

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



Quelato EDDHA en *Carya illinoensis* Koch para sustitución de aplicaciones foliares de zinc

Por:

LUZ ADRIANA RODRIGUEZ OCHOA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México

DICIEMBRE, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

Quelato EDDHA en *Carya illinoensis* Koch para sustitución de aplicaciones
foliares de zinc

Por:

LUZ ADRIANA RODRIGUEZ OCHOA

TESIS

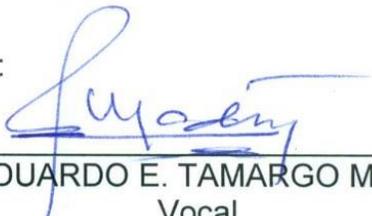
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO



DR. ANGEL LAGARDA MURRIETA
Presidente

Aprobada por:



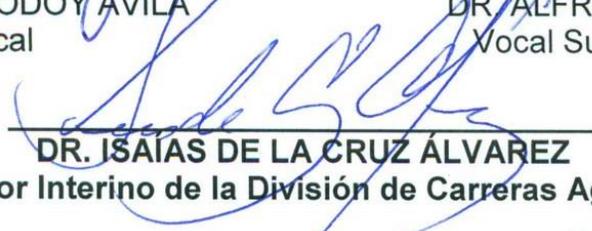
DR. EDUARDO E. TAMARGO MADERO
Vocal



DR. SALVADOR GODOY AVILA
Vocal



DR. ALFREDO OGAZ
Vocal Suplente



DR. ISAIAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ

Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
DICIEMBRE, 2020

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNOMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

Quelato EDDHA en *Carya illinoensis* Koch para sustitución de aplicaciones
foliares de zinc

Por:

LUZ ADRIANA RODRIGUEZ OCHOA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

DR. ANGEL LAGARDA MURRIETA
Presidente

DR. EDUARDO E. TAMARGO MADERO
Coasesor

DR. SALVADOR GODOY AVILA
Coasesor

DR. ALFREDO OGAZ
Coasesor

DR. ISAÍAS DE LA CRUZ ÁLVAREZ
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México

DICIEMBRE, 2020

Universidad Autónoma Agraria
ANTONIO NARRO



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRÓNOMICAS

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater por cada momento vivido dentro del proceso universitario, por prepararme y formarme profesionalmente con ética y moral, por brindarme oportunidades únicas e incomparables.

Al Dr. Angel Lagarda Murrieta agradezco su generosidad, por abrirme las puertas y brindarme todo su conocimiento científico, experiencia de campo, capacidad resolutive, por todos los consejos profesionales, por su calidad humana y sobre todo su paciencia durante cada una de las etapas para finalizar la investigación y consumir mi carrera profesional.

Al Dr. Eduardo Madero Tamargo por sus acertados consejos y cambios constructivos que retroalimentaron y pulieron el proyecto, por mostrarse amable y cordial en todo momento.

Al Dr. Salvador Godoy Ávila por su cooperación y colaboración en la redacción de esta investigación, por ser un excelente profesional brindando moral y ética durante sus docencias.

Al Dr. Alfredo Ogaz por su generosidad y bondad durante toda la carrera, por su disponibilidad y contribución para obtener el análisis estadístico de manera concisa.

Al Ing. Silverio Rivas Reyes por el arduo trabajo, su ayuda desinteresada, sus consejos, paciencia, tiempo y motivación constante para el desenlace correcto del análisis nutricional de esta investigación.

Gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo absoluto y por haberme guiado en el complicado proceso. Que dios los bendiga.

DEDICATORIAS

A mi familia quien apoyo con motivación constante e incondicional para culminar mi carrera.

A mis padres por haberme forjado con buenos valores y principios, mis pilares indispensables de vida, a ustedes les debo quien soy y también quien logre ser mi vida personal y profesional. Hemos pasado por momentos muy difíciles, pero me han enseñado a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento, gracias por su amor incondicional.

A mis hermanas este logro también se los debo a ustedes, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada una de sus palabras que me guiaron durante este proceso.

A mis maestros quienes nunca desistieron en aclarar mis dudas, aportando sus conocimientos, su orientación, su trabajo, su paciencia y su motivación siendo fundamentales para mi formación.

RESUMEN

El objetivo de la investigación científica fue obtener la dosis de (EDDHA o, o) que lograra una concentración mineral apta en nogal pecanero (*Carya illinoensis Koch*) en la Región Laguna satisfaciendo la necesidad nutrimental de Zinc, el segundo elemento indispensable del cultivo, por medio de una aplicación edáfica anual como un método alternativo de nutrición para pequeños productores que no cuentan con maquinaria de alta tecnología o recurso económico para realizar 5 aplicaciones foliares. La molécula de (EDDHA o, o) es caracterizada por su alta estabilidad, con actividad eficaz en suelos alcalinos, se encarga de abrigar el ion metálico central evitando su hidrolisis y precipitación. De los productos evaluados de (EDDHA o, o) de Hierro y Zinc, el producto comercial (A) obtuvo los mejores resultados, al tomar el testigo como valor referente, la asimilación de quelato aumento un 18.3 % el N, 3.4 % el Fe y 94.6 % el Zn. No se produjo significancia entre arboles de 10 y 25 años de edad, pero los valores más altos respecto al testigo son para los arboles de 10 años donde se aumentó la asimilación un 14.82 % en N y 90.35 % en Zinc. La dosis que obtuvo un mejor resultado es 50 g con una mejora del 96.85 % en árboles de 10 años y 94 % en árboles de 25 años.

Palabras clave: EDDHA o, o, Nogal Pecanero, Aspersión Foliar, Aplicación Edáfica, Alternativa.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Panorama económico	4
2.2 Nutrición: Elementos y su función en <i>Carya illinoensis</i>	5
2.3 Proceso de absorción natural de metales	7
2.4 Fertilización	9
2.5 ¿Que son los quelatos sintéticos?	13
2.6 Absorción y transporte de quelato	14
2.7 Comportamiento y Eficacia	15
2.8 Elección de quelato para el experimento	16
2.9 Desventajas	20
III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	21
3.1 Descripción geográfica del sitio experimental	21
3.2 Unidad experimental	21
3.3 Condiciones de suelo	21
3.4 Tratamientos	22
3.5 Aplicación	23
3.6 Muestreo	24
3.7 Laboratorio analítico	24
3.8 Análisis estadístico	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Evaluación de productos	27
4.2 Evaluación de edades	30
4.3 Evaluación de dosis	33
IV. CONCLUSION	39
VI. LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

_Toc58237525

Figura1. Estructura molecular de EDDHA (Lucena, 2010).	18
Figura 2. Evaluación de productos A y B con molécula EDDHA o, o sobre los parámetros seleccionados para la investigación en nogal pecanero.	27
Figura 3. Evaluación de EDDHA o, o en nogal pecanero para arboles de 10 y 25 años de edad sobre los parámetros seleccionados.	30

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos.....	23
Cuadro 2. Concentraciones de N, Fe y Zn en la muestra de planta después de la aplicación edáfica de EDDHA o, o de Zn.....	28
Cuadro 3. Significancia en variables evaluadas en arboles de 10 y 25 años con la aplicación al suelo de EDDHA o, o de Zn por método Tukey a nivel de significancia 0.5.	31
Cuadro 4. Aumento en la concentración de Nitrógeno, Hierro y Zinc en arboles de nogal de 10 y 25 años después de una aplicación edáfica de EDDHA o, o fundamentado en su respectivo testigo.....	33
Cuadro 5. Concentración de Nitrógeno, Hierro y Zinc en nogal pecanero en edades de 10 y 25 años a dosis de 50 g y 100 g con dos productos comerciales.....	35
Cuadro 6. Concentración de nutrientes de acuerdo a dosis y edad de los arboles después de la aplicación de EDDHA o, o.	36
Cuadro 7. Comparación de costos en 5 aplicaciones foliares contra una aplicación edáfica.	37

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del nogal pecanero (*Carya illinoensis Koch*) es un árbol caducifolio de la familia Juglandácea (Ojeda *et al.*, 2009a). La producción mundial de nuez pecanera se encuentra encabezada por Estados Unidos con 55 % y México 38 % (International Nut Dried Fruit, 2014). En México el territorio cultivado y su rendimiento se han incrementado en los últimos trece años con un aumento cerca del 80 % con alrededor de 110 mil toneladas anuales. La superficie plantada llegó en 2013 a las 104 mil hectáreas (SHCP, 2014).

En el nogal pecanero la nutrición es un tema de vital importancia para el manejo de las huertas (Smith *et al.*, 2001), donde el costo derivado en fertilización corresponde alrededor del 32 % del costo total de producción anual (SAGAR, 1998). Los elementos primordiales del nogal son Nitrógeno (N) y Zinc (Zn), específicos para el desarrollo del cultivo y calidad en cosecha (Ojeda *et al.*, 2009a; Ojeda *et al.*, 2009b), no obstante los productores de La Comarca Lagunera confrontan problemas de fertilización (Salas *et al.*, 2018), ya que los suelos de esta región son calcáreos y alcalinos las reacciones edáficas producen una falta de disponibilidad y solubilidad de niveles adecuados de nutrientes necesarios para el cultivo (Retamales, 2009; Núñez *et al.*, 2001; Basta *et al.*, 2005) lo que propicia déficit por movilización y translocación a la parte aérea (Álvarez *et al.*, 2005) de Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeso (Mg) (Hissen *et al.*, 2005; Núñez *et al.*, 2001; Favela *et al.*, 2000; Kabata *et al.*, 2010).

La carencia del elemento Zinc en el cultivo de nogal altera las funciones en el metabolismo celular normal (Escudero *et al.*, 2012;

Barrameda *et al.*, 2014; Cakmak, 2000; Sinclair *et al.*, 2018), en un programa adecuado de fertilización se recomiendan 5 aspersiones de Zn (Ojeda *et al.*, 2009b), esta forma de suministro representa algunas ventajas sobre la aplicación edáfica, sin embargo, su lucro resulta finalmente de beneficio temporal (Marschner, 1995; Bould *et al.*, 1984; Ojeda *et al.*, 2009 a) y de alto costo para pequeños productores. En atención a la problemática, se busca disminuir las actividades mecanizadas reduciendo costos económicos con un resultado en fertilización positivo duradero y sustentable (Zoppolo *et al.*, 2016).

Los quelatos atraen poderosamente la atención por ser una excelente alternativa para adicionar nutrientes de manera edáfica a las plantas, siendo eficaz para la corrección de carencias nutricionales cuando el déficit es causado por condiciones en el suelo (Lucena, 2010; Perea *et al.*, 2009), ya que contraria a la aplicación foliar la aplicación edáfica es lenta pero incrementa anualmente según se le suministre (Marschner, 1995; Bould *et al.*, 1984; Ojeda *et al.*, 2009a) asegurando la permanencia del quelato en el sistema radicular (Fernández *et al.*, 2006).

El quelato EDDHA es caracterizado por su alta estabilidad, con actividad eficaz en suelos alcalinos (Lucena, 2006), se encarga de abrigar el ion metálico central evitando su hidrólisis y precipitación (Cadahia, 2005), la aplicación cíclica representa a largo plazo una mejora en la concentración natural de los elementos y disminución en número de aplicaciones (Lucena *et al.*, 2012). La agricultura rentable busca disminuir el coste de las actividades y al mismo tiempo mejorar la cosecha, elevando calidad y producción.

Por lo cual en este trabajo se estudia la eficacia de aplicaciones edáficas con el quelato (EDDHA o, o) de Hierro y Zinc para desbloquear la toma de nutrientes, y llegar a cumplir los niveles adecuados en hojas de nogal y posteriormente proponer una dosis a agricultores sin ingreso económico para las 5 aplicaciones foliares.

I.1 Objetivo General

Identificar la asimilación de la aplicación edáfica del quelato (EDDHA o, o) de Hierro y Zinc, confrontando concentraciones minerales acumuladas contra aplicaciones foliares para proceder a reconocer una posible alternativa.

I.1.2 Objetivo Específico

Obtener la dosis de (EDDHA o, o) que logre una concentración mineral apta para nogal pecanero.

I.2 Hipótesis

C. illinoensis lograra una concentración de Zn apta en el follaje para un correcto desarrollo y producción con una aplicación edáfica de quelato (EDDHA o, o) formulando una nueva alternativa que logre sustituir las aplicaciones de aspersión foliar.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Panorama económico.

El fruto de nogal pecanero tiene un precio que se determina en el mercado de los Estados Unidos de América de acuerdo a la oferta y la demanda, tamaño y color de la almendra que define la calidad (Espinoza *et al.*, 2009). Las fluctuaciones que tiene el precio de la nuez impactan la demanda de insumos, sin embargo, el costo derivado en fertilización corresponde alrededor del 32 % del costo total de producción anual (SAGAR, 1998).

Los pequeños productores (1 a 10 hectáreas) aportan 61 % de la producción total a pesar de un rendimiento promedio de 1.24 toneladas por hectárea en comparación con los grandes productores que tienen un rendimiento promedio de 2.4 toneladas por hectárea (Cervantes *et al.*, 2018).

Los huertos grandes registran mayor financiamiento (Cervantes *et al.*, 2018), donde se invierten 50 % para la calidad del año actual, 25 % de mantenimiento de la producción potencial actual y el 25 % faltante para asegurar producción del año próximo (Flores *et al.*, 2018) lo que se refleja en mayores rendimientos por unidad de superficie (Cervantes *et al.*, 2018). Las huertas menores a 10 hectáreas tienen un menor crecimiento y menor eficiencia en el uso de fertilizantes, en general estas huertas tienen bajos rendimientos y menor calidad (Ojeda *et al.*, 2010). La estadística de edades en huertas de los productores pequeños en 2018 estima de 27 años hacia abajo, más jóvenes que las huertas de los grandes productores (Cervantes *et al.*, 2018).

2.2 Nutrición: Elementos y su función en *Carya illinoensis*.

La nutrición es el componente principal para la correcta producción en huertas de *C. illinoensis* (Medina, 1995; Ojeda *et al.*, 2009b) de uso sustentable y balance adecuado (Sánchez *et al.*, 2009), 17 elementos son considerados para el crecimiento óptimo del cultivo (Ojeda *et al.*, 2009a), siendo primordiales el Nitrógeno y Zinc de mayor respuesta para el desarrollo y calidad en cosecha (Ojeda *et al.*, 2009a; Ojeda *et al.*, 2009b).

Las aplicaciones apropiadas de N son una parte esencial en el programa de nutrición (Wood, 2002; Smith *et al.*, 2001) fundamental para un correcto desarrollo y producción (Lagarda, 1998). El N ejecuta procesos metabólicos; el principal factor que regula es el crecimiento inicial de primavera (brotación), floración y desarrollo del embrión (Soto *et al.*, 2012).

El cultivo de nogal frecuentemente presenta disfunción nutritiva por falta de elementos menores como Zinc, Hierro y Manganeseo (Favela *et al.*, 2000; Kabata *et al.*, 2010) que dependen de la solubilidad y biodisponibilidad de los minerales establecidos por medio de las reacciones del suelo (Basta *et al.*, 2005). Los suelos del norte de México en La Comarca Lagunera son calcáreos y alcalinos (Chávez *et al.*, 2002; Ojeda *et al.*, 2009b), lo cual propicia deficiencias de los micronutrientes requeridos por cultivo (Medina, 1995).

La insuficiencia es habitual en suelos de pH en 7.5 a 8.6 (Covelo *et al.*, 2007) debido a que la química del suelo forma complejos escasamente solubles (Rengel, 2002a), en el caso de Fe por cada unidad que aumenta el pH su disponibilidad merma 1000 veces y para Mn, Zn y

Cu cada unidad representa una disminución de 100 veces (Ferreyra *et al.*, 2008) convirtiendo los compuestos en insolubles (Storey *et al.*, 1973), durante el complejo de intercambio catiónico en estos suelos, el Zn puede ser sustituido por Ca y Mg (Covelo *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2008) y Cu en altas concentraciones (Chagué, 2005).

Las condiciones en el suelo como pH alto, materia orgánica baja, calcáreo, sódico, ácidos con cal y mal drenados reportan baja disponibilidad de Zn (Rehman *et al.*, 2012) donde a pesar de que el nogal requiere bajas cantidades del elemento para operar correctamente, la carencia se ve expresada de forma general en el cultivo (Ojeda *et al.*, 2009a), que en cadena provoca deficiencia de Fe, Cu, Mn (Medina *et al.*, 1992), e inducen un estrés fisiológico que daña las funciones metabólicas (Mousavi, 2011), morfológicas y estructurales del cultivo (Nuñez *et al.*, 2009; Jain *et al.*, 2013).

Las funciones que se ven alteradas al presentar insuficiencia de Zn en cultivo de nogal pecanero son; metabolismo de carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, síntesis de proteínas, aminoácidos máximos y no estructurales. En desarrollo reproductivo; la formación de polen, estructura e integridad funcional de biomembranas, metabolismo fotosintético de Carbono y biosíntesis de clorofila (Escudero *et al.*, 2012; Barrameda *et al.*, 2014; Cakmak, 2000; Sinclair *et al.*, 2018).

El Zn en el nogal es requerido especialmente durante el alargamiento del brote, donde en deficiencia el crecimiento terminal se detiene y obliga a las yemas a desarrollarse débilmente (Ojeda *et al.*, 2012), puede reducir su brotación de un 2.2 % hasta un 1.3 % provocando pérdida en peso de ruzno, peso de cascara, densidad y tamaño de nuez (Ojeda *et al.*, 2009a).

Los elementos Fe y Mn no son comúnmente aplicados en el suelo de huertos nogaleros (Ojeda *et al.*, 2009a) aunque sirven como receptores de otras cargas que trae consigo una respiración microbiana, aumentando solubilidad y disponibilidad mineral (Rengel, 2015).

El Hierro en el nogal interacciona en reacciones enzimáticas como formación de clorofila, respiración y fotosíntesis (Pestana *et al.*, 2005), pero no se encuentra aprovechable, se bloquea debido a su fácil cambio a estado de oxidación (Pestana *et al.*, 2005; Hafeez *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2008). El Fe en deficiencia se manifiesta como un desorden fisiológico (Salas *et al.*, 2018) causando reducción en producción de flores, amarre de frutos (Núñez, 2001) y rajaduras en nueces (Salas *et al.*, 2018). La carencia se observa al inicio del ciclo vegetativo durante la brotación (Ojeda *et al.*, 2009a) se presenta en hojas jóvenes con amarillamiento, las nervaduras continúan con su coloración normal (Núñez, *et al.*, 2001).

El manganeso en el cultivo de nogal cumple función en procesos catalíticos como activador de enzimas, respiración, fotosíntesis y metabolismo de nitrógeno (Vargas *et al.*, 2008). El boro y níquel afectan funciones estructurales como la incidencia y severidad del rajado del fruto. Mn, Cu, B y Ni se relacionan directa e indirectamente con el proceso de lignificación de paredes celulares (Wells *et al.*, 2008).

2.3 Proceso de absorción natural de metales.

El sistema radicular realiza la acumulación primaria de metales pesados para posteriormente ser translocados al tejido foliar y

acumularse en las hojas durante el ciclo vegetativo (Jordão *et al.* 2007; Cordero *et al.*, 2009). Las interacciones entre las propiedades del suelo, el sistema radicular y los microorganismos se encargan de crear y controlar los nutrientes en la rizosfera (Dotaniya *et al.*, 2015) donde se genera la concentración de compuestos degradables y absorbentes (Vranova *et al.*, 2013; Rengel, 2015).

Los complejos nutrimentales aumentan su absorción en combinación con compuestos orgánicos de bajo peso molecular, procedentes de una degradación de materia orgánica (aminoácidos, ácidos fúlvicos), segregación de raíces o excreción por microorganismos (Lobartini *et al.*, 1988; Tiffin *et al.*, 1959).

Las buenas prácticas de fertilización y manejo de propiedades del suelo, habilitan la coexistencia acertada de compuestos orgánicos, por ejemplo de los hongos micorrízicos (Rehman *et al.*, 2012; Srinivasagam *et al.*, 2013; Rengel, 2015) tienen efectos penetrantes para la composición de la microbiota del suelo (Bethlenfalvai *et al.*, 1994) creando tolerancia a situaciones de estrés, salinidad, sequía, contaminación y ataques de patógenos (Linderman, 1988; Caron, 1989; Soto *et al.*, 2016; Cornejo *et al.*, 2013; Barea *et al.*, 2016).

Las micorrizas arbusculares (HFMA), han sido evaluadas para el control sobre la absorción de metales pesados (Liu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012; He *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2016) donde HFMA nativos obtuvieron mayor respuesta controlando déficit y exceso de elementos metálicos (Pérez *et al.*, 2019re). La ectomicorriza característica del nogal pecanero del género *Pisolithus* sp. (Tarango *et al.*, 2004) y micorriza arbuscular de géneros *Glomus* y *Gigaspora* (Ferrol *et al.*, 2004; Carling *et al.*, 1982; Soto *et al.*, 2016) se encargan

de incrementar la provisión de nutrientes como el Zn (Rehman *et al.*, 2012; Srinivasagam *et al.*, 2013).

Los compuestos orgánicos en escasez repercuten específicamente en problemas de movilización de elementos a la parte aérea (Álvarez *et al.*, 2005; Jordão *et al.* 2007; Cordero *et al.*, 2009), los sistemas de absorción de nutrientes, son semejantes en vía de transporte y distribución, sin embargo el hierro requiere de una previa reducción antes de ser tomado (Lobartini *et al.*, 1988 ; Tiffin, 1959). La cotidiana absorción del sistema radicular ocurre por tres vías; Disolución de nutrientes en agua absorbidos al contacto con la raíz, interacción directa con la raíz y difusión a través de gradientes de concentración entre raíz y suelo (Retamales, 2009).

La planta cuenta con los siguientes mecanismos para la distribución de nutrientes; 1. Los iones pueden ser movilizados por compuestos orgánicos que promueven la solubilidad. 2. El metal hidratado o complejo es capturado por las raíces y aprisionados al medio celular por canales iónicos o transportadores. Después son trasladados por vía xilema a la parte aérea. 3. Al romper el apoplasto los metales son distribuidos dentro de las células, manteniendo en cada organelo la concentración en el rango específico requerido por la fisiología de la planta, los excesos de esenciales y no esenciales se almacenan en la vacuola (Ortega, 2003).

2.4 Fertilización.

En la actualidad se busca lograr un balance nutricional que tenga control sobre el correcto desarrollo del cultivo, impidiendo el

entorpecimiento de una producción ideal (Salas *et al.*, 2018) donde un análisis confrontado con estándares determinados en un programa de fertilización es lo más pertinente para indicar las carencias a suplir (Zoppolo *et al.*, 2016) y así ajustar el rango de concentración capaz de satisfacer de forma oportuna el funcionamiento fisiológico del cultivo.

Los niveles nutricionales recomendados por DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación) en *C. illinoensis* formuladas en Jiménez, Chih. jerarquizan el requerimiento de la siguiente manera Zn > N > P > K > Fe > Cu (Basurto *et al.*, 1995), para amplificar la eficiencia económica en fertilización y se asegurar una buena producción (Zoppolo *et al.*, 2016) se estandarizan las siguientes concentraciones; 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 Boro 94 ppm (Medina, 2002).

En La Región Laguna la nutrición del nogal es un problema que confrontan los productores puesto que las huertas llegan a carecer de micronutrientes un 22 % en Zn, 67 % en Fe y 100 % en Mn (Salas *et al.*, 2018) en contraste de las normas DRIS.

Las carencias nutricionales se suprimen mediante aspersiones foliares (Chávez *et al.*, 2002) provisionando Zn y de forma secundaria N, Fe, Mn. Esta práctica se ha vuelto fundamental en regiones semiáridas (Tarango, 2015), más eficiente si existen limitaciones edáficas (Perea *et al.*, 2009) por condiciones en el suelo o mala calidad en agua de riego, lo que obstaculiza una absorción adecuada por las raíces (Salas *et al.*, 2018).

La fertilización foliar en *C. illinoensis* han sido previamente indagadas por Favela (2000), Medina (2002), Medina (1999) y Vargas (2008) donde son ampliamente utilizadas en cantidades pequeñas para un efecto rápido de nutrición (Perea *et al.*, 2009) por tal razón solo complementan la nutrición que el sistema radicular no logra abastecer (Lucena, 2010), la aplicación debe cubrir por completo el árbol ya que Zn, Cu, Mn, Mg y Fe solo se extienden a tejidos circundantes debido a su baja movilidad (Smith *et al.*, 2001).

En el norte de México se tiene un requerimiento de 5 aspersiones para lograr una concentración dentro del nivel óptimo de Zn (Tarango, 2015). Aunque solo requiere una mínima de 15 ppm para comenzar a realizar sus funciones (Hu *et al.*, 1991) necesita entre 57 y 73 mg·kg⁻¹ (Medina, 1995) y 1100 mg kg⁻¹ provocan toxicidad (Favela *et al.*, 2000).

Un programa apropiado de fertilización señala la primera aspersión al inicio de la etapa de brotación vegetativa, cuando se tiene una prolongación de 5 cm, la segunda a los 7 - 10 días posteriores, y de la tercera en adelante cada 15 días, un atraso de siete días puede reducir la concentración (Ojeda *et al.*, 2009a; Chávez *et al.*, 2002). De lo aplicado se fomenta una absorción del 1.0 % en hojas nuevas y 0.1 % en adultas (Storey *et al.*, 1995).

Las fechas óptimas para realizar las aplicaciones foliares en la variedad Wichita; Primera del 4 – 8 Abril, segunda del 11 - 15 Abril, tercera del 26 - 30 Abril (Chávez *et al.*, 2002). Es posible que en algunas aplicaciones foliares no se obtenga significancia en la producción y calidad de nuez (Vargas *et al.*, 2008) de acuerdo al tiempo de aplicación, producto y dosis.

El zinc se agrega frecuentemente como fertilizante foliar inorgánico (Rengel, 2002b; Rehman *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2014) donde son utilizados productos como las sales de zinc, de manera común el sulfato de Zn ($ZnSO_4$) (23 – 55 % de Zn), el complejo Zn - amoniacal (10 %), Nitrato de Zn (22 %), óxido de Zn (50 – 80 %), oxisulfato de Zn (40 – 55 %), carbonato de Zn (52 – 56 %), cloruro de Zn (48 – 50 %), y orgánicos, como el lignosulfonato (5 – 8 %) y quelatos sintéticos (con EDTA, 14 % de Zn; con HEDTA y NTA, 9 % Zn (Shuman, 1998; Rengel, 2015) combinados con ácidos húmicos y ácidos carboxílicos (Ojeda *et al.*, 2009a). Para la deficiencia de hierro los quelatos mixtos mencionados son funcionales, también de utilidad Sulfato de Ferroso (Núñez, 2016; Rombolà *et al.*, 2006; Lucena, 2010)

Los productos comerciales como Agrozinc y NZN son aplicados en dosis de 0.25 a 0.35 % (Ojeda *et al.*, 2009a) de 2.0 litros de NZN por 1000 litros de agua, que corresponde a 100 ppm Zn y 300 ppm de N (Vargas *et al.*, 2008), donde la variedad Wichita puede obtener una concentración en Zn de 85 - 109 ppm en 3 aplicaciones y de 116 - 156 ppm en 5 aplicaciones (Ojeda *et al.*, 2009a). Para evitar carencia de Manganeso dos aspersiones de Mn con 2000 mg l^{-1} en cada aplicación, el 18 de abril y 9 de mayo (Medina *et al.* 1999).

Los insumos utilizados comúnmente en aspersiones foliares tienen costo por hectárea en una aplicación en el caso de NZN de 221.7 pesos, para micronut fue de 1,232 pesos (Vargas *et al.*, 2008) siendo una aplicación rápida y efectiva de nutrientes, aunque no es duradera (Marschner, 1995).

La aplicación foliar obtiene una respuesta conforme al grado de deficiencia, cuanto más cerca se encuentre del nivel de suficiencia menor será la respuesta por unidad de fertilizante aplicado (Zoppolo *et al.*, 2016), e inclusive se corre el riesgo de quemaduras al tejido foliar (Chávez *et al.*, 2002) siendo idéntico el costo. Se busca evitar aplicaciones innecesarias de nutrientes reduciendo costos económicos y ambientales (Zoppolo *et al.*, 2016), por lo cual para satisfacer las necesidades y obtener un resultado de aumento gradual se recomienda fertilizar de manera edáfica con quelatos; la mejor solución cuando se presentan deficiencia por absorción del sistema radicular (Perea *et al.*, 2009).

La aplicación edáfica de quelatos es lenta, pero incrementa anualmente según se le suministre (Marschner, 1995; Boulton *et al.*, 1984; Ojeda *et al.*, 2009a). Asegurando la permanencia del quelato en el sistema radicular (Fernández *et al.*, 2006) son productos no tan comerciales y de alto costo, (Ojeda *et al.*, 2009a) permitiendo su uso solo en cultivos rentables como el nogal (Ojeda *et al.*, 2014)

2.5 ¿Que son los quelatos sintéticos?

Los quelatos son reconocidos en el sector agrícola por su capacidad de mantener disponible en forma, tiempo y cantidad necesaria algunos elementos (Sánchez, 2002).

Un quelato se estructura a través de la forma primaria de un ion metálico hidratado es decir rodeado de agua, que fue alterado por la molécula ligando que reemplaza la molécula de agua formando una estructura compleja de anillo, la cual abriga el ion metálico central, así

la molécula orgánica es protegida de lo externo, obstruyendo la reacción química habitual después de su aplicación a un medio, pues los átomos del ligado orgánico donan electrones al catión y lo convierten en un complejo de efecto contrario a precipitación insoluble e inaccesible normal de ion metálico (Lucena, 2006; Cadahia, 2005; Knepper, 2003; Aguado *et al.*, 2012).

La quelatación obtiene como resultado un compuesto soluble en agua es llamado secuestrador (Vasconcelos *et al.*, 2006). Eficaz para suministrar en forma coloidal micronutrientes catiónicos requeridos adecuadamente en el ciclo del cultivo (Biocampo, 1998). Este compuesto es de alta estabilidad y su disponibilidad para la planta radica en la concentración del agente quelante (Ochoa, 1999). Tiene la característica de no causar irregularidades en el sistema enzimático de la planta, es decir fitocompatible (Nowack, 2002).

2.6 Absorción y transporte de quelato.

Los agentes quelatantes determinan la retención y absorción del elemento en el sistema coloidal de sustrato – planta. Su comprensión es fundamental para la predicción de movilidad, disponibilidad y velocidad de asimilación en el suelo (Yunta *et al.*, 2012).

El quelato crea una unión con el centro de una membrana ya sea sobre o dentro de la raíz, (Jordá, 1990). Entonces la síntesis será definida por enzima Fe Quelato Reductasa (Nadal *et al.*, 2012) donde quelato actúa como medio de sustrato, soporte, anclaje y depósito de reserva de los nutrientes (Lucena, 2009).

La unión con otras moléculas es definida por sustitución, posición y grado de polaridad en el anillo de benceno del agente, que representa

la actividad de la enzima, logrando fácil unión en pentadentados del quelato con las moléculas que residan actualmente, en relación generan una ruptura del ligado. (Escudero et al. 2012; Yunta *et al.*, 2012) la degradación de la molécula ligado también puede ocurrir por biodegradación, actividad microbiana y fotodegradación (Sánchez, 2002). El quelato se quebranta y se queda o es absorbido por la membrana; el ion metal es asimilado por el medio radicular (Jordá, 1990). Las conexiones vasculares determinan la cantidad de nutrientes que recibe (Retamales, 2009).

El quelato al llegar a su destino final y al no ser utilizado, se acumula de forma soluble, y es liberado según el requerimiento de la planta (Lucena, 2010), los metales son distribuidos dentro de las células, manteniendo en cada organelo una concentración específica. Al momento interacciona con diferentes proteínas, que lo utilizan como cofactor ya que forman complejos con metal en su estructura (Aguado *et al.*, 2012; Sánchez, 2002). El quelato continúa solubilizando más metal (Nowack, 2002), que es utilizado en las funciones biológicas para formar enzimas y moléculas esenciales, complementado una correcta respiración, fijación de N, síntesis de hormonas y ADN (Briat *et al.*, 1998).

2.7 Comportamiento y Eficacia.

El quelato define su eficacia en el resultado dependiendo de los factores que se interrelacionan en el suelo al momento de la aplicación y la capacidad del quelato para adaptar las condiciones químicas que controlan disponibilidad y absorción de nutrientes (Retamales, 2009) ya que sufren acciones de desunión y competencia por otros iones (Lucena, 2009) es necesario conocer la concentración absoluta y la constante estabilidad (Aguado *et al.*, 2012), que deberá eludir factores

como pH alto, bicarbonato, competencia de cargas, resistencia a la degradación de la molécula y absorción sobre material del suelo, estos componentes merman el incremento de solubilización y transporte raíz - hoja (Perea *et al.*, 2009).

El quelato sufre cambios en el transporte a su destino que significan el impulso de la eficacia (Lucena, 2005) pues conlleva a modificaciones bioquímicas según la capacidad de cambio morfológico en cada planta, donde el déficit es reflejado en la parte aérea por la tasa total de brotes y su concentración mineral (Bacaicoa *et al.*, 2009), volviendo esencial emplear un producto adecuado a la zona agronómica operada (Lucena, 2009) de disolución acertada a la estructura del suelo, eficientando el equilibrio de las constantes, y así provocar una óptima corrección de carencias con una dosis adecuada.

La eficacia del complejo quelatado se determina mediante una evaluación, basándose en adiciones graduales de metal y su precipitación a un pH elevado (Villén *et al.*, 2007), durante algunos años consecutivos y bajo condiciones controladas (Álvarez *et al.*, 2005). La distribución precisa da parte a ser interceptado por mayor número de raíces, en la profundidad correcta con humedad suficiente para el inicio de mineralización y que a su vez tenga lugar el mayor tiempo posible (Tisdale *et al.*, 1982). No se anula la posibilidad de que el resultado no sea satisfactorio (Rojas *et al.*, 2008).

2.8 Elección de quelato para el experimento.

La evaluación de productos es necesario, para emplear el producto adecuado a cada condición agronómica, con el elemento y dosis

correcta (Lucena, 2009). Los diversos tipos de quelatos disgregan en estabilidad de acuerdo a su molécula siendo descartados en la investigación algunos no comerciales, no aptos a la estructura del suelo operada y/o no correspondientes a el cultivo en específico (Sánchez, 2002).

Los agentes quelantes utilizados en suelos de un valor con $\text{pH} < 7.4$ son; DTPA, HEEDTA, EDDHSA, EDDCHA, EDDHMA, EDTA, EDDHA y HBED (Álvarez- Fernández *et al.*, 2003 y Lucena *et al.*, 2008). Para La Comarca Lagunera en uso relevante de acuerdo al rango de interacción del pH son EDTA, DTPA y el EDDHA avaladas con previas investigaciones. (Álvarez *et al.*, 2003; Lucena *et al.*, 2008)

Kuykendall (1957) evaluó frutales de limón y naranjo reportando menor respuesta con DPTA a una dosis de 12 a 24 g por árbol. Durante el mismo año, Stewart *et al.*, no obtuvieron significancia en cítricos con DTPA y HEDTA, Saucheli (1969) y Mortvedt (1972) al aplicar DTPA a 120, 240 y 480 g en durazno lograron aumentar las concentraciones metálicas. Mata (1985) evaluó DTPA al voleo en dosis de 400 y 800 g por árbol donde resulto efectivo momentáneamente, sin embargo, existió reaparición de clorosis (Mata *et al.*, 1985).

Stewart (1957) evaluó quelatos en cítricos, de buenos resultados con EDTA a dosis de 100 y 200 g. de efectividad visible (Díaz *et al.*, 2017) sin embargo al ser combinado EDTA con el metal Zn pierde alrededor de 50 % de Zn por lixiviación. (Kabata *et al.*, 2004). Las investigaciones mencionadas deducen que DTPA, HEDTA y EDTA son ineficientes en la región debido a la limitación de reacción edáficas (Lucena, 2009; Hissen *et al.*, 2005; Diaz *et al.*, 2017) además requieren de dosis altas, existiendo la posibilidad de una reaparición de carencias, por lo cual son descartados como alternativa con reducción de costos.

En los suelos calcáreos con producción de frutales, el EDDHA es el más eficaz para corrección de carencias metálicas (Rivera *et al.*, 2007), dando mejores resultados en desarrollo fisiológico vs Fe - EDTA (12 %) (Antonopoulou *et al.*, 2007) mejorando el contenido óptimo de clorofila (Rajaie *et al.*, 2018) y permite mezclar otros elementos dado resultados favorables (Molina, 2006; Ochoa, 1999).

Se identifican dos moléculas. El *orto-para* (*o, p* EDDHA - ácido etilendiamino - N, -[(*orto* - hidroxifenil) acético] – N' - [(*parahidroxifenil*) acético] y el más competente *orto-orto* (EDDHA *o, o* - ácido etilendiamino - N, N' - di[(*ortohidroxifenil*) acético] (Álvarez *et al.*, 2005 ; García *et al.*, 2006 ; Lucena,2010).

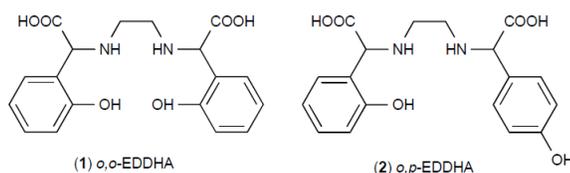


Figura1. Estructura molecular de EDDHA (Lucena, 2010).

El *orto-orto* presenta isómeros meso y mezcla *dl*-racémica) de alta estabilidad y eficacia a largo plazo (Álvarez *et al.*, 2005 ; García *et al.*, 2006), cuentan con 6 puntos de unión en su estructura (García *et al.*, 2006), posee un grupo fenólico en posición ecuatorial con respecto al plano formado por el Fe y los dos N; el otro grupo fenólico está en posición axial (Sánchez, 2002), a menor polaridad del agente quelatante *o, o* induce mayor retención por óxidos del suelo y material orgánico (Lucena, 2009).

Las características de la molécula (EDDHA *o, o*) facilitan su disolución (Sánchez, 2002; Álvarez *et al.*, 2005), permite productos mixtos

(Lucena *et al.*, 2012) $Fe + Zn$ y $Fe + Zn + Mn$ (Zhang *et al.*, 2014) y así aumentar el contenido de metal acumulado (Fernández, 2017), aun cuando Fe es absorbido el quelato de Zn mantiene su estabilidad debido a que el complejo continúa con su proceso de reducción enzimática por acidificación producida en la proximidad de las raíces (Lucena *et al.*, 2012).

El ligado tiene carga negativa (-1), (Siebner *et al.* 2004), lo que priva la retención de la carga negativa coloidal de suelo (Domínguez, 1989) dicho de otra forma es relativamente móvil en el flujo de masa de suelo calcáreo (Siebner *et al.* 2004), a una profundidad media de 30 cm (Arizmendi *et al.*, 2011), tiene como efecto el crecimiento rápido y buena nutrición en la planta (Nadal *et al.*, 2009 y 2012). Lo que permite seleccionar EDDHA para dosificar su aplicación edáfica en La Comarca Lagunera. La aplicación recomendada es en banda o en cajete (Molina, 2006).

Se recomienda que estudios futuros sobre el presente tema aborden el quelato HBED – ácido N, N' - bis (2 - hidroxibenzil) etilendiamino - N, N' - diacético. Fue diseñado para tratar sobrecarga de Fe gracias a su forma estable (Ma *et al.*, 1998; L'Eplattenier *et al.*, 1967; López *et al.*, 2012), es ventajoso por su mayor persistencia. Asimila alrededor del 45 % de hierro en brotes (Fernandez *et al.*, 2012), con alta movilización de hoja a flor (Nadal *et al.*, 2012). Una dosis de HBED 20 % menor de EDDHA resulta aportar efectivamente los micronutrientes necesarios (López *et al.*, 2012) siendo más respetuoso con el medio ambiente que los actuales productos comerciales de EDDHA (Fernández *et al.*, 2012) sin disponibilidad en casas agrícolas comerciales mexicanas.

2.9 Desventajas.

La práctica de aplicaciones de quelatos es de coste alto (Lucena, 2009). Puede tener implicaciones ambientales (Pestana *et al.*, 2005), ya que el elemento quelatado tiene la posibilidad de perderse en la capa arable lo que implicaría repetidas aplicaciones para alcanzar la concentración requerida, como subsiguiente una posible contaminación en capas freáticas por lixiviación (Lucena, 2003; Arizmendi *et al.*, 2011; Yehuda *et al.*, 2003) provocando riesgos al ambiente y a la salud (Abadía *et al.*, 2004). La contaminación subterránea tiene mayor efecto en suelos no calcáreos (Siebner *et al.*, 2004).

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Descripción geográfica del sitio experimental.

El experimento fue llevado a cabo en la Comarca Lagunera, en el municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México durante el año 2019 en una huerta de nogal, con las coordenadas latitud 25.746402, longitud - 103.008858, encontrándose en una zona semiárida de precipitación media anual 181 mm del Sr. Jaime Rodríguez García.

3.2 Unidad experimental

La investigación fue realizada en Nogal Pecanero (*Carya illinoensis*) en la variedad Wichita, la huerta cuenta con una densidad de población de 115 árboles por hectárea con sistema de riego por agua rodada, donde fueron seleccionados 20 árboles con edad 25 años y 20 árboles con edad de 10 años, para 8 tratamientos de 5 repeticiones en cada tratamiento y 5 árboles de 25 años y 5 árboles de 10 años como testigo. Con un total de 50 árboles sometidos al estudio.

3.3 Condiciones de suelo.

Las condiciones edáficas del huerto mostraron textura arcillosa, con un pH de 8.1, un contenido de materia orgánica de 0.2789 % para Gros (1992), este suelo se encuentra ubicado en la clasificación de suelos muy pobres, C.E 1.44 dS/m, entra en clasificación 3 alta salinidad de 0.76 - 2.225 dS/m (Tarango *et al.*, 2011)

La determinación de fósforo por el método de Olsen indica 21.07 ppm de fósforo disponible adecuado para el nogal pecanero que requiere característicamente fósforo en 16 ppm (Guerrero G. 2000; Figueroa *et al.*, 2002). Determinación de Micronutrientes con Ácido Dietilentiominopentacético (DTPA) demostró una concentración de Fe 2.75 ppm, Mn 7.27 ppm, Zn 0.56 ppm, Cu 0.49 ppm.

El productor por medio de comunicación personal informo que la huerta no es fertilizada de forma adecuada ya que se realiza solo el 30 % aproximadamente de la fertilización al suelo de acuerdo al paquete tecnológico del nogal pecanero y en fertilización foliar se realiza de forma máxima dos aplicaciones foliares donde no se cuenta con una recomendación de nutrición. Durante el año en curso de la investigación no se realizó ninguna aplicación foliar de nutrientes.

3.4 Tratamientos.

Los tratamientos evaluados por medio de dos productos comerciales Maxiquel de Zn (A) y KemFer de Zn (B) de ingrediente activo (EDDHA o, o), con 5 repeticiones por tratamiento en árboles de 25 y 10 años, a dosis de 100 g y 50 g con 5 árboles testigos en cada edad. En un diseño experimental de bloques al azar con arreglo trifactorial.

Cuadro 1. Tratamientos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Edad</i>	<i>Producto</i>	<i>Dosis</i>
1	10	A	50
2	10	A	100
3	10	B	50
4	10	B	100
5	25	A	50
6	25	A	100
7	25	B	50
8	25	B	100
9	10	Ninguno	0
10	25	Ninguno	0

3.5 Aplicación.

La aplicación fue realizada el día 3 de Abril del 2019 durante el estado fenológico de brotación. Los productos fueron divididos para MaxiqueI de Zn con una jeringa de 50 ml y KemFer de Zn con una báscula electrónica, organizando las bolsas por tratamiento, dosis y terreno a agregar, el suministro de los productos fue de forma edáfica donde se crearon zanjas en perímetro circunferencial a una profundidad de 15 cm con distanciamiento de acuerdo al diámetro del troco; 2 metros para arboles de 25 años y 1 metro en arboles de 10 años, después fue tapada con tierra. El riego de aniego se realizó el siguiente día.

3.6 Muestreo.

El muestreo se realizó el 15 de julio, dentro del parámetro estandarizado por Ojeda (2003), a una altura de 1.5 a 2 m. Colectado de una superficie homogénea (Ojeda et al., 2009a) alrededor de 20 - 30 folíolos por árbol (Ojeda *et al.*, 2009b). En el muestreo se tomó, midiendo longitud de brote, tamaño de raquiz, número de folíolos, tamaño del folíolo medio y peso de la muestra. Tomando el tercer par de folíolos de la parte media del brote midiendo longitud y peso de los folíolos que posteriormente fueron colocados en bolsas de papel canela perforadas e identificadas, para proceder a secarlas a temperatura ambiente (Molina, 2006).

3.7 Laboratorio analítico.

El análisis de concentración de nutrientes se realizó mediante el siguiente procedimiento. Se secó la muestra de planta en horno a 70°C en bolsa de papel perforada, se procedió a moler la muestra e identificarlas en bolsas de ziploc. Para determinar Nitrógeno se pesaron 0.100 g colocados en un matraz kjeldhal de 100 ml. En un vaso de precipitado, 4 ml de HNO₃ (ácido nítrico) y 2 ml de HClO (ácido pelclorico) por muestra y se agregaron al matraz dejando reposar 12 horas. Se pesaron 0.5 g de tiosulfato de sodio y 1.1 g de mezcla digestora, el digestor se calentó a 300 - 350 °C, se agregó de tiosulfato de sodio dando constantes vueltas y se calentó en el # 6 por 15 min luego se agregó la mezcla digestora y se bajó al # 4 hasta que la muestra quedo ligeramente azul turquesa a incolora, para pasar a aparato micro kjeldhal para destilación y titular con H₂ SO₄ (ácido sulfúrico).

Para determinar micronutrientes se pesaron 0.5 g colocados en un matraz kjeldhal de 100 ml. En un vaso de precipitado, 4 ml de HNO_3 (ácido nítrico) y 2 ml de HClO (ácido hipocloroso) por muestra. Agregando la mezcla de los ácidos al matraz que contenían la muestra, dejando reposar 12 horas para digerir, se calentó el digestor en el # 4 unos 15 min y luego en el # 6 y se bajó hasta que la muestra quedo incolora o antes que se evaporara. Al enfriar se pasó al tubo folling y limpiando el matraz con poca H_2O destilada sin sobrepasar los 25 ml. Para hacer la lectura con el aparato de absorción atómica el cual se conectó a una corriente eléctrica de 110 V. se abrió el tanque de acetileno (13 kg/cm^2). El tanque de aire en 40 y 50 lb/pl^2 , se conectó al regulador y se procedió a encender el aparato el cual fue calibrado con Cu y modificando la perilla de SIGNAL a LAMP, ajustando la corriente de la lámpara hasta que la pantalla de LAMP7ENERGY mostró el valor “continuo” indicado en la etiqueta de la lámpara. Se checo con una pequeña tarjeta y se volvió alinear con los tornillos de izquierda a derecha y de arriba abajo colocando el control SIGNAL en la posición SET UP. Se procedió a cambiar la absorbancia a cada concentración (Zn y Fe) para tomar las lecturas de cada muestra colocadas en los tubos folling.

3.8 Análisis estadístico.

El experimento tiene un diseño experimental de bloques al azar con arreglo trifactorial, evaluando 10 tratamientos con los productos Maxiquel de Zn (A) y Kemfer de Zn (B), a 2 edades, 2 dosis de 5 repeticiones y 5 repeticiones para los testigos de ambas edades. La información de resultados se procesó utilizando el programa de computo SAS (Statistical Analysis System) y se procesaron pruebas de comparación de medias con Diferencia Mínima Significativa (DMS)

a un nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, evaluado Longitud de Brote (LB), Tamaño de Raquíz (TR), Numero de Foliolos (NF), Tamaño del Foliolo Medio(TFM), Peso Fresco de la Muestra (PFM), concentración de Nitrógeno (N), Hierro (Fe) y Zinc (Zn).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de productos.

La siguiente figura confronta e ilustra la evaluación de dos productos comerciales con la molécula (EDDHA o, o) de Zn como ingrediente activo en aplicaciones edáficas, las evaluaciones fueron realizadas con el método Tukey a nivel de significancia 0.05.

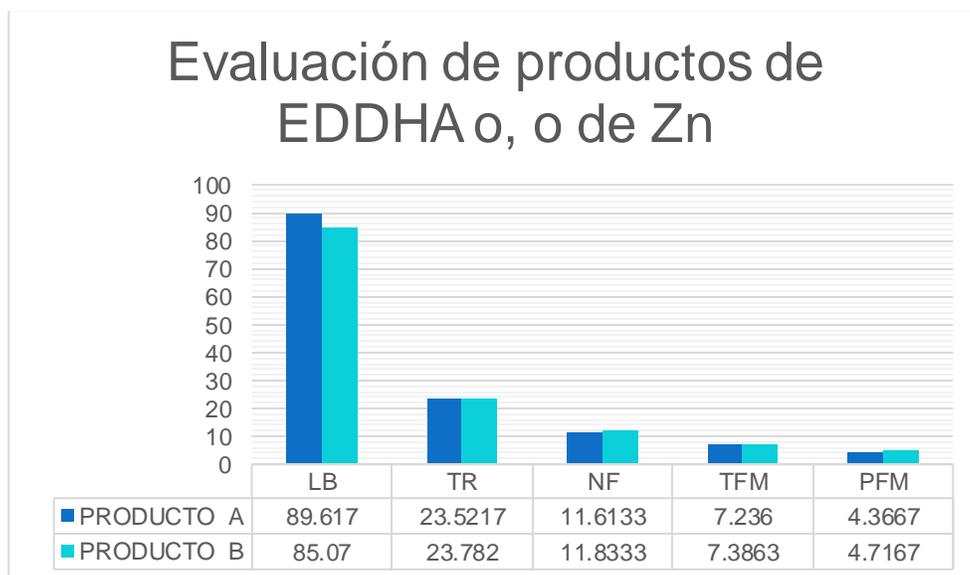


Figura 2. Evaluación de productos A y B con molécula (EDDHA o, o) sobre los parámetros seleccionados para la investigación en nogal pecanero.

LB (Longitud de Brote), TR (Tamaño de Raquiz), NF (Numero de Foliolos), TFM (Tamaño del Foliolo Medio), PFM (Peso Fresco de la Muestra).

Los productos evaluados no presentan significancia entre los parámetros, lo cual se atribuye a la forma de acción de la molécula (EDDHA o, o), así se afirma el acertado funcionamiento de la molécula sin importar la fuente de cadena comercial. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Nowack (2002) y Biocampo (1998) que declaran que el quelato trabaja de forma eficaz al suministrarse adecuadamente en la fisiología del cultivo y no causa irregularidades en el sistema enzimático de la planta, lo definen como un ingrediente activo fitocompatible.

Los parámetros evaluados a pesar de no presentar significancia muestran valores más altos de manera independiente por producto, por ejemplo, el producto A propicio un mejor desarrollo en LB y TR, mientras tanto el producto B favorece el desarrollo en NF, TFM y PFM esto se relaciona con el desenvolvimiento de cada producto.

Cuadro 2. Concentraciones de N, Fe y Zn en la muestra de planta después de la aplicación edáfica de (EDDHA o, o) de Zn.

Producto	Concentración		
	N (%)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
A	1.623	299.75	48.55
B	1.775	368.7	52.35
□	1.505	356.6	26.9
Norma DRIS	2.3	125	65

Los análisis no muestran significancia para los valores obtenidos en concentración de Nitrógeno, a pesar de ello ninguno alcanza el valor permitido por las normas DRIS identificadas por Medina en 2002 de 2.3 % para Nitrógeno (N), por medio de comunicación personal se informó que en la huerta solo se realiza un 30 % de aplicaciones de Nitrógeno, no obstante, el producto B tiene mayor proximidad a la concentración autorizada, con una mejora en absorción de 18.3 % respecto al testigo.

La concentración evaluada en Hierro detecta una correcta asimilación del elemento donde se supera el valor aprobado por la norma DRIS de 125 ppm en Fe no obstante el producto A se evalúa en un - 15.95 % de asimilación, mientras el producto B tiene una mejora del 3.4 % respecto al testigo.

El experimento se realizó en una huerta donde de manera aleatoria se realizan aspersiones nutricionales, el año en que tuvo lugar el experimento no se realizó ninguna aplicación de Zn, lo cual de forma contundente repercute en la concentración del elemento, por ende, durante el año del experimento ningún producto pudo alcanzar los niveles recomendados por DRIS en *C. illinoensis* de 65 ppm de Zn.

Los resultados no demuestran significancia en concentración de Zinc de molécula (EDDHA o, o) para ambos productos. Al tomar el testigo como valor referente se demostró que el producto A mejoro un 80.48 % la toma del elemento y el producto B un 94.6 % la asimilación edáfica del nutriente Zn.

4.2 Evaluación de edades.

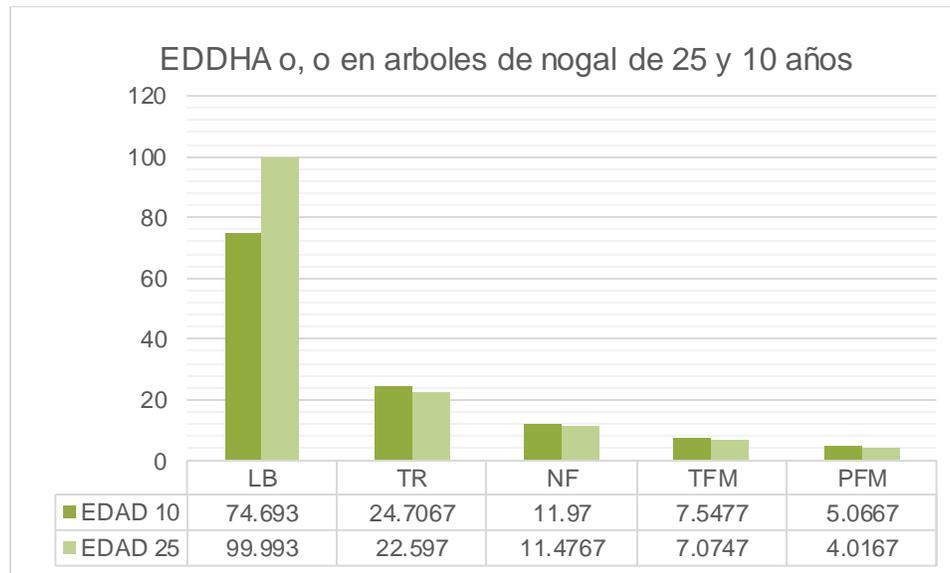


Figura 3. Evaluación de (EDDHA o, o) en nogal pecanero para arboles de 10 y 25 años de edad sobre los parámetros seleccionados.

LB (Longitud de Brote), TR (Tamaño de Raquiz), NF (Numero de Foliolos), TFM (Tamaño del Foliolo Medio), PFM (Peso Fresco de la Muestra).

Cuadro 3. Significancia en variables evaluadas en arboles de 10 y 25 años con la aplicación al suelo de (EDDHA o, o) de Zn por método Tukey a nivel de significancia 0.5.

Parámetro	Edad	
	10	25
LB	a	a
TR	a	b
NF	a	a
TFM	a	a
PFM	a	b
N	a	a
Fe	b	a
Zn	a	a

LB (Longitud de Brote), TR (Tamaño de Raquiz), NF (Numero de Foliolos), TFM (Tamaño del Foliolo Medio), PFM (Peso Fresco de la Muestra), N (Nitrógeno), Fe (Hierro) y Zn (Zinc).

Los parámetros evaluados en arboles 10 y 25 años de edad identifican la aptitud para la toma de nutrientes en la variedad Wichita con el objetivo de emplear en el momento conveniente (EDDHA o, o) de Zn para cumplir la necesidad del cultivo.

Existen dos tipos de brotes en nogal: 1) Fructíferos y 2) Vegetativos, cuya longitud varía (Arreola, 1990), los brotes vegetativos llegan a crecer 1.5 a 2 m por ciclo (Lagarda, 2019) que es congruente con el desarrollo de los arboles mostrado en ambas edades después de la aplicación de EDDHA de Zn.

Las hojas del nogal pecanero son de foliolos opuestos de 5 a 10 cm de largo, cada hoja puede tener de 9 y 17 foliolos (Wagner *et al.*, 2005) características alcanzadas en la investigación por el un rango promedio en Tamaño de foliolo y Numero de Foliolos.

Tamaño de Raquiz muestra significancia para árboles de 10 años, en la fisiología del nogal pecanero se identifica un mayor tamaño en raquiz para arboles chicos.

El desarrollo de los brotes ocurre de Marzo a los últimos días de Mayo, de manera más uniforme en huertas a partir de los 17 años, sin embargo, en arboles más jóvenes este período se prolonga (Lagarda, 1998). El muestreo fue realizado el día 10 de julio cuando la curva de crecimiento aún no se encontraba en descenso para los árboles jóvenes, lo que justifica la significancia en Peso Fresco de Muestra para arboles de 10 años.

Aunque no existe significancia entre las edades de 10 y 25 años de edad, LB, NF, TMF obtuvieron valores más altos en los tratamientos con árboles de 10 años. La energía producida en la planta se distribuye priorizando sus necesidades fisiológicas (Margulis *et al.*, 2017) el árbol de nogal pecanero en edad de 10 años tiene la capacidad de tomar y asimilar de forma destacada más nutrientes (Wagner *et al.*, 2005).

Cuadro 4. Aumento en la concentración de Nitrógeno, Hierro y Zinc en arboles de nogal de 10 y 25 años después de una aplicación edáfica de (EDDHA o, o) fundamentado en su respectivo testigo.

	Incremento en concentraciones		
Edad	N	Fe	Zn
10	14.82%	-10.74%	90.35%
25	10.03%	-2.31%	84.33%

Los arboles de 10 años de edad mostraron mejor asimilación respecto al testigo para los elementos de Nitrógeno y Zinc.

Un elemento no disponible en el sistema radicular al ser suministrado induce una respuesta rápida de mejora (Vargas *et al.*, 2009). El experimento fue realizado en la variedad Wichita, que tiene la peculiaridad de presentar mayor déficit de Fe en suelos arcillosos (Ojeda *et al.*, 2009b) presentando gran clorosis en árboles adultos (Hu *et al.*, 1991). En consecuencia, un aumento con significancia para Fe en arboles de 25 años.

4.3 Evaluación de dosis.

Las aplicaciones foliares al *C. illinoensis* han sido previamente indagadas (Favela *et al.*, 2000, Medina *et al.*, 2002, 1999; Vargas *et al.*, 2008) pero no fue hasta 2005 que Chávez indago en técnicas alternativas de aplicación para complementar las necesidades comparando quelatos EDDHA y EDDHMA, sulfatos y productos de uso tradicional.

Uno de los tratamientos investigado por Chávez consistió en aplicar al suelo el quelato EDDHA una vez durante el ciclo, el cual demostró ser efectivo ya que logro incrementar la concentración de zinc fuertemente con niveles entre 244 mg/kg en el segundo año y 550 mg/kg al tercer año, lo que representa un aumento de 125 % de la segunda aplicación a la tercera. Sin embargo, esa investigación no especifica en la dosis apta a utilizar ni la edad de los arboles a los cuales aplicar.

El agricultor presenta problemas para abastecer de micronutrientes el nogal debido a la falta de una adecuada dosificación edáfica, la investigación actual corrobora la eficiencia de (EDDHA o, o) aplicado al suelo en la Región Laguna en arboles de *C. illinoensis* y su correcta dosificación en tiempo fenológico adecuado. A continuación, se ilustra la tabla de tratamientos y su concentración mineral.

Cuadro 5. Concentración de Nitrógeno, Hierro y Zinc en nogal pecanero en edades de 10 y 25 años a dosis de 50 g y 100 g con dos productos comerciales.

<i>Tratamiento</i>	<i>N (%)</i>	<i>Fe (ppm)</i>	<i>Zn (ppm)</i>
<i>10 años / 50 g / producto A</i>	1.54.	300.8	53.6
<i>10 años / 100 g / producto A</i>	1.74	315	50
<i>10 años / 50 g / producto B</i>	1.46	304.4	47.4
<i>10 años / 100 g / producto B</i>	1.67	278.8	43.2
<i>25 años / 50 g / producto A</i>	1.97	439.6	54.6
<i>25 años / 100 g / producto A</i>	1.68	385.2	49.2
<i>25 años / 50 g / producto B</i>	1.5	316.8	55.6
<i>25 años / 100 g / producto B</i>	1.95	333.2	50
<i>Testigo de 10 años</i>	1.4	335.8	25.4
<i>Testigo de 25 años</i>	1.61	377.4	28.4

Las concentraciones de Nitrógeno y Hierro fueron evaluadas como punto de comparación en la concentración de elementos esenciales, sin embargo, no instruyen la conclusión de la investigación.

Las concentraciones más altas para el elemento Zn corresponden a árboles con 25 años de edad en una dosis de 50 g del quelato (EDDHA o, o) del producto B seguido del tratamiento de árboles de 25 años de edad en una dosis de 50 g del quelato (EDDHA o, o) del producto A.

Cuadro 6. Concentración de nutrientes de acuerdo a dosis y edad de los arboles después de la aplicación de (EDDHA o, o).

Dosis	Edad	Concentración		
		N (%)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
50 g	10	1.507	302.6	50.5
	25	1.742	378.2	55.1
100g	10	1.708	296.9	46.6
	25	1.823	359.2	49.6
Testigo	10	1.4	335.8	25.4
	25	1.61	377.4	28.4

Los testigos en árboles de 10 años muestran una concentración de 25.4 ppm de Zn, donde una dosis de 100 g aumenta la respuesta un 83.46 % y una aplicación de 50 g obtuvo una mejora del 96.85 %. En el caso de los árboles de 25 años de edad el testigo acumulo en promedio 28.4 ppm de Zn lo que sitúa a la dosificación de 100 g con un aumento del 74.76 % y a 50 g una mejora del 94 %.

El análisis del cuadro 5 nos permite deducir que a pesar que las concentraciones más altas de Zn se muestren en arboles de 25 años de edad, los árboles de 10 años de edad tienen una mejor asimilación del producto. Estos resultados difieren con los encontrados por Molina en 2006 que recomienda EDDHA en cajete con una suspensión de 400 a 600 litros y aplicar de 20 - 25 gr para trabajar de forma eficaz en plantas adultas.

El estudio comprende movilidad, disponibilidad y asimilación del quelato en el suelo que Yunta (2012) menciona indispensable para lograr el manejo adecuado de EDDHA, identificando que la mejor

asimilación del quelato se enfoca en arboles de 10 años, aplicado una vez cada ciclo durante la brotación, se alcanzará los niveles adecuados de concentración, pudiéndose aplicar desde plantación lo cual permitiría dar abasto nutricional antes de producción.

Cuadro 7. Comparación de costos en 5 aplicaciones foliares contra una aplicación edáfica.

Método de aplicación	Contenido y dosis	Costo total por hectárea \$ MNX
Foliar	5 aplicaciones de Zn y Urea libre de biuret, de las cuales 2 contienen de Magnesio y 1 de Niquel.	3,000
Edáfico	100 g por árbol (10 árboles por kilo, 115 por hectárea)	5,750
	50 g por árbol (20 árboles por kilo, 115 por hectárea)	2,875

En el cuadro anterior se determina los costos totales de manera estandarizada en las aplicaciones foliares sin añadir costos de maquinaria, contra el costo de la aplicación anual de (EDDHA o, o).

Por lo cual la investigación identifica la aplicación edáfica de quelato (EDDHA o, o) de Zn como alternativa de reducción de actividades

mecanizadas disminuyendo los costos para los pequeños productores que no cuentan con alta tecnología.

La fertilización al suelo por medio de quelatos (EDDHA o, o) ira aumentando de manera gradual a modo que cuando la huerta se encuentre en producción será mínimo o nula la inversión de aplicaciones foliares de Zinc asegurando un nivel de suficiencia del elemento indispensable para el cultivo ya que la aplicación edáfica asegura la permanencia y estabilidad en el sistema radicular que continúe solubilizando más metal y el suelo tenga la capacidad de mantener disponible en forma, tiempo y cantidades adecuadas el elemento.

IV. CONCLUSION

El quelato (EDDHA o, o) de Zn en La Región Laguna para el cultivo de Nogal Pecanero aplicado de manera anual al suelo en dosis de 50 g en árboles en desarrollo y adultos es una alternativa viable que disminuye la necesidad de 5 aplicaciones foliares de agroquímicos.

VI. LITERATURA CITADA

1. Abadía, J., A. Álvarez F., Rombola D., Sanz M., Tagliavini M., and A. Abadía. 2004. Technologies for the diagnosis and remediation of Fe deficiency. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 965-971.
2. Aguado S., Moreno G., Jiménez F., García M., Preciado O., 2012, Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis, Unidad de Biotecnología y Programa de Maíz, Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Celaya-San Miguel de Allende. 38010 Celaya, Gto. México.
3. Álvarez F., García M., Lucena J., 2005, Evaluation of synthetic iron(III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis. *Eur. J. Agron.* 22: 119-130
4. Álvarez F., Paniagua P., Abadía J., Abadía A., 2003, Effects of Fe Deficiency Chlorosis on Yield and Fruit Quality in Peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Agric. Food. Chem.* 51: 5738-5844.
5. Antonopoulou C., Kortessa D., Ioannis T., Christos C., Ioannis P., 2007, The effect of Fe-EDDHA and of ascorbic acid on in vitro rooting of the peach rootstock GF-677 explants, Volume 29, Issue 6, pp 559–561
6. Arizmendi G., Rivera O., De la Cruz S., Castro M., Garza R., 2011, Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos, Universidad

Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

7. Arreola A., 1990, Selección y almacenamiento de madera para propagación mediante injertos de nogal. Memorar 10 Convención de Nogaleros. Asociación Agrícola de Nogaleros de Delicias y Zonas Adyacentes. Delicias, Chihuahua. Pag. 16-24.

8. Bacaicoa E., Garcia M., 2009, Iron-Efficiency in Different Cucumber Cultivars: The Importance of the Optimizing the Use of Foliar Iron. J. Am. Soc. Hortic. Sci., 134: 405-416 Bacon, F. 1651. Sylva sylvarum, London.

9. Barea J., Pozo M., Azcón A., 2016, Significado y Aplicación de las micorrizas en agricultura, Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Departamento de Microbiología del Suelo, Granada.

10. Barrameda M., Montesinos P., Romero L., Ruiz J., and Blasco B., 2014, Comparative Study of the Toxic Effect of Zn in *Lactuca sativa* and *Brassica oleracea* Plants: I. Growth, Distribution, and Accumulation of Zn, and Metabolism of Carboxylates. Environmental and Experimental Botany, 107, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.05.012>.

11. Basta N., Ryan J., Chaney R., 2005, Trace element chemistry in residual-treated soil: Key concepts and metal bioavailability. J. Environ. Qual. 34: 49-63

12. Basurto S., 1995, Análisis Integral de fertilización nitrogenada y fosfatada en nogal pecanero (*Carya illinoensis* Wangenh K. Koch).

Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas.
Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. México.
104p.

13. Bethlenfalvay G., Barea J., 1994, Mycorrhizae in sustainable agriculture. I. Effects on seed yield and soil aggregation. Amer. J. Alternative Agric. 4:157-161

14. Biocampo, 1998. Manual técnico de productores, México, S.A. de C.V. p p16-26.

15. Bould C., Hewitt E., Needham P., 1984, Diagnosis of mineral disorders Plants, Principles Vol 1. Chemical Publishing New York.

16. Cadahia C., 2005, Fertirrigación / Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, Ediciones Mundi-prensa, España, pp. 33-46.

17. Cakmak I., 2000, Transley Review No. 111 Possible Roles of Zin in Protecting Plant Cells from Damage by Reactive Oxygen Species. The New Phytologist, 146, 185-205.
<https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00630>.

18. Carling D., Brown M., 1982, Anatomy and physiology of vesicular arbuscular and nonmycorrhizal roots. Phytopatology. 72:1108-1114

19. Caron M., 1989, Potential use of mycorrhizae in control of soilborne diseases. Can. J. Plant Pathol. 11(2): 177-179.

20. Cervantes V., Orona C., Vázquez V., Fortis H., Espinoza A., 2018, Análisis comparativo de huertos de nuez pecanera (*Carya*

illinoensis Koch) en la Comarca Lagunera, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9.

21. Chagué G., 2005, Assessing the removal efficiency of Zn, Cu, Fe and Pb in a treatment wetland using selective sequential extraction: a case study. *Water Air Soil Pollution* 160: 161-179.
22. Chavez G., Medina M., Figueroa V., 2002, Tecnología de producción en nogal pecanero; Fertilización del nogal, Libro técnico No. 3, Primera Edición, SAGARPA, INIFAP, Matamoros Coahuila
23. Chávez G., Medina M., Figueroa V., 2005, Fertilización de huertas de nogal con elementos menores, INIFAP Coahuila.
24. Cordero Y., Guridi F., 2009, Uso del ácido etilendiaminotetraacético para evaluar la biodisponibilidad de metales pesados en lechuga, Instituto de Investigaciones Porcinas, La Lisa. La Habana, Cuba.
25. Cornejo P., Pérez T., Meier S., Valderas A., Borie F., Azcón A., Ferrol N., 2013, Copper compartimentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. *Soil Biology & Biochemistry* 57: 925-928.
26. Covelo E., Vega F., Andrade M., 2007, Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components. *J. Hazard. Mat.* 140: 308–315.
27. Díaz F., Espinosa R., Ortiz C., 2017, Corrección de la clorosis férrica con quelato EDDHA en cultivos sembrados en suelo alcalino y

calcáreo, Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa km 61. 88900 Río Bravo, Tamaulipas, México.

28. Domínguez V., 1989. Tratado de fertilización. Mundi-Prensa. Madrid, España.

29. Dotaniya M., Meena V., 2015, Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. Proceedings of the National Academy of Sciences India. Section B, Biological Sciences. 85, 1-12.

30. Escudero A., Ojeda B., Martínez T., Guerrero P., Ruíz A., Sánchez C., 2012, Actividad de anhidrasa carbónica como indicador bioquímico de zinc en plántulas de nogal pecanero. In: Nutrición mineral de las plantas como base de una agricultura sostenible, Madrid, 111-116.

31. Espinoza A., Salinas G., Orona C., Palomo R., 2009, Planeación de la investigación del INIFAP en la Comarca Lagunera en base a la situación de mercado de los principales productos agrícolas de la región. Cuarta Época. Rev. Mex. Agron. Año XIII. 24 p.

32. Favela C., Cortés F., Alcántar G., Etchevers B., Baca C., Rodríguez A., 2000, Aspersiones foliares de zinc en nogal pecanero en suelos alcalinos, Torreón, Coahuila, México.

33. Fernández C., 2017, Timing for a sustainable fertilisation of Glycine max by using HBED/Fe³⁺ and EDDHA/Fe³⁺ chelates Revista: Journal of the science of food and agricultura, ISSN: 0022 Volumen: 97 Número: 9 Página: 2773-2781 DOI:10.1002/jsfa.8105

34. Fernández M., Hernández A., Lucena J., 2012, 57 Fe distribution in soybeans grown on calcareous soil treated with labeled HBED/Fe³⁺ and EDDHA/Fe³⁺ commercial products, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
35. Fernández V., Del Río V., Abadía J., Abadía A., 2006, Foliar iron fertilization of peach (*Prunus persica* (L.) Batsch.): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. *Plant Soil* 289: 239-252
36. Ferreyra R., Selles V., Ruiz S., Gil M., Barrera M., 2008, Manejo de la clorosis férrica en palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA no. 181. La Cruz, Chile.
37. Ferrol N., Calvente R., Cano C., Barea J., Azcón A., 2004, Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem. *Applied Soil Ecology* 25(2):123-133.
38. Figueroa V., Medina M., Chavez G., 2002, Tecnología del Nogal Pecanero, Manejo del Suelo, pag. 97
39. García M., Martínez N., Yunta F., Hernández A., Lucena JJ., 2006, Effectiveness of ethylenediamine- N- (o-hydroxyphenylacetic)- N'-(p-hydroxyphenylacetic) acid (o,p-EDDHA) to supply iron to plants. *Plant and Soil*, 27: 31-40.
40. Gros A., Domínguez A., 1992, Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 450 p.

41. Guerrero G., 2000, Caracterización fisicoquímica del suelo en huertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis wangenh k. koch*) western schley mediante diagnóstico diferencial integrado (ddi). Tesis de maestría. Facultad de ciencias agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Mexico. 152 p.
42. Guo W., Zhao W., Zhao R., Guo N., and Zhang J., 2013, Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on maize (*Zea mays L.*) and sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*) grown in rare earth elements of mine tailings. *Appl. Soil Ecol.* 72: 85-92
43. Hafeez B., Khanif M., Saleem M., 2013, Role of zinc in plant nutrition-a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2), 374-391.
44. He B., Yun J., Jiang G., 2013, Research progress of heavy metal pollution in China: sources, analytical methods, status, and toxicity. *Chinese Sci. Bull.* 58: 134-140.
45. Hissen A., Wan A., Warwas M., Pinto L., Moore M., 2005, The *Aspergillus fumigatus* siderophore biosynthetic gene *sidA*, encoding L-ornithine N5-oxygenase, is required for virulence. *Infect. Immun.* 73:5493-5503
46. Hu H., Sparks D., 1991, Zinc deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in 'Stuart' pecan. *Hort Science.* 2: 267-268.
47. International Nut and Dried Fruit. 2014. Global statistical review 2014-2015.

48. Jain N., Bhargava A., Tarafdar J., Singh S., Panwar J., 2013, A biomimetic approach towards synthesis of zinc oxide nanoparticles. *Applied microbiology and biotechnology*, 97(2), 859-869.
49. Jordá J., 1990, Dinámica de los quelatos FeEDDHA y FEDETA en suelos calizos. Consecuencias en su efectividad como correctores de la clorosis férrica. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante.
50. Jordão C., Fialho L., Neves J., Cecon P., Mendoc E., Fontes R., 2007, Reduction of heavy metal contents in liquid effluents by vermicompost and the use of the metal –enriched vermicompost in lettuce cultivation. Departamento de solos, Universidad de Federal de Vicosa, 3657000, Vicosa, Minas Gerais, Brazil, pp. 2801-2812
51. Kabata P., 2004, Soil-plant transfer of trace elements: an environmental issue. *Geoderma* 122: 143- 149.
52. Kabata P., Pendias H., 2010, Trace Metals in Soils and Plants. 3rd edition. CRC Press.
53. Knepper T., 2003, “Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties in the Aquatic Environment” *Trac-Trends Anal. Chem.*, 22, pp. 708-724.
54. Kuykendall J., Hilgerman R., Vanhorn C., 1957, Responses of chlorotic citrus trees in Arizona to soil applications of iron chelates. *Soil Sci.* 87:77-86.
55. L’Eplattenier F., Murase I., Martell A., New multidentate ligands. *JACS* 1967; 89: 837.

56. Lagarda M., 1998, Tecnología integral para la producción de nuez en la Comarca Lagunera. Memorias del 6º Simposium Internacional Nogalero, (NOGATEC '98). Torreón, Coahuila, México. pp. 4-13.
57. Li H., Luo L., Zhang H., Zhao Y., Li Q., Cai M., Mo C., 2016, Do arbuscular mycorrhizal fungi affect cadmium uptake kinetics, subcellular distribution and chemical forms in rice? *Sci. Total, Environ.* 571: 1183-1190. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.124.
58. Linderman R., 1988, Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology* 78(3): 366-371.
59. Liu L., Gong Z., Zhang L., Li P., 2011, Growth, cadmium accumulation and physiology of marigold (*Tagetes erecta* L.) as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. *Pedosphere* 21: 319-327. doi: 10.1016/S1002-0160(11)60132-X.
60. Lobartini J., Orioli G., 1988, Absorption of iron humate in nutrient solutions by plants. *Plant Soil.*106:153-157.
61. López R., Nadal P., Lucena S., Lucena J., 2012, HBED/Fe³⁺ como alternativa al EDDHA/Fe³⁺ estabilidad en suelo y eficiencia para aportar fe a fresa en cultivo comercial, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España
62. Lucena J., 2005, Syntetic iron chelotes to correct iron deficiency in plants. Chapter 5 in *Iron nutrition in plants and rhizospheric*

microorganism. Abadía J. y Barton L. Eds. Kluwer Academic Publishers.

63. Lucena J., 2006, Synthetic iron chelates to correct iron deficiency in plants. Chapter 5. En: Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganism. Academic Publishers, Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp 103-128.

64. Lucena J., 2009., El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. Rev. Ceres 56: 527-535. 56, núm. 4, Universidade Federal de Viçosa Brasil

65. Lucena J., López R., Nadal P., 2012, Tendencias actuales en la investigación sobre fertilizantes de micronutrientes metálicos, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

66. Lucena J., López R., Nadal P., 2012, Tendencias actuales en la investigación sobre fertilizantes de micronutrientes metálicos. Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España

67. Lucena J., Sentís J., Villén M., Pérez S., 2008, IDHA Chelates as a micronutrient source for green bean and tomato in fertigation and hydroponics. Agronomy Journal, 100: 813–818.

68. Lucena J., 2003, Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants. J Plant Nutr 26:1969–1984

69. Lucena R., 2010, Quelatos biodegradables y complejos como correctores de la clorosis férrica. Evaluación de complejos Fe-Lignosulfonato, Madrid.
70. Ma R, Motekaitis R, Martell A.,1998, Stability. *Inorg Chim Acta* 1994; 224: 151-5.
71. Margulis L., Sagan D., 2017, El proceso de nutrición en las plantas, Capitulo 11, pag 240.
72. Marschner H., 1995, Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Inc., New York, 887 p.
73. Mata B., Briones S., Salazar V., 1985, Corrección de la clorosis férrica del durazno en el norte de Coahuila. In: Memoria. XVIII. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. UAAAN p. 36.
74. Medina M., 1995, Deficiencia y toxicidad de nutrientes en el nogal. pp. 11-21. Memorias del 3er Simposium Internacional de Nogal. Torreón, Coahuila, México.
75. Medina M., 2002, Normas DRIS preliminares para nogal pecanero. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 445-450.
76. Medina M., Chávez G., 1999, Efecto del abastecimiento foliar de zinc sobre el balance nutrimental del nogal pecanero. *TERRA, Revista de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,A.C.* 17(4): 293-298.
77. Medina M., Lagarda M., 1992, Efecto de la variedad y alternancia en el Índice de Desbalance Nutricional (IDN) del nogal

pecanero. Revista: Información Técnica Económica Agraria (ITEA).
Vol. 88V. (3): 167-181.

78. Molina M., 2006, Evaluación de la aplicación de ácidos húmicos mas sulfato ferroso en la corrección de clorosis férrica en vid (*Vitis vinífera* L.), Torreon, Coahuila.

79. Mortvedt J., Giordano P., Lindsay W., 1972, Micronutrients in agriculture. Soil. Sci. Soc. Am. Inc. Madison Wisconsin. U. S. A. 482 p.

80. Mousavi S., 2011, Zinc in Crop Production and Interaction with Phosphorus. Australian Journal of Basic and Applied Sciences , 5, 1503-1509

81. Nadal P, García D., Hernández D., Lucena J., 2012, Evaluation of Fe-N,N'-Bis(2-hydroxybenzyl)ethylenediamine-N,N'-diacetate (HBED/Fe³⁺) as Fe carrier for soybean (*Glycine max*) plants grown in calcareous soil. Plant Soil, DOI 10.1007/s11104-012-1246-z.

82. Nadal P, Hernández A., Lucena J., 2009, Effectiveness of N,N'-Bis(2-hydroxy-5-methylbenzyl) ethylenediamine-N,N'-diacetic acid (HJB) to supply iron to dicot plants. Plant Soil, 325, 65-77.

83. Nowack B., 2002 "Environmental Chemistry of Aminopolycarboxylate Chelating Agents", Environ. Sci. Technol., 36, pp. 4009 - 4016.

84. Núñez H., 2016, Manejo de nutrición con macro y micro elementos en nogal, INIFAP, Campo Experimental Costa de Hermosillo, México.

85. Núñez M., Valdez G., Martínez D., Valenzuela C., 2001, El Nogal Pecanero en Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 3. ISSN 1405-597X. México. 209 p.
86. Nuñez M., Walworth, J., Pond A., Kilby M., 2009, Soil Zinc Fertilization of "Wichita" Pecan Trees Growing under Alkaline Soil Conditions. Hort Science, 44, 1736-1740.
87. Ochoa F., 1999, Estimulación de la Brotación en Tubérculos de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L) con Sustancias Húmicas y Quelatos de Fe-Zn, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
88. Ojeda B., Abadía J., Lombardini L., Abadía A., Vazquez 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, 1672-1678. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5530>
89. Ojeda B., Arras V., Hernández R., López D., Aguilar V., Denogean B., 2010, Análisis foda y perspectivas del cultivo del nogal pecanero en Chihuahua. Rev. Mex. Agron. 14(27):357.
90. Ojeda B., Fernández F., Sánchez C., Ramírez R., 2009 a, Manejo de la Nutrición y Fertilización en el cultivo del Nogal Pecanero, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua.
91. Ojeda B., Hernández R., Martínez T., Núñez B., Perea P., 2009 b, Aplicación foliar de quelato de zinc en nogal pecanero, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, MÉXICO.

92. Ojeda B., Perea P., Hernández R., Ávila Q., Abadía J., Lombardini L., 2014, Foliar Fertilization with Zinc in Pecan Trees. HortScience, 562-566.
93. Ortega O., Benavides M., Arteaga A., Zermeño G., 2003, Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila México.
94. Perea E., Ojeda D., Hernández A., Ruiz T., Martínez J., 2009, Utilización de quelatos en la agricultura, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas/Universidad Autónoma de Chihuahua.
95. Pérez M., Ramírez G., Serralde O., Peñaranda R., Wilches O., Ramírez L. y Rengifo E., 2019, Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) como estrategia para reducir la absorción de cadmio en plantas de cacao (*Theobroma cacao*), TERRA LATINOAMERICANA volumen 37 número 2.
96. Pestana M., Varennes J., Abadía, Araújo F., 2005, Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. Sci. Hortic. 104: 25-36.
97. Rajaie M., Reza T., 2018, Iron and/or acid foliar spray versus soil application of Fe EDDHA for prevention of iron deficiency in Valencia orange grown on a calcareous soil, Journal of Plant Nutrition, 41:2, 150-158, DOI: 10.1080/01904167.2017.1382523

98. Rehman H., Aziz T., Farooq M., Wakeel A., Rengel Z., 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant Soil*. 361, 203-226.
99. Rengel Z., 2002a. Agronomic approaches to increasing zinc concentration in staple food crops. In: I. Cakmak, R.M. Welch (ed.) *Impacts of Agriculture on Human Health and Nutrition*. UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK
100. Rengel Z., 2002b., Role of pH in availability of ions in soil. In: Z. Rengel (ed.) *Handbook of Plant Growth. pH as a Master Variable in Plant Growth*. Marcel Dekker, New York, pp: 323-350.
101. Rengel Z., 2015, Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 397-409
102. Retamales J., 2009, *Enfoque integral de nutrición en frutales*, Departamento de Horticultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile.
103. Rivera O., Castro M., Garza R., Mendoza F., Etchevers B., 2007, Evaluation of different iron compounds in chlorotic Italian lemon trees (*Citrus lemon*). *Plant Physiol. Biochem.* 45: 330-334.
104. Rojas C., Romera F., Alcántara E., Pérez V., Sariego C., García A., Boned J., Martí G., 2008, Efficacy of Fe (o,o- EDDHA) and Fe(o,p- EDDHA) isomers in supplying Fe to strategy I plants differs in nutrient solution and calcareous soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:10774-10778.

105. Rombolà A., Tagliavini M., 2006, Iron nutrition of fruit tree crops. pp.: 61-83. En: iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms.
106. SAGAR, 1998, Costos de producción del nogal pecanero en Sonora.
107. Salas R., Valdez A., Lira S., Ibarra J., Cárdenas F., 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
108. Sánchez E., Soto M., Cerecedo S., Yáñez R., Muñoz E., Anchondo A., 2009, Eficiencia de uso del nitrógeno en nogal pecanero. Terra Latinoamericana 27: 311-317.
109. Sanchez S., 2002, Mejora en la eficacia de los quelatos de hierro sintéticos a través de sustancias húmicas y aminoácidos.
110. Saucheli V., 1969, Trace element in agriculture. Ed. Van Nos Trad Re inhold Company. New York. U. S. A
111. Sharma R., Agrawal M., Marshall F., 2008, Heavy metals (Cu, Cd, Zn and Pb) contamination of vegetables in Urban India: a case study in Varanasi. Environ. Poll. 154, 254-263.
112. SHCP. 2014. Panorama de la nuez. financiera nacional de desarrollo agropecuario, rural, forestal y pesquero.

113. Shuman L., 1998, Micronutrient fertilizers. In: Z. Rengel (ed.) Nutrient Use in Crop Production. The Haworth Press, New York, USA, pp: 165-195.
114. Siebner F., Hadar, Chen, 2004, Interaction of iron chelating agents with clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 470-480.
115. Sinclair S., Senger T., Talke I., Cobbett C., Haydon M., and Krämer U., 2018, Systemic Upregulation of MTP2- and HMA2-Mediated Zn Partitioning to the Shoot Supplements Local Zn Deficiency Responses, *The Plant Cell*, Vol. 30: 2463–2479
116. Singh R., Prasad S., Singh M. 2014, Effect of nitrogen and zinc fertilizer on Zn biofortification in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Indian Journal of Agronomy*. 59, 474-476.
117. Smith M., Cheary B., Landgraf S., Manganese Deficiency in Pecan, 2001, Department of Horticulture and Landscape Architecture, Oklahoma State University, *HORTSCIENCE* 36(6):1075–1076.
118. Soto J., Sánchez E., Pérez R., Flores J., Yáñez R., 2012, Efecto de nitrógeno durante brotación y producción en nogal pecanero, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México
119. Soto P., Piña R., Sánchez C., Pérez L., Basurto S., 2016, Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero, *Revista Electrónica Nova Scientia*, Nº 16 Vol. 8 (1), ISSN 2007 - 0705. pp: 140 – 161

120. Srinivasagam K., Natarajan B., Raju M., Kumar S., 2013, Myth and mystery of soil mycorrhiza: a review. African Journal of Agricultural Research. 8, 4706-4717.
121. Stewart I., Leonard C., 1957, Use of chelates in citrus production in Florida. Soil Sci. 84:87-97.
122. Storey J., 1995, Notas del Texas Pecan Short Course. Texas A&M University.
123. Storey J., Smith M., Westfall P., Hanna J., Gass W., Henderson W., 1973, A new method to increase http://cahe.nmsu.edu/pubs_h/h-626.html. (Accesado Octubre, 2006)
124. Tarango R., 2015, Paquete Tecnológico para Nogal pecanero, INIFAP, Chihuahua, México.
125. Tarango R., Chávez S., 2011, Daño salino en nogal pecanero. INIFAP, folleto técnico #38, pag.4-5.
126. Tarango S., Macías A. Alarcón P., 2004, Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrimentos en nogal pecanero y pistachero. Agric. Téc. Méx. 30:191-203.
127. Tiffin L., Brown J., 1959, Absorption of Iron From Iron Chelate by Sunflower Roots. Science 130: 274-275
128. Tisdale S. y Nelson W., 1982, Fertilidad de los suelos y fertilizantes, primera edición en español, Pag.557, UnionTipografica Editorial Hispano Americana, S.A de C.V. Nueva York.

129. Vargas B., Calderón M., Pérez T., 2009, Effect of some nutrient deficiencies on lulo plants (*Solanum quitoense* var *quitoense*), ISSN 1900-4699, Páginas 64-81, Volumen 5, Número 1.
130. Vargas P., Arreola Á., 2008, Respuesta del nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch) a las aplicaciones foliares de nutrimentos, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. C.P. 35230. Bermejillo, Dgo.
131. Vasconcelos M., Grusak M., 2006, Status and future Developments Involving Plant Iron in Animal and Human Nutrition”, en BARTON, L. L. y ABADÍA, J. (eds): Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms, Springer, Dordrecht, The Netherlands,; pp. 1-22.
132. Villén M., Cartagena M., Bravo R., García M., Martín de la H., Lucena J., 2007, Comparison of two analytical methods for the evaluation of the complexed metal in fertilizers and the complexing capacity of complexing agents. *J. Agric. Food Chem.* 55:5746-5753
133. Vranova V., Rejsek K., Skene K., Janous D., Formanek P., 2013, Methods of collection of plant root exudates in relation to plant metabolism and purpose: a review. *J Plant Nutr Soil Sci.* 176, 175-199.
134. Wagner V, Hazel W, 2005, *carya illinoensis* Pecan. In R. E., *Biotechnology of fruit and nut crops*. CABI.
135. Wang Y., Huang J., Gao Y., 2012, Arbuscular mycorrhizal colonization alters subcellular distribution and chemical forms of

cadmium in *Medicago sativa* L. and resists cadmium toxicity. PLoS One 7: e48669. doi: 10.1371/journal.pone.0048669.

136. Wells M., Wood B., 2008, Foliar boron and nickel applications reduce water-stage fruit-split of pecan. HortScience, 43(5), 1437-1440.

137. Wood B., 2002, Late Nitrogen fertilization in pecan orchards. A review. Proceedings 36 th. Western Pecan Conference. Texas USA. pp. 47-59.

138. Yehuda Z., Hadar Y., Chen Y., 2003, Immobilized EDDHA and DFOB as iron carriers to cucumber plants. J. Plant Nutr. 26: 2043-2056.

139. Yunta F., López R., Lucena J., 2012, Thermodynamic Database Update to Model Synthetic Chelating Agents in Soil Systems, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid.

140. Zhang Y., Hu C., Tan Q., Zheng C., Gui H., Zeng W., Sun X., Zhao X., 2014, Plant nutrition status, yield and quality of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) under soil application of Fe-EDDHA and combination with zinc and manganese in calcareous soil, Scientia Horticulturae Volume 174, Pages 46-53

141. Zoppolo R., Fasiolo C., 2016, Análisis foliar en frutales: Herramienta de diagnóstico de alto retorno, Programa Nacional de Producción Frutícola.