



SALINIDAD DEL SUELO EN HUERTAS DE NOGAL PECANERO *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch

SOIL SALINITY IN PECAN ORCHARDS *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch

José Grageda Grageda^{1*}, Rodolfo Sabori Palma¹, Alejandro Valenzuela Martínez¹,
Alejandro Quijada Flores¹, J. Humberto Núñez Moreno¹ y Julio César Rodríguez²

¹INIFAP. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Carretera a Bahía de Kino Km. 12.6. Col.

La Manga. Hermosillo, Sonora. ²Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería.
Carretera a Bahía de Kino Km. 21. Hermosillo, Sonora.

RESUMEN

El nogal pecanero *C. illinoensis* (Wangenh.) K. Koch es una especie de frutal sensible a las sales cuando se cultiva bajo irrigación. Con el fin de detectar la dinámica de la salinidad del suelo que se presenta en algunas huertas establecidas con diferentes sistemas de riego y tipos de suelo de la variedad Western en la Costa de Hermosillo, Sonora, fue realizado un estudio durante el ciclo 2007-08 en cinco huertas comerciales. Se hicieron muestreos de suelo el 15 de marzo de 2007 y el 16 de enero de 2008, a profundidades de 0-5, 5-40, 40-80 y 80-120 cm. Los resultados demuestran que las texturas pesadas acumularon mayor cantidad de sales, aunque existe un lavado adecuado. El sodio y los sulfatos se incrementaron en mayor cantidad en los sistemas de riego por goteo que en otros sistemas, además de que la conductividad eléctrica y el cloro se incrementaron anualmente a menores profundidades de suelo, existiendo mayor cantidad de bicarbonatos en los estratos superiores.

Palabras clave: Sodio, conductividad eléctrica, goteo, bicarbonatos.

ABSTRACT

Pecan is a very sensitive crop to soil salinity when grown under irrigation. The objective was to study the dynamics of soil salinity in five orchards in the coast of Hermosillo, Sonora, growing under different soil types and irrigation systems in Western cultivar. The study was carried out during cycle 2007-08 and two soil samplings were taken, the first on March 15, 2007 and the second on January 16, 2008. The samples were taken at 0-5, 5-40, 40-80, and 80-120 cm depths. The heavy textures tend to accumulate higher amount of salts, although it favorably moves towards lower layers by irrigation leaching. The soil electrical conductivity is greater in drip irrigation systems, mainly in upper layers. Sodium and sulfates are increasing more in drip irrigation, besides the electrical conductivity and chlorine increase annually at deepest layers of soil. There is a greater amount of bicarbonates in the upper layers.

Key words: Sodium, conductivity, drip, bicarbonates

INTRODUCCIÓN

En México, las áreas de producción agrícola que presentan problemas de salinidad se localizan principalmente en los distritos de riego del norte del país. Aunque la fuente original de sales proviene de los minerales primarios que forman las rocas, las sales solubles en el suelo provienen, en su mayoría, de su dilución por el agua de riego. Si la precipitación pluvial es baja (<380 mm anuales), las sales solubles se quedan en el suelo y al evaporarse el agua, las sales del agua del suelo ascienden por capilaridad a la superficie y después de muchos años, se forman los suelos salinos (Castellanos *et al.*, 2000). El nogal pecanero, junto con el almendro (*Prunus amygdalus* Batsch), están entre las especies vegetales cultivadas en bajo riego sensibles a las sales (Miyamoto, 2006). Todas las regiones nogaleras presentan en mayor o menor grado problemas de salinidad, por lo que el objetivo del estudio fue mostrar la dinámica de sales que se presenta en los estratos superiores del suelo de algunas huertas de la Costa de Hermosillo, del estado de Sonora, establecidas bajo diferentes sistemas de riego y tipos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cinco huertas adultas (30 años), cultivadas bajo los sistemas de riego que se señalan en la tabla 1, durante los ciclos 2007 y 2008. En cada huerta (unidad experimental) se seleccionaron al azar cuatro árboles de la variedad Western Schley y en cada uno de ellos se realizó un muestreo al suelo a profundidades de 0-5, 5-40, 40-80 y 80-120 cm, tomándose muestras simples que se realizaron antes de la brotación del cultivo, el 15 de marzo de 2007 (Fecha 1) y 16 de enero de 2008 (Fecha 2). El diseño experimental consistió en un arreglo factorial 2x5x4 (fechas/huertas/profundidades del suelo) completamente al azar, con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas y su método de análisis fueron las siguientes: Bicarbonatos (mEq L⁻¹): neutralización con ácido sulfúrico, Sodio (ppm): extracción con acetato de amonio y absorción atómica, Conductividad eléctrica (dS m⁻¹): extracto de saturación, Sulfatos (mEq L⁻¹): precipitación con sulfato de bario y Cloruros (mEq L⁻¹): titulación con nitrato de plata. Para el análisis estadístico se utilizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (5%).

Tabla 1. Huertas de nogal utilizadas en el estudio de la salinidad del suelo en la región de Hermosillo, Sonora.
Table 1. Pecan orchards used in the study of the soil salinity in the Hermosillo, Sonora region.

Huertas	Sistema de Riego	Textura por profundidad de suelo (cm)			
		0-5	5-40	40-80	80-120
1	Rodado	Franco	Franco-arenoso	Franco	Franco-limoso
2	Goteo enterrado	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco	Franco-limoso
3	Goteo enterrado	Franco-arcilloso	Franco-arcilloso	Franco-arenoso	Franco
4	Goteo enterrado	Franco-arenoso	Arena-francosa	Arena	Franco
5	Aspersión	Franco	Franco arenoso	Arena francosa	Arenoso

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sodio

El sodio es el elemento más problemático para el manejo de la salinidad de los suelos, ya que incrementa el pH, deflocula la estructura del suelo que favorece la compactación, lo cual afecta el crecimiento de las plantas (Aceves, 1979), ya que limita la disponibilidad de humedad en la zona radical del nogal. El análisis estadístico de los resultados muestra una diferencia significativa entre huertas y la interacción de fechas por profundidad del suelo. En la tabla 2, se presenta el análisis estadístico a través de la comparación de medias para el factor huertas, donde se puede observar que este elemento va incrementando su concentración, especialmente entre aquéllas que se riegan por goteo enterrado (sub-superficial) y cuya textura superficial es más arcillosa. Es en estos suelos donde debe hacerse un mejor manejo del agua de riego, con el fin de prevenir el problema de concentración de sales y principalmente del sodio, ya que las texturas pesadas (arcillosas) dificultan el lavado, por su gran cantidad de fuerzas eléctricas de carga negativa, debido a su alta superficie específica que retienen a los cationes de las sales (Núñez, 2000). Por otra parte, en la tabla 3 se

Tabla 2. Concentración de sodio en el suelo (mg kg^{-1}) en las diferentes huertas evaluadas.

Table 2. Sodium concentration in soil (mg kg^{-1}) in the different evaluated orchards.

Huertas	Fechas de muestreo		Media
	1	2	
1	238	283	260 ^d
2	368	395	382 ^c
3	944	714	829 ^a
4	590	706	648 ^b
5	343	389	366 ^{cd}
Media	497	497	

Letras diferentes indican diferencias significativas en cada una de las medias ($p < 0.05$)

observa que la diferencia estadística estuvo presente entre profundidades de suelo, notándose que la mayor acumulación de sales se presentó en relación al incremento de la profundidad, lo cual puede indicar un manejo adecuado del riego para el lavado de sales, es decir, riegos pesados, que reducen la concentración en el área importante de raíces absorbentes, aunque en algunos sitios ya existe el problema, debido a que se supera el nivel crítico de 486 mg kg^{-1} medidas en el extracto de saturación, que de acuerdo a Miyamoto (2006), es cuando se inician los efectos negativos en el crecimiento del árbol.

Conductividad eléctrica

La determinación de la conductividad eléctrica es una forma indirecta de medir la salinidad del agua a través del extracto de suelo saturado y representa un serio problema para el nogal, ya que incrementa la presión osmótica de la solución del suelo, lo que dificulta la disponibilidad de agua y nutrientes para las raíces de las plantas (Chhabra, 1996), además de que puede presentarse toxicidad de iones y desbalance nutricional (Willadino y Camara, 2004).

El análisis estadístico detectó una diferencia

Tabla 3. Concentración de sodio en el suelo (mg kg^{-1}) en la interacción fechas por profundidades del suelo.

Table 3. Sodium concentration in soil (mg kg^{-1}) in the interaction dates by soil depths.

Fechas	Profundidad del suelo (cm)				Media
	0-5	5-40	40-80	80-120	
1	397	448	507	644	499 ^a
2	484	478	520	507	497 ^a
Media	440 ^b	463 ^b	514 ^{ab}	578 ^a	

Letras diferentes indican diferencias significativas en cada una de las medias ($p < 0.05$)

significativa para los factores fechas de muestreo y profundidad del suelo. En la tabla 4 se presentan los resultados, donde puede observarse que anualmente existe una acumulación de sales, por lo que es importante realizar un manejo del agua de riego diferente a través del lavado de las sales del área circundante de las raíces del nogal hasta una profundidad del suelo de 100 cm antes de brotación, para iniciar el ciclo con un suelo en mejores condiciones de baja conductividad eléctrica. Aunque no hubo significancia estadística entre las profundidades de suelo (tabla 4), existe una clara tendencia a observar mayores niveles de salinidad en las partes superficiales, que incluso superan el nivel crítico $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Miyamoto *et al.*, 1986), lo cual es negativo, debido a que en esta profundidad del suelo se desarrollan la mayor cantidad de raíces absorbentes del árbol (Núñez, 2001).

Tabla 4. Comportamiento de la conductividad eléctrica (dS m^{-1}) entre fechas de muestreo y profundidades del suelo en huertas de nogal de la Costa de Hermosillo.

Table 4. Behavior of the electrical conductivity (dS m^{-1}) between dates of sampling and depths of the soil in the coast of Hermosillo pecan orchards.

Profundidades (cm)	Fecha de muestreo		Media
	1	2	
0-5	1,85	2,54	2,19 ^a
5-40	1,48	2,35	1,91 ^a
40-80	1,59	2,06	1,84 ^a
80-120	1,71	1,98	1,82 ^a
Media	1,66 ^a	2,23 ^b	

Letras diferentes indican diferencias significativas en cada una de las medias ($p < 0.05$)

Bicarbonatos

Son compuestos químicos comunes en suelos alcalinos de alto pH que son frecuentes en zonas áridas y semiáridas, y es llamado el elemento elusivo, el cual se analiza de rutina en los análisis de agua, pero pocas veces se realiza en el extracto de saturación. Se ob-

servó diferencia estadística significativa entre las profundidades (tabla 5), lo cual señala que el proceso de acumulación es mayor a nivel de la superficie (0-5) con $2,56 \text{ mEq L}^{-1}$ y va descendiendo paulatinamente hasta $1,88 \text{ mEq L}^{-1}$ a la profundidad de 80-120 cm, lo cual se asocia seguramente con los procesos de humedecimiento del suelo, ya que las mayores concentraciones de bicarbonatos se dan entre 0 y 80 cm de profundidad del suelo, que es el nivel donde se desarrolla la mayor cantidad de raíces del nogal (Núñez, 2001), especialmente en los sistemas de riego por aspersión y rodado (superficial o gravedad). Traynor (1980) señala que en rábano, la tasa relativa del crecimiento de raíces inicia su decremento cuando se cultivó en soluciones con 5 mEq L^{-1} .

Tabla 5. Bicarbonatos obtenidos entre profundidades del suelo.

Table 5. Bicarbonates obtained between depths of the soil.

Profundidad del suelo (cm)	$\text{HCO}_3 \text{ mEq L}^{-1}$
0-5	2,56 ^a
5-40	2,20 ^b
40-80	2,05 ^{bc}
80-120	1,88 ^c

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Cloruros

El nogal es una especie sensible a la presencia de los cloruros (Miyamoto *et al.*, 1985) y es un micro-elemento necesario para el funcionamiento óptimo de los sistemas de evolución del oxígeno durante la fotosíntesis (Terry, 1977), ya que de acuerdo a Marschner (1995) citado por White y Broadley (2001), las plantas superiores sólo requieren 1 g kg^{-1} de materia seca. El análisis estadístico detectó diferencia significativa entre fechas de muestreo y huertas. En la tabla 6, los datos muestran que ya existe acumulación del elemento por arriba de 10 meq L^{-1} , especialmente en una huerta con sistema de riego por goteo, y que de acuerdo al Manual de la Asociación de Fertilizantes de California (1990), en algunas variedades de naranja dulce y vid

empiezan a ser perjudiciales. En nogal pecanero, de acuerdo a Brison (1976) citado por Tarango y Chávez (2010), ocurre quemadura marginal del foliolo a partir de 5,7 meq L⁻¹ en el suelo.

Tabla 6. Cloruros (mEq L⁻¹) obtenidos entre fechas de muestreo y huertas estudiadas.

Table 6. Chlorides (mEq L⁻¹) obtained between sampling dates and studied orchards.

Huertas	Fechas de muestreo		Media
	1	2	
1	4,75	6,75	5,75 ^c
2	6,81	7,88	7,34 ^c
3	19,62	19,69	19,66 ^a
4	8,12	11,69	9,90 ^b
5	4,69	6,12	5,40 ^c
Media	8,80 ^b	10,42 ^a	

Letras diferentes indican diferencias significativas en cada una de las medias (p<0.05)

Sulfatos

Los cultivos agrícolas raramente responden al azufre aplicado. La carencia de respuesta del cultivo al fertilizante de azufre ocurre en la mayoría de las veces. El resultado es la presencia de sulfatos en el subsuelo u óxidos de azufre, que constituyen uno

de los principales gases emitidos en las ciudades principalmente por actividades industriales, vehículos automotores y quema de biomasa (Alcalá *et al.*, 2008). Aunque tanto las formas orgánicas como el sulfuro pueden contribuir a la nutrición vegetal en el tiempo, las plantas absorben del suelo primeramente el azufre en la forma de SO₄⁼ (Leustek y Saito, 1999). El análisis estadístico detectó diferencia significativa entre fechas de muestreo y la interacción entre huertas y profundidades del suelo. En las tablas 7 y 8, se observa que existe una acumulación del elemento en el tiempo y entre las huertas, especialmente en una que se riega con goteo enterrado (sub-superficial), aunque afortunadamente todavía lejos del nivel crítico de 100 mEq L⁻¹, que de acuerdo a Mengel y Kirkby (1987), afectan negativamente el crecimiento general de las plantas.

Tabla 7. Resultados de la variable sulfatos entre fechas de muestreo.

Table 7. Results of the variable sulphates between sampling dates.

Fechas	SO ₄ ⁼ mEq L ⁻¹
2	9,83 ^a
1	5,46 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)

Tabla 8. Resultados de la variable sulfatos (SO₄⁼) en mEq L⁻¹ en la interacción entre huertas y profundidades del suelo muestreadas.

Table 8. Results of the variable sulphates (SO₄⁼) in mEq L⁻¹ in the interaction between orchards and sampled soil depths.

Huertas	Profundidades (cm)				Media
	0-5	5-40	40-80	80-120	
1	4,12	2,85	3,14	5,14	3,81 ^c
2	6,62	7,11	8,64	9,32	7,92 ^b
3	5,75	5,90	8,40	8,88	7,23 ^b
4	21,32	18,00	9,54	7,69	14,14 ^a
5	5,46	4,94	5,56	4,52	5,12 ^{bc}
Media	8,66 ^a	7,76 ^a	7,06 ^a	7,11 ^a	

CONCLUSIONES

Las huertas de texturas arcillosas con goteo enterrado (sub-superficial), presentaron mayores riesgos de sodicidad, ya que acumularon por arriba del nivel permisible de 486 mg kg^{-1} . Se observó una significativa acumulación de sales (conductividad eléctrica) entre fechas de muestreo, incluso que superan el umbral de acumulación permisible ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$), lo que denota la importancia de realizar un mejor lavado con riegos pesados antes de la brotación de los árboles. La escasa información disponible sobre bicarbonatos en nogal, hace necesario reforzar la investigación sobre niveles críticos específicos para este cultivo. En general, las huertas superan el umbral crítico para cloruros ($5,7 \text{ meq L}^{-1}$), por lo que se deberá poner atención al manejo adecuado del riego que favorezca su lavado y evitar un posible daño a la productividad del cultivo.

BILIOGRAFÍA

- Aceves, N.A. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, control, combate y adaptación). Libro técnico. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Alcalá, J., Sosa, M., Moreno M., Ortega, J., Quintana C. y Holguín C. 2008. Especies arbóreas evaluadas como bioacumuladoras de azufre en la ciudad de Chihuahua, México. *Ecología Aplicada*. 7: 17-21.
- Castellanos, J.Z., Uvalle B.J.X. y Aguilar S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Colección INCAP. Segunda edición. San Miguel Allende, Guanajuato, México.
- Chhabra, R. 1996. Soil salinity and water quality. A.A. Balkema Publishers. Old Post Road. Brookfield, VT. USA. pp. 37.
- Leustek T. y Saito, K. 1999. Sulfate transport and assimilation in plants. Biotechnology Center for Agriculture and the Environment, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey. *Plant Physiology*. 120: 637-643.
- Mengel, K. y Kirkby, E.A. 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland. pp.398.
- Miyamoto, S., Gobran, G.R. y Piela, K. 1985. Salt effects on seedling growth and ion uptake of three pecan rootstock cultivars. *Agronomy Journal*. 77: 383-388.
- Miyamoto, S., Riley, T., Gobran, G. y Petticrew, J. 1986. Effects of Saline Water Irrigation on Soil Salinity, Pecan Tree Growth and Nut Production. Texas A & M University Agricultural Research Center at E1 Paso, 1380 A & M Circle, E1 Paso, TX 79927, USA. *Irrigation Science*. 7: 83-95.
- Miyamoto, S. 2006. Diagnosis and management of salinity problems in irrigated Pecan production. Texas Water Resource Institute. El Paso, TX. TR-287. pp.1-4.
- Núñez, S.J. 2000. Fundamentos de edafología. 3ª. Reimpresión. Editorial EUNED. San José de Costa Rica. Libro técnico. pp. 90.
- Núñez M.J.H. 2001. Aspectos Generales del Nogal. In: INIFAP. 2001. El nogal pecanero en Sonora. Libro técnico No. 3 C.E. Costa de Hermosillo-CIRNO-INIFAP. Hermosillo, Sonora, México. pp. 11-13.
- Tarango, R.S.H. y Chávez S.N. 2010. Daño Salino en Nogal Pecanero. Documento impreso. INIFAP. Campo Experimental Delicias. pp.49.
- Terry, N. 1977. Photosynthesis, growth, and the role of chloride. *Plant Physiology*. 60: 69-75
- Traynor, J. 1980. Ideas in Soil and Plant Nutrition. Kovak books. Bakersfield, CA. USA.
- Western Fertilizer Handbook. 1990. Horticulture Edition. California Fertilizer Association. Sacramento, CA. Interstate Publishers, Inc. Danville, IL. USA. p.39.
- White, P.J. y Broadley M.R. 2001. Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A Review. *Annals of Botany*. 88: 967-988.
- Willadino, L. y Camara T. 2004. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: La Eco fisiología Vegetal, Una Ciencia de Síntesis. M. Reigosa, N. Pedrol y A. Sánchez (eds). Thomson Editores. Madrid, España. pp: 300-330.