almendra (%)					
	Testigo	8.5**	17	34	51	68
2019	59.47ab	59.02ab	60.16a	59.47ab	55.77c	59.25ab
2020	60.07a	60.31a	59.54ab	59.35ab	57.07bc	60.01a
2021	59.03ab	58.20abc	59.03ab	60.02a	58.20abc	59.96a

T\*A = tratamiento \* año. \*\* Tratamientos (kg ha<sup>-1</sup>). † Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Desviación estándar (n = 5).  
 T\*Y = treatment \* year. \*\* Treatments (kg ha<sup>-1</sup>). † Means with the same letter within each column are statistically equal (Tukey's,  $P \leq 0.05$ ). Standard deviations (n = 5).

manejo del Zn es crucial en huertas de nogal pecanero con suelos alcalinos (Heerema *et al.*, 2017). Sin embargo, los folíolos de árboles fertirrigados con quelato de Zn rara vez cumplen con los estándares de Zn publicados para nogal de al menos 50 mg kg<sup>-1</sup> (Sparks y Payne, 1982; Pond *et al.*, 2006). Por otro lado, otros autores observaron que algunos árboles "Wichita" fertirrigados con Zn en 6.0 y 11 kg ha<sup>-1</sup> como Zn-EDTA promediaron 21.3 y 15.7 mg kg<sup>-1</sup> en dos temporadas, respectivamente. Lo que indica que no se presentaron síntomas de deficiencia, pero, no se observó significancia a la fertirrigación con Zn (Smith *et al.* 2021). Para huertas en producción, la concentración mínima de Zn en los folíolos recomendada para evitar la pérdida de rendimiento o de calidad de nuez, la reducción del crecimiento vegetativo y los síntomas visibles de deficiencia de Zn suele ser de al menos 40 a 60 mg kg<sup>-1</sup> (Heerema *et al.*, 2017). Pero otros factores ambientales y de manejo involucrados en el crecimiento del nogal deben ser considerados en futuros estudios, además del Zn; entre los que se encuentran la alternancia, fertilización con nitrógeno, riego, poda, entre otros. Al respecto, Lombardini, Restrepo y Volder (2009), reportan que en la mayoría de las huertas de las zonas productivas del norte de México y sureste de Estados Unidos de América el manejo estándar de Zn es una alternativa a la adición de quelatos (como fuente del micronutriente ante el escenario de suelos alcalinos), por lo que la aplicación edáfica podría ser una excelente alternativa con ahorros en equipo y mano de obra.

### Componentes de Rendimiento y Alternancia

Los datos generados con la aplicación edáfica de quelatos Zn y su respuesta a rendimiento, peso de la nuez, porcentaje de almendra e índice de alternancia se muestran en el Cuadro 3. Asimismo, en el Cuadro 4, se observó interacción significativa de año por tratamiento en las variables tamaño de la nuez y porcentaje de almendra ( $P \leq 0.004$  y  $0.020$  respectivamente) En ese mismo sentido, las aplicaciones edáficas de quelato de Zn presentaron diferencia estadística en el rendimiento ( $9.56 \pm 3.10$  -  $12.82 \pm 3.88$  kg árbol<sup>-1</sup>), peso de la nuez ( $7.17 \pm 0.39$  -  $7.82 \pm 0.49$  g) y porcentaje de almendra ( $57.01 \pm 1.15$  -  $59.95 \pm 1.09\%$ ) con respecto al tratamiento de control. Estos resultados son sobresalientes, si se considera el impacto negativo que representa la alternancia en el rendimiento y calidad de la nuez (Conner y Worley 2000). Asimismo, estudios previos han demostrado los efectos nutricionales del Zn en el establecimiento y producción comercial de nueces pecaneras (Smith *et al.*, 2022). En ese sentido se ha reportado en arboles adultos la influencia de las reservas nutricionales del año anterior en el

rendimiento, aunque también la fertilización del año en curso promueve fructificación, lo que podría explicar que el tratamiento 8.5 kg ha<sup>-1</sup> con menor dosis de Carboxy-Zn tiene menor índice de alternancia (30.26), no obstante mostro un comportamiento similar con respuesta a la fertilización de Carboxy-Zn de 51 kg ha<sup>-1</sup> (Lombardini *et al.*, 2009). Estudios previos realizados para evaluar la intensidad de alternancia en nogales jóvenes y adultos por Conner & Worley (2000) informan de valores intermedios en los cultivares 'Wichita' y 'Western Schley', aunque concluyen que la edad es un factor que minimiza la alternancia, debido a que las reservas de carbohidratos pueden abastecer a los brotes fructíferos en los árboles jóvenes.

En la actualidad se ha demostrado que el aporte edáfico de Zn quelado con ácidos carboxílicos es eficaz en nogales en producción, cuyo rendimiento y calidad de la nuez son iguales que con Zn aplicado al follaje (Olivas-Tarango *et al.*, 2021). En suelos alcalinos la deficiencia de Zn en los nogales es un problema común, y resulta de una interacción entre la química del nutrimento en el suelo y la fisiología del nogal (Núñez-Moreno *et al.*, 2009). Sin embargo, el rendimiento de nogales adultos se encuentra estrechamente relacionado con las reservas nutricionales del año previo y el aporte nutricional en fructificación del año en curso (Lombardini *et al.*, 2009). Por otro lado, el índice de rendimiento ha sido ampliamente utilizado para estudiar la tendencia a la alternancia en diferentes árboles frutales como manzano (*Malus silvestres* (L) Mil. Var. Domestica (Borkh) Mansf., mango (*Mangifera indica* L., café (*Coffea arabica* L.), cítricos (*Citrus sp* L.) y pistachero (*Pistacia vera* L.) (Sharma *et al.* 2019).

La calidad de la nuez pecanera (tamaño de los frutos y el porcentaje de almendra) es afectada principalmente por la alternancia (Heerema *et al.*, 2017). Se ha demostrado que la alternancia en frutales se encuentra afectada por factores internos, como la edad del árbol, el cultivar, los carbohidratos de reserva y las actividades de varios reguladores de crecimiento como el ácido giberélico (Sharma *et al.*, 2019; Ojeda-Barrios *et al.*, 2022), así como factores externos, incluyendo el frío invernal inadecuado, intensidad de luz inadecuada, fotoperíodo, poda, sequía y disponibilidad de nutrientes minerales del suelo. De acuerdo con los resultados los árboles fertilizados con las dosis de 51 kg ha<sup>-1</sup> de Carboxy Zn mostraron menor índice de alternancia (27%) con respecto al testigo (30.17%) (Delgado *et al.*, 2000). Sin embargo, las modificaciones en el suministro de nutrientes, de manera especial el Zn, podría ser una clave para ayudar a minimizar los efectos negativos de la alternancia en el cultivo del nogal pecanero (Castillo-González *et al.*, 2019).

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, se puede concluir que la aplicación edáfica de Carboxy Zn, es una alternativa favorable para incrementar los parámetros fisiológicos como diámetro de tronco, longitud de brote, área del folíolo y concentración foliar de Zn. De igual forma, los árboles fertilizados con 8.5 kg ha<sup>-1</sup> Carboxy Zn mejoraron el rendimiento, minimizando el índice de alternancia. Además, los parámetros evaluados mostraron que las mayores dosis de Zn no son necesarias para un efecto óptimo. En resumen, la dosis de 8.5 de Carboxy Zn es útil para asegurar un buen rendimiento y concentración de Zn en *C. illinoensis* cultivada en un suelo alcalino.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados y analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

Las fuentes de financiamiento para la investigación fueron en especie, materiales y reactivos que aportaron el sistema producto nuez Chihuahua.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, adquisición de fondos, metodología, software, formal, investigación de campo, recursos, curación de datos: S.H.T.R. Análisis de laboratorio, preparación de reactivos, manejo de reactivos: A.L.O.T. Preparación del borrador original, interpretación A.L.O.T. Análisis estadísticos, interpretación de datos, validación: S.H.T.R. Análisis, escritura: revisión y edición, supervisión: D.L.O.B.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Dr. Jorge Alfonso Jiménez Castro su valiosa ayuda en el análisis estadístico de los datos.

## LITERATURA CITADA

- Ashraf, N., Ashraf, M., Hassan, Gh., Munib-U-Rehman., Dar, N.A., Khan, I. M., ... & Banday, S. A. (2013). Effect of foliar application of nutrients and biostimulant on nut quality and leaf nutrient status of pecan nut cv. Western Schley. *African Journal of Agricultural Research*, 8(6), 559-563.
- Conner, P. J., & Worley, R. E. (2000). Alternate bearing intensity of pecan cultivars. *HortScience*, 35(6), 1067-1069. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.6.1067>
- Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., Abadía, J., Sánchez, E., Parra-Quezada, R., ... & Sida-Arreola, J. P. (2019). Zinc nutritional status of pecan trees influences physiological and nutritional indicators, the metabolism of oxidative stress, and yield and fruit quality. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2), 531-537.
- Cruz-Alvarez, O., Hernández-Rodríguez, O. A., Jacobo-Cuellar, J. L., Ávila-Quezada, G., Morales-Maldonado, E., Parra-Quezada, R. Á., ... & Ojeda-Barrios, D. L. (2020). Nitrogen fertilization in pecan and its effect on leaf nutrient concentration, yield and nut quality. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 26(3), 163-173. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2019.10.021>
- Dahal, K. C., Bhattarai, S. P., Midmore, D. J., Oag, D. R., & Walsh, K. B. (2019). Temporal yield variability in subtropical table grape production. *Scientia Horticulturae*, 246, 951-956. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.063>
- Delgado, M. R., César, J. S., Pérez, T. H., Gaxiola, J. A. S., Morales, M. D. C. M., Contreras, R. F., & Cervantes, G. G. (2000). Alternancia en la producción del nogal pecanero, en la Comarca Lagunera de México. ITEA. *Producción Vegetal*, 96(2), 132-138.
- Fernández, V., & Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 4, 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 374-391.
- Heerema, R. J., VanLeeuwen, D., Thompson, M. Y., Sherman, J. D., Comeau, M. J., & Walworth, J. L. (2017). Soil-application of Zinc-EDTA increases leaf photosynthesis of immature 'Wichita' pecan trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 142(1), 27-35. <https://doi.org/10.21273/JASHS03938-16>
- Huang, R., Shen, C., Wang, S., & Wang, Z. (2019). Zinc content and fruit quality of pecan as affected by application of zinc sulfate. *HortScience*, 54(7), 1243-1248. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13750-18>
- Lombardini, L., Restrepo-Díaz, H., & Volder, A. (2009). Photosynthetic light response and epidermal characteristics of sun and shade pecan leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 372-378. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.372>
- Medina-Morales, M.D.C, Lagarda-Murrieta, Á., & Arreola-Ávila, J. (2004). Productividad a largo plazo de 14 cultivares de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en la Comarca Lagunera, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(1), 31-36.
- Moran-Duran, S. A., Flynn, R. P., Heerema, R., & VanLeeuwen, D. (2020). Leaf net photosynthesis, leaf greenness, and shoot lignin content of nonbearing pecan trees at two nitrogen and nickel application rates. *HortScience*, 55(2), 231-236. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14314-19>
- NMX-Ff-084-SCFI-2009 (Norma Oficial Mexicana). (2009). Antes NMX-Ff-084-SCFI-1996. Que establece los productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruto fresco nuez pecanera *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch-especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*. D. F.: SEGOB.
- Nandal, V., & Solanki, M. (2021). The Zn as a vital micronutrient in plants. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(3), 1-9. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4026>
- Núñez-Moreno, H., Walworth, J. L., Pond, A. P., & Kilby, M. W. (2009) Soil Zinc Fertilization of "Wichita" Pecan Trees Growing under Alkaline Soil Conditions. *HortScience*, 44, 1736-174. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.6.1736>
- Ojeda-Barrios, D., Abadía, J., Lombardini, L., Abadía, A., & Vázquez, S. (2012). Zinc deficiency in field-grown pecan trees: changes in leaf nutrient concentrations and structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(8), 1672-1678. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5530>
- Ojeda-Barrios, D. L., Orozco-Meléndez, L. R., Cano-Medrano, R., Sánchez-Chávez, E., Parra-Quezada, R. Á., Calderón-Jurado, M., ... & Cruz-Álvarez, O. (2022). Non-structural carbohydrates, foliar nutrients, yield components and oxidative metabolism in pecan trees in response to foliar applications of growth regulators. *Agriculture*, 12(5), 1-13. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050688>
- Olivas-Tarango, A. L., Tarango-Rivero, S. H., & Ávila-Quezada, G. D. (2021). Pecan production improvement by zinc under drip irrigation in calcareous soils. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.992>

- Pond, A. P., Walworth, J. L., Kilby, M. W., Gibson, R. D., Call, R. E., & Nuñez, H. (2006). Leaf nutrient levels for pecans. *HortScience*, 41(5), 1339-1341. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1339>
- Rossi, L., Fedenia, L. N., Sharifan, H., Ma, X., & Lombardini, L. (2019). Effects of foliar application of zinc sulfate and zinc nanoparticles in coffee (*Coffea Arabica* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.005>
- SAS Institute. (2003). *Statistical Analysis System SAS User's Guide. Version 9.1*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Sharma, N., Singh, S. K., Mahato, A. K., Ravishankar, H., Dubey, A. K., & Singh, N. K. (2019). Physiological and molecular basis of alternate bearing in perennial fruit crops. *Scientia Horticulturae*, 243, 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.021>
- Smith, C. A., Walworth, J. L., Comeau, M. J., Heerema, R. J., & Sherman, J. D. (2021). Does foliar zinc application boost leaf photosynthesis of 'Wichita' pecan fertigated with Zinc-EDTA? *HortScience*, 56(5), 579-582. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15692-21>
- Smith, C. A., VanLeeuwen, D., Heerema, R. J., Sherman, J. D., Comeau, M. J., & Walworth, J. L. (2022). Zinc Variability in Pecan Orchards: Implications for Leaf Sampling and Nutrient Recommendations. *HortScience*, 57(4), 550-557. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16463-21>
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. New York, USA: W.H. Freeman and Company. ISBN: 978-0-7167-8604-4.
- Sparks, D., & Payne, J.A. (1982). Zinc levels in pecan leaflets associated with zinc deficiency. *Pecan South* 9(5), 3234.
- Subba, P., Mukhopadhyay, M., Mahato, S. K., Bhutia, K. D., Mondal, T. K., & Ghosh, S. K. (2014). Zinc stress induces physiological, ultra-structural and biochemical changes in mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco) seedlings. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20, 461-473. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0254-2>
- Suganya, A., Saravanan, A., & Manivannan, N. (2020). Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains: An overview. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(15), 2001-2021. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1820030>
- Tarango-Rivero, S. H. (2012a). Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Folleto técnico, No. 24. México: CEDEL-INIFAP.
- Tarango-Rivero, S. H., & García-Neárez, N. (2012b). Manejo sostenible del suelo en nogaleras. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Tarango-Rivero, S. H., Ávila-Quezada, G. D., Jacobo-Cuellar, J. L., Ramírez-Valdespino, C. A., Orrantia-Borunda, E., Rodríguez-Heredia, R., & Olivas-Tarango, A. L. (2022). Chelated zinc and beneficial microorganisms: a sustainable fertilization option for pecan production. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 28(3), 145-159. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.01.001>
- Walworth, J. L., White, S. A., Comeau, M. J., & Heerema, R. (2017). Soil-applied ZnEDTA: Vegetative growth, nut production, and nutrient acquisition of immature pecan trees grown in an alkaline, calcareous soil. *HortScience*, 52(2), 1-5. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11467-16>
- Walworth, J., & Heerema, R. (2019). *Zinc management in arid region pecan orchards*. Tucson, AZ, USA: College of Agriculture and Life Sciences.