inifap

Daño salino en nogal pecanero



CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO

CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS

Daño salino en nogal pecanero

¹Socorro Héctor Tarango Rivero y ²Noé Chávez Sánchez

M.C. Investigador en ¹Nogal pecanero y ²Fertilidad de suelos Campo Experimental Delicias-INIFAP



Folleto técnico No. 38 • 2011

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario
Lic. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura
Ing. Antonio Ruiz García
Subsecretario de Desarrollo Rural
Lic. Pedro Adalberto González Hernández
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos

Director General
Ing. Arturo Cruz Vázquez

Coordinador de Planeación y Desarrollo
Dr. Salvador Fernández Rivera

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación
Lic. Marcial A. García Morteo

Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

Dr. Homero Salinas González

Director Regional

Dr. Uriel Figueroa Viramontes

Director de Investigación

M.C. Manuel Gustavo Chávez Ruíz

Director de Coordinación y Vinculación Chihuahua

CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS

Dr. Jesús Arturo Payán García Jefe de Campo

Campo Experimental Delicias, 2011 km 2 carretera Delicias-Rosales Apartado postal 81 Cd. Delicias, Chihuahua, México, CP 33000 Tel. 01(639) 472-19-74 www.inifap.chihuahua.gob.mx

Contenido

| 1. Introducción |
|--|
| 2. Salinidad y sodicidad |
| 2.1. Clasificación salina |
| 3. Agua |
| 3.1. Agua y salinidad |
| 3.2. Nogal pecanero y agual |
| 4. Efecto de la salinidad en las plantas |
| 5. Metodología |
| 6. Resultados |
| 6.1. En nogales jóvenes |
| 6.1.1. Salinidad en agua |
| 6.1.2. Salinidad en suelo |
| 6.1.3. Crecimiento y área foliar |
| 6.1.4. Daño en tejido foliar |
| 6.1.5. Rendimiento |
| 6.1.6. Estado nutrimental |
| 6.1.7. Condición invernal |
| 6.2. Nogales adultos |
| 6.2.1. Salinidad en agua |
| 6.2.2. Salinidad en suelo2 |
| 6.2.3. lones salinos en follaje |
| 6.2.4. Área foliar y crecimiento de brote3 |
| 6.2.5. Calidad de fruto |
| 6.3. Mitigación de la salinidad3 |
| 7. Conclusiones |
| AGRADECIMIENTOS4 |
| 8. Literatura citada4 |

DAÑO SALINO EN NOGAL PECANERO

1. Introducción

En el norte de México, las regiones donde se cultiva el nogal pecanero *Carya illinoinensis* están expuestas a la salinidad, por sus condiciones climáticas, origen de los suelos y la calidad de las aguas para riego. En las áreas semiáridas la irrigación aporta cantidades variables de sales, según la calidad del agua; luego la evapotranspiración del agua en ciclos repetidos entre riegos causa un aumento progresivo en la concentración salina del suelo (Malstrom 1982).

En el estado de Chihuahua ya son comunes las nogaleras donde la salinidad del suelo y/o del agua es una causa principal de baja productividad. Es importante establecer que el nogal en producción es sensible a la salinidad; esta condición ocasiona un deterioro gradual del crecimiento y desarrollo de los árboles, con o sin daño aparente en las hojas (Miyamoto 2004).

Este trabajo es un estudio de casos, que documenta el daño por sales en nogal pecanero en condiciones que ya existen en las huertas en el centro-sur de Chihuahua. La disponibilidad de agua pronosticada para el corto plazo (año 2030), el deterioro de su calidad y los efectos críticos de la salinidad en este frutal, sugieren que este fenómeno ecofisiológico deberá ser estudiado y atendido puntualmente.

2. Salinidad y sodicidad

En una huerta la concentración de sales arriba del nivel de tolerancia por los nogales puede ocurrir en el agua de riego, en el suelo o en ambos. Para entender su efecto en los árboles y las prácticas de manejo (mitigación) respectivas es clave distinguir dos conceptos: salinidad y sodicidad.

Salinidad: acumulación de sales solubles neutras en el suelo a una concentración que afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las sales comunes son cloruros y sulfatos de sodio (Na), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Dichas sales pueden ser lavadas del suelo, cuyo pH apenas cambia (Buckman y Brady 1977).

Sodicidad (o alcalinidad): condición del suelo con alto contenido de sodio intercambiable, pero bajo de sales neutras solubles. La sal común es el carbonato de sodio y el daño a las plantas ocurre por la toxicidad tanto del sodio como de los iones hidróxido (OH⁻). La recuperación de suelos sódicos incluye la aplicación de 'mejoradores' y el lavado (Buckman y Brady 1977).

Los cationes y aniones solubles que comúnmente se encuentran en los suelos (y aguas) salinos y alcalinos son calcio, magnesio, sodio, potasio (K⁺), carbonatos (CO₃⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻), sulfatos (SO₄)²⁻ y cloruros (Cl⁻). Las sales más típicas son cloruro de sodio (NaCl),

sulfato de sodio (Na₂SO₄), cloruro de calcio (CaCl₂), sulfato de calcio (CaSO₄), cloruro de magnesio (MgCl₂), sulfato de magnesio (MgSO₄) y carbonato de sodio (Na₂CO₃) (Richards 1985, Malstrom 1982).

2.1. Clasificación salina

La conductividad eléctrica (CE) es una manera de medir la salinidad de una solución. En el suelo, cuando en el extracto la CE es menor de 2 dS/m se clasifica libre de sales, con CE de 2-4 dS/m es ligeramente salino, con CE de 4-8 dS/m es medianamente salino, con CE de 8-16 dS/m es fuertemente salino y con CE mayor de 16 dS/m es muy fuertemente salino (Cihacek 1985).

También en el extracto del suelo, cuando el porciento de sodio intercambiable (PSI) es menor de 7 se clasifica libre de sodio, con PSI de 7-15 ligeramente sódico, con PSI de 15-20 medianamente sódico, con PSI de 20-30 fuertemente sódico y con PSI mayor de 30 muy fuertemente afectado por sodio (Pizarro 1978).

De acuerdo con Richards (1985), el agua para riego se clasifica según diferentes parámetros:

- Por conductividad eléctrica: baja salinidad (C1) de 0-0.25 dS/m, salinidad media (C2) de 0.26-0.75 dS/m, salinidad alta (C3) de 0.76-2.25 dS/m, y salinidad muy alta (C4) de 2.26 dS/m en adelante.
- Por relación de adsorción de sodio (RAS): con poco sodio (S1) RAS de 0-10, con contenido medio de sodio (S2) RAS de 11-18, con alto contenido de sodio (S3) RAS de 19-26 y con muy alto contenido de sodio (S4) RAS de 27 en adelante. La RAS es la cantidad relativa de Na en comparación a Ca + Mg.
- Por salinidad efectiva: clase buena, menos de 3 me/L de sólidos disueltos; clase condicionada, de 3 a 15 me/L; y clase no recomendable, más de 15.0 me/L.
- Por contenido de cloruros: clase buena, menos de 1.0 me/L; clase condicionada, de 1.0 a 5.0 me/L; y clase no recomendable, más de 5.0 me/L.
- Por contenido de boro: clase buena, menos de 0.3 ppm; clase condicionada, de 0.5 a 4.0 ppm; y clase no recomendable, más de 4.0 ppm.

3. Agua

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, en el norte de México el grado de presión sobre el recurso agua es «fuerte». Para el año 2030 se estima que la disponibilidad natural media de agua (DNMA) será apenas de 907 m³/persona/año, calificada como «escasez grave». En promedio, del año 2006 al 2030 la DNMA disminuirá en 45% (figura 1). El agotamiento de

las reservas de agua subterránea en el norte y centro del país es muy acelerado y ocurre con una tasa anual de 8'000,000,000 m³, situación que se agrava por la pérdida de las zonas de recarga debido a la destrucción de los bosques y al cambio de uso del suelo (CNA 2006, 2007, 2010).

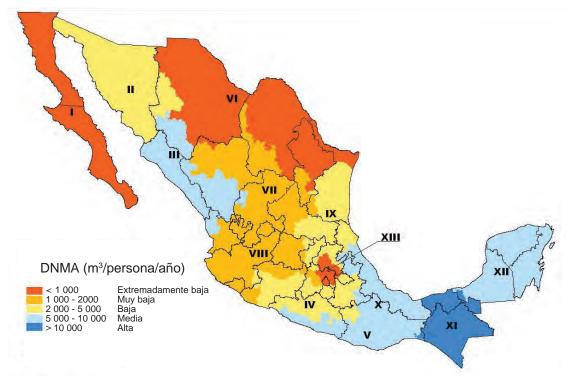


Figura 1. Prospectiva de la disponibilidad natural media de agua per cápita (DNMA) en México para el año 2030. En Chihuahua la escasez será muy severa (CNA 2006, 2007).

En Chihuahua el usufructo del agua de pozos, presas y ríos es tan irracional que el estado se encuentra con «problemas severos de escasez, sobreexplotación y contaminación de agua» (CNA 1997). Ya en el año 2008 la entidad tenía un 35% menos de agua renovable necesaria per cápita, lo cual la clasifica como «región en estrés hídrico» (CNA 2010).

En el árido estado de Chihuahua se irrigan más de 732,000 ha (INEGI 2010) y la apertura de nuevas tierras sigue sin planeación alguna. La agricultura consume el 89% del agua disponible en la entidad, de la cual el 64% proviene de los acuíferos (CNA 2010). Por su parte, de la superficie plantada con nogales el 52% se riega con agua de pozo profundo (Hernández 2003). El agotamiento de los acuíferos de las principales regiones nogaleras de Chihuahua es acelerado, como se ilustra en el cuadro 1.

Es muy importante entender que las reservas de agua subterránea dulce son estratégicas para el futuro de las sociedades humanas (Kidd 2002, Glennon 2005) y para la producción de cultivos alimenticios, la mayoría de los cuales son sensibles a la salinidad (Miyamoto 2004).

Cuadro 1. Situación de los acuíferos y calidad de su agua en regiones nogaleras del estado de Chihuahua.

| Acuífero | Abatimiento | Sobreexplotación | Agua salina |
|------------------|-------------|------------------|-------------|
| Acanero | m/año | (%) | (%)* |
| Jiménez-Camargo | 2.5 | 50 | 22 |
| Meoqui-Delicias | 4.2 | 56 | 48 |
| Flores Magón-VA | _ | 37 | 7 |
| Buenaventura | _ | 56 | _ |
| Casas Grandes | <u> </u> | 14 | |
| Aldama-Tabalaopa | _ | 19 | 7 |

Adaptado de: Peña et al. (2005), Royo et al. (2007), CNA (2007),

Amado et al. (2007).

Con excepción de La Boquilla, las presas en Chihuahua son pequeñas. Además, la cantidad de agua almacenada presenta una variabilidad muy alta entre años (Ortega et al. 2006). También, los embalses operan con un fuerte desbalance entre el volumen sustentable y el concesionado para riego (Rendón 2006). Hay dos problemas que disminuyen la capacidad real de almacenamiento: la gran evaporación del agua en los vasos (cuadro 2) y el azolvamiento, que además reduce la vida útil de las presas. La CONAGUA reconoce que hay un problema de azolve en las presas, pero no tiene datos actuales de su magnitud (CNA 1997, Kelly 2001).

Cuadro 2. Almacenamiento y pérdida de agua por evaporación y azolvamiento de los embalses en regiones nogaleras del estado de Chihuahua.

| Presa | Almacén | Evaporación | Azolvamiento |
|------------------|---------|-------------|--------------|
| Fiesa | (Mm³) | anual (%) | (%) |
| La Boquilla | 2,903 | 25 | ? |
| Las Vírgenes | 348 | 10 | ? |
| El Granero | 356 | 5 | ? |
| San Gabriel + PA | 305 | _ | ? |
| El Tintero | 138 | 13 | ? |
| Las Lajas | 90 | _ | ? |

Adaptado de: CNA (1997, 2007). Mm³= millones de metros cúbicos.

De manera crítica, la apropiación de los escurrimientos de los ríos y sus tributarios a lo largo de las cuencas del Río Conchos y Río San Pedro, es causa de afectación de los hábitats ribereños y de menor llegada de agua a las presas y a los consumidores ríos abajo, sobre todo en años de lluvia escasa (Guzmán et al. 2007).

^{*}Proporción de pozos analizados.

A lo anterior hay que agregar las pérdidas de agua por conducción, que en la red hidroagrícola del Distrito de Riego 05 son del 38% (Peña et al. 2005). Este panorama sugiere que la disponibilidad de agua superficial a corto-mediano plazo será crítica, aunque ya se ven sus efectos: la superficie irrigada con agua de presa está disminuyendo (Olvera y Montiel 2005).

En suma, y aunado al deterioro de sus bosques, el estado de Chihuahua enfrentará una crisis en la disponibilidad de agua en el futuro inmediato. Con este escenario la gestión del agua deberá ser muy eficaz, según lo plantea la propia CONAGUA (CNA 2010). Más aún, el tema del agua es tan estratégico para el estado que debe ser tratado con un alto nivel de ética y responsabilidad social.

3.1. Agua y salinidad

En el Desierto Chihuahuense son muy comunes los depósitos minerales de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. El drenaje interno de las cuencas provee un hábitat salino, lo cual junto con una evaporación y un consumo altos causan salinización del agua superficial y subterránea (Roberts 1989). Por otro lado, las sequías recurrentes en el norte de México acentúan la salinidad en las fuentes de agua (Miyamoto 2003).

La sobreexplotación del agua subterránea causa el agotamiento de los acuíferos, pero además el aumento de su salinidad (Kidd 2002, CNA 2006). La escasez de agua y su contaminación salina (incluidos el arsénico, cadmio y plomo) tienen consecuencias muy detrimentales para los sistemas biológicos que sustentan (CNA 1997, Calderón 2006). En este contexto, la disponibilidad será menor y la salinidad mayor en los acuíferos de las regiones nogaleras (cuadro 1).

Por su parte, los ríos Conchos, Florido y San Pedro tienen problemas de salinización debido al vertido de drenajes urbanos y agrícolas y la sobreexplotación de su caudal. Además de sales solubles y diversos contaminantes orgánicos, en varios tramos los ríos tienen una concentración de metales pesados mayor que la permitida por las normas nacionales. Esta condición afecta a la flora y fauna ribereñas y a los suelos agrícolas que se irrigan con sus aguas (CNA 1997, Gutiérrez et al. 2007).

3.2. Nogal pecanero y agua

Este frutal es de muy alto consumo de agua. Para producir 1 kg de nueces un nogal necesita 7,500 L de agua (Valdez 2001), 1 kg de manzanas se produce con 1,600 L (Ortiz et al. 2004), 1 kg de huevo con 3,300 L, 1 kg de trigo con 1,300 L y 1 kg de maíz con 900 L (Hoekstra y Chapagain 2008). La exigencia de agua por las nogaleras se incrementa fuertemente debido a que un porcentaje alto de productores sobreirriga un 30 a 42% más de lo requerido por los árboles, y aplican de 1.82 m a 2.0 m de lámina neta anual (Godoy et al. 2004).

Considerando la estadística oficial y datos de los principales viveros del país, en el estado de Chihuahua puede haber 60,000 ha plantadas con nogales. Si esa superficie se matuviera para el año 2020, con una lámina de riego eficiente de 1.4 m/ha (Valdez 2001) y 8,000 L/ha de agua para la aspersión de nutrimentos y plaguicidas, dichos nogales demandarían una cantidad de 840'480,000 m³/año de agua, aproximadamente. No obstante, con la lámina media de riego que realmente usan los productores de 1.82 m, los nogales del estado consumirían 1'092,480,000 m³ agua/año.

Para el 2020 se pronostica que en el estado de Chihuahua habría 3'674,000 habitantes (CNP 2010), y el consumo promedio de agua sería de 300 L/día/persona (CNA 2007). Con tales datos la población de la entidad requeriría por lo menos 401'200,800 m³ agua/año. Esto es, las nogaleras consumirían más del doble de agua que todos los chihuahuenses.

Además, debe tomarse muy en cuenta la demanda de agua para otros cultivos, particularmente los que producen alimentos de consumo directo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la productividad de dichos cultivos es estratégica para la seguridad alimentaria de los países en el futuro mediato (FAO 2003).

Con tal escenario de consumo y disponibilidad de agua el punto es: ¿cuánta superficie de nogales puede cultivarse en el estado de Chihuahua sustentablemente para el año 2020, 2050 o 2100?.

4. Efecto de la salinidad en las plantas

La mayoría de los árboles frutales se clasifica como sensible a la salinidad. El daño por un exceso de sales solubles en el suelo se debe a: 1) disminución de la absorción de agua por las raíces, 2) efecto específico (toxicidad) de los iones salinos en cualquier órgano de la planta, 3) una combinación de ambos. El primer efecto causa disminución del crecimiento de la raíz, brotes, hojas y frutos. El segundo ocasiona clorosis y necrosis en las hojas e/o induce carencias nutrimentales; ambos reducen la productividad fisiológica de los cultivos (Levitt 1980, Marschner 1986).

El déficit hídrico en la planta reduce la apertura de estomas y el intercambio de CO₂; también aumenta la tasa respiratoria de la raíz y su consumo de carbohidratos. De manera importante, la fotosíntesis neta disminuye en proporción inversa a la concentración salina en el suelo (Greenway y Munns 1980).

En condiciones de campo la exposición de las plantas perennes a la salinidad es por largo tiempo, por lo que sufren simultáneamente déficit de agua, toxicidad y desbalance de nutrimentos (Marschner 1986). Dichos efectos son incrementados cuando la humedad ambiente es baja y la temperatura y luminosidad son altas (Hale y Orcutt 1987), como ocurre en las regiones nogaleras de Chihuahua.

En el nogal pecanero los síntomas por afectación salina son similares a los de falta de agua, debido a que la salinidad reduce la absorción de agua por las raíces (Kilby 2002). El daño causado por exceso de sales en este frutal puede variar de quemadura de la punta del foliolo a la muerte del árbol (Miyamoto et al. 1985).

Cuando el daño salino es por más tiempo y/o más intenso, los síntomas son más típicos: la brotación se retrasa hasta una semana, los brotes y las hojas crecen de manera lenta y su tamaño final es menor, el ápice y el margen de los foliolos se necrosan, la nuez es más pequeña y aumenta el ruezno pegado, y la defoliación ocurre más temprano. Esta condición fisiológica a través de los años causa el deterioro del nogal y baja sustancialmente su crecimiento y productividad (Malstrom 1982, Miyamoto 1990, 2003).

Las causas de la salinidad del suelo en huertas de nogal son uso de agua salina, inadecuada permeabilidad del suelo y/o un manto freático elevado. La acumulación de sal en un suelo irrigado de regiones semiáridas es un proceso lento, que requiere de un largo periodo (15 a 20 años) para alcanzar un nivel de daño, y cuando continúa causa la muerte de los nogales (Miyamoto 1990, 2003).

5. Metodología

El trabajo se realizó durante 2008, 2009 y 2010 en las áreas nogaleras de Camargo, Jiménez, Julimes, Meoqui y Saucillo (Chihuahua). Se hizo una búsqueda de nogaleras con problemas documentados de salinidad, que cumplieran los siguientes requisitos: a) clima y suelo adecuados, b) manejo tecnificado (con asesor técnico) y c) con datos de rendimiento y de análisis de agua-planta-suelo de laboratorios confiables. Una vez ubicada la huerta con las características citadas, se localizó otra nogalera de la misma edad sin problemas de salinidad y con los mismos criterios ambiental y de manejo.

Mediante la rutina de 'minería de datos' se recolectó la información de manejo, rendimiento, estado nutrimental, análisis de agua y suelo y datos sobre calidad del invierno. Se conjuntaron datos de los archivos de los productores, de los laboratorios UNIFRUT y FACIATEC-UACH y de la oficina de CONAGUA del DDR 05. La información se completó con análisis de agua, foliares y de suelo, ex-profeso para los datos faltantes. El análisis se hizo según un diseño experimental completamente aleatorizado y una prueba de t, con el paquete estadístico SAS 8.2 (SAS Institute 2001).

Se seleccionaron las siguientes huertas: 1) La Florida, localizada en Camargo, Chihuahua; fue plantada en 1996, con la variedad Western sobre patrones criollos de semilla. Está en un suelo migajón areno arcilloso; los primeros 10 años se regó por microaspersión, los últimos tres con goteo enterrado. Se irriga con agua de pozo profundo. 2) Trincheras, ubicada en Saucillo, Chihuahua; fue plantada en 1996, con la variedad Western sobre patrones

criollos de semilla. Está en un suelo areno migajonoso; los primeros 11 años se regó por microaspersión, los últimos dos con aspersión. Se irriga con agua de pozo y de la presa La Boquilla. En cuanto a fertilización, en los últimos tres años la dosis de N fue 80-100, de P 10-15 y de K 20, kg/ha respectivamente, usando como fuente urea, ácido fosfórico y nitrato de potasio. Dicha dosis se fraccionó en siete aplicaciones, las cuales se hicieron según la fenología del nogal (Tarango 2006).

Las variables altura de árbol y área foliar específica (AFE) se midieron con un muestreo al azar. Para la primera se tomaron 15 repeticiones (nogales) por huerta. Para la segunda se escogieron 10 árboles, en cada árbol un brote fructífero en el ecuador de la copa en los cuadrantes este, sur y oeste; en el brote se seleccionó la hoja intermedia y en ésta el foliolo medio. El AFE se estimó con la ecuación Y=1.56+0.62X (r²=0.98), donde Y= área foliar en cm² y X= largo por ancho del foliolo en cm (Medina 1993). Del año 2004 al 2009 se midió la longitud del brote fructífero a finales de junio, en 10 nogales, un brote por cada cuadrante a 1.5 m de altura.

Se definió para ambas huertas la calidad del invierno en los años 2004-09, caracterizado por las horas-frío acumuladas y la fecha y la temperatura de la última helada de primavera. El cálculo de horas-frío se hizo con el método de F.S. da Mota, con datos de las estaciones climatológicas Delicias y Camargo de la CONAGUA.

Un segundo trabajo se realizó en huertas con árboles más viejos (>30 años de edad). Se escogieron dos nogaleras, una en la vega del Río San Pedro (Huerta Pita), que se irriga con agua de pozo; y otra en la vega del Río Conchos (Santa Rosa), que se irriga con escurrimientos del río. En esta segunda huerta, una parte fue inundada por la creciente del año 2008, quedando el suelo lavado de sales. Por la fisiografía y textura de sus suelos y el agua que usan hay tres condiciones de árboles bien definidas: con ligero, intermedio y fuerte daño salino. Como testigo se usó una huerta vecina que riega con agua de la presa Las Vírgenes. Se midieron las variables crecimiento de brote, área foliar específica, tamaño y calidad de nuez, concentración foliar de iones salinos y salinidad en agua y suelo. Los análisis químicos se hicieron en el laboratorio de UNIFRUT.

6. Resultados

6.1. En nogales jóvenes

Se analizan y discuten la condición química del agua y del suelo, su efecto en el crecimiento, producción y nutrición de los árboles y la calidad del invierno previo. Aparentemente, los nogales jóvenes y con crecimiento vigoroso diluyen un tanto los efectos de la salinidad.

6.1.1. Salinidad en agua

En las regiones agrícolas semiáridas el agua de riego es una fuente importante de sales, las cuales pueden llegar a afectar los suelos y los cultivos (Malstrom 1982). Para que las nogaleras sean productivas, Miyamoto (2002) propone que con riego superficial y suelos bien drenados la salinidad del agua no debe exceder 1 dSm/m si la textura es arcillosa, debe ser de 1-2 dSm/m para irrigar suelos migajonosos, y con 2-2.5 dSm/m puede usarse si la textura es arenosa. En cualquier caso, cuando la CE del agua es mayor de 1.5 dSm/m deben implementarse en las huertas medidas de prevención de la acumulación salina.

En La Florida, durante los 14 años de vida de sus nogales el agua usada para regar ha sido 'muy altamente salina' (cuadro 3). La salinidad (CE) es tan alta que dicha agua se considera 'no apta' para el riego agrícola (Richards 1985). La CE promedio es 2.4 veces mayor que el límite máximo deseable para texturas migajonosas. Así, es evidente que la salinización del suelo de esta huerta se debe al agua y que el proceso continuará mientras se use la misma fuente.

En la huerta Trincheras se alternan dos riegos con agua de la presa La Boquilla y uno con agua de pozo profundo. El agua de la presa es de primera calidad, muy baja en sales y en sodio (cuadro 3). Aun cuando el agua del pozo se clasifica C3 (altamente salina) su CE promedio es de 1.12 dS/m, un 50% menos que el límite máximo de dicha clasificación y un 76% menor al promedio del agua de La Florida. En Trincheras, el riego combinado con agua de muy buena (presa) y buena (pozo) calidad hace que el aporte de sales al suelo sea bajo; además, la textura arenosa de su suelo permite que las sales sean desplazadas más abajo de la zona principal de raíces alimentadoras de los nogales (Brison 1976, Miyamoto 2003).

Cuadro 3. Clasificación del agua de riego por salinidad en las huertas La Florida y Trincheras.

| Año | CE (dS/m) | RAS | Clasificación | |
|--------|-------------------------|--------|---------------|--|
| | La Flo | orida¹ | | |
| 1996 | 4.70 | 3.9 | C4S2 | |
| 2002 | 3.58 | 1.9 | C4S1 | |
| 2007 | 5.05 | 2.0 | C5S1 | |
| 2008 | 6.75 | 3.4 | C5S2 | |
| 2009 | 3.85 | 2.4 | C4S1 | |
| | Trincheras ² | | | |
| 1997*3 | 0.24 | 0.4 | C1S1 | |
| 2001** | 0.97 | 3.5 | C3S1 | |
| 2003** | 1.28 | 3.5 | C3S1 | |
| 2005* | 0.24 | 0.4 | C1S1 | |
| 2007* | 0.18 | 1.4 | C1S1 | |

¹De pozo.

²Dos fuentes de agua: *presa La Boquilla y **pozo.

³Gutiérrez y Carreón (2004).

Por su parte, el sodio en el agua de riego puede afectar la estructura del suelo. En texturas arcillosas esto ocurre cuando la RAS es de 3 o menos, en suelos migajonosos el límite de la RAS es 8 y cuando la textura es arenosa puede tolerar hasta 10. Los suelos de regiones semiáridas con alto contenido de carbonato de calcio son más resistentes a la defloculación por Na (Miyamoto 2002).

Una atenuante en La Florida es que el contenido relativo de sodio (RAS) es bajo, en promedio un 65% menor que el límite para suelos de textura media; además, la variable se ha mantenido más o menos estable durante los años analizados (cuadro 3), por lo cual el riesgo de sodicidad es menor. El agua con que se irriga en la huerta Trincheras es aún más baja en RAS.

La tolerancia de las plantas al ion bicarbonato (HCO₃-) difiere notablemente entre especies; éste causa toxicidad y reduce la absorción de algunos nutrimentos aun a baja concentración osmótica (Richards 1985). Para cultivos en general, el HCO₃- comienza a causar daño cuando el agua contiene 1.5 me/L (Ayers y Wescot 1989). Para el nogal pecanero, Miyamoto (1990) sugiere que el daño comienza a partir de 2.5 me/L. En La Florida, la concentración de este ion con potencial de daño salino 'específico' es muy alta en todos los años (cuadro 4). En Trincheras su concentración es alta en el agua de pozo, pero en el agua de la presa es menor que el límite mínimo, por lo que el aporte final de este ion al suelo resulta diluido.

Cuadro 4. Concentración de iones salinos en el agua de riego de las huertas La Florida y Trincheras.

| Año | me/L | | | |
|--------|-------------------------|--------------------|----------|--|
| | Bicarbonatos | Cloruros | Sulfatos | |
| | La Fl | orida ¹ | | |
| 1996 | 5.0 | 8.7 | 21.6 | |
| 2002 | 4.2 | 7.5 | 33.2 | |
| 2007 | 4.6 | 9.1 | 38.0 | |
| 2008 | 4.7 | 8.2 | 94.7 | |
| 2009 | 3.4 | 5.2 | 38.7 | |
| | Trincheras ² | | | |
| 2001** | 3.2 | 2.8 | 3.6 | |
| 2003** | 3.7 | 1.6 | 2.8 | |
| 2005* | 0.8 | 0.2 | 1.3 | |
| 2007* | 1.1 | 0.1 | 0.9 | |

¹De pozo.

²Dos fuentes de agua: *presa La Boquilla y **pozo.

El agua de riego es una fuente importante de cloruros (Cl⁻) y de su concentración depende el grado de acumulación de éstos en el suelo (Brison 1976). El ion Cl⁻ es muy móvil en el suelo y es fácilmente absorbido por las plantas (Mengel y Kirkby 1979). Aguas con menos de 2 me/L de Cl⁻ (70 ppm) generalmente son seguras para todas las plantas; con 2-4 me/L (70-140 ppm) las plantas sensibles presentan daño ligero o moderado (Stromberg 1980). Un alto contenido de cloruros en el agua causa a los nogales un daño foliar específico, y el ion se acumula primero en las hojas maduras (Miyamoto et al. 1985).

En La Florida, en todos los análisis los cloruros superan los 5 me/L, por lo que el agua se clasifica como «no recomendable» por dicha variable (Richards 1985); en tal condición su uso causa problemas a los árboles, como la fuerte clorosis y moderada necrosis del margen de los foliolos a mediados del verano. En Trincheras, el agua de la presa tiene un contenido de Cl⁻ muy por debajo del límite mínimo y el agua del pozo apenas entra en la clase «condicionada»; así, el aporte de cloruros también se diluye en esta huerta (cuadro 4).

Las plantas son poco sensibles a altas concentraciones de sulfato (SO₄-) en el medio de la raíz. Aparentemente el SO₄- causa más daño por el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo que por toxicidad específica (Mengel y Kirkby 1979). Un exceso de SO₄- limita la absorción de calcio y aumenta la de sodio y potasio, y sólo causa un pequeño incremento en el contenido de azufre en las hojas (Richards 1985). Según Moya (1998), los cultivos sensibles son afectados cuando el agua de riego tiene 30 me/L de sulfatos y los tolerantes cuando el ion alcanza 45 me/L. En La Florida el agua de su pozo es demasiado azufrosa (cuadro 4), lo cual favorece la salinización de su suelo. En la Huerta Trincheras los sulfatos también son muy bajos en el agua.

En cuanto al boro (B), sólo se tiene un análisis (año 2008) del agua de La Florida y uno del agua de La Boquilla (año 2007), y en ambos casos la concentración del elemento es 0.5 ppm. En nogal pecanero, cuando el agua de riego tiene más de 1 ppm de B aparecen en el margen de los foliolos unas manchas cafés; a mediados del verano puede necrosarse todo el borde del foliolo (Miyamoto 2002).

6.1.2. Salinidad en suelo

El clima, el origen del suelo, su drenaje interno, la calidad del agua de riego y el manejo de éste determinan el grado de acumulación salina en las nogaleras (Malstrom 1982). El nogal resulta afectado en su crecimiento y producción cuando el suelo es salino (Miyamoto 1990).

En La Florida, en los años 2000 y 2006 el suelo se clasifica como 'ligeramente salino', mientras que en 1996, 2008 y 2009 como 'medianamente salino' (cuadro 5). Desde su plantación los nogales de esta huerta han desarrollado en una condición de estrés salino severo, pues su CE promedio supera en 47% el umbral de afectación de 2.5 dS/m. En la huerta Trincheras el suelo está libre de acumulación salina en todos los años analizados.

La toxicidad por sodio está relacionada con bajos niveles de calcio en suelos salinos o con altas relaciones Na/Ca en combinación con pobre aireación del suelo (Marschner 1986). El Na edáfico puede ejercer efectos secundarios sobre el desarrollo vegetal, y el aumento de Na intercambiable disminuye la acumulación de calcio, magnesio y potasio en las plantas (Richards 1985). En nogal pecanero, el sodio causa una reducción significativa del crecimiento cuando en el suelo hay 590 ppm del elemento (Miyamoto 1990). En La Florida el Na ha estado arriba de 440 ppm durante los últimos nueve años, una condición de 'presodicidad'. En la huerta Trincheras este elemento está muy por debajo del nivel de afectación.

Cuadro 5. Condición de la salinidad del suelo en las huertas La Florida y Trincheras.

| Año | CE (dS/m) | Sodio (ppm) | Cloruros (ppm) | |
|------|------------|-------------|----------------|--|
| | La Fl | orida | La Florida | |
| 1996 | 5.30 | _ | _ | |
| 2000 | 3.51 | 514 | _ | |
| 2006 | 3.23 | 441 | _ | |
| 2008 | 5.87 | 445 | 904 | |
| 2009 | 5.25 | 472 | 556 | |
| | Trincheras | | | |
| 2000 | 1.06 | 275 | 187 | |
| 2004 | 0.86 | 195 | _ | |
| 2005 | 0.91 | 360 | _ | |
| 2006 | 0.83 | 200 | | |
| 2009 | 0.74 | 56 | 189 | |

El ion cloruro no es adsorbido en el suelo, donde es muy móvil y se pierde fácilmente por lixiviación (Mengel y Kirkby 1979). Sin embargo, la acumulación ocurre cuando se riega con agua alta en Cl⁻ y el suelo tiene un drenaje deficiente (Stromberg 1980). Altos niveles de Cl⁻ en tierras calcáreas disminuyen la disponibilidad de fósforo y nitrógeno (Richards 1985). En muchos frutales la inhibición del crecimiento ocurre a muy bajos niveles de salinización por cloruros (Marschner 1986). En nogales jóvenes la disminución del crecimiento de raíz y tallo ocurre a una baja concentración de Cl⁻ en el suelo, a la cual no se detecta daño foliar (Miyamoto et al. 1985).

En nogal pecanero ocurre quemadura marginal del foliolo a partir de 200 ppm de Cl⁻ en el suelo (Brison 1976). En La Florida, los cloruros son un problema desde 1994, cuando en promedio había 612 ppm. En 2008 la concentración promedio del perfil 0-60 cm del suelo alcanza 450% más Cl⁻ que el límite máximo de tolerancia, y en 2009 un 280% más (cuadro 5). En esta condición, los foliolos de la variedad Western exhiben una clorosis y necrosis tan severas que afectan sustancialmente su capacidad fotosintética. En la huerta Trincheras los

Cl⁻ se encuentran abajo de la concentración de daño inicial, por lo que sus foliolos permanecen sanos y funcionales.

6.1.3. Crecimiento y área foliar

Una condición de salinidad en el agua de riego y/o en el suelo afecta el crecimiento de las plantas sensibles (Levitt 1980, Marschner 1986). El crecimiento de un nogal pecanero adulto empieza a ser afectado cuando la CE del suelo es de 2.5 dS/m y disminuye sustancialmente con 3.0 dS/m (Miyamoto et al. 1986). El tamaño de un nogal se correlaciona con su rendimiento de nueces, pues entre más grande es tiene mayor densidad de brotes potencialmente fructíferos (Malstrom y Sparks 1973).

En La Florida, donde la salinidad promedio del suelo es CE= 4.63 dS/m, la altura media de los nogales es 36% menor que en la huerta Trincheras, cuya CE edáfica es de 0.88 dS/m; la diferencia es altamente significativa (cuadro 6). Esto es, el estrés salino de largo plazo afecta fuertemente el tamaño total de los árboles. Al respecto, Miyamoto et al. (1986) encontraron que cuando la CE del suelo se mantiene en 4.5 dS/m por cuatro años el crecimiento total de los nogales disminuye un 18%.

Cuadro 6. Altura y área foliar específica de nogales Western en huertas con y sin salinidad del suelo. Año 2009.

| 11 | Variable | | |
|------------|------------|-------------------|--|
| Huerta | Altura (m) | Área foliar (cm²) | |
| La Florida | 5.02 | 19.4 | |
| Trincheras | 7.89 | 26.2 | |
| Pr>F | 0.0001 | 0.0001 | |

El nogal pecanero es un árbol de alta eficiencia fotosintética, para lo cual demanda que sus hojas estén sanas y bien iluminadas por la luz solar (Wood 2001). De manera importante, el tamaño de la hoja se relaciona directamente con la fotosíntesis neta (Rom 1994). Por lo tanto, el área foliar es un buen indicador de la productividad fisiológica de un árbol caducifolio (Barden 1977).

En La Florida la condición de salinidad permanente de su suelo causa que el tamaño de los foliolos se reduzca sustancialmente, siendo su área 26% menor que en los árboles sin daño salino de la huerta Trincheras (cuadro 6). Por su parte, Miyamoto et al. (1986) determinaron que cuando la CE del suelo se mantiene en 4.5 dS/m por cuatro años el área foliar de los nogales disminuye en 26%. Esta reducción del área fotosintética hace que los árboles produzcan menos carbohidratos y proteínas, lo que se traduce en menor diferenciación

floral (Lockwood y Sparks 1978, Wood 1991, 2002). Esta puede ser una causa mayor de los bajos rendimientos en la huerta La Florida.

Por su parte, en la mayoría de los años la longitud del brote fructífero fue menor en los árboles de La Florida, y aunque no hay diferencia estadística la reducción promedio es de 22% en los últimos seis años, en comparación con los brotes de la huerta Trincheras (cuadro 7). Miyamoto et al. (1986) encontraron que cuando la CE del suelo se mantiene en 4.5 dS/m por cuatro años el crecimiento acumulado de los brotes se reduce en 24%. La afectación de esta variable por la salinidad es importante, dado que en nogales adultos la longitud del brote fructífero determina la productividad del árbol, pues a mayor vigor más hojas y flores son formadas, más frutos son amarrados y sus almendras mejor llenadas (Sparks y Heath 1972).

Cuadro 7. Longitud del brote fructífero (LBF) de nogales Western en huertas con y sin salinidad del suelo en seis años.

| Año | LBF (cm) | | |
|----------|------------|------------|--|
| Allo | La Florida | Trincheras | |
| 2004 | 14.1 | 16.7 | |
| 2005 | 12.7 | 19.3 | |
| 2006 | 8.2 | 12.7 | |
| 2007 | 10.8 | 8.9 | |
| 2008 | 11.5 | 16.4 | |
| 2009 | 14.2 | 18.2 | |
| Promedio | 11.9 | 15.3 | |
| Pr>F | 0.089 | | |

6.1.4. Daño en tejido foliar

Adicionalmente a la fuerte reducción del área foliar específica, los foliolos de nogales con estrés salino (La Florida) exhiben una clorosis marginal que progresa hacia el centro conforme avanza la temporada, seguida de una necrosis que muestra el mismo patrón (foto 1). En septiembre de 2009, la concentración de cloruros fue 3,014 ppm (muy alta), la de sodio 280 ppm (normal) y la de boro 218 ppm (normal), tomando en cuenta la concentración a la que comienza el daño foliar de 2,000, 1,000 y 400 ppm, respectivamente (Kilby y Mielke 1982). Los nogales absorben fácilmente el ion Cl⁻ del suelo y cuando se acumula en exceso causa necrosis ('quemadura') del ápice y margen del foliolo (Miyamoto 1990).

En cambio, los foliolos de los árboles de la huerta Trincheras aparecen sanos (y funcionales) para dicha época (foto 2). La concentración de cloruros fue 968 ppm (normal), la de sodio 384 ppm (normal) y la de boro de 136 (normal).



Foto 1. Foliolo de nogal Western en la huerta La Florida. A mediados del verano el contenido de cloruros era muy alto, la clorosis severa y la necrosis abarcaba casi todo el margen foliar. SHTR



Foto 2. Foliolo de nogal Western en la huerta Trincheras. A mediados del verano sólo se aprecia una leve necrosis en la punta y unas manchas cloróticas debidas al pulgón negro. SHTR

La toxicidad de varios iones puede ocurrir de manera simultánea, como pasa con el sodio y los cloruros, cuyos síntomas de daño son similares (Richards 1985). En el nogal la 'quemadura' del margen del foliolo por cloruros (foto 1) es muy parecida a la causada por exceso de sodio (foto 3), y los síntomas no son fáciles de distinguir en el campo (Kilby 2002). En el daño por boro primero aparece una clorosis intervenal y unas manchas cafés sobre el foliolo, después la necrosis abarca los márgenes y entre las nervaduras; la variedad Wichita es particularmente sensible al exceso de B (foto 4) (Picchioni et al. 1991).

En muchos frutales, incluido el nogal pecanero, la deficiencia de nutrimentos minerales o el daño foliar por iones salinos disminuyen la elaboración de carbohidratos y proteínas (Marschner 1986, Sparks 1993). En La Florida, la clorosis y necrosis en los foliolos causadas por la toxicidad de los iones, deterioran de manera significativa el área fotosintética de las hojas (foto 1). Además, la acumulación de iones salinos en el tejido foliar afecta el metabolismo del agua y los nutrimentos, la respiración (mayor gasto de energía) y la fotosíntesis (Greenway y Munns 1980, Marschner 1986). Con dichos efectos, para mediados del verano los foliolos en esta huerta ya habían perdido parte de su capacidad para elaborar nutrimentos orgánicos.

Resaltar que la salinidad causa como síntoma importante el deterioro de las hojas del nogal es conveniente para entender su efecto en la productividad del árbol. La producción aumenta y la alternancia se reduce cuando los nogales son manejados para maximizar su eficiencia fotosintética, mejorar la relación hoja/fruto, prolongar la permanencia de follaje sano en el otoño y aumentar las reservas de nutrimentos al inicio de la dormancia (Lagarda 1986, Wood 1991). La proporción entre brotes vegetativos y fructíferos es clave para la productividad de un nogal; en la variedad Western un 60% de brotes fructíferos permite mantener un buen rendimiento cada año (McCraw et al. 2004).

Por otro lado, una condición de alto contenido de sal en el suelo desarrollada rápidamente provoca la defoliación de los nogales sin que en las hojas se manifieste ese alto contenido salino (Miyamoto 1988). En la cordillera de Camargo, en un suelo cuya CE en el estrato 0-30 cm es 3.5 dS/m y a los 30-60 cm de 8.15 dS/m (altamente salino), la concentración de cloruros de 45 y 432 ppm y la de sodio de 13 y 69 ppm, respectivamente, los nogales exhiben 90% de 'quemadura' foliar en agosto (foto 5) y terminan por defoliarse a mediados de septiembre (foto 6). Dichos árboles de nueve años de edad exhiben un porte bajo y una pobre diferenciación de brotes fructíferos, por lo que apenas producen unas cuantas nueces, como se observa en la foto 6, cuando su rendimiento en condiciones de suelo normales debiera ser de ≥4 kg/nogal.



Foto 3. Foliolo de nogal Western. A mediados del verano se aprecia una severa necrosis marginal, con una concentración de 2,000 ppm de sodio (toxicidad), 360 ppm de cloruros (normal) y 195 ppm de boro (normal). SHTR



Foto 4. Foliolo de nogal Wichita. A mediados del verano se aprecia una severa necrosis marginal, con una concentración de 1,479 ppm de cloruros (normal), 250 ppm de sodio (normal) y 405 ppm de boro (toxicidad). SHTR



Foto 5. Nogal Western a mediados de agosto con necrosis foliar extrema, con una concentración de 2,258 ppm de cloruros (toxicidad), 150 ppm de sodio (normal) y 33 ppm de boro (normal). SHTR



Foto 6. Nogal Western a mediados de septiembre, defoliado por exceso de cloruros, con muchos brotes cortos pero muy pocos frutos. SHTR

6.1.5. Rendimiento

En condiciones de suelo medianamente salino la fisiología de las plantas se modifica: la fotosíntesis neta disminuye, la respiración aumenta (mayor consumo de carbohidratos) y la formación de proteína se reduce. Estos efectos varían con la especie vegetal y su impacto en la pérdida de productividad de las plantas es fuerte (Greenway y Munns 1980, Marschner 1986). En nogales Western cuando la CE del suelo pasa de 2.2 a 4.2 dS/m el rendimiento baja drásticamente, y cuando se mantiene en 4.5 dS/m por cuatro años la producción acumulada de nuez disminuye en 32% (Miyamoto et al. 1986, 1990).

En La Florida es evidente que la salinidad severa y crónica del agua de riego y del suelo han impactado negativamente el crecimiento y la producción de los nogales. El déficit hídrico impuesto por la alta presión osmótica en el suelo, la reducción del crecimiento, la disminución del área foliar y la toxicidad específica de los iones salinos (que deteriora el tejido fotosintetizador en el verano), son la causa de que los árboles sean improductivos.

De acuerdo con observaciones de campo, la bajísima formación de nueces se debe a la pobre diferenciación floral (suficiente cantidad de brotes cortos, pero pocos con frutos). Esto puede explicarse porque en el nogal pecanero la diferenciación floral depende de una fotosíntesis eficaz desde el verano (Dutcher 1985) y de una alta provisión de carbohidratos y aminoácidos de reserva (Lockwood y Sparks 1978, Wood 1991, 2002), lo cual no ocurre en árboles con fuerte y prolongada afectación salina (Greenway y Munns 1980, Marschner 1986).

En tales condiciones el rendimiento de los nogales de La Florida es muy bajo, comparado con los árboles sin problemas de salinidad de la huerta Trincheras (cuadro 8). En el año 2009, en La Florida la producción aumentó de manera sustancial, debido en parte a un lavado del suelo en el invierno y a la apertura de la copa de los árboles con poda de aclareo. En cambio, en los nogales de la huerta Trincheras el rendimiento aumenta conforme lo hace su edad, y a partir de los 13 años la producción es alta y estable, como corresponde a nogales jóvenes, sanos y bien manejados.

Cuadro 8. Rendimiento de nuez de nogales Western en huertas con y sin salinidad del suelo en seis años.

| Año | kg/árbol* | | |
|----------|------------|------------|--|
| Ano | La Florida | Trincheras | |
| 2004 | 0.22 | 4.3 | |
| 2005 | 0.36 | 11.1 | |
| 2006 | 0.42 | 9.5 | |
| 2007 | 0.50 | 6.3 | |
| 2008 | 0.54 | 19.9 | |
| 2009 | 2.48 | 18.2 | |
| Promedio | 0.75 | 11.5 | |
| Pr>F | 0.002 | | |

^{*}En ambas huertas nogales de la misma edad.

6.1.6. Estado nutrimental

En el nogal pecanero un buen rendimiento de nueces depende de un buen estado nutrimental del árbol (Sparks 1989, Smith 1991). Según Figueroa (1989), en árboles frutales el aumento de la salinidad del suelo no afecta la absorción de los nutrimentos más importantes, independientemente del grado de tolerancia a dicho estrés.

Sparks (1989) y Smith (1991) proponen una concentración foliar suficiente (CFS) de los distintos nutrimentos para que un nogal sea productivo. Para el nitrógeno (N) la CFS es de 2.5 a 2.8%, y en los tres años analizados los árboles de La Florida han tenido una concentración óptima de este elemento (cuadro 9). En Trincheras el N también se encuentra en el nivel adecuado, aunque ligeramente más bajo que en la huerta anterior debido en parte a un efecto de dilución, por el mayor crecimiento y producción de sus nogales (cuadro 10).

Dado que el N es un nutrimento clave para mantener una buena producción y una baja alternancia en este frutal (Wood 1991, 2002), resulta notable que la alta salinidad del agua y suelo de la huerta La Florida no afecten la absorción de este elemento. Conjuntamente, es relevante que con un programa de fertirriego que fraccione el nitrógeno en siete aplicaciones (en fases fenológicas críticas) su abastecimiento sea eficaz en nogales creciendo en condiciones salinas.

Cuadro 9. Concentración foliar de nutrimentos de nogales Western en suelo salino en tres años. Huerta La Florida

| ance: Hacha La Hona | <u> </u> | | |
|---------------------|----------|------|------|
| Elemento | 2007 | 2008 | 2009 |
| Liemento | | % | |
| Nitrógeno | 2.95 | 2.85 | 2.85 |
| Fósforo | 0.13 | 0.20 | 0.20 |
| Potasio | 0.84 | 1.3 | 0.72 |
| Calcio | 1.13 | 1.28 | 0.99 |
| Magnesio | 0.46 | 0.57 | 0.50 |
| Sodio | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| | | ppm | |
| Zinc | 76 | 54 | 88 |
| Cobre | 4.5 | 9.5 | 6.2 |
| Fierro | 83 | 101 | 82 |
| Manganeso | 80 | 120 | 110 |
| Boro | 562 | 343 | 214 |

La CFS para el fósforo (P) es de 0.18 a 0.22%. En La Florida los nogales estuvieron deficientes en P el primer año, pero en los últimos dos la concentración fue normal. Los árboles de la huerta Trincheras se encuentran en el límite inferior del rango adecuado de este nutrimento. La CFS para el potasio (K) es de 1.0 a 1.3%. Los árboles de La Florida han estado deficientes en dos de los tres años (cuadro 9) y los de la huerta Trincheras han tenido deficiencia

de K todos los años analizados (cuadro 10). Dado que el 50% del peso seco del ruezno es potasio, los nogales son demandantes de este elemento (Sparks 1985). En suelos de textura migajonosa y arenosa es común que nogales en producción sufran deficiencia de K (Tarango 2010), por lo que en el caso de ambas huertas la carencia del nutrimento se debe a una ineficiente provisión más que a un problema de sales.

Cuadro 10. Concentración foliar de nutrimentos de nogales Western en suelo libre de sales en tres años. Huerta Trincheras.

| Elemento | 2007 | 2008 | 2009 |
|-----------|------|------|------|
| Licinomo | | % | |
| Nitrógeno | 2.51 | 2.76 | 2.79 |
| Fósforo | 0.18 | 0.16 | 0.15 |
| Potasio | 0.68 | 0.70 | 0.76 |
| Calcio | 1.71 | 1.99 | 1.83 |
| Magnesio | 0.32 | 0.38 | 0.40 |
| Sodio | 0.02 | 0.06 | 0.03 |
| | ppm | | |
| Zinc | 44 | 93 | 89 |
| Cobre | 7.0 | 8.0 | 7.2 |
| Fierro | 58 | 88 | 66 |
| Manganeso | 127 | 154 | 88 |
| Boro | 156 | 118 | 116 |

La CFS para el calcio (Ca) es de 1.2 a 1.5%, y en dos de tres años los nogales de La Florida han estado deficientes en este elemento. Esta es una situación atípica en suelos de regiones semiáridas, los cuales son ricos en calcio (Kilby 2002), y puede deberse a la condición de 'presodicidad' del suelo (>440 ppm), donde la relación Na/Ca es alta (Marschner 1986). En la huerta Trincheras el Ca foliar exhibe la concentración normal para nogales cultivados en aridisoles. La CFS para el magnesio (Mg) es de 0.32 a 0.5%. En los nogales de ambas huertas este nutrimento se encuentra en el rango de suficiencia, debido en parte a que se provee mediante aspersiones foliares.

La CFS para el zinc (Zn) es de 50 a 100 ppm. Este es un elemento clave para la nutrición de los nogales, y en suelos arenosos y calcáreos al árbol se le dificulta abastecerse de él (Smith y Storey 1969); además, la absorción de Zn está muy ligada al grado de micorrización de la raíz del frutal (Sparks 1976, Tarango et al. 2004). Tanto en La Florida como en Trincheras los árboles exhiben una variación anual en la concentración foliar de Zn, lo cual se debe a la eficacia de las aspersiones al follaje, que es como se provee este nutrimento a los nogales. Por su parte, Miyamoto et al. (1986) encontraron en nogales Western sobre patrón Riverside que una salinidad del suelo tan alta como 4.3 dS/m no afecta la concentración foliar de zinc.

La CFS para el fierro (Fe) es de 50 a 100 ppm y la de manganeso (Mn) de 100 a 300 ppm. En ambas huertas los nogales están bien abastecidos de Fe; en cuanto al Mn los árboles de La Florida mostraron deficiencia los primeros dos años y suficiencia el tercero; en la huerta Trincheras la concentración del nutrimento es normal. En las dos huertas el Fe y Mn fueron abstecidos naturalmente por el suelo. En cuanto al cobre (Cu), es común su deficiencia en nogales que crecen en suelos de regiones semiáridas, por lo que debe proveerse foliarmente; la CFS es de 10 a 15 ppm. Los árboles de ambas huertas tuvieron deficiencia de Cu en todos los años.

Aunque son elementos esenciales, el boro (B) y el cloro (Cl) también se consideran 'iones salinos' cuando en las hojas su concentración excede la normal; a ellos se agrega el sodio (Kilby 2002, Miyamoto 2002). La CFS para el B es de 50 a 150 ppm y la toxicidad en nogal aparece cuando el follaje tiene >350 ppm (Miyamoto 1990). En La Florida, el primer año el B estuvo en un nivel de toxicidad, el segundo en el límite de daño y sólo en el tercer año su concentración es casi normal (cuadro 9). Este elemento aporta una cuota de daño a los foliolos, y es muy probable que sea proveido por el agua. En cambio, en los nogales de Trincheras el B se encuentra en el rango óptimo (cuadro 10).

Según Miyamoto et al. (1986), un contenido alto de sodio en la solución del suelo reduce significativamente el tamaño y el peso seco de las hojas del nogal. La CFS para el sodio (Na) es de 200 a 800 ppm (0.02 a 0.08%). En La Florida, no obstante la condición de 'presodicidad' de su suelo, la concentración del elemento en su follaje varía de 200 a 400 ppm, muy por debajo del límite máximo o del nivel de daño de 1,000 ppm (Kilby y Mielke 1982).

6.1.7. Condición invernal

El nogal pecanero requiere de un adecuado enfriamiento invernal para crecer y producir bien, y la variedad Western necesita >400 horas-frío [HF] (Amling 1980, Tarango 2001). En la región de La Florida, en los años 2004, 2005, 2007 y 2008 los nogales recibieron suficientes HF (cuadro 11); en 2006 hubo 179 horas frío menos que en 2007, pero la producción en ambos años fue igual; en 2009 hubo menos HF que en 2008, pero más nueces por árbol. Es decir, aun con el enfriamiento invernal adecuado los nogales han fructificado muy poco; por tanto, esta variable no es causa de la improductividad en dicha huerta.

En la región de la huerta Trincheras la calidad del invierno en cuanto a HF ha sido similar a la región de La Florida (cuadro 12). Una comparación de esta variable en los seis años analizados muestra que las HF acumuladas son estadísticamente iguales (Pr>F= 0.353), con un promedio de 446 y 495 HF, respectivamente.

Al inicio de la primavera, en el nogal las yemas dormantes o hinchadas son resistentes a temperaturas de helada, pero el primordio foliar expuesto es dañado aun cuando la temperatura apenas baje de 0 °C (Brison 1976). En la fase fenológica de yema hinchada,

cuando la temperatura baja de -1.0 °C ocurre un daño ligero; en la brotación temperaturas de -1.7 a -2.2 °C causan daño severo, y cuando éstas se presentan a mediados de abril son afectadas las hojas y las flores (Sparks 1992a). Por ello, en la región centro-sur de Chihuahua las heladas a partir del 18 de marzo en Wichita y del 23 de marzo en Western afectan negativamente el desarrollo de brotes y flores, y por ende la producción de nueces.

Cuadro 11. Condición del invierno en la región de la huerta La Florida, en seis años.

| Λ ≈ - | llanas fuís | Fecha de última | Temperatura de última |
|-------|-------------|-----------------|-----------------------|
| Año | Horas frío | helada | helada (°C) |
| 2004 | 460 | 14 febrero | -3.0 |
| 2005 | 508 | 17 marzo | 0 |
| 2006 | 325 | 13 marzo | 0 |
| 2007 | 504 | 16 febrero | -1.0 |
| 2008 | 450 | 8 febrero | -0.5 |
| 2009 | 429 | 12 febrero | -1.0 |

Cabe señalar que el grado de daño por helada es muy particular para cada huerta (varía según la ubicación, temperatura y duración de la helada, variedad, fase fenológica, etcétera). De acuerdo con los datos del cuadro 11, en La Florida en los últimos seis años no ha ocurrido una helada tardía durante o después de la brotación que pudiera haber afectado la producción.

Cuadro 12. Condición del invierno en la región de la huerta Trincheras, en seis años.

| ۸ ~ - | llana tri | Fecha de última | Temperatura de última |
|-------|------------|-----------------|-----------------------|
| Año | Horas frío | helada | helada (°C) |
| 2004 | 511 | 26 febrero | -1.0 |
| 2005 | 618 | 17 marzo | -1.0 |
| 2006 | 395 | 13 febrero | -3.0 |
| 2007 | 620 | 5 marzo | -2.0 |
| 2008 | 431 | 19 marzo | 0 |
| 2009 | 397 | 22 febrero | -1.0 |

6.2. Nogales adultos

Se presenta la respuesta de nogales maduros (>30 años de edad) a diferentes condiciones químicas de agua y suelo, que pueden representar las tres fuentes básicas de agua para riego en el centro-sur de Chihuahua: de presa, de pozo y de escurrimientos de los ríos.

6.2.1. Salinidad en agua

En el cuadro 13 se muestra la condición química del agua con que se irrigan las dos huertas con problemas de salinidad, Pita (de pozo) y Santa Rosa (escurrimientos del Río Conchos), y

la huerta con suelo libre de sales: Chatitos (de la presa Las Vírgenes). El agua de la presa es agrícolamente libre de sales, mientras que las otras dos son altamente salinas, con 5.4 a 6.5 veces más sales que la primera.

Cuadro 13. Salinidad y concentración de iones salinos del agua de riego en tres huertas, año 2009.

| Parámetro | Huerta | | |
|---------------------|-----------|--------|---------------|
| | Chatitos* | Pita** | Santa Rosa*** |
| CE (dS/m) | 0.28 | 1.84 | 1.51 |
| RAS | 0.89 | 3.9 | 2.6 |
| Bicarbonatos (me/L) | 2.91 | 8.1 | 5.90 |
| Cloruros (me/L) | 0.23 | 2.8 | 1.27 |
| Sulfatos (me/L) | 0.34 | 8.9 | 6.53 |

^{*}De la presa Las Vírgenes.

En cuanto al sodio, el agua del Río Conchos está apenas por debajo del límite para suelos arcillo migajonosos y la de pozo entra en el rango de daño (Miyamoto 2002). El contenido de bicarbonatos es alto para estas dos fuentes de agua y el de cloruros se clasifica 'condicionado' para uso agrícola; los sulfatos están en un nivel aceptable. En suma, el agua de Las Vírgenes es de alta calidad y la del pozo y del Río Conchos son de muy baja calidad, y es dicha condición del agua la que origina los problemas de salinidad del suelo y de los nogales en las huertas Pita y Santa Rosa.

6.2.2. Salinidad en suelo

A los 0-30 cm de profundidad del suelo la medida de la salinidad (CE) es muy baja en la huerta Chatitos. En Santa Rosa, en el suelo de los nogales con clorosis y necrosis foliar 'ligera' e 'intermedia' la CE es baja, pero en aquellos con daño 'fuerte' la CE supera el umbral de daño de 2.5 dS/m (cuadro 14). El sodio es muy bajo en Chatitos y aumenta sustancialmente en el suelo de Santa Rosa, con una clara tendencia según el grado de daño foliar. Los cloruros superan con mucho las 200 ppm a las cuales comienza la necrosis del foliolo, sobre todo donde el daño a la hoja es fuerte.

A los 30-60 cm de profundidad, la condición química del suelo en la huerta Chatitos es igual que en la capa arable; esto es, la salinidad es tan baja que no se detectan diferencias entre estratos del suelo. Por su parte, en el suelo de Santa Rosa tanto la CE como la concentración de Na y Cl⁻ aumentan en el subsuelo, al igual que con el grado de daño foliar (cuadro 14). Esta es una condición crítica, pues una proporción alta de raicillas alimentadoras de los nogales absorben agua y nutrimentos en los 30-60 cm del suelo, por lo que el potencial de daño salino se incrementa (Brison 1976).

^{**}De pozo.

^{***}Del Río Conchos, antes de la junta con el río San Pedro.

Cuadro 14. Salinidad y concentración de iones salinos del suelo de la huerta Santa Rosa, a dos profundidades y en tres grados de daño al follaje*. La huerta Chatitos es sin daño salino. Variedad Western, año 2009.

| Parámetro | Chatitos | Santa Rosa | | |
|----------------|------------|-------------|-----------------|-------------|
| Tarametro | (sin daño) | Daño ligero | Daño intermedio | Daño fuerte |
| | | 0-30 cm | | |
| CE (dS/m) | 0.62 | 1.41 | 1.11 | 3.29 |
| Sodio (ppm) | 144 | 272 | 296 | 408 |
| Cloruros (ppm) | 216 | 252 | 270 | 360 |
| | 30-60 cm | | | |
| CE (dS/m) | 0.63 | 1.35 | 2.99 | 3.57 |
| Sodio (ppm) | 144 | 288 | 312 | 424 |
| Cloruros (ppm) | 216 | 270 | 324 | 378 |

^{*}Necrosis del margen del foliolo.

En la huerta Pita, a los 0-30 cm de profundidad del suelo la CE es menor que 2.5 dS/m, incluso donde los árboles tienen daño foliar 'fuerte'. En cambio, la concentración de sodio es muy alta, superando en 1.8 a 2.2 veces el umbral de daño de 590 ppm (Miyamoto 1990). También, el contenido de cloruros está arriba del nivel de inicio de daño (cuadro 15). A los 30-60 cm del perfil del suelo tanto la CE como la concentración de Na y Cl- aumentan sustancialmente, al igual que con el grado de daño foliar. Esto es, el suelo y sobre todo el subsuelo de esta huerta están muy salinizados, o más específicamente muy sodificados, en comparación con el suelo de la huerta Chatitos.

Cuadro 15. Salinidad y concentración de iones salinos del suelo de la huerta Pita, a dos profundidades y en tres grados de daño al follaje*. La huerta Chatitos es sin daño salino. Variedad Wichita, año 2009.

| Donémotro | Chatitos | Pita | | |
|----------------|------------|-------------|-----------------|-------------|
| Parámetro | (sin daño) | Daño ligero | Daño intermedio | Daño fuerte |
| | 0-30 cm | | | |
| CE (dS/m) | 0.62 | 1.84 | 1.80 | 2.15 |
| Sodio (ppm) | 144 | 1,056 | 1,320 | 1,232 |
| Cloruros (ppm) | 216 | 360 | 306 | 360 |
| | 30-60 cm | | | |
| CE (dS/m) | 0.63 | 1.89 | 2.62 | 3.01 |
| Sodio (ppm) | 144 | 1,232 | 1,584 | 1,496 |
| Cloruros (ppm) | 216 | 324 | 432 | 432 |

^{*}Necrosis del margen del foliolo.

Tomando en cuenta a las tres huertas, el grado de salinidad edáfica corresponde al contenido salino del agua que usan para regar. Es decir, al irrigar con agua alta en sales el deterioro del suelo es inminente, y en ese sentido será el efecto final en los nogales.

6.2.3. lones salinos en follaje

En la variedad Western en la huerta Chatitos, con agua y suelo libre de sales, la concentración foliar de Cl⁻ es normal y la de Na y B es muy baja. En Santa Rosa el Cl⁻ del follaje es más alto que en la huerta testigo, pero queda en el rango normal de 1,000 a 2,000 ppm; en cambio, el sodio foliar es demasiado alto, muy por encima del límite normal de 800 ppm (Kilby y Mielke 1982).

El B está en un nivel de toxicidad leve sólo en los árboles con síntomas de daño intermedio (cuadro 16). Para el Cl⁻ pero sobre todo para el Na, la clorosis y la necrosis marginal son mayores conforme aumenta el contenido de estos elementos en el foliolo (fotos 7, 9 y 11). Esto indica que el daño salino en los nogales de Santa Rosa es principalmente debido al exceso de sodio. La condición total de los árboles también está acorde con la acumulación de iones salinos en el tejido vegetal (fotos 8, 10 y 12).

En la variedad Wichita la concentración foliar de Cl⁻, Na y B fue la misma que en la variedad Western en los nogales de la huerta Chatitos. En la huerta Pita el nivel de Cl⁻ aumentó conforme al grado de daño en las hojas, pero estuvo por debajo del umbral de toxicidad y fue menor que en Santa Rosa. El contenido de boro se encuentra en el rango normal en las tres categorías de daño. En cambio, el sodio alcanza niveles muy altos en el follaje, de siete a 14 veces más que el límite normal (cuadro 16).

Cuadro 16. Concentración foliar* de iones salinos en nogales de dos variedades y en tres grados de daño al follaje**. Año 2009.

| Elemento | Chatitos | Daño ligero | Daño intermedio | Daño fuerte |
|----------------|------------|----------------------|-----------------|-------------|
| Elemento | (sin daño) | Western (Santa Rosa) | | |
| Cloruros (ppm) | 644 | 1,290 | 1,290 | 1,612 |
| Sodio (ppm) | 40 | 100 | 3,850 | 6,550 |
| Boro (ppm) | 72 | 181 | 380 | 248 |
| | | Wichita (Pita) | | |
| Cloruros (ppm) | 644 | 622 | 1,290 | 1,290 |
| Sodio (ppm) | 50 | 5,550 | 8,700 | 11,100 |
| Boro (ppm) | 71 | 175 | 216 | 225 |

^{*}Fecha de muestreo = 15 de septiembre de 2009.

El grado de clorosis y necrosis en las hojas es equivalente a la concentración de sodio, más que a la de cloruros. El daño y el nivel foliar de Na corresponden también al contenido del elemento en el agua de riego y en el suelo. Al respecto, Miyamoto (2004) señala que los nogales maduros son muy sensibles a las sales, particularmente al exceso de sodio en el suelo.

^{**}Necrosis del margen del foliolo.



Foto 7. Foliolo de nogal Western con daño salino LEVE. A mediados del verano se aprecia necrosis en la punta del foliolo y una ligera clorosis marginal. SHTR

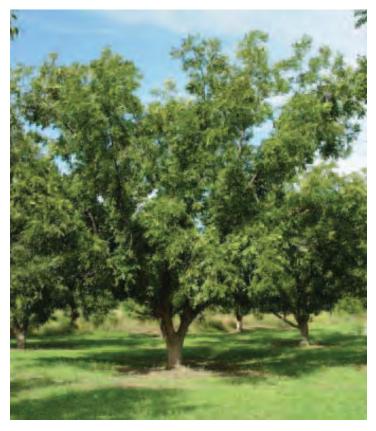


Foto 8. Nogal Western con daño salino LEVE. Se observa un follaje y una fructificación adecuados. SHTR



Foto 9. Foliolo de nogal Western con daño salino INTERMEDIO. A mediados del verano la necrosis en la punta del foliolo es mayor, la clorosis avanza hacia la vena central y aparecen manchas cafés en el margen. SHTR

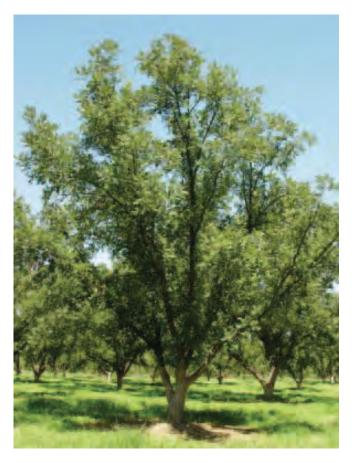


Foto 10. Nogal Western con daño salino INTERMEDIO. Se observa un follaje menos denso y de un color verde seco, y menos frutos. SHTR



Foto 11. Foliolo de nogal Western con daño salino FUERTE. A mediados del verano la necrosis abarca la punta y margen del foliolo, la clorosis es severa y aparecen manchas cafés intervenales. SHTR

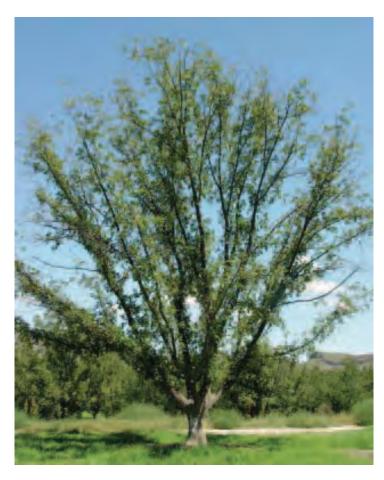


Foto 12. Nogal Western con daño salino FUERTE. Se observa un follaje escaso y de un color verde amarillento, muerte regresiva de ramas y muy pocos frutos. SHTR

La condición de alta sodicidad edáfica requiere primero la incorporación de 'mejoradores', como yeso agrícola, polisulfuro de calcio o ácido sulfúrico (si el suelo es rico en Ca), luego un lavado del suelo. Ayuda también el mantener una cobertura de plantas nativas, las cuales mejoran la infiltración del agua y aportan materia orgánica de 'origen verde' (Miyamoto 2004). Mantener una adecuada provisión de potasio permite a los árboles contrarrestar en parte el estrés por exceso de sodio (Maathius y Amtmann 1999).

6.2.4. Área foliar y crecimiento de brote

El año 2009 fue de producción normal en las huertas Chatitos y Santa Rosa (en sus árboles sanos), >2 t/ha. En nogales Western, la longitud del brote fructífero fue sustancialmente mayor en la huerta con suelo libre de sales; en Santa Rosa, los árboles con daño salino ligero redujeron el tamaño de su brote en 44%, con daño intermedio en 47% y con daño severo en 59%. El área foliar específica también resultó muy afectada por la salinidad, siendo su disminución de 30, 39 y 47% según el grado de necrosis foliar, respectivamente (cuadro 17).

La pérdida de vigor del brote fructífero y del área del foliolo reducen fuertemente la productividad de los nogales en Santa Rosa, pues de estas variables vegetativas dependen el número de flores formadas, el número de frutos amarrados, el llenado de la almendra y la cantidad de nutrimentos de reserva (Sparks y Heath 1972, Wood 1991). Adicionalmente, la clorosis y necrosis en el tejido foliar debida a la toxicidad de los iones disminuyen el área fotosintéticamente activa y disturban el metabolismo de la hoja (y del árbol).

Cuadro 17. Área foliar específica y longitud de brote fructífero (LBF) en nogales de dos variedades y en tres grados de daño al follaje*. Año 2009.

| ., | Chatitos | Daño ligero | Daño intermedio | Daño fuerte |
|-------------------|------------|----------------|---------------------|-------------|
| Variable | (sin daño) | | Western (Santa Rosa |) |
| Área foliar (cm²) | 23.3 | 16.2 | 14.2 | 12.3 |
| LBF (cm) | 15.2 | 8.5 | 8.0 | 6.2 |
| | | Wichita (Pita) | | |
| Área foliar (cm²) | 24.1 | 21.9 | 23.1 | 21.6 |
| LBF (cm) | 11.8 | 15.2 | 12.4 | 13.2 |

^{*}Necrosis del margen del foliolo.

En la huerta Pita, el año 2009 fue de alta producción (>3.5 t/ha), debido a que el ciclo previo alternó. Por tanto, los nogales Wichita quedaron con altas reservas de nutrimentos el invierno 2008-09. En esa condición, el brote alcanza un vigor casi normal antes de que se exprese el daño salino, si bien se detecta una ligera reducción cuando la salinidad es fuerte. El área del foliolo aparece más sensible al efecto salino, disminuyendo de 4 a 10% según el grado de afectación (cuadro 17).

En nogales maduros, la mayor parte (75%) del crecimiento del brote y de expansión foliar ocurren temprano en el ciclo (abril y mayo), por lo que en ese tiempo el aporte de agua y nutrimentos es clave (Marquard 1990). En los nogales Wichita de la huerta Pita el brote y la hoja crecieron bien, en buena parte debido a las reservas nutrimentales y a la época del año. La salinidad no afectó a estas dos variables porque el efecto salino es acumulativo en las hojas conforme avanza la estación y aumenta la tasa transpiratoria en el verano (Brison 1976). Por lo mismo, el daño salino sí tuvo efectos detrimentales en el tamaño de la nuez y en el llenado de la almendra, eventos fenológicos de mediados y fines del verano.

6.2.5. Calidad de fruto

Según Miyamoto et al. (1986), el riego por tres años seguidos con agua muy salina causa en nogales maduros un fuerte deterioro de su vigor y de la formación de frutos, lo cual a su vez lleva a los árboles a una condición de alternancia severa. Por su parte, Miyamoto (2004) indica que la salinidad puede inducir específicamente este problema fisiológico en los nogales.

Lo anterior se anota como contexto, dado que el número de frutos por nogal tiene una relación indirecta con la calidad de la nueces (Sparks 1992b). En Western, el peso de la nuez fue prácticamente igual en los nogales sin estrés salino (huerta Chatitos) que en aquellos con diferente grado de afectación por sales (cuadro 18). En los árboles testigo y en los de daño ligero la producción fue similar (>30 kg/nogal), pero en los árboles con daño intermedio y fuerte la fructificación fue pobre, por ello sus nueces aparecen de tamaño normal.

Cuadro 18. Características del fruto en nogales de dos variedades y en tres grados de daño al follaje*. Año 2009.

| Variable | Chatitos | Daño ligero | Daño intermedio | Daño fuerte |
|---------------|------------|----------------------|-----------------|-------------|
| variable | (sin daño) | Western (Santa Rosa) | | |
| Peso/nuez (g) | 6.9 | 7.0 | 7.7 | 6.0 |
| Almendra (%) | 62.4 | 55.2 | 58.5 | 59.0 |
| | | Wichita (Pita) | | |
| Peso/nuez (g) | 9.4 | 8.1 | 5.9 | 4.6 |
| Almendra (%) | 62.9 | 60.6 | 55.0 | 47.5 |

^{*}Necrosis del margen del foliolo.

En cuanto a porcentaje de almendra los nogales testigo superan sustancialmente (en 7.2 puntos porcentuales) a los de daño salino ligero, cuyos rendimientos fueron similares. En los árboles con daño intermedio y fuerte la almendra no aparece proporcionalmente afectada debido a la baja producción. Al respecto, en nogales Western sobre patrón Riverside el riego con agua salina redujo en tres puntos porcentuales el llenado de la almendra en un periodo de cuatro años (Miyamoto et al. 1986).

Los nogales Wichita tuvieron un rendimiento alto (>35 kg/árbol). En este genotipo y con alta fructificación, el peso de las nueces disminuyó drásticamente con el estrés salino; conforme éste aumentó, el tamaño de la nuez se redujo en 14, 37 y 51%, respectivamente. El llenado de la almendra también resultó fuertemente afectado; la pérdida de puntos porcentuales fue de 2.3 con daño ligero, de 7.9 con daño intermedio y de 15.4 en los árboles con daño salino fuerte (cuadro 18).

6.3. Mitigación de la salinidad

Por la condición del suelo y sobre todo del agua disponible para su riego, las huertas afectadas por sales no pueden corregir de fondo este problema, tienen que convivir con él. En ese contexto, las prácticas de manejo indicadas son las que pueden aportar efectos de mitigación contra la salinidad. Se enlistan las prácticas recomendadas por los especialistas en este tema (Richards 1985, Kilby 2002, Miyamoto 2004).

- a) El principio del manejo es mantener la acumulación de sales en el suelo por debajo del umbral de daño, que es de 2.5 dS/m a los 0-60 cm de profundidad.
- b) En el suelo las sales solubles son disueltas y transportadas por el agua. Así, el lavado del suelo es la manera en que se desplazan las sales acumuladas en su perfil; para esto es necesario un buen drenaje interno.
- c) Este trabajo se hace en el invierno (enero-febrero), cuando el suelo está seco y absorbe más agua, y los nogales toleran mejor dicha práctica.
- d) La cantidad de agua para el lavado efectivo de las sales se expresa como el porcentaje adicional a una lámina de riego normal y se denomina 'fracción de lavado'. El volumen extra de agua depende de la salinidad del suelo y del agua y de la textura del suelo, como se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19. Fracción de lavado (FL) para mantener la salinidad del suelo abajo de 2.5 dS/m en el extracto de saturación, con diferente calidad de agua en dos texturas de suelo.

| CE del agua | FL (%) | |
|-------------|---------|-----------|
| (dS/m) | Arenosa | Arcillosa |
| 1 | 8 | 11 |
| 1.5 | 11 | 18 |
| 2 | 18 | 25 |
| 2.5 | 25 | 33 |
| 3 | 33 | 43 |

Adaptado de: Miyamoto (2004).

- e) Los efectos detrimentales de la salinidad en el suelo son aumentados por la pobre aireación del mismo (Hale y Orcutt 1987). Además, en ocasiones la compactación del suelo y/o del subsuelo impiden el lavado eficaz de las sales, en cuyo caso es necesario un cincelado (<15 cm de profundidad) o un subsoleo previo al riego de lavado.
- f) Irrigar hasta que la apertura del ruezno se haya completado (a principios de octubre).
 La falta de riego agrava la salinidad y aumenta el ruezno pegado.
- g) El lavado eficiente puede hacerse con diferentes sistemas de riego, tal como se muestra en el cuadro 20. En la huerta Santa Rosa con riego rodado se aplicó una lámina de 40 cm; donde hay sistema de aspersión, con emisores de 378 LPH, se irrigó durante 150 horas. En La Florida con riego de goteo se aplicó agua durante 50 horas. En la huerta San Cristóbal se aportó un 50% más de la lámina de riego normal.

Cuadro 20. Efecto del lavado en la salinidad del suelo, a 0-30 cm de profundidad, en tres huertas con diferentes métodos de riego.

| Lavado | Salinidad CE (dS/m) | Sodio (ppm) | Cloruros (ppm) |
|------------------------------|---------------------|-------------|----------------|
| Riego rodado (Santa Rosa) | | | |
| Antes | 3.93 | 296 | _ |
| Después | 0.97 | 280 | _ |
| Riego aspersión (Santa Rosa) | | | |
| Antes | 2.05 | 408 | _ |
| Después | 1.4 | 432 | _ |
| Riego goteo (La Florida) | | | |
| Antes | 5.25 | 472 | 550 |
| Después | 1.15 | 520 | 388 |
| Riego goteo (San Cristóbal) | | | |
| Antes | 3.61 | 340 | _ |
| Después | 1.45 | 220* | _ |

^{*}Con subsoleo previo.

En general, el lavado fue eficaz para bajar la salinidad total (CE); los cloruros también son lixiviados, en el caso de la huerta La Florida en 30%. En condiciones de puro lavado el sodio no fue removido del suelo en Santa Rosa y La Florida; esto puede deberse a que se encuentra com carbonato de sodio insoluble. En San Cristóbal previo al lavado se realizó un subsoleo, lo cual pudo favorecer el desplazamiento de una parte del sodio a la periferia del bulbo de humedad.

- h) La dispersión de las sales en el suelo sigue el movimiento del agua. El patrón de desplazamiento varía según el método de riego utilizado (fotos 13, 14 y 15). En la figura 2 se muestra la distribución de la salinidad con un sistema de riego por goteo.
- i) Cuando las hojas están más iluminadas la planta mejora su tolerancia a la salinidad (Marschner 1986). La falta de poda afecta el vigor de nogales bajo estrés salino (Miyamoto 1990). Así, la poda debe ser más intensiva, para fomentar brotes y hojas más vigorosas (lo que diluirá los iones salinos), y foliolos más sanos e iluminados (para favorecer la producción de carbohidratos y la diferenciación floral).
- j) Aumentar la materia orgánica de 'origen verde', mediante el segado de hierbas nativas y/o siembra de cebada o triticale (gramíneas tolerantes a la salinidad).

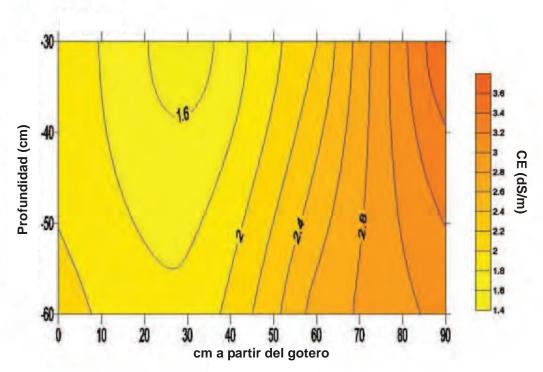


Figura 2. Distribución espacial de la salinidad (medida como CE) a diferente profundidad del suelo y distancia a partir del gotero. Huerta San Cristóbal, riego por goteo.

k) Una raíz bien micorrizada puede tolerar mejor cierto grado de salinidad en el suelo (Sylvia y Williams 1991). Fomentar la micorrización natural en la huerta, cuidando los esporocarpos de los hongos cuando emergen (segando alto la cubierta vegetal), hasta la liberación de esporas. Las especies de hongos micorrízicos más comunes del nogal aparentemente toleran altas concentraciones de sales (fotos 16 y 17).

- I) Definir un programa de fertilización según el análisis foliar, crecimiento del brote y rendimiento esperado. Se sugiere una relación N:P:K de 5:0.5:1. Fraccionar el aporte de nutrimentos siete veces en el ciclo, según la fenología del nogal (Tarango 2006).
- m) Si el suelo o el agua de riego tienen una alta concentración de sulfatos no usar fertilizantes que contengan azufre. Si el suelo no es sódico no aplicar mejoradores y/ o 'acondicionadores', ya que estos productos no controlan la salinidad (Thompson y Walworth 2006).
- n) Analizar anualmente agua y suelo para salinidad, para darle seguimiento al problema y orientar las prácticas de mitigación. Cada año realizar el análisis foliar (muestrear a principios de agosto) y determinar B, Cl y Na.

7. Conclusiones

- a) La prospectiva oficial prevee un escenario de baja disponibilidad de agua para el estado de Chihuahua, en el futuro inmediato.
- b) La sobreexplotación del agua superficial y subterránea conlleva la pérdida de su calidad, específicamente incrementa su concentración salina.
- c) El riego con agua alta en sales causa la salinización del suelo, y el nogal pecanero es sensible a la salinidad.
- d) El estrés salino disminuye el crecimiento total y el vigor del brote fructífero y reduce fuertemente el área foliar, variables clave para la productividad del nogal.
- e) El nogal es una planta de alta fotosíntesis neta, en condiciones normales. La toxicidad de los iones salinos causa un deterioro sustancial del tejido foliar, lo cual afecta la fotosíntesis.
- f) Con un esquema de fertirriego basado en las fases fenológicas críticas, el estado nutrimental del nogal no resulta afectado por la salinidad.
- g) La salinidad impacta fuertemente el rendimiento del nogal y la calidad de las nueces. Además, induce y/o incrementa la alternancia.
- h) En condiciones de agua y suelo salinizados, el problema de la salinidad en las nogaleras no se corrige, sólo puede mitigarse.



Foto 13. Riego por gravedad a finales de enero, con una alta lámina de agua para el lavado de sales, las cuales se desplazan mayormente hacia abajo. SHTR



Foto 14. Riego por aspersión en invierno. La fracción de lavado se aplica como 'horas de riego' adicionales. Las sales se mueven hacia abajo y los lados. SHTR



Foto 15. Riego por goteo. La fracción de lavado se aplica como 'horas de riego' adicionales. Las sales se concentran en la orilla del bulbo de mojado. SHTR



Foto 16. Esporocarpo del hongo micorrízico *Pisolithus* en la huerta La Florida. Su efecto en la nutrición de los nogales es muy benéfico. A la derecha foliolo con daño salino. SHTR



Foto 17. Esporocarpo del hongo micorrízico *Scleroderma* en la huerta Santa Rosa. Su efecto en la sanidad de la raíz de los nogales es importante. A la derecha foliolo con daño salino. SHTR

AGRADECIMIENTOS

A los nogaleros (as) Sra. Guadalupe Cárdenas Rodríguez, C.P. Claudia Kan Mercado, Lic. Juan Ibarra A., Ing. Eduardo Trejo Solís, Lic. JML y Delmar del Norte, quienes facilitaron sus archivos y sus huertas para el presente estudio. A la empresa Distribuidora Agrícola del Norte, por su apoyo económico para la realización de análisis químicos. A Viveros Esparza por el patrocinio para la impresión de esta publicación.

8. Literatura citada

Amado A., J.P.; R. Jasso I.; N. Chávez S.; M. Luján F.; H.R. Uribe M. y M. Berzoza M. 2007. Disponibilidad, calidad del agua y enfoque integral de la práctica del riego en hortalizas. I: Disponibilidad y calidad. En: Memorias. Delicias Hortícola 2007. P.7-14.

Amling, H.J. and K.A. Amling. 1980. Onset, intensity and dissipation of rest in several pecan cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(4):536-540.

Ayers, R.S. and D.W. Wescot. 1989. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. Paper 29. Food and Agriculture Organization.

- Barden, J.A. 1977. Apple tree growth, photosynthesis, dark respiration, and especific leaf weigth as affected by continuous and intermittent shade. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102(4):391-394.
- Brison, F.R. 1976. Cultivo del nogal pecanero. Conafrut. México. 350 p.
- Buckman, H.O. y N.C. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. 2ª. reimp. Montaner y Simon. España. P.110-168.
- Calderón F., M.L. 2006. Alternativas de depuración de agua para consumo humano en el estado de Chihuahua. México. IV Foro Mundial del Agua. 31 p.
- Cihacek, L.J. 1985. Interpreting soil analysis. Guide A-126. CES-New Mexico State University.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1997. Programa hidraúlico gran visión del estado de Chihuahua 1996-2020. Gerencia estatal Chihuahua-CONAGUA. México.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2006. La gestión del agua en México. Avances y retos. México. CONAGUA. 249 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2007. Estadísticas del agua en México, edición 2007. México. CONAGUA. 259 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2010. Estadísticas del agua en México, edición 2010. México. CONAGUA. 249 p.
- Consejo Nacional de Población (CNP). 2010. Chihuahua: indicadores demográficos 2005-2030. www.conapo.gob.mx
- Dutcher, J.D. 1985. Impact of late season aphid control on pecan tree vigor parameters. J. Entomol. Sci. 20(1):55.61.
- Figueroa V., U. 1989. Comportamiento de cultivares y portainjertos de pistache (*Pistacia* spp) en condiciones de salinidad. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. México. 112 p.
- Glennon, R. 2005. The perils of groundwater pumping. In: Adapting to our changing reality: plants, climate, water and technology. Xeriscape Conference and Trade Fair 2005. P.5-12.
- Godoy A., C.; I. Reyes J. y C.A. Torres E. 2004. Fertirriego en cultivos anuales y perennes. Libro científico No. 2. México. CELALA-INIFAP. P.95-123.

- Greenway, H. and R. Munns. 1988. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:149-190.
- Gutiérrez, M. y E. Carreón H. 2004. Salinidad en el Bajo Río Conchos: aportes y tendencias. México. Terra Latinoamericana 22:499-506.
- Gutiérrez, L.R.; R. Quintana; H. Rubio; J. Ortega y G. Quintana. 2007. Metales pesados en agua de la cuenca baja del río Ran Pedro, Delicias, Chihuahua, México. En: Memorias. VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. UACH-ANCA.
- Guzmán A., J.C.; R. Rodríguez S. y E. Carreón H. 2007. Perspectiva socioambiental en la determinación del caudal ecológico del Río Conchos, Chihuahua, México. En: Memorias. VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. UACH-ANCA.
- Hale, M.G. and D.M. Orcutt. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons. P.93-99.
- Hernández C., J. 2003. Transferencia de tecnología de riegos y fertilización edáfica en huertas de nogal en producción manejadas con sistema de goteo y microaspersión. Informe de investigación. México. CEDEL-INIFAP.
- Hoekstra, A.Y. and A.K. Chapagain. 2008. Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Press.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Anuario de estadísticas por entidad federativa. México. 594 p.
- Kelly, M. 2001. El Río Conchos: un informe preliminar. Texas Center for Policy Studies. 34 p.
- Kidd, J. 2002. Agua subterránea: un recurso de América del Norte. Taller de expertos en agua dulce de America del Norte. CEC-MCIS-Universidad de Toronto. 22 p.
- Kilby, M. 2002. Managing soil salinity in pecan orchards. En: Simposio internacional de nogal pecanero. CECH-INIFAP. México. P.87-97.
- Kilby, M.W. and E. Mielke. 1982. Mineral nutrition of the pecan in the irrigated southwest. Proc. Sixteenth West. Pecan Conf. CES-New Mexico State University. P.35-55.

- Lagarda M., Á. 1986. La alternancia en producción de nogal. En: Primera reunión técnica sobre fruticultura en el noroeste de México. CAECH-INIFAP. P.186-197.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. P.365-453.
- Lockwood, D.W. and D. Sparks. 1978. Translocation of 14C from tops and roots of pecan in the spring following assimilation 14CO₂ during previous growing season. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(1):45-49.
- Maathius, F.J.M. and A. Amtmann. 1999. K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/ Na⁺ ratios. Annals of Botany 84:123-133.
- Malstrom, H.L. 1982. Efectos de la salinidad en el nogal. En: Manejo de huertos de nogal. Escuela Superior de Fruticultura-UACH. México. P.111-116.
- Malstrom, H.L. and D. Sparks. 1973. Analysis of yield components in mature trees of 'Schley' pecan *Carya illinoensis* Koch. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98(5):496-500.
- Marquard, R.D. 1990. Pecan biology. In: Second pecan orchard management shortcourse. CES-New Mexico State University.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 673 p.
- McCraw, D.; M.W. Smith and W. Reid. 2004. Pecan crop load management. F-6251. OCES-Oklahoma State University. 4 p.
- Medina M., M.C. 1993. Estimación de área foliar con medidas lineales y peso seco de la hoja en nogal pecanero. En: Memorias. V Congreso Nacional de Horticultura. México. SOMECH. P.132.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1979. Principles of plant nutrition. 2nd. ed. International Potash Institute. Berna. P.441-520.
- Miyamoto, S. 1988. Reclamation of salt-affected pecan orchards. Proc. Texas Pecan Grow. Ass. 17 p.
- Miyamoto, S. 1990. Salinity management. In: Texas pecan profitability handbook. Texas A&M University. P.v22-v26.
- Miyamoto, S. 2002. Guidelines for developing soil and water management programs: Irrigated pecans. TAES-TWRI-The Texas A&M University System. 12 p.

- Miyamoto, S. 2003. Diagnosis and management of salinity problems in irrigated pecan production. Texas A&M University Agricultural Research Center at El Paso. 8 p.
- Miyamoto, S. 2004. Orchard management under water quality constraints. Texas A&M University Agricultural Research Center at El Paso. 12 p.
- Miyamoto, S.; G.R. Gobran and K. Piela. 1985. Salt effects on seedling growth and ion uptake of tree pecan rootstock cultivar. Agron. J. 77:383-388.
- Miyamoto, S.; T. Riley; G. Gobran and J. Petticrew. 1986. Effects of saline water irrigation on soil salinity, pecan tree growth and nut production. Irrig. Sci. 7:83-95.
- Moya T., J.A. 1998. Riego localizado y fertirrigación. 2ª. ed. España. Mundi-Prensa. P.86-120.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2003. Descubrir el potencial del agua para la agricultura. Roma. 62 p.
- Ortega G., D.; L. Rendón P.; I. Morales B. y R. Olivares A. 2006. Análisis de las sequías en la parte mexicana de la cuenca del Río Bravo. CONAGUA. México.
- Ortiz F., P.; R. Parra Q. y M.C. Potizek T. 2004. Producción de manzano bajo déficit de riego controlado en dos sistemas de riego en el noroeste de Chihuahua. En: Segunda Jornada Sobre Sequía. México. CEISS-INECOL. P.144-149.
- Peña P., E.; M.A. Montiel G.; F. Mercado G. y J.R. Lomelí V. 2005. Formulación del plan director para la modernización integral del riego del Distrito de Riego 005, Delicias, Chihuahua. México. IMTA-CONAGUA-SEMARNAT. 303 p.
- Picchioni, G.A.; S. Miyamoto and J.B. Storey. 1991. Growth and boron uptake of five pecan cultivars seedlings. HortScience 26(4):386-388.
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española. Madrid.
- Richards, L.A. (ed.). 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª. Ed. México. Limusa. 172 p.
- Roberts, J.L. 1989. An environmental evaluation of the Rio Grande water quality in the Big Bend area. M.S. thesis. Sul Ross State University. P.V.

- Rom, C. 1994. Fruit tree growth and development. In: A.B. Peterson and R.G. Stevens (eds.). Tree fruit nutrition. Good Fruit Grower. P.1-17.
- Royo O., M.; R. Chávez A.; J. Urrutia F.; O. Morton B.; L.M. Alva V.; M. Franco R.; P. Martínez L.; M.L. Villalba; M. Royo L.; A. Pinales M. y A. Chávez R. 2007. Geohidrología en el área de Jiménez-Camargo, Chihuahua. Geoquímica de metales pesados. En: Memorias. VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. UACHANCA.
- SAS Institute. 2001. SAS/STAT user's guide. Release 8.2 ed. SAS Institute, Cary, N.C. USA.
- Smith, M.W. 1991. Pecan nutrition. In: Pecan husbandry: Challenges and opportunities. First Nat. Pecan Work. Proc. ARS-USDA. P.152-157.
- Smith, M.W. and J.B. Storey. 1969. Zinc concentration of pecan leaflets and yield as influenced by zinc source and adjuvants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104(4):474-477.
- Sparks, D. 1976. Zinc nutrition and the pecan- a review. Pecan South 3(2):304-309.
- Sparks, D. 1985. Potassium nutrition of pecans. ASA-CSSA-SSSA. P.1135-1153.
- Sparks, D. 1989. Pecan nutrition. Twenty-third West. Pecan Conf. WIPGA-New Mexico State University. P.55-96.
- Sparks, D. 1992a. Abnormal flowering in pecan associated with freezing temperature. HortScience 27(7):801-803.
- Sparks, D. 1992b. Pecan cultivars. The orchard's foundation. Pecan Production Innovations. 443 p.
- Sparks, D. 1993. Efectos nutricionales en la producción alternada y la calidad de la nuez. En: XII Conferencias Internacionales sobre el Cultivo del Nogal. México. sp.
- Sparks, D. and J.H. Heath. 1972. Pistillate flower and fruit drop of pecan as a function of time and shoot length. HortScience 7(4):402-403.
- Stromberg, L.K. 1980. Water quality for irrigation. University of California. 20 p.
- Sylvia, D.W. and S.E. Williams. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: Mycorrhizae in sustainable agriculture. ASA special publication 54. ASA-CSSA-SSSA. P.101-124.

- Tarango R., S.H. 2001. Efecto de la cianamida hidrogenada en la fenología del nogal [*Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch] variedades Western y Wichita. Folleto técnico No. 6. México. CEDEL-INIFAP. 22 p.
- Tarango R., S.H. 2006. Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Folleto técnico No. 24. 2ª. edición. México. CEDEL-INIFAP. 39 p.
- Tarango R., S.H. 2010. Manejo de la cubierta vegetal en nogaleras con fertirriego. Folleto técnico No. 34. México. CEDEL-INIFAP. 23 p.
- Tarango R., S.H.; B.C. Macías L.; A. Alarcón y J. Pérez M. 2004. Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrimentos en nogal pecanero y pistachero. Agric. Téc. Méx. 30(2):191-203.
- Thompson, T.L. and J.L. Walworth. 2006. Salinity management and soil amendments for southwestern pecan orchards. En: Seminario de nogal pecanero 2006. México. CECH-INIFAP. P.28-37.
- Valdez G., B. 2001. Irrigación. En: El nogal pecanero en Sonora. México. Libro técnico No. 3. CECH-INIFAP. P.93-112.
- Wood, B.W. 1991. Alternate bearing of pecan. In: B.W. Wood and J.A. Payne (eds.). Pecan husbandry: Challenges and opportunities. First Nat. Pecan Work. Proc. ARS-USDA. P.180-190.
- Wood, B.W. 2001. Principles of pecan tree canopy management. Pecan South 34(4):16-20.
- Wood, B.W. 2002. Late nitrogen fertilization in pecan orchards: a review. In: Thirty-sixth West. Pecan Conf. Proc. NMSU-WPGA. P.47-59.

Comité editorial del Cedel

M.C. Noé Chávez Sánchez
M.C. Hugo Raúl Uribe Montes
M.C. Socorro Héctor Tarango Rivero
Dr. Jesús Arturo Payán García

Daño salino en nogal pecanero se terminó de imprimir en Enero de 2011, en Delicias, Chihuahua, México, en los talleres de Impresos PAyCAR (Tel. 474-70-76), con un tiraje de 2,000 ejemplares más sobrantes para su reposición.

Edición y formación: M.C. Francisco Báez Iracheta