

RESPUESTA FISIOLÓGICA, ACUMULACIÓN IÓNICA Y PESO SECO

EN PORTAINJERTOS DE NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*

(WANGENH) K. KOCH) DESARROLLADOS BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO

Alondra Gisela Campos-Villarreal, Jesús G. Arreola-Ávila, Jorge Armando Chávez-Simental, Ricardo Trejo Calzada, Amparo Borja de la Rosa, Armando López Santos y José Ramón Hernández Salgado

RESUMEN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) es sensible a la salinidad. La colección y evaluación de genotipos nativos de nogal con potencial para desarrollarse bajo condiciones moderadas de salinidad es una estrategia de interés. El objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia a la salinidad de dos genotipos varietales, Riverside y Apache, y dos genotipos criollos, SVA1 y SVA2. Se aplicaron tratamientos con solución de NaCl a concentraciones de 0,08; 2,5; 3,0 y 3,5 dS·m⁻¹. Se evaluó conductancia estomática (CE) y fotosíntesis durante cinco semanas así como contenido de cloro (Cl⁻) y sodio (Na⁺) en raíz, tallo y

hoja, y peso seco de los genotipos, una vez que las plantas mostraron signos de deterioro foliar en la etapa final. La CE disminuyó significativamente en los genotipos Riverside y SVA1, cuando la conductividad eléctrica en la solución fue de 3,0 y 3,5 dS·m⁻¹, respectivamente, mientras que la fotosíntesis disminuyó en los genotipos Apache y SVA1. La concentración de Na⁺ y Cl⁻ en raíz, tallo y hoja después de los tratamientos varió en los diferentes genotipos. La menor concentración de Na⁺ en hoja se encontró en Apache y SVA2. El peso seco total de las plantas en condición salina disminuyó significativamente.

Introducción

El nogal pecanero es una especie cuyos ancestros nativos se desarrollaron espontáneamente cerca de ríos o arroyos donde los suelos son de origen aluvial, profundos y fértiles, con alta capacidad de retención de humedad y con buen drenaje (Wolstenholme, 1979). Actualmente la mayoría de las huertas comerciales de nogal se encuentran en áreas distantes de esos nichos ecológicos, en las que prevalecen

suelos con pobre calidad y menor disposición de agua. El nogal pecanero es una especie susceptible a salinidad (Miyamoto *et al.*, 1985) y su umbral de tolerancia, determinado en huertas irrigadas, es de 2 a 3 dS·m⁻¹ cuando el Na es el catión dominante (Miyamoto y Nesbitt, 2011). El crecimiento del árbol disminuye cuando el nivel de salinidad alcanza 3 dS·m⁻¹ y cesa en valores de 4 dS·m⁻¹ (Miyamoto, 2010). El estrés causado por Na₂SO₄ en

genotipos nativos de nogal disminuye la producción de biomasa y parte aérea (Moreno *et al.*, 2015, Thompson y Walworth, 2006). La susceptibilidad a la salinidad es variable entre materiales usados como portainjertos en nogal pecanero. En el portainjerto 'Riverside' el crecimiento se reduce en 25% cuando las concentraciones de sodio son de 50 mmol·l⁻¹, mientras que en 'Burkett' o 'Apache', la misma disminución se presenta cuando el

contenido de Na⁺ es de 40 mmol·l⁻¹ (Miyamoto *et al.*, 1985).

La disminución en biomasa y peso seco causada por la salinidad también ha sido observada en olivo (Lolaei *et al.*, 2012), pera (North y Cook, 2008) e higo (Zarei *et al.*, 2016). El estrés causado por la salinidad disminuye parámetros fisiológicos como la fotosíntesis en pera (Fallahi, 2001; Tamura 2012), olivo (Chartzoulakis *et al.*, 2002; Loreto *et al.*, 2003;

PALABRAS CLAVE / *Carya illinoensis* / Conductancia Estomática / Distribución de Iones / Fotosíntesis / Genotipo / Salinidad /

Recibido: 01/12/2016. Modificado: 16/10/2017. Aceptado: 20/10/2017.

Alondra Gisela Campos-Villarreal. M.C. en Recursos Naturales y Medio Ambiente y Estudiante Graduado, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México.

Jesús G. Arreola-Ávila (Autor de Correspondencia). M.C. en Fruticultura, Colegio de Postgraduados, México. Doctor en Agronomía, New Mexico State University. Profesor Investigador, UACH, México. Direc-

ción: URUZA-UACH. Carretera Gómez Palacio-Ciudad Juárez Km. 40, C.P. 35230. México. e-mail: jgarreola@chapingo.uruza.edu.mx

Jorge Armando Chávez-Simental. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico Agropecuario (ITA), México. Doctor en Ciencias Agrarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Profesor Investigador, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). México.

Ricardo Trejo Calzada. Ingeniero Agrónomo, UACH, México. M.C. en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Doctor en Ciencias Agrícolas, New Mexico State University, EEUU. Profesor Investigador, URUZA-UACH, México.

Amparo Borja de la Rosa. Doctora en Ciencias de la Madera, Université Nancy I, Francia. Profesor Investigador, UACH, México.

Armando López Santos. Ingeniero Agrónomo y M.C. en Sis-

temas de Producción Agropecuaria, Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Doctor en Sistemas de Producción Agropecuaria, UAAAN, México. Profesor Investigador, URUZA-UACH, México.

José Ramón Hernández Salgado. Ingeniero Agrónomo en Zootecnia. UACH, México. Maestro en Ciencias en Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. Profesor Investigador, UACH, México.

PHYSIOLOGICAL RESPONSE, ION ACCUMULATION AND DRY WEIGHT OF PECAN (*Carya illinoensis* (WANGENH) K. KOCH) ROOTSTOCKS GROWN UNDER SALINE STRESS CONDITIONS

Alondra Gisela Campos-Villarreal, Jesús G. Arreola-Ávila, Jorge Armando Chávez-Simental, Ricardo Trejo Calzada, Amparo Borja de la Rosa, Armando López Santos and José Ramón Hernández Salgado

SUMMARY

Pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) plants are sensitive to salinity. The collection and evaluation of native genotypes of pecan with potential to develop in moderate salinity conditions is a strategy of interest. The objective of this study was to evaluate the tolerance to salinity of two genotypic varieties, Apache and Riverside, and two seedling genotypes, SVA1 and SVA2. Treatments with saline solution containing NaCl concentrations of 0.08, 2.5, 3.0 and 3.5dS·m⁻¹ were applied. Stomatal conductance (SC) and photosynthesis were evaluated for five weeks. Chloride (Cl⁻) and sodium (Na⁺) con-

tents in root, stem and leaf, as well as dry weight, were evaluated when plants presented signs of deterioration, at the final stage. SC decreased significantly in Riverside y SVA1 genotypes when the electrical conductivity in the solution was 3.0 and 3.5dS·m⁻¹, respectively, while photosynthesis decreased in the Apache and SVA1 rootstocks. Na⁺ and Cl⁻ concentration in root, stem and leaf, was variable after the different treatments. The lowest Na⁺ concentration in leaves was observed in the Apache and SVA2 genotypes. Dry weight of plants was significantly reduced under saline conditions.

RESPOSTA FISIOLÓGICA, ACUMULAÇÃO IÔNICA E PESO SECO EM PORTA ENXERTOS DE NOGUEIRA PECÃ (*Carya illinoensis* (WANGENH) K. KOCH) DESENVOLVIDOS SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

Alondra Gisela Campos-Villarreal, Jesús G. Arreola-Ávila, Jorge Armando Chávez-Simental, Ricardo Trejo Calzada, Amparo Borja de la Rosa, Armando López Santos e José Ramón Hernández Salgado

RESUMO

A noqueira pecã (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch) é sensível à salinidade. A coleta e avaliação de genótipos nativos de noqueira com potencial para desenvolver-se sob condições moderadas de salinidade é uma estratégia de interesse. O objetivo do presente estudo foi avaliar a tolerância à salinidade de dois genótipos varietais, Riverside e Apache, e dois genótipos autóctones, SVA1 e SVA2. Aplicaram-se tratamentos com solução de NaCl a concentrações de 0,08; 2,5; 3,0 e 3,5dS·m⁻¹. Avaliou-se condutância estomática (CE) e fotossíntese durante cinco semanas assim como conteúdo de cloro (Cl⁻)

e sódio (Na⁺) em raiz, talo e folha, e peso seco dos genótipos, uma vez que as plantas mostraram sinais de deterioro foliar na etapa final. A CE diminuiu significativamente nos genótipos Riverside e SVA1, quando a condutividade elétrica na solução foi de 3,0 e 3,5dS·m⁻¹, respectivamente, enquanto que a fotossíntese diminuiu nos genótipos Apache e SVA1. A concentração de Na⁺ e Cl⁻ em raiz, talo e folha, depois dos tratamentos, variou nos diferentes genótipos. A menor concentração de Na⁺ em folha se encontrou em Apache e SVA2. O peso seco total das plantas em condição salina diminuiu significativamente.

Tattini *et al.*, 1992, Kchaou *et al.*, 2013) y vid (Soar *et al.*, 2006). Similarmente, la conductancia estomática es afectada por la salinidad en olivo (Aparicio *et al.*, 2014). La retención iónica en raíz o tallo es uno de los mecanismos que presentan algunas plantas para tolerar la salinidad (Munns y Tester, 2008). Como resultado, el efecto de exclusión iónica en las hojas se ha observado en higo (Zarei *et al.*, 2016) olivo (Gucci *et al.*, 1997) pera (Matsumoto *et al.*, 2006), nogal (Montes *et al.*, 2011), aguacate (Mickelbart y Arpaia, 2002), naranja (Prior *et al.*, 2007; Grosser *et al.*, 2012) limón (Almansa *et al.*, 2002) y pistacho, (Picchioni y Miyamoto, 1990).

La industria nogalera de los EEUU basa su producción en

nogales de diferentes variedades injertados sobre portainjertos originados de las variedades Riverside y Apache, por ser los que mejor desarrollan en suelos moderadamente salinos (Miyamoto y Nesbitt, 2011), mientras que en México se utilizan portainjertos criollos (Montes *et al.*, 2011). En áreas nogaleras del sur de los EEUU y norte de México, lugares de origen de esta especie, se han identificado genótipos con potencial para desarrollarse en suelos moderadamente salinos (Montes *et al.*, 2011), por lo que su evaluación, relacionada con parámetros fisiológicos y grado de tolerancia a este estrés salino, es de interés. El objetivo del presente estudio fue el evaluar la conductancia estomática, la fotosíntesis y la capacidad de exclusión iónica

en cuatro genótipos de nogal, correspondientes a dos varietales, 'Apache' y 'Riverside', y dos selecciones criollas, SVA1 y SVA2, usados como portainjertos.

Materiales y Métodos

Material vegetativo

El experimento se llevó a cabo en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México (25°53'38,93"N y 103°36'01,0"O, a 1115msnm). Se llevaron a cabo análisis de suelo y agua previos a la aplicación de los tratamientos. Los análisis de interés en suelo fueron conductividad eléctrica (0,23dS·m⁻¹), y contenido de Na⁺ y Cl⁻ (200 y 80ppm, respectivamente). En agua la conductividad eléctrica

fue de 0,08dS·m⁻¹, con 1ppm de Na⁺ y sin presencia de Cl⁻. Se germinaron semillas de nogal pecanero de las variedades Riverside, Apache, y de dos materiales criollos (SVA1 y SVA2); las semillas de los materiales se obtuvieron de nogales que se encuentran en terrenos con moderadas concentraciones de sales en el suelo.

Diseño de tratamientos

Las semillas fueron colectadas en noviembre 2013 y estratificadas durante un mes a temperatura de 5°C. Posteriormente fueron sumergidas en agua por 48h como tratamiento pregerminativo y se sembraron en una caja de madera para semillero, bajo condiciones de invernadero a 30°C. Se utilizó arena como sustrato y se apli-

caron riegos con agua destilada cada tercer día. Una vez que las plantas alcanzaron un tamaño de ~15cm fueron traspasadas a macetas que contenían 4,5kg de arena, para la posterior aplicación de tratamientos, mantenidas bajo una condición de luz del 50%, la cual se logró mediante colocación de malla sombra negra de polietileno de 4,2m de ancho y peso de 35gr·m⁻². Se estableció un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo de tratamientos factorial de 4x4 (16 tratamientos) con cuatro repeticiones, resultando 64 unidades experimentales en total. Se consideró como un factor los genotipos (variedades Apache, Riverside y los materiales criollos SVA1 y SVA2), y el segundo factor fue la conductividad eléctrica de cloruro de sodio (0,08; 2,5; 3 y 3,5dS·m⁻¹) aplicado en tratamientos. Las plántulas se regaron cada tercer día, aplicando 400ml de la solución salina o sin sales (testigo), durante un periodo de 48 días (2 de marzo al 20 de abril).

Variables evaluadas

Se evaluó la conductancia estomática y la fotosíntesis dos veces por semana, utilizando un analizador de gas infra rojo (LI-COR 6400®, Lincoln, NE, EEUU). Al final del experimento se colectaron las plántulas, se fraccionaron en raíz, tallo y hoja y se introdujeron en estufa de secado a 65°C hasta peso constante y se determinó el peso seco. El contenido de Na se determinó mediante digestión, efectuada por vía húmeda, con una mezcla nítrico-perclórica. Posteriormente las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (ANALYST 200, Perkin Elmer®, EEUU). Para la determinación de cloruros se tomaron 0,25g de la muestra vegetal, se añadieron 0,06g de óxido de calcio y la mezcla resultante se digirió en una estufa (Termo Scientific. Mod. F62735, Iowa, EEUU) a 550°C. El residuo se recuperó con agua caliente, se filtró y se aforó a 250ml. Se

determinó la concentración de Cl⁻ usando un microprocesador (PH211, PHmeter Hanna, EEUU). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza mediante el programa SAS 2002, versión 9. Se efectuó una comparación de medias entre tratamientos utilizando la prueba de Tukey y se llevó a cabo un análisis de tendencia de las variables conductancia estomática y fotosíntesis mediante ajuste de polinomios ortogonales, se eligió el modelo basado en máxima R² y mínimo cuadrado medio del error (Steel and Torre, 1980).

Resultados y Discusión

Conductancia estomática

La salinidad disminuyó la conductancia estomática en los cuatro genotipos estudiados (Tabla I). La solución salina con una conductividad eléctrica de 2,5dS·m⁻¹ disminuyó la conductancia estomática en un 21, 22, 56 y 57% en los genotipos SVA2, Apache, Riverside y SVA1, respectivamente, mientras que el incremento a 3,5dS·m⁻¹ causó, en los mismos genotipos, una reducción en la conductancia estomática de 55, 72, 79 y 77%. Munns y Tester (2008) mencionan que el cierre del estoma y la disminución en la conductancia estomática conforman una respuesta inmediata a la salinidad. En este estudio la respuesta de los genotipos al incremento de la sal en el medio es similar a la respuesta reportada por Zarei *et al.* (2016) en cuatro genotipos de higo tratados con NaCl, en los que el estrés salino redujo la conductancia de CO₂ hacia el mesófilo de la hoja. Riverside y Apache han sido utilizados como portainjertos en el sureste de EEUU, mientras que SVA1 y SVA2 son utilizados como portainjertos en el estado de Chihuahua, México, una de las principales regiones productoras de la nuez. El grado de disminución de la conductancia estomática fue diferente en los genotipos estudiados. Mientras que en Riverside y SVA1 fue significativamente diferente, en Apa-

che y SVA2 no fue así. Similares resultados fueron encontrados en las variedades 'Frantoio' y 'Picudo', las de mayor tolerancia al estrés salino entre seis genotipos de olivo bajo condiciones de salinidad (Aparicio *et al.*, 2014). La respuesta variable en conductancia estomática en la hoja por estrés hídrico, entre portainjertos de vid, también ha sido documentada por Soar *et al.* (2006), quienes observaron mayor tolerancia en Teleki 5C y Ramsey.

Fotosíntesis

Los genotipos Riverside y SVA2 mostraron fotosíntesis similar en los diferentes niveles de condición salina (Tabla II), aunque esta variable disminuyó en una tercera parte en ambos materiales cuando la conductividad eléctrica de la solución aumentó a 3,5dS·m⁻¹. En el genotipo Apache la fotosíntesis disminuyó dos terceras partes cuando la salinidad fue de 3dS·m⁻¹, mientras que en el genotipo SVA1, el decremento en fotosíntesis fue de dos quintas partes en comparación con el testigo cuando la conductividad eléctrica fue de 3,5dS·m⁻¹.

La variación de tasa fotosintética en estos genotipos debido a la diferente condición salina se relaciona con los resultados obtenidos por Loretto *et al.* (2003), quien observó en cultivares de olivo una variación en la fotosíntesis bajo condiciones de estrés salino, agregando que el mayor efecto sobre la reducción fotosintética se presentó en los genotipos que presentaron mayor fotosíntesis inherente al genotipo desarrollado bajo condiciones sin estrés. Al respecto, Chartzoulakis *et al.* (2002) observaron, en cultivares de olivo que presentan elevada fotosíntesis, una reducción mayor de esta variable causada por el estrés salino, en comparación con aquellos que tienen menor tasa fotosintética. La reducción fotosintética debido al estrés salino puede ser una respuesta de adaptación de las plantas a la disminución en el contenido de agua (Tamura, 2012). En este aspecto, Aparicio *et al.* (2014) indican que la fotosíntesis está indirectamente limitada por la baja disponibilidad de agua en árboles de olivo, los cuales presentan diferente sensibilidad al estrés salino, cuando son

TABLA I
CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN PORTAINJERTOS DE NOGAL PECANERO BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NaCl

Salinidad (dS·m ⁻¹)	Conductancia estomática (mol H ₂ O m ⁻² ·s ⁻¹)			
	Apache	Riverside	SVA1	SVA2
0,08	0,0212 a	0,0333 a	0,0179 a	0,0336 a
2,5	0,0285 a	0,0149 ab	0,0141 ab	0,0275 a
3,0	0,0181 a	0,0083 bc	0,0097 ab	0,0161 a
3,5	0,0099 a	0,0072 c	0,0063 b	0,0148 a

Medias con diferente letra en la misma columna, muestran diferencia estadística (Tukey, p≤0,05).

TABLA II
FOTOSÍNTESIS EN PORTAINJERTOS DE NOGAL PECANERO BAJO DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NaCl

Salinidad (dS·m ⁻¹)	Fotosíntesis (μCO ₂ m ⁻² ·s ⁻¹)			
	Apache	Riverside	SVA1	SVA2
0,08	5,2 a	5,3 a	5,2 a	4,3 a
2,5	3,7 ab	4,3 a	4,7 ab	4,0 a
3,0	2,6 bc	3,7 a	3,9 ab	2,7 a
3,5	1,8 c	3,7 a	2,9 b	2,6 a

Medias con diferente letra en la misma columna, muestran diferencia estadística (Tukey, p≤0,05).

sometidos a esta condición. La fotosíntesis en olivo puede estar limitada por el cierre del estoma, el cual varía entre genotipos según lo documentan Kchaou *et al.* (2013). De acuerdo con Loreto *et al.* (2003) la concentración de CO₂ en el cloroplasto es fijada por la conductancia del estoma y del mesófilo, que son las principales limitantes de la fotosíntesis en genotipos estresados por sal, así como en cultivares con baja fotosíntesis desarrollados sin estrés.

Concentración de Na⁺ en tejido

La concentración de Na⁺ en el tejido de los genotipos estudiados aumentó con el incremento de salinidad en el medio, en comparación con el testigo (Figura 1). En Riverside y Apache el incremento del ion en hoja y tallo fue proporcional al incremento de sal en el medio. El genotipo SVA2 acumuló una cantidad significativa e invariable de Na⁺ en raíz bajo las tres condiciones de salinidad. Similar comportamiento sin cambio significativo presentó el genotipo SVA1. Riverside, Apache y SVA2 retuvieron la mayor cantidad de Na⁺ en raíz en el medio salino de mayor conductividad eléctrica (3,5dS·m⁻¹), que fue similar al de 2,5dS·m⁻¹. La efectividad del mecanismo de exclusión de Na⁺ en la raíz de SVA2 coincide con lo encontrado por Montes *et al.* (2011), quienes observaron en SVA2, un genotipo criollo de ciclo corto, mayor retención del ion en comparación con dos genotipos criollos de ciclo intermedio. La mayor retención de Na⁺ en raíz de estos genotipos puede conferirles ciertas ventajas para su tolerancia a niveles moderados de salinidad, ya que se ha documentado que la tolerancia a salinidad en cultivares de olivo está asociada a un mecanismo efectivo de exclusión iónica y retención de iones salinos en la raíz (Aparicio *et al.*, 2014). Igual sucede en genotipos de higo (Zarei *et al.*, 2016). Esta

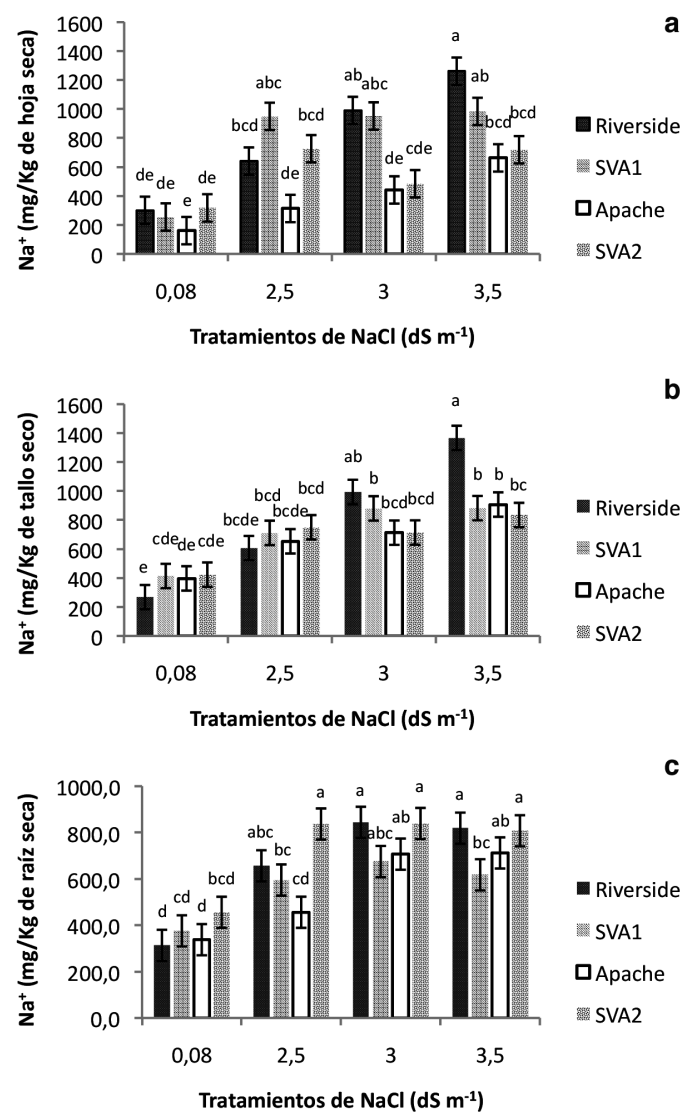


Figura 1. Concentración de sodio en hoja (a), tallo (b) y raíz (c) de cuatro genotipos de nogal pecanero tratados con cuatro niveles de salinidad. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0,05$). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n= 240 observaciones).

capacidad es propia también de portainjertos de *Pyrus amygdaliformis* y *Pyrus elaeagrifolia*, dado su elevada capacidad para inhibir el transporte de sales de la raíz a las partes superiores del árbol (Matsumoto *et al.*, 2006).

Concentración de Cl⁻ en tejido

Las concentraciones de Cl⁻ en la hoja y el tallo de los genotipos Riverside y SVA1 aumentaron con el incremento del estrés salino (Figura 2). En Apache y SVA2 el incremento del ion en hoja y tallo fue

menor. El genotipo SVA1 acumuló una cantidad significativa e invariable de Cl⁻ en raíz bajo los tres niveles de estrés salino, en comparación con el testigo. Riverside y SVA2 tuvieron menor respuesta de Cl⁻ retenido en este tejido. Este efecto fue similar en Apache, excepto para las plantas tratadas con 3,5dS·m⁻¹, que mostraron mayor retención del ion. La concentración de Cl⁻ en tallo y raíz observado en Riverside, Apache y SVA2, fue menor que el encontrado en la hoja de los mismos. SVA1 se caracterizó por mostrar una retención

significativa en raíz. Los resultados aquí obtenidos, relacionados con el incremento de Cl⁻ en las hojas como respuesta al incremento de la salinidad, coinciden con los reportados por Montes *et al.* (2011), quienes reportan un incremento en las concentraciones de Cl⁻ en todos los órganos, en dos grupos de nogal, de ciclo corto e intermedio, debido al incremento del estrés salino. La variación de Cl⁻ en los tejidos observados en este estudio; confirma las observaciones realizadas en higo por Zoar *et al.* (2016), quienes señalan que la concentración de Cl⁻ no solo incrementó en los órganos de los genotipos tratados, sino que fue variable, pero más alta en raíces que en hojas y brotes, en cinco de seis genotipos estudiados. En naranja los cultivares tolerantes a salinidad limitan el transporte de Na⁺ y Cl⁻ de la raíz a la parte aérea (Grosser *et al.*, 2012).

Nuestros datos mostraron la existencia de diferencias entre los cuatro genotipos en su capacidad para excluir Na⁺ o Cl⁻ de la raíz bajo condición de estrés salino. La exclusión iónica y compartimentación en la raíz regula la concentración iónica en la savia del xilema previniendo la acumulación de iones potencialmente tóxicos como Cl⁻ o Na⁺ en las partes aéreas (Munns y Tester, 2008). Este mecanismo parece operar efectivamente a bajo y moderado nivel de salinidad (Prior *et al.*, 2007). Almansa *et al.* (2002), al examinar la contribución del portainjerto sobre la acumulación de iones en las hojas de limonero durante estrés salino, encontraron variación significativa en cloro entre genotipos, especialmente al aplicar altos niveles de NaCl. La variación entre genotipos reportada en esa especie coincide con los resultados observados en nuestro estudio. Observaciones similares son reportadas por Prior *et al.* (2007) en un estudio conducido con portainjertos de vid. Por otro lado, la concentración de Cl⁻ disminuyó significativamente en las hojas de aguacate cultivar Has injertado sobre los portainjertos 'Toro Canyon' y

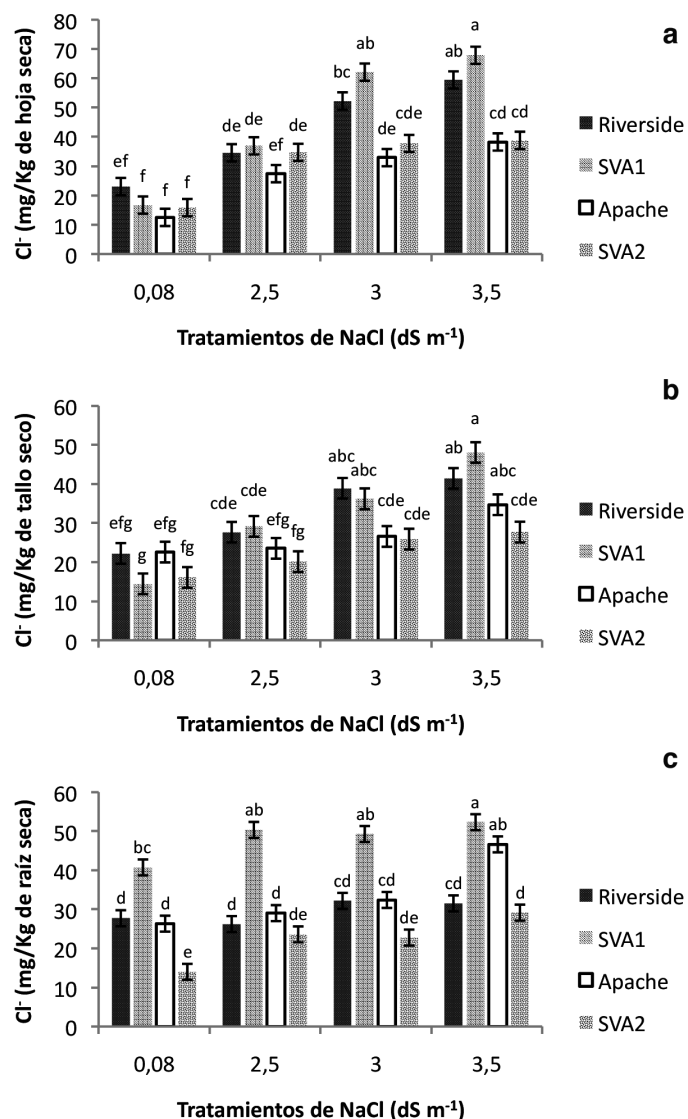


Figura 2. Concentración de cloruros en hoja (a), tallo (b) y raíz (c) de cuatro genotipos de nogal pecanero tratados con cuatro niveles de salinidad. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0,05$). Líneas verticales indican el error estándar de la media (n= 240 observaciones).

‘Duke’, evidenciando la capacidad de exclusión iónica de estos genotipos (Mickelbart y Arpaia, 2002). Este mecanismo de exclusión de Cl⁻ también ha sido documentado en dos especies nativas de pera, *Pyrus amygdaliformis* y *P. elaeagrifolia* (Matsumoto *et al.*, 2006) y en tres especies de pistacho, *Pistacia atlántica*, *P. terebinthus* y *P. integerrima* (Picchioni y Miyamoto, 1990).

Peso seco

El estrés salino disminuyó el peso seco total de los cuatro

genotipos (Figura 3). La conductividad eléctrica de 2,5dS·m⁻¹ redujo el peso seco en 20, 31, 34 y 36% en los genotipos Riverside, Apache SVA2 y SVA1 respectivamente. La disminución en el peso seco de los órganos causado por el estrés salino fue variable entre los genotipos estudiados. En el genotipo Apache el nivel salino de 3,0dS·m⁻¹ disminuyó el peso seco en tallo y hoja, mientras que en raíz ello ocurrió a 3,5dS·m⁻¹. El mayor estrés salino (3,5dS·m⁻¹) disminuyó el peso seco en raíz y tallo en SVA2. Este efecto también se

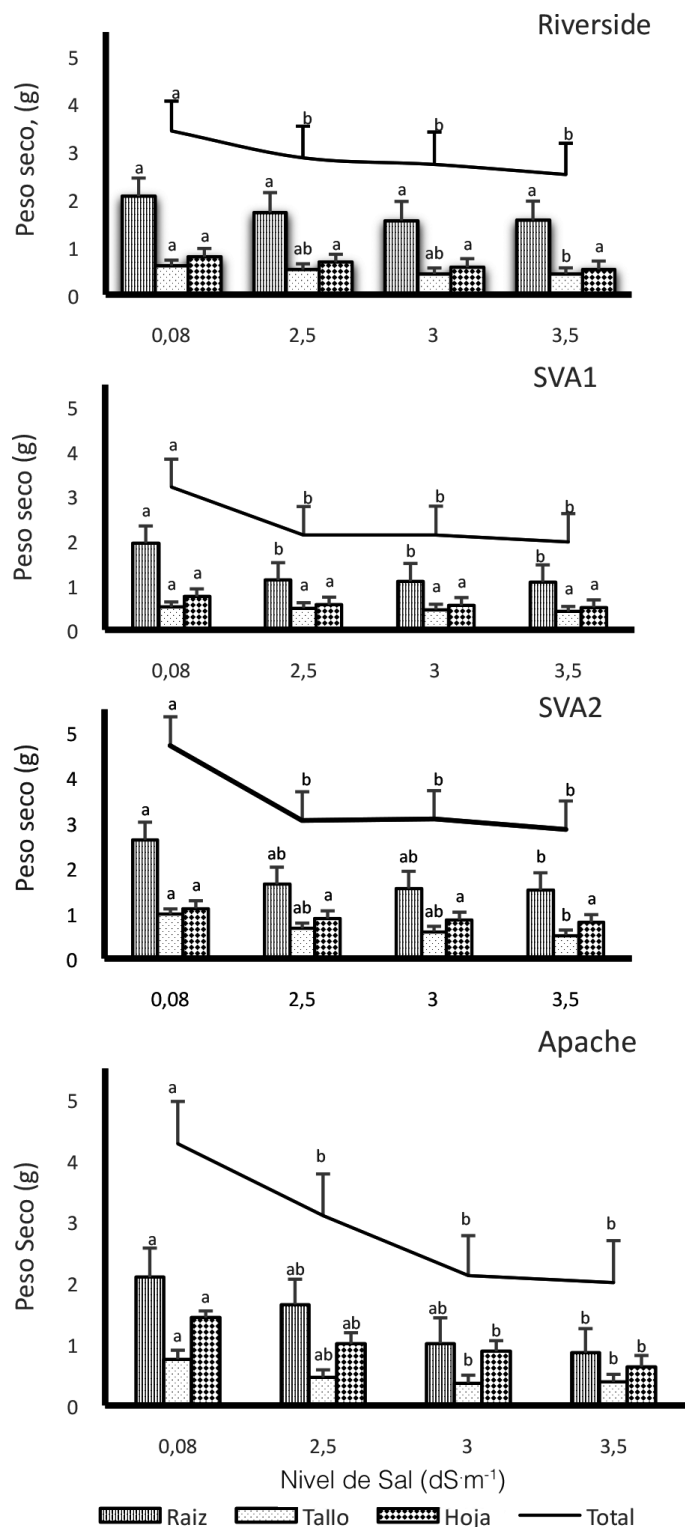


Figura 3. Peso seco de raíz, tallo y hoja en cuatro portainjertos tratados con diferentes concentraciones de NaCl₂. La línea continua representa el peso seco total. Medias con diferente letra en línea y en barras para cada nivel de sal, muestran diferencia estadística (Tukey, $p\leq 0,05$). Las líneas verticales representan el error estándar de la media (n= 80 observaciones).

observó en Riverside, pero solo en tallo. Miyamoto *et al.* (1985) observaron una disminución marcada en el peso seco de

raíz, tallo y hojas de los portainjertos de nogal tratados con diferentes niveles de salinidad. Los resultados obtenidos en el

presente estudio en el portainjerto Riverside coinciden con sus observaciones, ya que este genotipo fue el menos afectado; no así en Apache, que mostró mayor sensibilidad. La reducción en peso seco por efecto de salinidad estuvo asociado con una marcada inhibición de la fotosíntesis (Tabla II). Moreno *et al.* (2015) mencionan que el estrés salino acumula aniones específicos como Cl^- y SO_4^{2-} y cationes como Na^+ , que disminuyen directamente la fotosíntesis y la acumulación de materia seca. Otros estudios muestran que niveles de salinidad de $3,5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el suelo disminuye el crecimiento del nogal en 25% (Thompson y Walworth, 2006). En este estudio se observó una disminución similar en los cuatro genotipos tratados con un nivel de sal similar. En olivo, aunque muestra mayor tolerancia a la salinidad que el nogal, la disminución significativa de biomasa también ha sido observada por (Lolaei *et al.*, 2012) al igual que en higo, cuya biomasa disminuyó considerablemente a niveles de salinidad del orden de 6000ppm (Saor *et al.*, 2016).

Conclusiones

La conductancia estomática en los portainjertos Riverside y SVA1 disminuyó significativamente cuando la conductividad eléctrica en la solución fue de 3,0 y $3,5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que estas concentraciones de sales en la solución disminuyeron la fotosíntesis en los portainjertos Apache y SVA1. La menor acumulación de sodio y cloro en hojas se observó en los genotipos Apache y SVA2. Estos resultados indican que los genotipos de nogal presentan una variación en su mecanismo para excluir Na^+ o Cl^- que opera en la raíz, bajo los niveles moderados de sales aquí pro-

badas. La condición salina disminuyó el peso seco total de los genotipos tratados.

REFERENCIAS

Almansa MS, Hernandez JA, Jimenez A, Botella MA, Sevilla F (2002) Effect of salt stress on the superoxide dismutase activity in leaves of *Citrus limonum* in different rootstock combinations. *Biol. Plant.* 5: 545-549.

Aparicio C, Urrestarazu M, Cordovilla MDP (2014) comparative physiological analysis of salinity effects in six olive genotypes. *Hortscience* 49: 901-904.

Chartzoulakis K, Loupassaki M, Bertaki M, Androulakis I (2002) Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO_2 assimilation rate of six olive cultivars. *Sci. Hort.* 96: 235-247.

Fallahi E, Chun JJ, Neilsen GH, Colt WM (2001) Effects of three rootstocks on photosynthesis, leaf mineral nutrition, and vegetative growth of "BC-2 Fuji" apple trees. *J. Plant Nutr.* 24: 827-834.

Grosser W, Ahmad AA, Omarl JA, Gmitterl JA, Syvertsen JP (2012) Salinity tolerance of 'Valencia' orange trees on allotetraploid rootstocks. *Proc. Fla. St. Hort. Soc.* 125: 50-55.

Gucci R, Lombardini L, Tattini M (1997) Analysis of leaf water relations in leaves of two olive (*Olea europaea*) *Tree Physiol.* 17: 13-21.

Kchaou H, Larbi A, Chaieb M, Sagardoy R, Msallem M, Morales F (2013) Genotypic differentiation in the stomata response to salinity and contrasting photosynthetic and photoprotection responses in five olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *160:* 129-138.

Lolaei A, Ali Rezaei M, Korrami M, Kaviani B (2012) Effects of salinity and calcium on the growth, ion concentration and yield of olive (*Olea europea* L.) trees. *Ann. Biol. Res.* 3: 4675-4679.

Loreto F, Centritto M, Chartzoulakis K (2003) Photosynthetic limitations in olive cultivars with

different sensitivity to salt stress. *Plant Cell Environ.* 26: 595-601.

Matsumoto K, Tamura F, Chun J P, Tanabe K (2006) Native Mediterranean *Pyrus* rootstock, *P. amygdaliformis* and *P. elaeagnifolia*, present higher tolerance to salinity stress compared with Asian natives. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 75: 450-457.

Mickelbart MV, Arpaia ML (2002) Rootstock influence changes in ion concentrations growth and photosynthesis of 'Hass' avocado trees in response to salinity. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127: 649-855.

Miyamoto S, Gobran CR, Piela K (1985) Salt effects on seedling growth and ion uptake of tree pecan rootstock cultivar. *Agron. J.* 77: 383-388.

Miyamoto S (2010) *Supplement of Diagnosis and Management of Salinity Problems in Irrigated Pecan Production: Salt Leaching*. Technical Report N° 387A. Texas Water Resources Institute. College Station, TX, EEUU. 12 pp.

Miyamoto S, Nesbitt M (2011) Effectiveness of soil salinity management practices in basic irrigated pecan orchards. *Hort. Technol.* 21: 569-576.

Montes GD, Arreola AJ, Trejo CR, Rodríguez LS (2011) Acumulación de iones en nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] de maduración temprana sometidos a diferentes condiciones de salinidad. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas.* 10: 131-139.

Moreno IE, Ojeda BD, Avila QG, Guerrero PV, Parra QR, Ruiz AT (2015) Sodium sulfate exposure slows growth of native pecan seedlings. *Phyton* 84: 80-85.

Munns R, Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.

Muralitharan MS, Chandler S, Steveninck RF (1992) Effects of NaCl and Na_2SO_4 on Growth and solute composition of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Aust. J. Plant Physiol.* 19: 155-164.

North M, Cook N (2008) Effect of six rootstocks on 'Forelle' pear tree growth, production, fruit

quality and leaf mineral content. *Acta Hort.* 772: 97-103.

Picchioni GA, Miyamoto S (1990) Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115: 647-653.

Prior LD, Grieve AM, Bevington K, Slavich BP (2007) Long-term effects of saline irrigation water on 'Valencia' orange trees: relationships between growth and yield, and salt levels in soil and leaves. *Aust. J. Agric. Res.* 58: 349-358.

Soar CJ, Dry PR, Lovers BR (2006) Scion photosynthesis and leaf gas exchange in *Vitis vinifera* L. cv. Shiras: Mediation of rootstock effects via xylem sap ABA. *Aust. J. Grape Wine Res.* 12: 82-96.

Steel RG Torrie JH (1980) *Principles and Procedures of Statistics*. McGraw-Hill. New York, EEUU. 481 pp.

Tamura F (2012) Recent advances in research on Japanese pear rootstocks. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 81: 1-10.

Tattini M, Montagni M, Traversi ML (1992) Genotypic responses of olive plants to sodium chloride. *J. Plant. Nutr.* 15: 1467-1483.

Thompson TL, Walworth JL (2006) *Salinity Management and Soil Amendments for Southwestern Pecan Orchards*. University of Arizona Cooperative Extension Publication AZ1411. University of Arizona, Tucson, AZ, EEUU. 144 pp.

Walker RR, Blackmore DH, Clingeleffer PR, Lacono F (1997) Effect of salinity and Ramsey rootstock on ion concentrations and carbon dioxide assimilation in leaves of drip-irrigated, field grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana). *Aust. J. Grape Wine Res.* 3: 66-74.

Wolstenholme BN (1979) The ecology of pecan trees. II. Climatic aspects of growing pecans. *Pecan Quart.* 13: 14-19.

Zarei M, Azizi M, Rahemi M, Tehranifar A (2016) Evaluation of NaCl salinity tolerance of four fig genotypes based on vegetative growth and ion content in leaves, shoots, and roots. *HortScience* 51: 1427-1434.