

ACUMULACIÓN DE IONES EN NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] DE MADURACIÓN TEMPRANA, SOMETIDOS A DIFERENTES CONDICIONES DE SALINIDAD

ACUMULATION OF IONS IN EARLY MATURITY PECAN [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] , UNDER DIFFERENTS CONDITIONS OF SALINITY

G. D. Montes-Rentería, J. G. Arreola-Ávila, R. Trejo-Calzada, J.S. Rodríguez-López

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo., C.P. 35230

RESUMEN. La búsqueda de portainjertos de nogal pecanero tolerantes a salinidad constituye una alternativa recomendable, para lograr una explotación redituable en zonas con suelos afectados por salinidad. El objetivo del presente estudio fue evaluar la acumulación de iones en plántulas de nogal sometidas a diferentes condiciones de salinidad, 0, 750, 1000 y 1250 ppm de Na, usando como fuente NaCl. Se obtuvo la tasa relativa de crecimiento (TRC) para altura y diámetro, así como la dinámica de defoliación. En laboratorio se analizó pH y concentraciones de Cl, Na, Ca, K, Zn, Mn, Fe y Cu en hojas, tallos y raíces. Los gradientes de salinidad tuvieron efecto estadístico sobre diámetro, pero no sobre altura. Sin embargo las TRC tanto para altura como para diámetro se vieron reducidas conforme se incrementaron los gradientes en los tratamientos. Los tratamientos no afectaron el pH en los órganos; excepto en la raíz de plantas sometidas a 1250 ppm. La defoliación, al igual que el contenido de Cl y Na en los órganos aumentó conforme se incrementaron los niveles de salinidad. Basados en los resultados se asume que este material evaluado presenta una posible exclusión de iones Na en hojas. La concentración de Ca, K, Zn, Mn, Fe y Cu tanto en hojas como en tallos y raíces no fue afectada, con excepción del K en raíz.

Palabras clave: Tolerancia, salinidad, nogal pecanero, concentración.

SUMMARY. Searching for salt tolerant pecan rootstocks constitute and recommendable alternative, to achieve a profitable activity, in areas affected by soil salinity. The objective of this study was to evaluate the accumulation of ions in pecan seedlings at under different levels of salinity: 0, 750, 1000 and 1250 ppm of Na, Using NaCl as ingredient. RGR was obtained for height and diameter. Dynamics of defoliation was obtained as well. In lab were analyzed pH and Cl, Na, Ca, K, Zn, Mn, Fe and Cu concentrations in leaf, stem and roots. The salinity gradients affected diameter statistically, but not on height. However, RGR for both, height and diameter were reduced as salinity gradients in treatments were increased. Treatments did not affect pH in the organs, except in root of pecans with 1250 ppm. Defoliation as well as Cl and Na concentrations in the organs, increased as salinity levels increased. We assumed that the evaluated material, present a possible exclusion for Na in leaves. Ca, K, Zn, Mn, Fe and Cu concentration in leaves, stems and roots was not affected, except for the K in roots.

Keywords: Tolerance, salinity, pecan seedlings and concentration.

INTRODUCCIÓN

Las sales solubles proveen los elementos minerales nutritivos requeridos por las plantas para su crecimiento normal, pero un exceso de sales solubles puede ser muy dañino. Miyamoto (1985) observó que el desarrollo y la producción del nogal son reducidos considerablemente por esta causa. Además, la salinización de suelos y aguas es el principal factor limitante de la productividad vegetal en las regiones áridas y semiáridas, pudiendo llegar a la inutilización de los suelos bajo el punto de vista agronómico.

Para desarrollarse adecuadamente, el nogal necesita de nutrimentos que obtiene en forma de iones inorgánicos del suelo, agua y atmósfera de manera natural y complementado con aplicaciones de fertilizante. Los nutrientes son componentes inherentes en la estructura o metabolismo del árbol, y su ausencia causa anomalías en crecimiento, desarrollo o reproducción (Epstein y Bloom, 2005).

Los macronutrientes que el nogal necesita son N, P, K, Ca, S y Mg. EL nitrógeno es el elemento que más influencia tiene en el crecimiento y probablemente del

que más deficiencias se encuentra en los huertos; es constituyente de muchos componentes de las células, incluyendo aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos (Lincoln y Zeiger, 2006). Si las concentraciones son bajas se puede dar aborto de flores y producción limitada, consistente principalmente de nueces pequeñas (Sparks, 1986). Si las concentraciones son excesivas la producción cae, la madurez y dormancia se retrasan, además de que el estrés por la sequía se incrementa (Sullivan *et al.*, 1976).

El potasio es el segundo macronutriente más requerido en la producción nogalera. Es esencial en la fisiología del nogal, ya que está involucrado en el transporte de carbohidratos, regulación osmótica, activación de enzimas asociadas con respiración y fotosíntesis, y otros procesos de la planta (Miller, 1981). Además, los niveles de potasio tienen una influencia directa sobre el contenido de aceite de las nueces. Las deficiencias de potasio pueden causar que las nueces sean pequeñas, que no tengan buen llenado y una reducida tolerancia a las bajas temperaturas, así como la posibilidad de disminuir su resistencia a enfermedades (Sparks, 1977). El calcio, por su parte, es usado en la síntesis de nuevas paredes celulares y en la fase mitótica de la división celular. Este es requerido para el normal funcionamiento de las membranas y está implicado como segundo mensajero y controla la transcripción (White y Broaley, 2003).

Los micronutrientes más requeridos por los nogales son Zn, Mn, Fe, Cu, B y Mo. Muchas enzimas requieren iones Zn para su actividad. Este elemento ayuda en la síntesis de serina, la cual es precursora del triptófano. Éste es usado para construir proteínas y convertido auxinas (Storey *et al.*, 1979). Puede estar requerido por algunas para la biosíntesis de clorofila (Miller, 1981). El Fe es uno de los elementos necesarios en la síntesis de la clorofila, y tiene un importante papel como componente de las enzimas involucradas en la transferencia de electrones (Sandman y Boger, 1983). Como el Fe, el Cu también es asociado con enzimas involucradas en reacciones redox (Haenel, 1984). Los iones manganeso activan varias enzimas en las células de las plantas. Pero la función mejor definida del manganeso es en la reacción fotosintética, a través de la cual se forma oxígeno a partir del agua (Marschner, 1995).

Los suelos sobre los cuales se desarrollan las huertas de nogal pecanero, presentan características fisicoquímicas que conducen hacia la poca disponibilidad de nutrimentos debido al pH alcalino de los mismos. El rango óptimo en que se desarrolla el nogal pecanero va de 6.2 - 7.8 (García, y Chapman, 1989). El pH alcalino

es consecuencia de los altos contenidos de carbonatos de calcio, lo que causa salinidad.

La salinidad es la presencia en exceso de sales solubles en el suelo, lo que causa atrofia y daña el desarrollo de las plantas (Staples, 1984). Los suelos con altos contenidos de sales contienen frecuentemente sales de Na, cloruros o sulfatos de calcio y magnesio (Castro, 1990). La mayoría de los cultivos son sensibles a la salinidad. El nogal que está formado por un patrón y una variedad puede llegar a resistir hasta una cierta tasa, ya que los mecanismos de tolerancia a la salinidad de los frutales están muy relacionados con la capacidad del portainjerto para restringir o limitar la absorción o transporte de los iones Cl y Na al injerto (López-Gómez y García-Legaz, 2007).

La clasificación tradicional de los suelos con base en salinidad indica que a una CE mayor de 4 dS/m son salinos y suelos con CE menor de 4 dS/m se consideran no salinos. Un nivel de salinidad de 3.5 dS/m (2200 ppm) puede reducir la tasa de crecimiento aproximadamente 25 %. La muerte regresiva puede ocurrir a niveles de salinidad de 5 dS/m (3200 ppm), y los árboles pueden morir cuando la salinidad del suelo alcanza o excede 6 dS/m (3800 ppm) (Miyamoto *et al.*, 1986).

Dentro de los efectos típicos de la salinidad sobre las plantas están la disminución del crecimiento y por tanto del rendimiento; para explicar estos efectos se han creado varias teorías, entre las que sobresalen: Déficit hídrico, que sugiere que la disminución del crecimiento se debe a la disminución del potencial osmótico de la solución del suelo, lo que reduce el gradiente de presión del agua entre el agua y la raíz y, por consecuencia, la tasa de absorción de agua (Bernstein, 1980). Ajuste osmótico: propone que el crecimiento reducido se debe a que la planta invierte energía en realizar este proceso, energía que bajo condiciones normales usaría en el crecimiento (Bernstein, 1980). Efectos específicos de los iones: esta teoría señala que el efecto tóxico de ciertos iones dentro de la planta puede ocurrir independientemente del efecto osmótico (Greenway y Munns, 1980).

Cultivos como la vid y el pistachero, son tolerantes a la salinidad del suelo. El pistache, debido a que presenta el mecanismo conocido como "exclusión de iones" (Figuroa *et al.*, 1991). Este mecanismo, responsable de la tolerancia a salinidad también en naranjo, parece funcionar en el área de emisión de raíces adventicias, en el cual el sodio se intercambia por potasio. Otro mecanismo se propone en vid, al señalarse que la acumulación de cloro en hojas de diferentes variedades

y portainjertos de esta especie está controlada por la permeabilidad de la membrana de su raíz (Kuiper, 1968).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue conducido en una casa sombra, ubicada en la URUZA-UACH. Se evaluaron plantas provenientes de semilla de nogal pecanero nativo, las cuales fueron puestas en remojo como tratamiento pregerminativo, después fueron sembradas en invernadero, en una caja para semillero de madera, usando arena como sustrato. Estas fueron regadas cada tercer día con agua destilada. Después de aproximadamente tres meses, las plántulas fueron trasplantadas en húmedo a macetas de 7 kg con el mismo tipo de sustrato y transportadas a una casa sombra, donde posteriormente se les aplicaron los tratamientos. Fueron aplicados cuatro; tratamientos; el primero fue el tratamiento testigo y los otros tres fueron diferentes niveles de salinidad, las concentraciones de salinidad fueron: 0, 750, 1000 y 1250 ppm de Na, que se prepararon a partir de NaCl con una pureza de 99.8 %. Estos tratamientos fueron aplicados mediante riego diariamente, durante seis semanas.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos incluyendo el testigo. Cada uno tuvo cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres macetas.

Se obtuvo la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) y la Tasa Relativa de Incremento de Diámetro (TRID). Para la primera se midió la altura semanalmente con una regla graduada, siempre a partir del mismo punto, y para la segunda se determinó el diámetro de la planta semanalmente mediante un vernier digital, siempre en el mismo lugar. Se contó el número de hojas cada semana.

En laboratorio se determinaron pH y concentración de iones en órganos. El pH se determinó con el microprocesador PHmeter Hanna instrument modelo PH211. Para la determinación de cloro en tejidos se calcinó la muestra y se midió en el microprocesador PHmeter Hanna instrument modelo PH211 usando un electrodo combinado de cloruros Hanna Instrument HI 4117. Para la medición de Na, K, Ca, Zn, Mn, Fe y Cu, se digirieron las muestras usando la placa de calentamiento Termoscientific modelo HP131535 y la campana de extracción Lapconco, y se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo AANALYST 200.

Para el análisis de datos se utilizó el paquete MINITAB, para probar la normalidad. Los datos de campo, altura y diámetro se incorporaron en el programa Excel® 2007,

donde se calculó la TRC por medio de la fórmula:

$$TRC = \frac{Lnt_2 - Lnt_1}{t_2 - t_1},$$

después estos datos fueron

exportados al programa MINITAB donde fueron graficados y ajustados a la curva de crecimiento. Se realizó un análisis multivariado a través del tiempo con regresión parcial para la variable número de hojas.

Para todas las variables se llevó a cabo un análisis de varianza y una posterior comparación de medias, utilizando para ello la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ con el paquete estadístico SAS 2002 (Statistical Analysis System).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TRC y TRID

El efecto de la Tasa Relativa de Crecimiento TRC expresada en altura de las plantas se ilustra en la Figura 1; el crecimiento en plantas testigo regadas con agua destilada mostró incremento conforme transcurrió el periodo de evaluación. Este patrón de crecimiento no se manifestó en las plantas sujetas a tratamientos con salinidad. En el tratamiento de 750 ppm, las plantas siguieron un patrón de crecimiento constante, aunque de menor intensidad que el observado en el testigo, pero más intenso que el de su inmediato superior (1,000 ppm). La menor intensidad en esta variable se observó en las plantas tratadas con 1,250 ppm, es decir, la línea que representa el crecimiento manifestó un mínimo ascenso en el periodo de evaluación. La disminución en la tasa de crecimiento a medida que se incrementó la concentración de sodio en el agua coincide con las aseveraciones efectuadas por Hanna (1984) y Miyamoto *et al.*, (1985), quienes además postulan que la especie

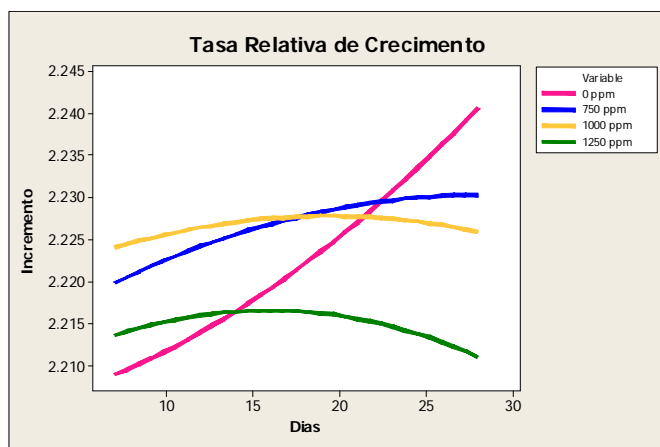


Figura 1. Tasa Relativa de Crecimiento de plántulas de nogal sometidas a cuatro tratamientos de salinidad: 0, 750, 1000 y 1250 ppm.

del nogal pecanero es muy susceptible al sodio, el cual tiene un impacto importante en el árbol aunque éste se encuentre a bajas concentraciones en el suelo.

El efecto de la salinidad sobre la Tasa Relativa de Incremento en diámetro (TRID) puede observarse en la Figura 2. En el tratamiento testigo se puede observar una tendencia similar al manifestado por TRC de altura, donde el patrón de crecimiento del testigo no se presenta en las plantas sujetas a salinidad. Nuevamente, el ascenso manifiesto en las plantas testigo tiende a disminuir en las plantas tratadas con NaCl. El descenso en el incremento en diámetro manifiesto en las plantas tratadas con 750 ppm de NaCl, es más notable a medida que la concentración de esta sal se incrementa, observándose en el tratamiento más salino (1,250 ppm) la menor tendencia en el incremento de esta variable. Miyamoto *et al.* (1986) encontraron una disminución en el diámetro del tronco del 25 % bajo un nivel de salinidad en el suelo de 3.5 dS/m; en nuestro estudio se observó una disminución (40 %) en el diámetro de tronco en árboles tratados con 750 ppm de NaCl, que es equivalente a 1.2 dS/m. Esta variable disminuyó de manera considerable conforme se incrementó la concentración a 1,000 y 1,250 ppm de sales en el agua de riego.

El efecto sobre la disminución de la TRC del diámetro del tronco a partir de 750 ppm aquí observado, puede ser debido a que los árboles en etapa inicial de crecimiento son menos tolerantes a la salinidad.

Número de hojas

El número de hojas que está relacionado con el incremento en el número de nudos en esta especie, fue afectado por los tratamientos efectuados en este estudio (Figura 3). El incremento en número de hojas en las plantas testigo tomó un patrón similar al observado para altura y diámetro. Cuando las plantas fueron tratadas con 750 ppm de NaCl, se observó un inicio de defoliación en el quinto muestreo efectuado, es decir, 35 días después de aplicar los tratamientos. Este comportamiento se observó a los 21 y 14 días en las plantas tratadas con 1,000 y 1,250 ppm, respectivamente.

La pronta defoliación en las plantas tratadas aquí presentada, durante este periodo de evaluación, puede estar relacionada con una mayor sensibilidad de las plantas manifiesta en esta etapa. Posiblemente el incremento en la concentración foliar de cloro en el presente estudio pudo ser la causa de la defoliación, como fue observado en algunas especies de cítricos por Brumós *et al.* (2009).

pH

En el Cuadro 1 se presentan los efectos de los tratamientos de diferentes gradientes de salinidad sobre el pH en diferentes tejidos de los arbolitos. El pH en la hoja no fue significativamente afectado por los tratamientos. Situación similar se observó en el tallo, cuyo valor tendió a ser ligeramente alcalino. El pH en la raíz de las plantas sujetas a concentraciones de 750 y 1,000 ppm fue similar al observado en el testigo; sin embargo, al incrementar la concentración a 1,250 ppm el pH en este tejido incrementó significativamente.

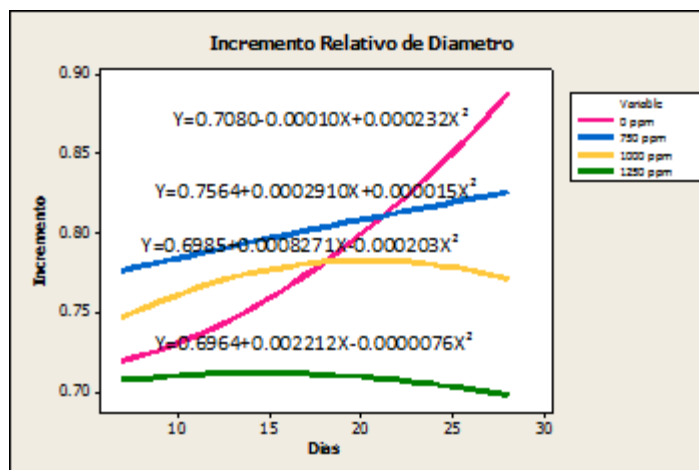


Figura 2. Tasa Relativa de Incremento de Diámetro, en plántulas de nogal sometidas a diferentes niveles de salinidad, 0, 750, 1000 y 1250 ppm de Na.

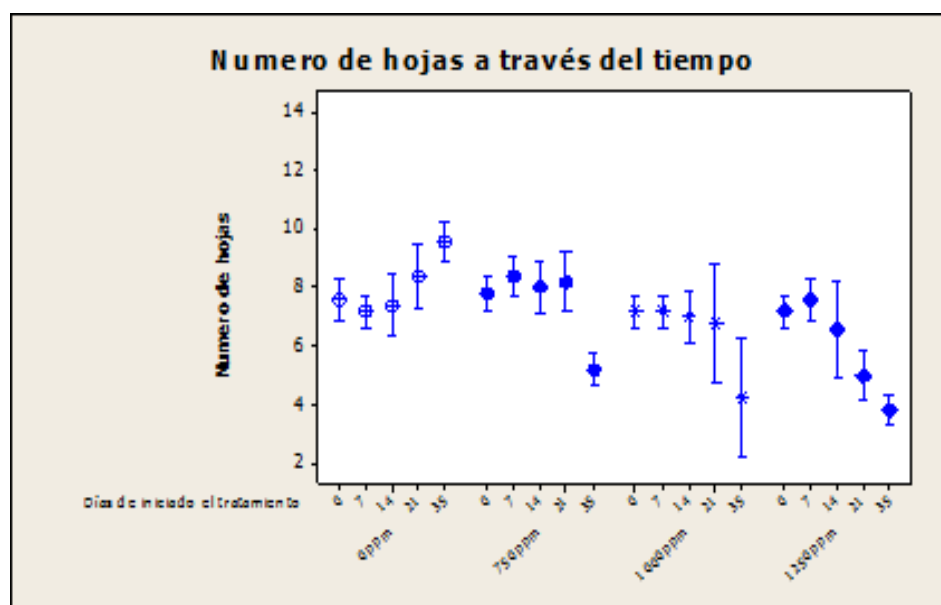


Figura 3. Dinámica de defoliación en plántulas de nogal sometidas a cuatro tratamientos de salinidad: 0, 750, 1000 y 1250 ppm. Cada punto representa la media \pm el cuadrado medio del error (n=15).

Cuadro 1. pH en tejidos de plántula de nogal pecanero sometidos a diferentes condiciones de salinidad.

Tratamiento	pH hoja	pH Tallo	pH raíz
0 ppm	8.32 a ^z	7.98 a ^z	7.64 b ^z
750 ppm	8.33 a	8.00 a	7.60 b
1000 ppm	8.33 a	7.88 a	7.48 b
1250 ppm	9.50 a	8.29 a	10.53 a

^zMedias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey $\alpha =$ al 0.05

Sodio

En el Cuadro 2 se presenta la concentración de sodio en órganos de plántulas de nogal pecanero sometidas a diferentes tratamientos de cloruro de sodio. Todos los tratamientos con NaCl causaron efectos significativos con respecto al testigo; en lo referente a la concentración encontrada en hojas se tiene que aumentó a medida que se incrementó el nivel en el agua aplicada a las macetas tratadas. Se observó que a partir de 750 ppm el contenido de Na se incrementó significativamente. El mayor valor se observó en las plantas cuyas macetas fueron regadas con 1,000 y 1,250 ppm. El incremento de 0 a 750 ppm de NaCl aumentó cuatro veces el contenido foliar; mientras que al

aumentar dicha concentración a 1,000 y 1,250 ppm se observó un contenido de Na en las hojas cinco veces mayor en comparación al testigo. Es importante mencionar que niveles superiores de 1,000 ppm aplicados en el agua no manifiestan un efecto asociado con el incremento de los niveles en sal en los tratamientos. En tallo resultó que existe diferencia significativa estadísticamente con respecto al testigo, pero no entre los demás tratamientos. La concentración se incrementó significativamente a partir de 750 ppm. Estos valores fueron similares estadísticamente al aplicar 1,000 y 1,250 ppm. Situación similar se observó en la raíz, en la cual la concentración incrementó de forma significativa a partir de 750 ppm.

Cuadro 2. Concentración de sodio en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego, 0, 750, 1000 y 1250 ppm.

Tratamiento	Concentración (ppm) de Na		
	Hoja	Tallo	Raíz
0	339.0 c ^z	940.3 b ^z	1597.4 b ^z
750	1432.4 b	1775.3 a	1855.0 a
1000	1944.7 a	1863.1 a	1896.6 a
1250	1842.5 a	1956.2 a	1913.5 a

^z Medias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey al 0.05

Cloro

La concentración media de cloro en hojas, tallos y raíces se ilustra en el Cuadro 3, como respuesta a los cuatro tratamientos de salinidad, usando como fuente NaCl. De acuerdo con la comparación de medias realizada en hojas, no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos. Sin embargo, se observó una tendencia hacia el incremento de este ión a medida que aumentó el tratamiento.

Mientras que para tallo los niveles de salinidad tuvieron un efecto significativo. La concentración en este tejido incrementó notablemente en los tratamientos elevados (1,000 y 1,250 ppm), cuyos niveles en el tejido fueron cuatro veces mayores respecto al testigo, el cual fue similar al tratamiento inmediato superior (750 ppm).

En raíz también se encontró diferencia significativa en la concentración de cloro como resultado de los tratamientos aplicados, hallándose que el testigo era

diferente a todos los tratamientos pero igual estadísticamente a los tratamientos de 750 y 1,000 ppm, mientras que el de 1,250 era diferente a todos.

A diferencia de lo que pasó con sodio, los cloruros no fueron acumulados en la raíz, sino que se distribuyeron por la planta; así, tuvimos las más altas concentraciones en hoja, después en tallos y los niveles más bajos en raíz. Lo que parece ser capacidad de exclusión de Na y la falta de exclusión de Cl concuerda con los resultados de Sepaskan y Maftoun (1982), quienes observaron este mismo efecto en algunas variedades de pistacho; no obstante, difiere de lo encontrado por Walker *et al.*, (1987) en un experimento realizado con otras variedades de pistacho.

Calcio y potasio

La concentración media de calcio y potasio en hojas, tallos y raíces se ilustra en el Cuadro 4, como respuesta a los cuatro tratamientos de salinidad, usando como

Cuadro 3. Concentración de Cl en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego, 0, 750, 1000 y 1259 ppm

Tratamiento (ppm)	Concentración Cl (ppm)		
	Hoja	Tallo	Raíz
0	12.29 a ^z	57.30 b ^z	81.72 a ^z
750	88.86 a	153.08 ab	55.86 ba
1000	117.24 a	235.92 a	51.32 ba
1250	120.08 a	241.05 a	44.98 b

^z Medias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey al 0.05.

fuelle NaCl. Los tratamientos de salinidad no tuvieron efectos significativos sobre el contenido de Ca en las hojas. Esto significa que la translocación de este nutrimento hacia las partes superiores del árbol es igualmente eficiente, aunque existan diferentes gradientes de salinidad. La concentración de Ca en el tallo, al igual que en las hojas, fue similar en los cuatro tratamientos aplicados. Aunque se apreció una tendencia hacia una disminución de este ion en las plantas tratadas con 1,250 ppm de NaCl.

Es en la raíz donde se observó una tendencia hacia el decremento a medida que se incrementó el gradiente de salinidad. Aunque los efectos no fueron significativos, podemos notar una disminución del 58, 45 y 44 % observados en plantas tratadas con 750, 1,000 y 1,250 ppm, respectivamente. Estos resultados permiten suponer que la tasa de absorción de Ca disminuye con el incremento de los iones de NaCl en la solución, aunque la translocación hacia tallo y hoja se lleva a cabo en forma normal, independientemente del gradiente de salinidad. Rather (1944) afirmó que cuando las concentraciones de sodio en el suelo aumentan, el complejo intercambiable puede incluso llegar a remover el calcio de los tejidos radiculares de la planta, lo que puede ser una explicación al fenómeno que se presentó en este trabajo. La mayor concentración de calcio encontrada en las hojas es importante para contrarrestar efectos tóxicos de sodio. Los resultados aquí encontrados coinciden con los señalados por Figueroa (1991).

La respuesta en concentración de K en hojas de plántula de nogal debido a los tratamientos con sales, sólo fue afectada cuando la concentración de la solución de riego fue de 1,000 ppm. Mientras que en raíces y tallos la concentración disminuyó conforme se aplicó más concentración de sales. De acuerdo con el análisis de medias para la concentración de K en hoja y tallo, no se presentaron efectos significativos en función de los tratamientos con salinidad, pero sí se encontraron en raíz. Este análisis mostró que el testigo fue diferente a

los tratamientos, pero estadísticamente igual a los tratamientos con 750 y 1,250. Mientras que el tratamiento de 1,000 ppm también fue diferente al resto de los tratamientos, pero estadísticamente no se diferencia de los tratamientos de 750 y 1,250. Que aunque no haya diferencia significativa en la concentración de calcio debido a los tratamientos con salinidad, el contenido de este elemento sí se ve en alguna medida mermado, principalmente cuando es sometido a concentraciones más altas. Figueroa (1991) encontró en pistache que la concentración de Ca se eleva en función de la salinidad. Y además encontró que gran parte del Ca absorbido es transportado a las hojas, de tal manera que las concentraciones más altas de este elemento se encuentran en este tejido. Figueroa (1991) encontró que la concentración de potasio en hojas de pistache no se ve afectada por la salinidad, mientras que en raíces encontró una disminución significativa en la concentración de este elemento.

Zinc y manganeso

En el Cuadro 5 se presenta la concentración de Zn y Mn en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego. La cantidad de Zn encontrada en tallos, hojas y raíces de plántulas sometidas a diferentes gradientes de salinidad, no muestran efecto a dichas concentraciones. En hojas la concentración mayor de este elemento se encontró en el tratamiento de 1,250 ppm, y la menor en las plantas que recibieron el tratamiento de 750 ppm. En tallo la mayor concentración se encontró en las plántulas sometidas a 750 ppm, mientras la menor se encontró en el tratamiento testigo. En raíces las mayores concentraciones se encontraron en el tratamiento de 1,000 ppm y las menores en la de 1,250. No se puede observar ninguna tendencia de la planta como efecto a los diferentes gradientes de salinidad a que fueron sometidas.

Con respecto a la concentración de manganeso, la salinidad no tuvo efecto significativo sobre la concentración foliar. Pero se puede ver que la mayor

Cuadro 4. Concentración de Ca y K en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego.

Tratamiento (ppm)	Concentración (ppm) de Ca en tejidos			Concentración (ppm) de K en tejidos		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
0	565.68 a ^z	537.80 a ^z	559.2 a ^z	1455.26 a ^z	1279.11 a ^z	1269.11 a ^z
750	618.44 a	551.62 a	277.1 a	1509.51 a	1255.32 a	1231.26 ab
1000	622.15 a	520.25 a	273.2 a	1306.10 a	1100.37 a	1185.41 b
1250	603.68 a	480.25 a	252.2 a	1503.10 a	1108.58 a	1202.36 ab

z Medias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey al 0.05.

concentración se encontró en el testigo y de ahí fue disminuyendo conforme los tratamientos elevaban su concentración de sales. Así se tiene que el testigo tuvo una concentración de 13.444, el tratamiento con 750 ppm mostró una concentración de 20.8%, menor que el testigo, y los tratamientos de 1,000 y 1,250 ppm tuvieron una disminución de 29.36 y 34.81 %, respectivamente. Las concentraciones de Mn en los órganos de plántulas de nogal pecanero sometidos a diferentes condiciones de salinidad, están por debajo de los rangos normales de suficiencia para este elemento en esta planta. Esto pasa incluso en el tratamiento testigo. Los niveles de Zn que obtuvimos en nuestro análisis están muy por debajo de los rangos de suficiencia que para este cultivo presentó Stockton (1985), para estas regiones; esto puede deberse a que no se le agregó ningún tipo de fertilización, y el sustrato utilizado fue arenoso.

Fierro y cobre

En el Cuadro 8 se presenta la concentración de Fe y Cu en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio, aplicados en agua de riego. Aunque las medias de la concentración de fierro en los tejidos tuvieron variación, los diferentes gradientes de salinidad no tuvieron diferencia significativa sobre la concentración de este elemento. Sin embargo, las concentraciones más bajas en hojas y tallos se presentaron en el testigo, con 48.2 y 63.5 ppm, respectivamente. No fue así en raíces, que mostraron

que la menor concentración se presentó en el tratamiento de 1,000 ppm; en ésta el testigo dobló la concentración de Fe en raíz. La concentración de Cu fue estadísticamente similar en todos los tratamientos y tejidos. Los diferentes gradientes de salinidad de los tratamientos no provocaron la misma respuesta en todos los tejidos. En hoja la concentración media fue de 2.6640 ppm; en testigo disminuyó un 11.3, 12.85 y 11 % en los tratamientos de 750, 1000 y 1250 ppm, respectivamente. En tallo la mayor concentración se presentó en el tratamiento de 750 ppm, siendo ésta un 14.11 % mayor que en el testigo. En raíz se encontró que la mayor concentración se dio, al igual que en el tallo, en el tratamiento de 750 ppm, siendo un 14.89 % mayor que en el testigo.

Las concentraciones de Fe encontradas en órganos de plántula de nogal sometidas a diferentes gradientes de salinidad, están dentro de los rangos normales. Sin embargo, en lo que a cobre se refiere, se observa que se encuentra por debajo del rango normal de suficiencia reportado para zonas áridas.

CONCLUSIONES

Los niveles de NaCl tuvieron efecto sobre el diámetro, pero no sobre la altura de las plantas. La defoliación aumentó conforme se incrementó el gradiente de salinidad; la respuesta fue más pronta en los

Cuadro 5. Concentración de Zn y Mn en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego.

Tratamiento Concentración (ppm)	Concentración (ppm) de Zn en tejidos			Concentración (ppm) de Mn en tejidos		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
0	0.752 a	0.6080 a	0.912 a	13.444a	4.380 a	3.980 a
750	0.515 a	1.0080 a	1.192 a	10.640 a	4.577 a	6.960 a
1000	0.676 a	0.7680 a	2.412 a	9.496 a	5.295 a	3.348 a
1250	1.880 a	0.6960 a	0.668 a	8.764 a	3.324 a	3.156 a

z Medias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey al 0.05.

Cuadro 6. Concentración de Fe y Cu en hojas, tallo y raíz de nogal pecanero bajo cuatro tratamientos con cloruro de sodio en agua de riego.

Tratamiento (ppm)	Concentración de Fe (ppm)			Concentración de Cu (ppm)		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
0	48.2 a	63.5 a	87.8 a	2.6440 a	2.6640 a	2.3360 a
750	229.4 a	246.69 a	143.1 a	2.3450 a	2.900 a	2.7200 a
1000	50.2 a	71.59 a	36.6 a	2.3040 a	3.040 a	2.4200 a
1250	208.7 a	207.8 a	61.2 a	2.3280 a	2.8600 a	2.3120 a

z Medias con diferente letra indican diferencia estadística, según prueba de Tukey al 0.05.

tratamientos con mayor concentración de sales. El pH de los órganos hoja y tallo no fue afectado por los tratamientos, excepto en el tejido raíz para el tratamiento de mayor concentración.

El contenido de Na y Cl en hojas, raíces y tallos, aumentó conforme la concentración de sales en los tratamientos se incrementaba. Es posible que este material presente potencial para excluir el Na de las hojas, debido a que la mayor concentración de este ion fue encontrada en tallo y raíz, no siendo así para el ion Cl.

Los tratamientos de salinidad no afectaron la concentración de Ca, K, Zn, Mn, Fe y Cu en hoja, tallo y raíz, excepto para potasio en raíz.

LITERATURA CITADA

- Bernstein, L. 1980. Salt Tolerance of Fruit Crops. United States Department of Agriculture Information bulletin 292.
- Brumos, J. *et al.* (2009). Membrane transporters and carbon metabolism implicated in chloride homeostasis differentiate salt stress responses in tolerant and sensitive *Citrus* rootstocks. *Funct. Integr. Genomics* 9:293-309.
- Castro F. R. 1990. Teoría y Práctica de la salinidad agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.
- Epstein, E, and Bloom, A. J. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2nd ed. Sinayer Associates, Sunderland. MA.
- Figueroa V. U., Baca C. G. y Martínez G. A. 1991. Acumulación de Cl, Na, Ca, K, Mg en variedades y portainjertos de pistache *Pistacia spp* (Anacardiaceae) sometidos a diferentes condiciones de salinidad.
- García M.A., Chapman D. 1989. Fertilizer and cultural recommendations for pecan trees. Eds. University of Arkansas, United States Department of Agriculture and County Governments Cooperating. FSA-6131.
- Greenway, H. Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance and non halophytes *Ann. Rev Plant Physiol.* 31:149-190.
- Haehnel, W. 1984. Photosynthetic electron transport in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiology.* 35: 659-693.
- Hanna, J.D. 1987. Pecan rootstock. In: R.C. Rom (ed.). *Rootstocks for fruit crops.* John Wiley & Sons.
- Kuiper, P.J. 1968. Lipids in grape root in relation to chloride transport. *Plant Physiol.* 43: 1367-1371.
- Lincoln, T. and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology.* Sinauer Associates, Inc. pp 349-375.
- López-García, M.F Y García-Legaz, J.C. 2007. Efecto del Portainjerto en la producción de níspero en condiciones salinas. XI Congreso SECH. Albacete.
- Marshner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants,* 2nd ed. Academic Press, London.
- Miller, E.V. 1981. *Fisiología vegetal.* Unión tipográfica editorial. México.
- Miyamoto, S., Gobran and K Piela. 1985. Salt effects on seedling growth and ion uptake of tree pecan rootstock cultivar. *Agron. J.*
- Miyamoto, S., T. Riley, G. Gobran, and G. Petticrew. 1986. Effects of saline water irrigation on soil salinity, pecan tree growth and nut production. *Irrig. Sci.* 7: 83-95.
- Rather E. I. 1944. Physiological effect of alkalinity of soils and the ameliorative role of plant root systems on Solonetz (alkaly soils). *Pochvovedente (pedology):* 205-227.
- Sandman, G. and P. Boger. 1983. The enzymological function of heavy metals and their role in electron transfer processes of plants. Pages 563-596 in a Lauchli (eds), *Encyclopedia of plant physiology,* New series, Vol. 15 B, *Inorganic Plant nutrition.* Springer-Verlag, Berlin.
- Sepaskhah, A. R. y M. Maftoun. 1982. Growth and chemical composition of pistachio seedlings as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. II chemical composition. *J. Hort. Sci.* 57: 469-476.
- Sparks D. 1977. Effects of fruiting on scorch, premature defoliation, and nutrient status of Chickasaw pecan leaves. *J. Amer. Soc for Hort. Sci* 102 (5). 669-73.
- Sparks D. 1977. Effects of fruiting on scorch, premature defoliation, and nutrient status of Chickasaw pecan leaves. *J. Amer. Soc for Hort. Sci* 102 (5). 669-73.
- Staples, R. Toeniessen G. 1984. *Salinity Tolerance in plants. Strategies for crop improvent.* Jhon Wiley & Sons, New York.
- Stockton, A. 1985. Interpreting pecan tree nutritional levels through leaf analysis. 19th Western Pecan Conference Procc. New Mexico State University. Coop. Ext. Service USA. p. 99-100.
- Storey J. B., P.N. Westfall and M.W. Smith. 1979. Why Do Pecans Need Zinc? *The Pecan Quaterly,* Vol 13, No 2.
- Storey J. B. 1992. Pecan Leaf Sampling. *Texas Pecan Handbook,* TAEX Hort Handbook 105, edited by G.R. McEachern and L.A.
- Sullivan, D. T., *et al.* 1976. The effect of controlled availability nitrogen fertilizers on mature pecan trees. *Soil Sci. Soc Amer. J* 40:470-72.
- Walker, R. R. 1987. Sodium exclusion and potassium-sodium selectivity in salt treated trifoliolate orange *Poncirus trifoliolate* and *Cleopatra mandarin Citrus reticulata* plants. *Aust. J. Agric. Res.* 38:383-394.
- White, P.J. and Broadley, M.R. 2003. Calcium in plants. *Ann Bot.* 92: 487-511.