



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales
y Medio Ambiente en Zonas Áridas

TOLERANCIA A SALINIDAD DE GENOTIPOS DE
NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K.
Koch]

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES

Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

Q.F.B. ALONDRA GISELA CAMPOS VILLARREAL



Bermejillo, Dgo. Junio 2014

TOLERANCIA A SALINIDAD DE GENOTIPOS DE NOGAL PECANERO
[*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]

Tesis realizada por **Alondra Gisela Campos Villarreal** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

DIRECTOR:



Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

ASESOR:



Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR:



Dr. José Antonio Cueto Wong

ASESOR:



M.C. José Ramón Hernández Salgado

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la oportunidad que brinda con el apoyo económico para la realización del posgrado.

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de cursar el posgrado y brindarme un apoyo en todos los aspectos para la realización de esta tesis.

Al Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila, por el apoyo que me brindó, y por toda su ayuda y la confianza que me brindó. Porque con paciencia me orientó en el transcurso del posgrado y la realización de la tesis.

Al Dr. Ricardo Trejo Calzada, al M.C. José Ramón Hernández Salgado y al Dr. José Antonio Cueto Wong, por la ayuda que me brindaron en la elaboración de este trabajo.

A todos los profesores de posgrado que contribuyeron en mi formación.

A Nydia Curiel por el apoyo durante la fase experimental y la amistad que me brindó.

A José Juan Escobar Pedraza, por su amistad y apoyo durante mi tiempo en el posgrado. Y a todas aquellas personas que se involucraron en mi proyecto de tesis, y me brindaron su ayuda durante la realización de la misma.

DEDICATORIA

A mi hijo Gabriel de Jesús por ser mi motivo de vida y superación personal y profesional, por inspirarme día a día a salir adelante y no detenerme ante nada, por darle sentido a todo lo que hago, y hacer que valga aún más todo, por enseñarme a amar incondicionalmente y de la manera más fuerte en que una mujer lo puede hacer.

A mi madre Simona Villarreal, porque ella es el pilar de mi familia, y la mujer que me apoya y ama, quien me alienta a ser siempre mejor en todo lo que hago, quien está siempre para mí incondicionalmente.

A mi padre Juan Campos y a mis hermanos, Cesar, Perla, Jazmín, Ricardo y Manuel, por apoyarme y alentarme siempre, por sus consejos y pláticas, por hacer desde mi infancia hasta hoy una hermosa y feliz vida con su existencia.

DATOS BIOGRÁFICOS

El presente trabajo fue realizado por Alondra Gisela Campos Villarreal, Químico Farmacéutico Biólogo, título obtenido en la Facultad en Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, generación 2004-2009.

Durante la realización del posgrado participó como ponente en la VI Reunión Nacional del Orégano y otras aromáticas con el tema: Aprovechamiento del orégano (*Lippia graveolens*): producción de biomasa y rendimiento de aceite esencial extraído por el método de arrastre con vapor de agua en Mapimí, Dgo.

Los estudios de maestría los realizó en el Programa en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas en URUZA-UACH, generación 2012-2013.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
DATOS BIOGRÁFICOS	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIIII
ABSTRACT	XIIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE NOGAL PECANERO	4
4.2. PORTAINJERTOS.....	5
4.3. SALINIDAD	5
4.3.1. Características de los suelos salinos.....	7
4.3.2. Características del agua salina	8
4.3.3. Recuperación de suelos salinos	9
4.4. SALINIDAD EN LAS PLANTAS	10

4.4.1. Potencial hídrico	11
4.4.2. Transporte de iones.....	13
4.4.3. Mecanismos de tolerancia frente al estrés salino	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
5.1. LOCALIZACIÓN.....	17
5.2. CONTENIDO DE SODIO Y CLORUROS EN SUELO Y AGUA UTILIZADOS	17
5.3. MATERIAL VEGETAL.....	17
5.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	18
5.5. TRATAMIENTOS	19
5.6. VARIABLES EVALUADAS.....	19
5.7. RECOLECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	22
5.8. CONTENIDO DE IONES	22
5.9. ANÁLISIS DE DATOS	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	24
6.1. VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y FISIOLÓGICAS.....	24
6.1.1. Diámetro de tallo en plántulas de Nogal Pecanero	24
6.1.2. Altura de plántula de Nogal Pecanero	25
6.1.3. Índice de contenido relativo de Clorofila.....	26
6.1.4. Fotosíntesis	28
6.1.5. Conductancia Estomática.....	29
6.1.6. Déficit de presión de vapor	30
6.2. CONTENIDO DE IONES EN TEJIDOS DE LOS GENOTIPOS DE NOGAL PECANERO. 31	
6.2.1. Sodio en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero	31
6.2.2. Potasio en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero	35

6.2.3. Cloruros en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero	38
VII. CONCLUSIONES.....	42
VIII. LITERATURA CITADA	43
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la salinidad que presentan.	8
Cuadro 2. Resultados de los análisis realizados al agua y suelo utilizados para el experimento.	17
Cuadro 3. Características del suelo donde se desarrollan los materiales criollos. Saucillo, Chihuahua.	18
Cuadro 4. Concentraciones de cloruro de sodio aplicada en cada riego, sus equivalencias en iones disueltos y la conductividad eléctrica que presentó cada solución de riego.	19
Cuadro 1A. Análisis de varianza para la variable diámetro de planta.	51
Cuadro 2A. Análisis de varianza para la variable altura de planta.	51
Cuadro 3A. Análisis de varianza para la variable clorofila.	51
Cuadro 4A. Análisis de varianza para la variable conductancia estomática.	51
Cuadro 5A. Análisis de varianza para la variable Fotosíntesis.	52
Cuadro 6A. Análisis de varianza para la variable Déficit de presión de Vapor.	52
Cuadro 7A. Análisis de varianza para la variable sodio en hoja.	52
Cuadro 8A. Análisis de varianza para la variable potasio en hoja.	52
Cuadro 9A. Análisis de varianza para la variable cloruros en hoja.	53
Cuadro 10A. Análisis de varianza para la variable sodio en tallo.	53
Cuadro 11A. Análisis de varianza para la variable potasio en tallo.	53
Cuadro 12A. Análisis de varianza para la variable cloruros en tallo.	53
Cuadro 13A. Análisis de varianza para la variable sodio en raíz.	54
Cuadro 14A. Análisis de varianza para la variable potasio en raíz.	54
Cuadro 15A. Análisis de varianza para la variable cloruros en raíz.	54

Cuadro 16A. Análisis de varianza para la variable sodio de la variedad Riverside. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	55
Cuadro 17A. Análisis de varianza para la variable cloruros de la variedad Riverside. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	55
Cuadro 18A. Análisis de varianza para la variable sodio del material criollo SVA1. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	55
Cuadro 19A. Análisis de varianza para la variable cloruros del material criollo SVA1. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	56
Cuadro 20A. Análisis de varianza para la variable sodio de la variedad Apache. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	56
Cuadro 21A. Análisis de varianza para la variable cloruros de la variedad Apache. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	56
Cuadro 22A. Análisis de varianza para la variable sodio del material criollo SVA2. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	57
Cuadro 23A. Análisis de varianza para la variable cloruros del material criollo SVA2. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de diámetro de tallo de cada genotipo en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	25
Figura 2. Comportamiento de la altura de planta para cada genotipo en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	26
Figura 3. Comportamiento del Índice de contenido de clorofila de cada genotipo de Nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	27
Figura 4. Comportamiento de la fotosíntesis de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	29
Figura 5. Comportamiento de la conductancia estomática de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	30
Figura 6. Comportamiento del déficit de presión de vapor de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	31

Figura 7. Contenido de sodio en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	33
Figura 8. Contenido de sodio en tejido de plántula, únicamente en los tratamientos de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹ de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	35
Figura 9. Contenido de potasio en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	37
Figura 10. Contenido de cloruros en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	40
Figura 11. Contenido de cloruros en tejido de plántula, únicamente en los tratamientos de 2.5, 3 y 3.5 dS m ⁻¹ de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$).	41

TOLERANCIA A SALINIDAD DE GENOTIPOS DE NOGAL PECANERO [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]

SALINITY TOLERANCE OF PECAN GENOTYPES [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch]

¹Alondra Gisela Campos-Villarreal y ²Jesús Guadalupe Arreola-Ávila.

RESUMEN

En las zonas áridas, la salinidad es un factor que afecta el cultivo del nogal *Carya illinoensis*. Consecuentemente es necesario evaluar materiales criollos, para su potencial uso como portainjertos tolerantes para resolver este problema. El objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia a diferentes gradientes de salinidad en varios genotipos de nogal pecanero. Se aplicaron tratamientos con NaCl en agua de riego a concentraciones equivalentes a 0.08, 2.5, 3.0 y 3.5 dS m⁻¹. Se evaluaron variables morfométricas y fisiológicas durante 5 semanas; así como el contenido de iones acumulados en raíz, tallo y hoja, una vez que las plantas mostraron signos de intoxicación en la etapa final. La altura, el diámetro así como la conductancia estomática y fotosíntesis fueron afectados significativamente por los tratamientos, así como la concentración de Na⁺ y Cl⁻ en los tejidos de los genotipos. La concentración de Na⁺ y Cl⁻ en raíz, tallo y hoja fue variable en los diferentes tratamientos y genotipos evaluados. No obstante, la menor concentración de Na⁺ en hoja se encontró en los genotipos Apache y SVA2. Los resultados en este estudio indican que existen materiales criollos con potencial para utilizarse como portainjertos en áreas con problemas moderados de sales en México.

Palabras clave: Salinidad, fotosíntesis, portainjerto, materiales criollos.

ABSTRACT

In arid land, salinity is a factor that affects the culture of pecan *Carya illinoensis*. Therefore is necessary to evaluate wild seedlings in order to use them potentially as tolerant rootstocks to solve this problem. The objective of this study was to evaluate the tolerance to different salinity gradients in various pecan genotype. Treatments with NaCl in irrigation water in equivalent concentrations of 0.08, 2.5, 3.0 and 3.5 dS m⁻¹ were applied. Morphometric and physiological variables were evaluated during 5 weeks; as well as the ionic accumulation in root, stem and leaf, when toxicity symptoms were present in seedlings. Tree height, stem diameter, stomatic conductance, photosynthesis and Na⁺ and Cl⁻ concentration in genotypes tissues were significantly affected by treatments. The concentration of Na⁺ and Cl⁻ in root, stem and leaf varied according to genotypes and treatments. However the minor concentration of Na⁺ in leaf was observed in Apache and SVA2 genotypes. In this study, the results indicate that exist wild materials to potential use as rootstock in Mexican areas with moderate salinity problems.

Key words: Salinity, photosynthesis, rootstocks, wild seedlings.

¹Tesista
²Director

I. INTRODUCCIÓN

En los suelos del norte de México donde se cultiva el nogal pecanero, la salinidad se ha incrementado considerablemente como resultado de la sequía recurrente, la sobreexplotación del acuífero, las prácticas relacionadas con fertilización y la calidad del agua de riego. Este factor limita la productividad agrícola en México, en donde, de 29.3 millones de hectáreas utilizadas para esta actividad 500,000 son improductivas a causa de la elevada concentración de sales. Siendo uno de los agentes salinizadores de mayor relevancia el cloruro de sodio (Fan *et al.*, 1993; Tarango y Chávez, 2011; Martínez *et al.*, 2011).

Conviene tener en cuenta que el nogal pecanero es una especie muy sensible a la salinidad, particularmente a los iones cloruro y sodio, teniendo un umbral de regadío en el intervalo de 2 a 3 dS m⁻¹ cuando se mide en el extracto de saturación del suelo. En los suelos ricos en yeso los árboles pueden tolerar niveles más altos de salinidad, probablemente por 1 o 2 dS m⁻¹, ya que los iones de calcio y sulfatos ocasionan menos daño en el nogal que los iones de sodio y cloro (Miyamoto *et al.*, 1985; Miyamoto *et al.*, 1986).

Se reporta que niveles de salinidad de 3.5 dS m⁻¹ (2200 ppm) puede reducir la tasa de crecimiento aproximadamente 25%. La Muerte regresiva puede ocurrir a niveles de salinidad de 5 dS m⁻¹ (3200 ppm) y los árboles pueden morir cuando la salinidad del suelo alcanza o excede 6 dS m⁻¹ (3800 ppm) (Miyamoto *et al.*, 1986).

En el nogal pecanero la combinación patrón-variedad produce una amplia variación en el crecimiento y producción del árbol resultante. En las huertas comerciales de nogal los árboles se forman con un portainjerto franco, proveniente de una semilla de polinización abierta y del injerto con una variedad mejorada o seleccionada; dicho tipo de patrón le aporta a las nogaleras una amplia variabilidad inherente. De manera particular, la productividad de una huerta depende directamente del potencial productivo de la variedad en cada ambiente; así, de la selección de la variedad que exhiba la mejor adaptabilidad en cada región climática permite el mayor crecimiento y producción con un menor aporte de insumos (Sparks, 1977).

La búsqueda de portainjertos de nogal pecanero tolerantes a salinidad constituye una alternativa recomendable, para lograr una explotación redituable de esta especie en zonas con suelos afectados por salinidad. El estudio de parámetros indicadores de tolerancia a la salinidad, en la germinación o etapas iniciales de desarrollo, es importante, ya que en estas etapas las plántulas manifiestan su mayor sensibilidad a tal fenómeno (Solbrig y Cantino, 1975; Rathcke y Lacey, 1985; Sosebee y Wan, 1987).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar la tolerancia a diferentes concentraciones de NaCl de cuatro genotipos de nogal pecanero, correspondientes a dos materiales criollos y las variedades Riverside y Apache.

2.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de Na Cl sobre desarrollo de árboles de nogal pecanero, durante las etapas iniciales de crecimiento.

Evaluar algunas variables morfométricas y fisiológicas de los árboles durante el desarrollo inicial.

Determinar la distribución de Sodio y Cloruros en raíz, tallo y hoja en plántulas tratadas con diferentes concentraciones de estas sales.

Determinar el nivel permisible a la salinidad de dos materiales criollos de nogal.

III. HIPÓTESIS

Los materiales criollos de Nogal pecanero no toleran altas concentraciones de sales.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades del cultivo de nogal pecanero

La nuez pecanera es originaria del norte de México y sureste de los Estados Unidos de América. Por su clasificación botánica pertenece a la familia: juglandaceae y su nombre científico es: *Carya illinoensis* Koch.

Existen varios países productores de nuez, de los cuales Estados Unidos de América ocupa el primer lugar con una producción de 113 mil toneladas, que representa al 78.6% de la cosecha. México ocupa el segundo lugar con 28,274 toneladas que equivale al 19.6%; Australia, Israel y Sudáfrica producen 1.8%. Para el caso de México sus estados con mayor producción son Chihuahua (61.8 %), Coahuila (18.6 %), Sonora (7.74 %), Durango (5.57 %) y Nuevo León (5.38 %) (Medina y Cano, 2002).

Para el año 2012 en la Comarca Lagunera se cultivaban alrededor de 21,934 hectáreas con nogal pecanero (*Carya illinoensis*) de las cuales 17,276 se encontraban en producción (SIAP, 2013).

Este frutal es de muy alto consumo de agua y de alta eficiencia fotosintética, para lo cual demanda que sus hojas estén sanas y bien iluminadas por la luz solar (Tarango y Chávez, 2011).

4.2. Portainjertos

La mayoría de los árboles frutales están constituidos por dos componentes genéticos: el portainjerto, que se adapta a las condiciones del suelo, y la variedad, que se adapta a las condiciones del clima. El comportamiento del árbol resulta de la reacción de la raíz y de la copa a cada ambiente y de la influencia recíproca patrón-variedad (Hanna y Storey, 1987; Ferguson, 1990).

La genética específica del portainjerto es importante, ya que ésta regula el crecimiento, la tolerancia a diferentes tipos de suelos y ambientes, la capacidad de absorción y balance nutrimental así como la fisiología especial del sistema planta; aunque también y de manera similar la genética del cultivar interactúa definiendo aspectos del porte del árbol y deficiencias a tolerancias y estreses en el suelo para la planta impuestas por condiciones físico, químicas y biológicas (Atkinson y White, 1976; Knowles *et al.*, 1984; Lord *et al.*, 1985).

4.3. Salinidad

Existen dos tipos de salinización dependiendo del origen de las sales presentes en el sustrato. La salinización primaria es aquella derivada de la acumulación de sales de origen mineral en el lecho oceánico, en los suelos salinos, en las aguas subterráneas, etc. Mientras que la salinización secundaria se produce cuando las sales proceden del agua de riego, de residuos del abonado, de fertilizantes químicos y de la aplicación de lodos de depuradora, lo cual se da directamente por la acción del ser humano. Se produce debido a una

aportación de agua insuficiente que impide una adecuada lixiviación de las sales del suelo (Tanji, 2002; Pitman y Läuchli, 2002).

La salinidad de los suelos es un problema mundial, nacional en México y regional en el centro y norte del país. Este problema se agudiza en las zonas áridas y semiáridas, donde los suelos presentan drenaje deficiente y alta evaporación. En México un 10% del área irrigada está afectada por la salinidad y de ésta aproximadamente el 64% se encuentra en el norte del país (Ruiz *et al.*, 2007).

La salinidad es un problema grave dentro de la agricultura y puede convertirse en un tema clave para el desarrollo económico de los mismos. Consecuentemente, frenar el avance de la salinización y desarrollar cultivos tolerantes a salinidad, están considerados como objetivos biotecnológicos importantes a nivel mundial (Flowers *et al.*, 1997; Munns, 2002).

La reciente sequía en el norte de México ha acentuado la salinidad en las fuentes de agua. 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 respectivas es clave distinguir dos conceptos: salinidad y sodicidad. (Miyamoto, 1985; Tarango y Chávez, 2011).

4.3.1. Características de los suelos salinos

Los suelos salinos suelen presentar distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; las cuales son consideradas sales solubles neutras, debido a que no alcalinizan el suelo. Por el contrario, la presencia de carbonato y bicarbonato de Na^+ , causa un incremento del valor del pH edáfico produciendo sodicidad en los suelos, los cuales están formados por sales alcalinas. La sodicidad o alcalinización es la condición del suelo con alto contenido de sodio intercambiable (Tarango y Chávez, 2011).

Las altas concentraciones de Na^+ no sólo afectan a las plantas directamente, sino que también producen un efecto desintegrador de la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua. Uno de los agentes salinizadores de mayor relevancia es el NaCl, por ser el componente principal que se encuentra en suelos salinos (Fan *et al.*, 1993).

La clasificación de los suelos de acuerdo a la conductividad eléctrica se presenta en el cuadro1:

Cuadro 1. Clasificación de suelos de acuerdo a la salinidad que presentan.

Clasificación de suelo	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	Efectos sobre plantas
Libre de sales	0-2	Casi nulos.
Ligeramente salino	2-4	Puede afectar a cultivos sensibles.
Medianamente salino	4-8	La mayoría de los cultivos son afectados.
Fuertemente salino	8-16	Solo pueden prosperar cultivos tolerantes.
Muy fuertemente salino	>16	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes.

4.3.2. Características del agua salina

La sobreexplotación del agua subterránea causa el agotamiento de los acuíferos, pero además el aumento de su salinidad. La escasez de agua y su contaminación salina (incluidos el arsénico, cadmio y plomo) tienen consecuencias muy perjudiciales para los sistemas biológicos que sustentan (Tarango y Chávez, 2011).

El agua para riego se clasifica por conductividad eléctrica: baja salinidad de 0-0.25 dS m⁻¹, salinidad media de 0.26-0.75 dS m⁻¹, salinidad alta de 0.76-2.25 dS m⁻¹ y salinidad muy alta de 2.26 dS m⁻¹ en adelante (Richards, 1973).

4.3.3. Recuperación de suelos salinos

Cuando el problema de salinidad es causado solamente por sales solubles y no se tienen problemas de sodicidad, es necesario considerar el lavado de suelos como una práctica para aumentar la productividad de la huerta. El lavado de suelos puede ser de dos tipos:

- 1) lavado de recuperación para mejorar un suelo que ya tiene una cantidad alta de sales acumuladas en el perfil,
- 2) fracción de lavado, es la que se aplica como un porcentaje extra a la lámina de riego normal, para mantener las sales fuera de la zona de raíces y evitar que se acumulen en la parte superficial del suelo.

Un lavado de recuperación consiste en aplicar una lámina grande de agua de buena calidad, la cual disuelve las sales acumuladas en el perfil y las mueve a estratos profundos del suelo.

Cuando los análisis de suelo indican que existe un problema de exceso de sodio en el suelo, es necesario:

- 1) desplazar el sodio de los sitios de intercambio catiónico del suelo, mediante la aplicación de un mejorador químico, y
- 2) aplicar una lámina de lavado para desplazar el sodio a estratos profundos del suelo.

Los mejoradores químicos recomendados para suelos alcalinos con altos contenidos de carbonato de calcio, como los de la Comarca Lagunera, son los

ácidos, como el ácido sulfúrico, o productos formadores de ácido, como el azufre. También es posible utilizar yeso agrícola para estos fines (Figueroa, 2002).

4.4. Salinidad en las plantas

La salinidad es uno de los factores ambientales más importantes que limitan el crecimiento vegetal, ya sea por: a) reducir el potencial hídrico; b) por interferir en la toma de nutrientes, o c) por afectar negativamente la concentración de un ión específico dentro de las células, excediendo su umbral y convirtiéndose en especie tóxica. Generalmente, la respuesta de una planta al estrés salino es una conjunción de estos tres componentes. Cada uno de ellos a su vez, estará condicionado por la especie vegetal, la composición iónica del agua, la luz, la humedad y el estadio de la planta. La tolerancia a salinidad en los vegetales varía entre los sucesivos estados de crecimiento (Bernstein y Hayward, 1958; Pasternak *et al.*, 1995).

Para la mayoría de las plantas, incluyendo las de importancia agrícola, la presencia de sal disminuye la absorción de agua y de los nutrientes importantes del suelo, y una vez acumulado dentro de la planta, el sodio es tóxico para una variedad de procesos metabólicos, incluyendo enzimas que participan en la fotosíntesis (Barkla *et al.*, 2007).

4.4.1. Potencial hídrico

La disponibilidad de agua es uno de los factores cruciales que modula el crecimiento de las plantas; el estrés hídrico causado tanto por la sequía como por la salinidad, son factores importantes para la agricultura, ya que impiden que los cultivos desarrollen su potencial genético. El estrés osmótico provocado por el bajo potencial hídrico en el suelo, reduce los rendimientos de una amplia variedad de cultivos en el mundo (Munns, 2002; Willadino y Camara, 2003; Zhu, 2003).

La ósmosis constituye el proceso responsable del transporte de agua por el simplasto de las plantas. A través de una membrana semipermeable como la membrana plasmática y el tonoplasto, el agua difunde a favor de una diferencia de concentración, pero también existen canales que permiten el paso acelerado de agua de un lado a otro de la membrana a favor de un gradiente de presión, y paralelamente al transporte por difusión.

Las acuaporinas (AQP) son los canales por los que se transporta agua en las células vegetales y juegan un papel dinámico en el mantenimiento de la homeostasis celular bajo condiciones que requieren modificaciones en el flujo de agua. Existen evidencias sobre el papel de las AQP en el mantenimiento de las relaciones hídricas y proveen información sobre su función en la tolerancia a la falta de agua.

Tanto un estrés hídrico como salino requiere cambios en el flujo de agua para permitir a las células y a los tejidos adaptarse a dicha situación. La tasa de flujo del agua dentro y fuera de las células está determinada por el gradiente de potencial hídrico, que actúa como fuerza de conducción para el transporte. Las proteínas AQP facilitan la ósmosis por formación de canales, como alternativa de difusión de agua a través de la membrana celular, incrementando la permeabilidad de ésta. Se ha documentado que existe actividad de estos canales en las células corticales de la raíz, incluyendo la endodermis (Steudle, 2000; Rodríguez-Pérez, 2006).

La presencia en exceso de solutos en la solución del suelo produce una disminución del potencial osmótico y, consecuentemente del potencial hídrico. Por lo tanto, el balance hídrico de la planta en general se encuentra afectado, ya que para mantener un gradiente entre el suelo y las hojas, que permita continuar con la absorción de agua, se debe generar un potencial hídrico mucho más negativo que el de la solución del suelo. La respuesta de la mayoría de las plantas es un ajuste osmótico para evitar la pérdida de turgencia, lo cual llevaría a disminuir la extensión celular (Azcon-Bieto, 2008).

El ajuste osmótico, confiere a las plantas la capacidad de tolerar condiciones de escasez de agua y salinidad elevada, con la expresión de mecanismos adaptativos que evitan la disminución de la fotosíntesis, las alteraciones en la traslocación y la distribución de los fotoasimilados y las pérdidas de rendimiento. La presión de turgencia en las plantas es indispensable para el

crecimiento celular en expansión y para la apertura estomática. La presencia de sales en el suelo disminuye el potencial hídrico causando un estrés osmótico que lleva a una pérdida de dicha turgencia. Las plantas han desarrollado este mecanismo de ajuste osmótico que les permite mantener la absorción de agua y la presión de turgencia bajo condiciones de estrés. Está basado en la acumulación activa de solutos, utilizando tanto iones tales como Na^+ y K^+ y/o sintetizando solutos orgánicos compatibles, como por ejemplo prolina, betaína, polioles, y azúcares solubles (Blumwald, 2000; Blumwald *et al.*, 2000; Tester y Davenport, 2003; Chinnusamy *et al.*, 2005; Rodríguez-Pérez, 2006).

4.4.2. Transporte de iones

La mayor proporción del área radical está representada por los pelos absorbentes, y es a través de la membrana plasmática de dichas células epidérmicas que ocurre la mayor absorción de iones. El catión Na^+ , en particular, presenta dos formas de ingreso a la planta: por un sistema de rápida saturación que presenta alta afinidad tanto para el Na^+ como para el K^+ ; y por un sistema que no presenta saturación pero que tiene baja afinidad. Debido a la diferencia electronegativa del potencial transmembrana, un aumento en la concentración extracelular de Na^+ establece un gradiente electroquímico a favor del ingreso pasivo del ión al citosol. El Na^+ compite con el K^+ en la absorción a través de co-transportadores Na^+-K^+ , y puede también bloquear los transportadores específicos de K^+ , resultando en niveles intracelulares tóxicos de Na^+ e insuficientes de K^+ (Apse y Blumwald, 2007).

La absorción de Na^+ es balanceada por el ingreso de Cl^- y la salida de K^+ . La entrada de aniones a través de la membrana plasmática, normalmente requiere un proceso activo de co-transporte con H^+ . Sin embargo, cuando la concentración externa de Cl^- es alta, existen evidencias del ingreso pasivo de Cl^- a las células e incluso al xilema (Tyerman y Skerrett, 1999).

La cantidad excesiva de sales en el medio ocasionan a la planta un desequilibrio nutricional, por la excesiva cantidad de iones Na^+ y Cl^- y por el efecto antagónico entre nutrientes Na^+/Ca^+ , K^+ , $\text{Ca}^+/\text{Mg}^{2+}$ y $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$. El sodio compite con el potasio y el efecto tóxico del Na^+ se ocasiona debido a la acumulación de dicho ion en el citoplasma (Grattan y Grieve, 1990; Tester y Davenport, 2003).

La toxicidad debida a la excesiva absorción de iones Cl^- y Na^+ , produce clorosis marginal de la hoja y, con ello, una disminución del área fotosintética, lo que determina reducciones en la fotosíntesis neta. Otros efectos de la toxicidad de sales son la disminución en la síntesis de proteínas, y con ello se afectan procesos tales como la fotosíntesis y el metabolismo de producción de energía y de lípidos. Esto conduce a un desbalance nutricional que a la vez afecta la absorción y el transporte de otros nutrientes influyendo de esta manera sobre la disponibilidad de los mismos (Hasegawa *et al.*, 2000; Munns, 2002; Parida y Das, 2005).

Siempre que en un ambiente salino el ingreso pasivo de Na^+ aumente la concentración del mismo en el citoplasma por encima de un valor crítico, se

inicia el proceso homeostático de exclusión de Na^+ del citoplasma. Ante una situación de estrés salino, la regulación de la absorción de K^+ y/o la prevención de entrada de Na^+ , el eflujo de Na^+ de la célula, y la utilización de Na^+ para el ajuste osmótico, son estrategias comunes utilizadas por las plantas, lo cual permite mantener una óptima relación K^+/Na^+ en el citosol. Existen antiportadores Na^+/H^+ en el plasmalemma y en el tonoplasto que utilizan gradientes de H^+ creados por las H^+ -ATPasas, tanto citoplasmáticas como vacuolares, y por la pirofosfatasa del tonoplasto, los cuales permiten intercambiar H^+ por Na^+ . Esta homeostasis intracelular es importante para la actividad de varias enzimas citosólicas, para mantener el potencial transmembrana y producir un apropiado contenido osmótico con el fin de regular el volumen celular (Serrano y Rodriguez-Navarro, 2001; Zhu, 2003; Parida y Das, 2005; Munns y Tester, 2008).

4.4.3. Mecanismos de tolerancia frente al estrés salino

Para combatir las condiciones de salinidad, las plantas han desarrollado diferentes mecanismos y estrategias que se pueden clasificar en:

- Mecanismos para evitar el estrés salino: crecimiento limitado a las épocas favorables, elección de los lugares más favorables para el crecimiento y limitación del crecimiento radical y la absorción en horizontes concretos del suelo.
- Procesos de evasión y adaptación: absorción selectiva de los iones Na^+ y Cl^- , compartimentación de las sales en la planta, en determinados tejidos

o células: el parénquima xilemático, las raíces o la parte aérea, síntesis de solutos orgánicos, translocación de las sales a las raíces y secreción al exterior, almacenaje en los órganos senescentes y secreción a través de estructuras similares a glándulas en la parte aérea.

- Mecanismos de tolerancia: incremento de la tolerancia de los tejidos, de las células o de los orgánulos celulares y aumento de la halo-suculencia, mediante el incremento de la suculencia foliar o el aumento de la suculencia del brote y disminución del número de hojas (Breckle, 2002).

Estas estrategias implican la acción de diferentes mecanismos (transporte de solutos compatibles, señalización de procesos en desarrollo, etc.) que intervienen para conseguir que la planta crezca, se desarrolle y llegue a producir en condiciones de elevada salinidad. Las especies vegetales que disponen de esos mecanismos son las especies tolerantes (Breckle, 2002).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas ubicada en Bermejillo, Dgo, ($25^{\circ} 53' 38.93''$ latitud norte y $103^{\circ} 36' 01.09''$ longitud a 1115 msnm), en las áreas de invernadero y laboratorio.

5.2. Contenido de sodio y cloruros en suelo y agua utilizados

Se realizaron análisis de suelo y agua previos a la aplicación de los tratamientos. Los análisis de interés fueron la conductividad y los contenidos de los iones Na^+ y Cl^- en suelo y agua empleados en los riegos y en los tratamientos, en el siguiente cuadro se detallan las características del suelo.

Cuadro 2. Resultados de los análisis realizados al agua y suelo utilizados para el experimento.

	Na^+	Cl^-	Conductividad eléctrica
Suelo	200 ppm	80 ppm	.23 dS m^{-1}
Agua	1 ppm	0 ppm	.08 dS m^{-1}

5.3. Material Vegetal

Se germinaron semillas de nogal pecanero, de las variedades Riverside, Apache, y dos materiales criollos (SVA1 y SVA2); las semillas de materiales se obtuvieron de nogales que se encuentran en terrenos con moderadas

concentraciones de sales en el suelo (cuadro 3), ubicados en municipio de Saucillo Chihuahua.

Cuadro 3. Características del suelo donde se desarrollan los materiales criollos. Saucillo, Chihuahua.

Conductividad eléctrica (mmhos cm ⁻¹)	Sodio (me l ⁻¹)	Cloruros (ppm)
1.98	5.17	117

Las semillas fueron puestas en remojo durante 7 días con agua destilada como tratamiento pregerminativo. Después se sembraron en una caja para semillero de madera usando arena como sustrato y se les aplicaron riegos cada tercer día con agua destilada. Una vez que las plantas alcanzaron un tamaño aproximado de 12-15 cm se pasaron a macetas que contenían 4.5 Kg de arena cada una, para la posterior aplicación de tratamientos.

5.4. Diseño Experimental

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. Donde los genotipos (variedades Apache, Riverside y materiales criollos SVA1 y SVA2), corresponden al primer factor de naturaleza cualitativa y el segundo factor con niveles cuantitativos fue la cantidad de NaCl aplicada en los tratamientos (0.08, 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹) (Steel y Torrie, 1960).

5.5. Tratamientos

Las concentraciones de los tratamientos, así como las equivalencias de esas concentraciones en cantidad de iones sodio y cloruros disueltos y la conductividad eléctrica de cada solución se describen en el cuadro 4. Se aplicó a cada maceta 400 ml por riego, estos riegos se realizaron cada tercer día, en el periodo del 31 de mayo al 1 de junio del 2013, realizando un total de 14 riegos por maceta. 0.08 dS m^{-1}

Cuadro 4. Concentraciones de cloruro de sodio aplicada en cada riego, sus equivalencias en iones disueltos y la conductividad eléctrica que presentó cada solución de riego.

NaCl	Na	Cl	Conductividad eléctrica
Testigo	1 ppm	0 ppm	$.08 \text{ dS m}^{-1}$
1260 ppm	500 ppm	760 ppm	2.5 dS m^{-1}
1513 ppm	600 ppm	913 ppm	3 dS m^{-1}
1765 ppm	700 ppm	1065 ppm	3.5 dS m^{-1}

5.6. Variables evaluadas

A la par de los riegos con los tratamientos, se realizaron mediciones de diámetro del tallo y altura de planta. Así como mediciones del índice de contenido relativo de clorofila con el medidor de clorofila por reflectancia Fieldscout Spectrum Technologies CM 1000. Éste mide la luz en longitudes de onda de 700 nm y 840 nm para estimar la cantidad de clorofila en las hojas. Se mide la luz ambiente y reflejada para cada longitud de onda. La clorofila absorbe la luz a 700 nm y, como resultado, la reflexión de esta longitud de onda desde la hoja es menor comparada a la luz reflejada a 840nm. La luz que tiene

una longitud de onda de 840 nm no se ve afectada por el contenido de clorofila de la hoja y sirve como indicador de la cantidad de luz reflejada debido a las características físicas de las hojas tales como la presencia de cera o pelos en la superficie foliar. El CM1000 calcula un índice de contenido de clorofila relativo que toma valores entre 0 y 999, a partir de los datos de luz reflejada y ambiente. El valor del índice es una medida del verdor relativo de la hoja (Calvache, 2013).

También se tomaron lecturas de fotosíntesis, conductancia estomática y déficit de presión de vapor con el medidor portátil de fotosíntesis IRGA LI-6400®. Para el uso del IRGA LI-6400® se hizo una revisión de la calibración del equipo, y se establecieron valores iguales en cada medición de humedad relativa del 55%, radiación de $550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en la cámara, un flujo constante de $400 \mu\text{mol s}^{-1}$ y un CO_2 de referencia de $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$. La revisión consistía en los siguientes puntos de acuerdo al manual de uso del equipo.

A. Calentamiento (con la cámara cerrada).

- I. Fuente de aire: preparar el mezclador de CO_2 .
- II. Temperaturas: que los valores estén funcionando bien, y que los marcadores de temperatura de la hoja (Tleaf) funcionen.
- III. Fuente de luz y sensores: comprobar que respondan, y que los valores estén bien.
- IV. Sensor de presión: corroborar que los valores estén bien y que sea estable.

V. Ventilador de la hoja: que el ventilador funcione.

VI. Control de flujo: verificar que el flujo máximo este bien, y las restricciones del tubo de químicos.

B. Después del calentamiento (con la cámara cerrada)

1. Checar el flujo en cero.
2. Ajustar el cerrado de la cámara, cerrar la cámara.
3. Checar el CO₂ en cero.
4. Checar el H₂O en cero.
5. Calibrar el mezclador.
6. Checar Tleaf (temperatura de la hoja) en cero.
7. Fijar los valores de referencia de CO₂ y H₂O.
8. Hacer una prueba para fugas o entradas de CO₂.
9. Balancear los IRGAs. Y comprobar que la válvula este trabajando.

C. Medida de la primera hoja

1. Fijar la luz
2. Fijar el flujo a 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$
3. Fijar el CO₂ de referencia.
4. Fijar la temperatura (opcional).
5. Fijar el área y la tasa estomática (opcional).
6. Fijar una humedad constante (opcional).
7. Poner hoja dentro de la cámara.

8. Esperar a que el medidor se estabilice y registrar los valores que resultan.

5.7. Recolección del material vegetal

Una vez que las plantas mostraron síntomas severos causados por las sales (1 mes de aplicación de tratamientos), éstas se recolectaron. Se separó la raíz, tallo y hojas de cada planta, y se llevaron a una estufa de secado en el laboratorio para posteriormente moler las muestras vegetales y realizar los análisis de contenido de iones.

5.8. Contenido de iones

Para la determinación de Na y K, se tomaron 0.5 g de la muestra del material vegetal y se hizo una digestión por vía húmeda, con 10 ml de una mezcla Nítrico-Perclórica en relación 3:2 y se calentó a 99° C, hasta eliminar todo el contenido de materia orgánica. Se aforó a 50 ml, se realizaron diluciones de la muestra líquida y después se realizaron las lecturas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica PerkinElmer modelo AANALYST 200, usando las lámparas de cátodo hueco correspondientes para cada uno de los iones.

Para la determinación de cloruros se tomaron 0.25 g de la muestra vegetal y se le añadieron 0.06 g de óxido de calcio, esto se mezcló y se digestó en la mufla a 550°C durante 2 horas. El residuo se recuperó con agua caliente, se filtró y se aforó a 250 ml. Se determinó la concentración de Cl^- con el microprocesador PHmeter Hanna Instrument modelo PH211 usando un electrodo combinado de cloruros Hanna Instrument HI 4117.

5.9. Análisis de datos

Se analizaron los datos mediante el paquete estadístico SAS 9.0 usando el procedimiento GLM, considerando el modelo factorial 4X4 ya mencionado (SAS, 2002). Se realizó un análisis de varianza en el cual se incluyeron efectos fijos como variedad, salinidad y fechas. La comparación de medias de los diferentes factores fue realizada mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Steel y Torrie, 1960).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Variables Morfométricas y Fisiológicas

6.1.1. Diámetro de tallo en plántulas de Nogal Pecanero

El diámetro de la variedad Apache mostró una tendencia hacia la disminución conforme se incrementó la concentración de NaCl en el agua (Figura 1). Se observó que el diámetro se redujo significativamente a partir de 3 dS m^{-1} . Este comportamiento no se observó en los otros genotipos evaluados. Los resultados observados particularmente en 'Apache' concuerdan con los encontrados por Miyamoto *et al.*, (1986) en un estudio donde observó una disminución en el diámetro del tronco del 25% bajo un nivel de salinidad en el suelo de 3.5 dS m^{-1} .

En los tres genotipos restantes, el diámetro no varió considerablemente, es decir, no fue mayor de 0.5 mm, en relación a la diferencia mayor de 1.0 mm observada en apache. Lo anterior manifiesta que la respuesta en diámetro a la salinidad, varía con el genotipo.

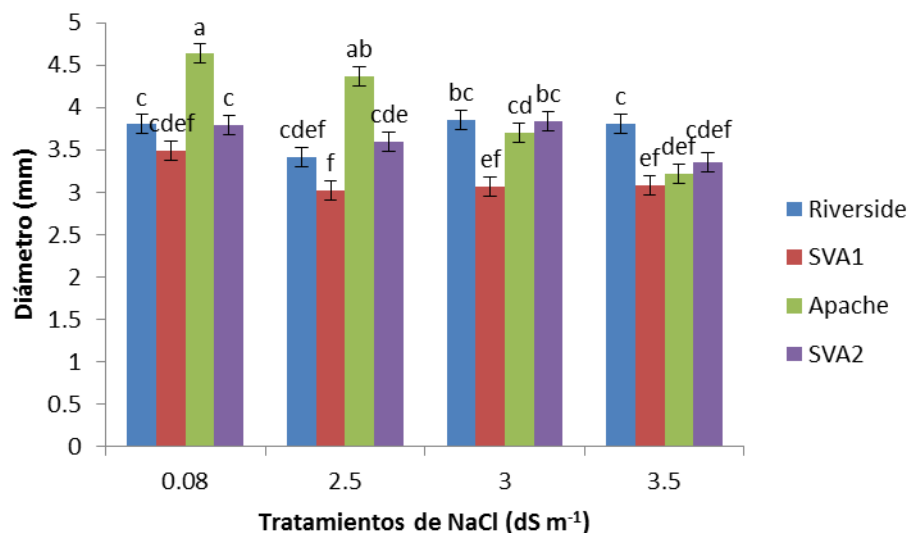


Figura 1. Comportamiento de diámetro de tallo de cada genotipo en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.1.2. Altura de plántula de Nogal Pecanero

Las concentraciones de NaCl evaluadas en este estudio no afectaron la altura de planta de los genotipos. No obstante se observa una tendencia hacia el decremento de esta variable en Apache, como se observó en el diámetro, aunque el comportamiento fue estadísticamente similar en las tres concentraciones consideradas (Figura 2).

Delane *et al.* (1982) y Weimberg *et al.* (1984), mencionan que el estrés salino puede manifestarse de diferentes maneras, en cuanto a los procesos de crecimiento generativo y vegetativo en la planta, encontrando que el crecimiento vegetativo de la parte aérea es a menudo más sensible a la salinidad. No

obstante esta consideración, la respuesta en altura de planta a las concentraciones de NaCl, no fue significativa en este estudio, debido posiblemente al periodo de duración del mismo.

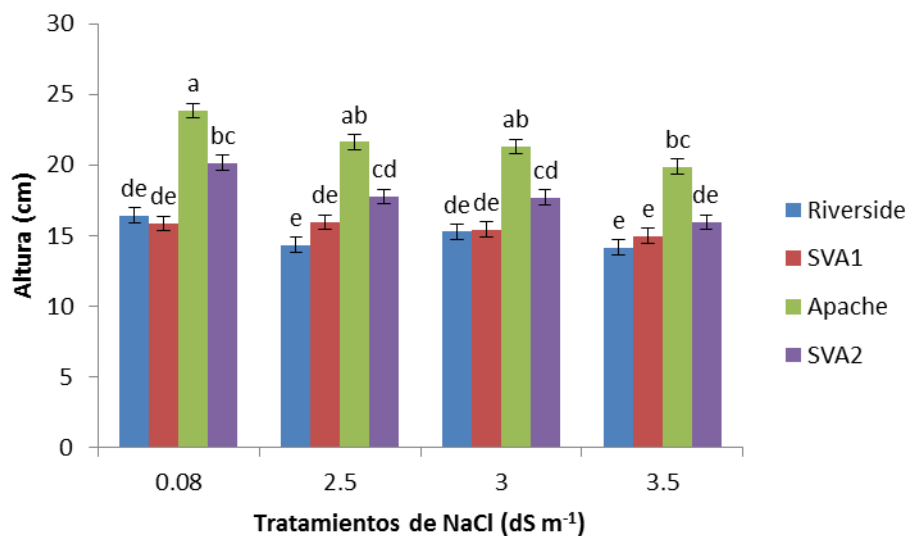


Figura 2. Comportamiento de la altura de planta para cada genotipo en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.1.3. Índice de contenido relativo de Clorofila

El índice de contenido de clorofila tuvo una tendencia a disminuir en relación con las mayores cantidades de sales aplicadas en los tratamientos en todas las variedades (figura 3). Según Martínez (2011) y Parida y Dass (2004) la salinidad provoca afectaciones en la concentración de pigmentos, las cuales se deben a la destrucción de los cloroplastos, por consiguiente se ve afectada la producción de clorofilas.

La disminución del índice de clorofila también pudo ser afectada por la necrosis en los bordes de las hojas que se fue expandiendo hasta que toda la hoja presentaba este daño, este síntoma por salinidad lo menciona Martínez (2011) como uno de los más comunes en tejido foliar cuando las concentraciones de sales son elevadas.

Como se observa en la figura 3 el material criollo SVA2 tuvo medias de comportamiento más estable en todas las concentraciones de NaCl de los tratamientos, lo que puede indicar que este material criollo no es gravemente afectado como el resto de los genotipos utilizados para este estudio.

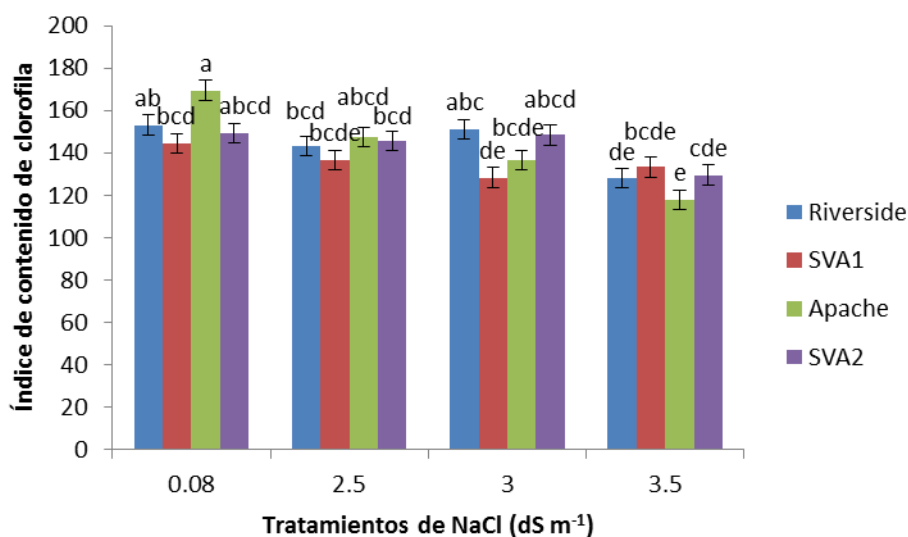


Figura 3. Comportamiento del Índice de contenido de clorofila de cada genotipo de Nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.1.4. Fotosíntesis

La tasa fotosintética en los genotipos Riverside y SVA2 no fue significativamente afectada por las diferentes concentraciones de NaCl en relación a las plantas testigo (Figura 4). No obstante se observó una tendencia hacia la disminución de esta variable conforme la concentración de NaCl en los tratamientos aumentó de 0 a 3 dS m⁻¹. Esto según Miyamoto (2008) es porque el nogal es un árbol clasificado como sensible a salinidad, logrando un crecimiento con agua de riego con una conductividad menor a los 3 dS m⁻¹.

En los genotipos Apache y SVA1 la fotosíntesis disminuyó considerablemente cuando la conductividad aumentó a 3 y 3.5 dS m⁻¹ respectivamente, en relación al testigo. La tendencia hacia la disminución de la fotosíntesis en los genotipos estudiados, obedece en parte al papel que tiene el sodio en este evento, ya que desempeña un papel importante en la actividad enzimática involucrada en el metabolismo fotosintético (Chaves, 2009 y Barkla, 2007).

Como adición a lo anteriormente discutido, es preciso mencionar que los resultados aquí encontrados, indican que la respuesta fotosintética al estrés, en este caso de tipo salino, depende, en parte del genotipo. Ya que la magnitud de esta respuesta está relacionada con la genética del material, como lo documenta Azcon-Bieto (2008).

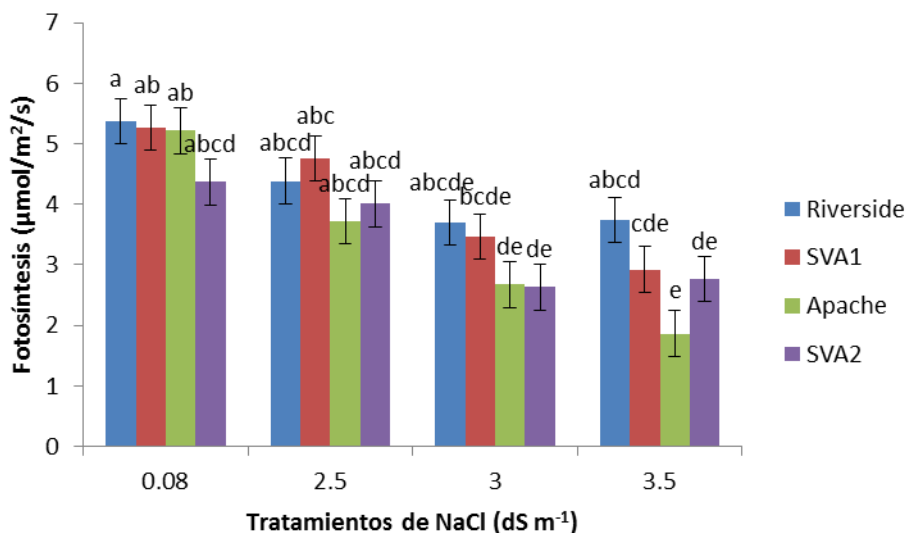


Figura 4. Comportamiento de la fotosíntesis de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.1.5. Conductancia Estomática

La conductancia estomática de los genotipos Apache y SVA2 no fue significativamente afectada por las diferentes concentraciones de NaCl en relación a las plantas testigo (Figura 5). No obstante se observó una tendencia hacia la disminución de esta variable conforme la concentración de NaCl aumentó en los tratamientos. En los genotipos Riverside y SVA 1 la conductancia estomática disminuyó considerablemente cuando la conductividad aumentó a 3 y 3.5 dS m⁻¹ respectivamente, en relación al testigo. Meloni *et al.* (2011) y Leidi y Pardo (2002) indican que la salinidad afecta procesos como la fotosíntesis y la conductancia estomática, ya que las plantas disminuyen éstos como una respuesta inmediata al estrés salino.

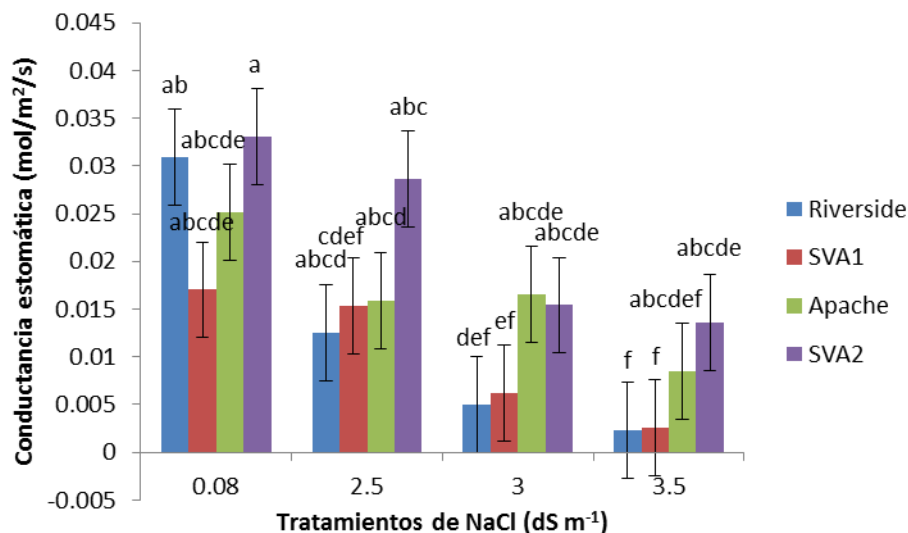


Figura 5. Comportamiento de la conductancia estomática de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.1.6. Déficit de presión de vapor

El déficit de presión de vapor es estadísticamente similar en todos los genotipos y tratamientos de NaCl aplicados, sin embargo esta variable tiene una ligera tendencia a aumentar en todos los genotipos conforme se aumentó la cantidad de sales aplicadas según muestra la figura 6. Esto nos indica que a mayor concentración de sales el déficit de presión de vapor aumenta.

Lin *et al.* (2012) mencionan en estudios de modelos de fotosíntesis que el déficit de presión se encuentra entre los principales factores que afectan la respuesta de la fotosíntesis neta. Por lo que se debe resaltar que en este estudio, los valores más bajos de fotosíntesis están acompañados de valores más altos de déficit de presión de vapor.

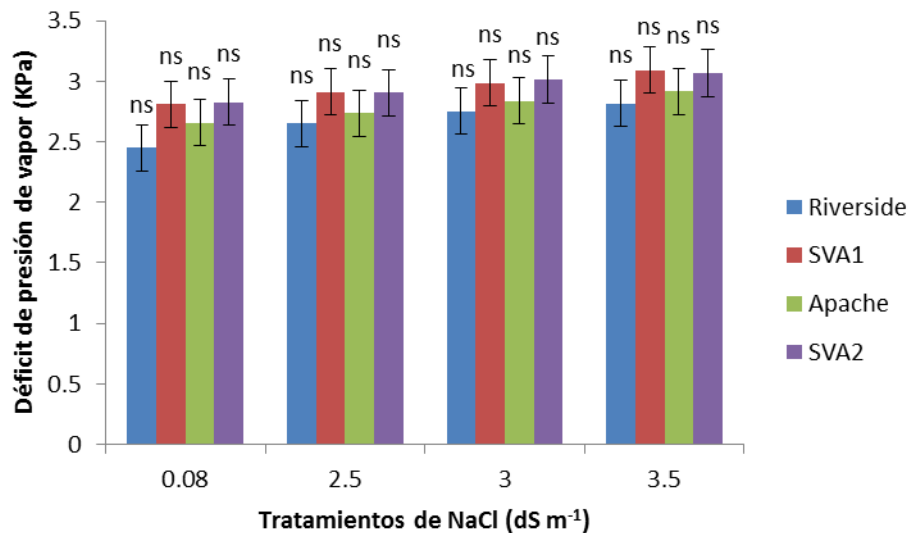


Figura 6. Comportamiento del déficit de presión de vapor de cada genotipo de nogal pecanero en las diferentes concentraciones de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.2. Contenido de iones en tejidos de los genotipos de Nogal Pecanero

6.2.1. Sodio en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero

La concentración de sodio en las hojas de la variedad Riverside mostró una tendencia hacia el incremento a medida que aumentó el nivel de sodio en el agua de riego (Figura 7). La concentración de 3.5 dS m⁻¹ aumentó significativamente el contenido de Na⁺ en las hojas, aunque estadísticamente fue similar al inmediato inferior (3.0 dS m⁻¹). Similar tendencia fue observada en Apache, aunque la concentración de Na⁺ en las plántulas que recibieron los tratamientos de 3 y 3.5 dS m⁻¹ el contenido de sodio en el follaje en apache fue

inferior en un 50% en relación a Riverside. Por su parte en el material criollo SVA1 la concentración iónica de Na^+ en las hojas se mantuvo en niveles inferiores de 1,000 ppm en los árboles regados con la solución salina. Siendo, sin embargo superior en 4 veces en relación a los árboles testigo. En el genotipo criollo SVA2, la concentración de Na^+ en el follaje fue estadísticamente similar entre los árboles regados con solución salina y el testigo. En los árboles tratados con la solución el contenido iónico de Na en las hojas fue menor a los 700 ppm.

La concentración de sodio en el tallo de la variedad Riverside mostró una tendencia hacia el incremento conforme aumentó la concentración salina. Similar patrón fue observado en los genotipos SVA1 y Apache. La concentración de 3.5 dS m^{-1} indujo la mayor acumulación de sodio en Riverside en comparación a los otros tres genotipos estudiados, en los cuales los valores fueron similares a los observados en las concentraciones de 2.5 y 3 dS m^{-1} , incluyendo el testigo en el caso específico para SVA2.

La concentración de sodio en la raíz de Riverside y Apache fue significativa a partir de 3 dS m^{-1} en comparación al testigo, mientras que en SVA2 esta significancia se observó a partir de 2.5 dS m^{-1} , la cual superó estadísticamente a Apache en esta concentración mencionada. No así en las dos concentraciones inmediatas superiores cuya acumulación iónica en la raíz fue similar en los cuatro genotipos.

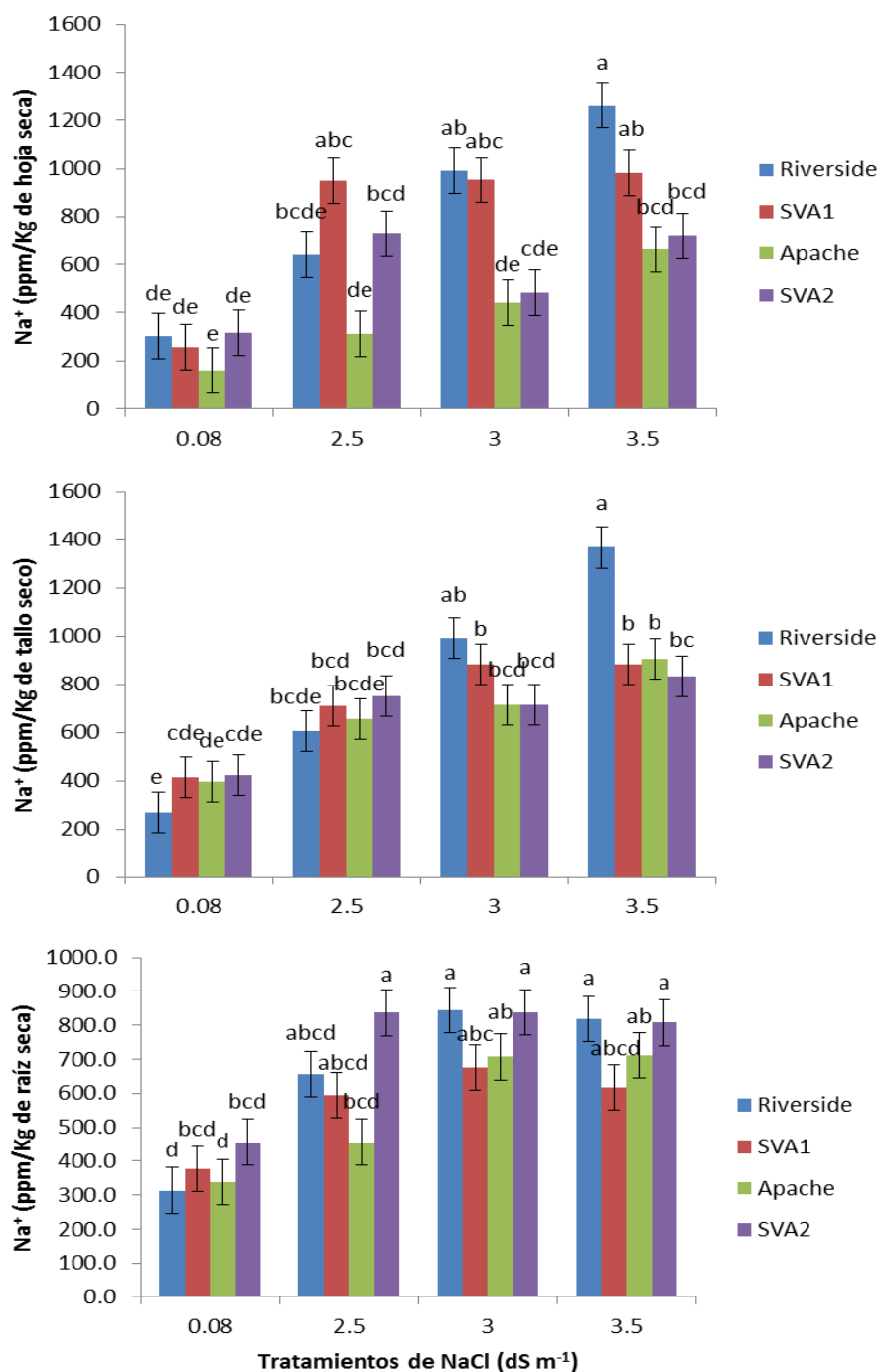


Figura 7. Contenido de sodio en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

Debido a que en todos los genotipos se vieron afectadas todas las variables de estudio en concentraciones de NaCl se realizó un análisis de varianza de estos resultados, donde se tomaron en cuenta únicamente las plantas expuestas a concentraciones altas de sales en los riegos, para diferenciar en qué tejido de cada uno de los genotipos se concentró mayor cantidad de sodio. En la figura 8 se puede observar que el material criollo SVA2 acumuló la mayor concentración de sales en la raíz, así como un menor flujo de iones a las hojas. Este comportamiento en plantas lo encontraron también Walker *et al.* (1987) en plantas de pistache, las cuales retuvieron el sodio en las raíces, teniendo una concentración de sodio baja en las hojas.

En Apache se observó algo similar encontrando un menor flujo de sodio del tallo a la hoja. La variedad Riverside no presentó diferencias, y el material criollo SVA1 presentó un mayor contenido de sodio en las hojas. Estos resultados son similares a los encontrados por Montes-Rentería *et al.* (2011) en nogal pecanero nativo, donde registró una ligera tendencia hacia una menor cantidad de sodio en hojas y una mayor concentración en raíz.

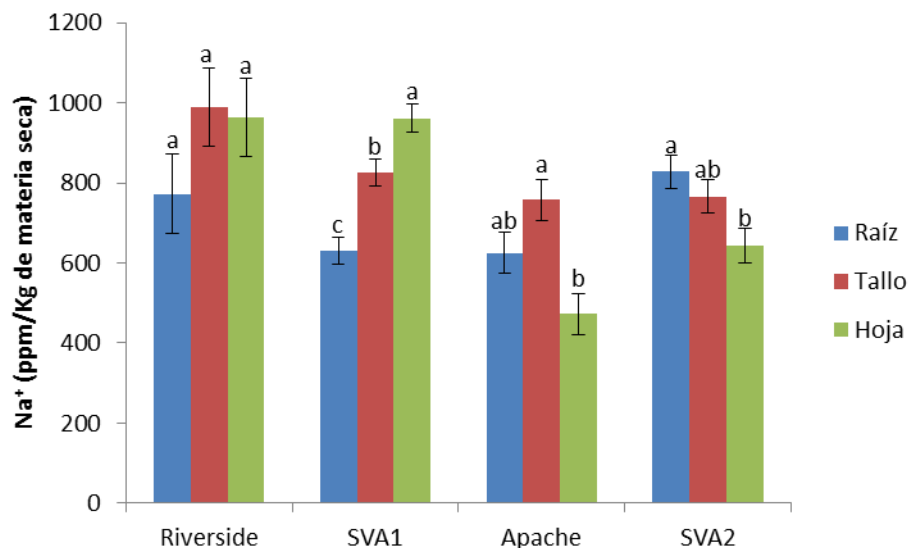


Figura 8. Contenido de sodio en tejido de plántula, únicamente en los tratamientos de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹ de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.2.2. Potasio en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero

Las concentraciones más altas del ion K⁺ se encontraron en las hojas de todos los genotipos de nogal con valores de 1100 ppm hasta 1700 ppm, en el tallo los valores fueron entre 350 y 600 ppm y en raíz entre 250 y 350 ppm. Lo cual indica claramente que este ion se acumula en las hojas de todos los genotipos. Sin embargo en hoja aunque no hay una diferencia muy grande entre genotipos, los mayores contenidos de K⁺ se encontraron en todos los genotipos sometidos al tratamiento de 3dS m⁻¹, siendo la variedad Riverside la que contenía las mayores concentraciones de K⁺. Resultados similares fueron

encontrados por Muralitharan *et al.* (1992) en cultivo de mora, donde al ser sometidas a altas concentraciones de NaCl, las mayores concentraciones de K^+ se encontraron en hojas en relación con los tallos y raíces de la planta.

En tallos las variedades Riverside y Apache así como el material criollo SVA1 mostraron contenidos mayores de potasio con respecto del material criollo SVA2 el cual en los tratamientos de 2.5 y 3 dS m^{-1} es significativamente inferior a los demás tratamientos.

El contenido de K^+ en raíz como lo muestra la figura 9 tuvo una ligera tendencia al decremento conforme aumentó la cantidad de NaCl en agua de riego. El material criollo SVA 2 presentó un menor contenido de este ion en el tratamiento de 3.5 dS m^{-1} . Esto puede deberse a que la toxicidad metabólica del sodio está asociada daños a la membrana celular y la competencia por los sitios de enlace de potasio el cual esencial para el metabolismo (Martínez *et al.*, 2011).

A pesar de las tendencias de contenido de iones, la mayoría no son significativas, entre los tratamientos lo cual encontraron Montes-Renteria *et al.* (2011) en nogal pecanero.

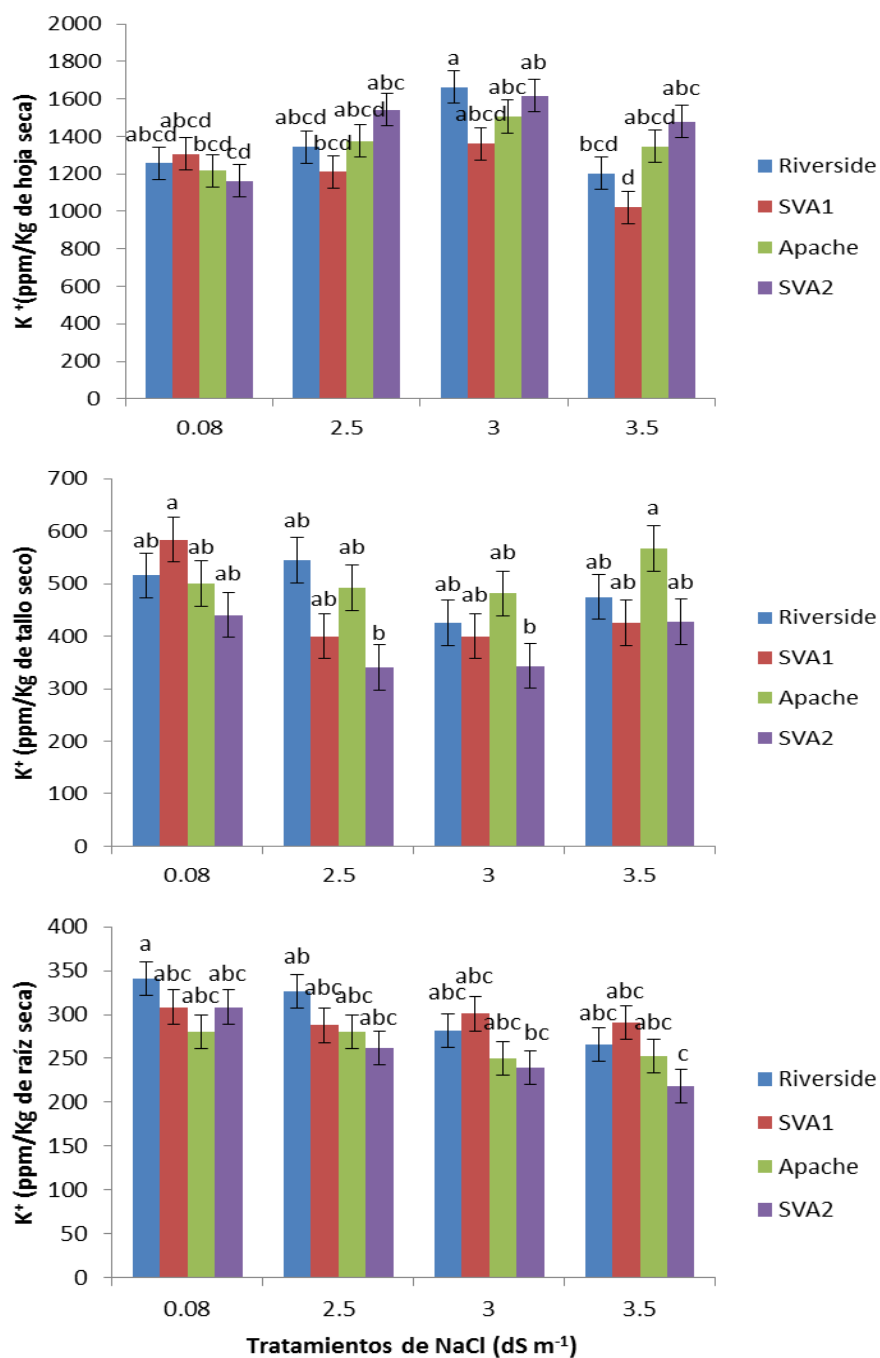


Figura 9. Contenido de potasio en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

6.2.3. Cloruros en los tejidos de las plántulas de los genotipos de Nogal pecanero

La concentración de cloro en hojas de los materiales evaluados mostró la tendencia hacia el incremento a medida que aumentó el nivel de cloro en el agua de riego en la mayoría de los genotipos (Figura 10). La concentración de cloro en hoja de los materiales criollos SVA1 y SVA2 fue significativa a partir de 2.5 dS m⁻¹ en comparación al testigo, mientras que en las variedades Riverside y Apache esta significancia se observó a partir de 3 dS m⁻¹. La mayor acumulación de cloro se observó en Riverside en los tratamientos de 3 y 3.5 dS m⁻¹ en comparación a SVA2 y Apache.

La acumulación de cloro en el tallo de estos materiales tuvo una tendencia al incremento como se observó para la concentración en el tejido foliar, sin embargo esta fue similar en los tratamientos excepto en el tratamiento de 3.5 en la cual el material criollo SVA1 superó estadísticamente al SVA2.

La acumulación de cloro en hojas y tallo aumentó con el incremento de la salinidad en el agua (Figura 10). Esta tendencia se expresó considerablemente en Riverside y SVA1, principalmente en los árboles tratados con 3 y 3.5 dS m⁻¹. En apache y SVA2 el nivel de cloro observado tanto en tallo como en hojas no varió considerablemente, es decir estuvo en el intervalo de 20 a 30 y 30 a 40 ppm respectivamente.

La mayor acumulación de cloro en raíz se observó en el material SVA1, mientras que en el material criollo SVA2 mostró la menor concentración (Figura10). Por su parte los genotipos Apache y Riverside mostraron valores intermedios en los tratamientos estudiados.

La tendencia a aumentar del Cl^- en todos los tejidos con respecto del aumento de NaCl aplicado, la obtuvieron en un estudio en moras Muralitharan *et al.* (1992), cuyos resultados muestran incremento de cloruro en relación al aumento de NaCl aplicado.

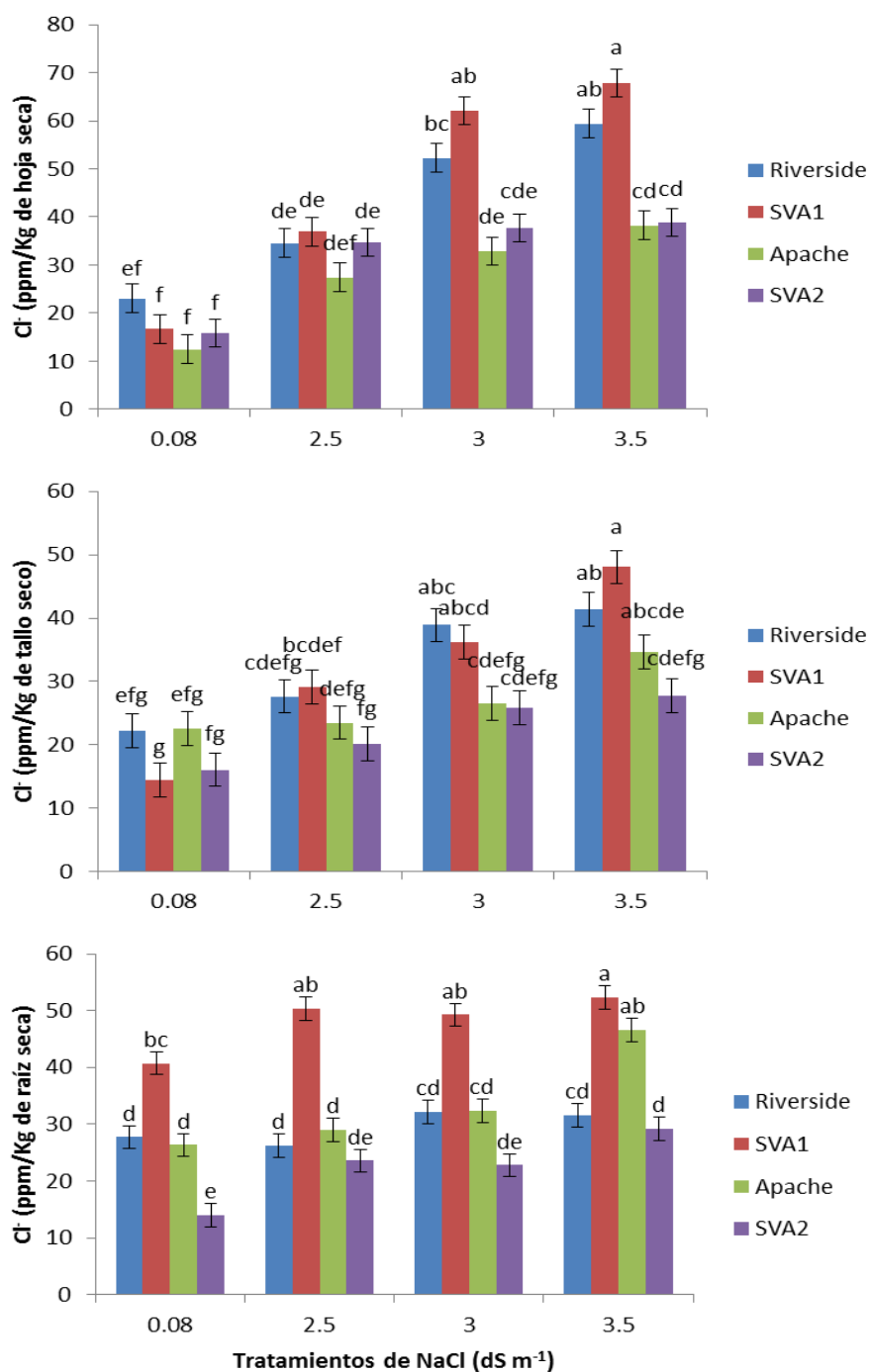


Figura 10. Contenido de cloruros en tejidos de plántula de cuatro genotipos de nogal pecanero sometidos a riegos con diferente concentración de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

Debido a que en todos los genotipos se vieron afectadas todas la variables de estudio en concentraciones de NaCl se realizó un análisis de varianza de estos resultados, donde se tomaron en cuenta únicamente las plantas expuestas a concentraciones altas de NaCl en los riegos, para diferenciar en qué tejido de cada uno de los genotipos se concentró mayor cantidad de sodio.

En la Figura 11 se puede observar que el material criollo SVA2 presentó concentraciones de Cl^- menores a los demás genotipos en raíz y tallo, pero valores con una tendencia a aumentar en las hojas, por otra parte la variedad Apache tuvo una tendencia a presentar concentraciones de Cl^- bajas en todos los tejidos. Estos resultados son similares a los reportados por Montes-Rentería *et al.* (2011) donde los iones Cl^- tienden a acumularse en las hojas de las plantas de nogal pecanero. También resultados similares fueron reportados por Muralitharan *et al.* (1992) en árboles de mora, donde el mayor contenido de Cl^- se encontró en las hojas y menores contenidos en tallo y raíz.

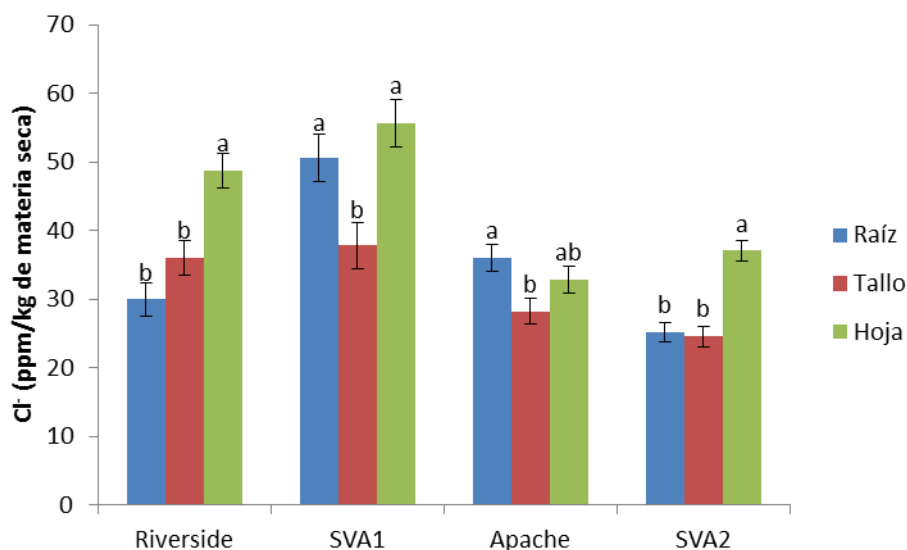


Figura 11. Contenido de cloruros en tejido de plántula, únicamente en los tratamientos de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹ de NaCl. Medias entre tratamientos con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha=0.05$). Barras verticales indican error estándar.

VII. CONCLUSIONES

Los genotipos de nogal pecanero tratados con NaCl presentaron un decremento en diámetro, altura y en el índice de contenido relativo de clorofila.

La fotosíntesis y conductancia estomática disminuyeron en árboles tratados con diferentes gradientes de salinidad, los cuales manifestaron un aumento en el déficit de presión de vapor.

La menor acumulación de sodio en hojas se observó en el material criollo SVA2. Este menor ingreso, permite indicar un posible efecto de exclusión iónica y permite suponer que este genotipo puede ser utilizado en suelos con problemas de sales para esta especie.

Aunque este patrón fue diferente para cloro, dicho material criollo presentó niveles inferiores a Riverside, el cual ha sido considerado como tolerante a sales.

VIII. LITERATURA CITADA

- Apse M.P. and E. Blumwald. 2007. Na⁺ transport in plants. Arcadia Biosciences. University of California. FEBS Letters 581: 2247–2254
- Atkinson D. and G.C. White. 1976. The effect of the herbicide strip system of management on root growth on young apple trees and the soil zones from which take 4 P mineral nutrients. Rpt. East Malling Res. Sta 1975:165-197.
- Azcon-Bieto, y Talcon M. 2008. Fundamentos de fisiología Vegetal. McGraw Hill. España 2 ed. 522p.
- Barkla J.B., R. Vera-Estrella R, E. Balderas, O. Pantoja. 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *In*: Una ventana al quehacer científico. Instituto de Biotecnología de la UNAM 14:253-272.
- Bernstein L. and H.E. Hayward H. 1958. Physiology of Salt Tolerance. Annual Review Plant Physiology. 9: 25-46.
- Blumwald E. 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. Current Opinion in cell biology 12: 431-434.
- Blumwald E., G.S. Aharon and M.P. Apse. 2000. Sodium transport in plant cells. Biochem. Biophys. 465: 140-151.

- Breckle S.W. 2002. Salinity, halophytes and salt-affected natural ecosystems. In: Salinity: environment-plantsmolecules. Läuchli A. and U. Lüttge (eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 53-77.
- Calvache G. S. 2013. Determinación de las necesidades de nitrógeno de un Green mediante sensores remotos. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba, España, 85p.
- Chaves M.M., J. Flexas and C. Pinheiro. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551–560.
- Chinnusamy V., A. Jagendorf and J.K. Zhu. 2005. Understanding and Improving Salt Tolerance in Plants. *Crop Sci.* 45: 437-448.
- Delane, R.; Greenway, H.; Munns, R.; Gibbs, J. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. I. Relationship between solute concentration and growth. *J Exp Bot* 33: 557–573.
- Fan Z., Q. Chang, C. Tian, S. Yabaki, A. Okada and C. Liu. 1993. Genesis and characteristics of salt-affected soils in tarim Basin. In: Proceedings of the Japan-China International Symposium on the study of the Mechanism of Desertification. Ichikuni M. (ed). Tokyo: Science and technology Agency pp:219-226.

- Ferguson, L. 1990. The pistachio tree. In: Pistachio production. A pomology shortcourse. University of California.
- Figuerola V.U., M.M. Medina y G.J. Chávez. 2002. Manejo del suelo. *In* Tecnología de producción en nogal pecanero. Arreola J.G.; I. Reyes (eds). CELALA; CIRNOC; INIFAP; Campo experimental la laguna. Matamoros, Coah., México, pp: 1-14.
- Flowers T.J., A. García, M. Koyama and A.R Yeo. 1997. Breeding for salt tolerance in crop plants - the role of molecular biology. *Acta Physiologiae Plantarum*. 4: 427-433.
- Grattan S.R. and C.M. Grieve. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crop. *Scientia Horticulturae* 78:127-157.
- Hanna J.D. and J.B. Storey. 1987. Pecan rootstock. *In*: R.C. Rom. Rootstocks for fruit crops. John Wiley & Sons.
- Hasegawa P.M., R.A. Bressan, J.K. Zhu and H.J. Bohnert. 2000. Plant Cellular and Molecular Responses to High Salinity. *Annual Review Plant Physiology*. 51:463-483.
- Knowles J.W., W.A. Dozier, C.E. Evans, C.C. Carlton and J. McGuire. 1984. Peach Rootstock combinations on growth leaf mineral trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:440-444.

- Leidi, E. O. y J.M. Pardo. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: que hay de nuevo. Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias, 2: 69-90.
- Lin, Y. S., Medlyn, E. B. y Ellsworth, S. D. 2012. Temperature responses of leaf net photosynthesis: the role of component processes. Tree Physiology 32, 219-231.
- Lord W.J., D.W. Greene, R.A. Damon and J.H. Baker. 1985. Effects of stem pice and roostock combinations on growth leaf mineral trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 422-425
- Martínez V.N., A.C. López, S.M. Basurto y L.R. Pérez. 2011. Efecto por salinidad en el desarrollo vegetativo. Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable 5:156-161.
- Medina M.C. y P. Cano. 2002. Aspectos generales del nogal pecanero. *In* Tecnología de producción en nogal pecanero. Arreola J.G.; I.Reyes (eds). CELALA; CIRNOC; INIFAP; Campo experimental la laguna. Matamoros, Coah., México, pp: 1-14.
- Meloni, D. A., M.A. Oliva, H.A. Ruiz, C.A. Martinez. 2001. Contribution of proline and inorganic solutes osmotic to adjustment in cotton under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 24: 599-612.
- Miyamoto S. 2008. Salt Tolerance of Landscape Plants Common to the Southwest. Texas A & M University System. TR-2008-316 p.37.

- Miyamoto S., T. Riley, G. Gobran, and G. Petticrew. 1986. Effects of saline water irrigation on soil salinity, pecan tree growth and nut production. *Irrigation Science* 7: 83-95.
- Miyamoto S., G.R. Gobran and K. Piela. 1985. Salt effects on seedling growth and ion uptake of tree pecan roostock cultivar. *Agronomy Journal* 77:383-388.
- Montes-Rentería G.D., J. G. Arreola-Ávila, R. Trejo-Calzada, J.S. Rodríguez-López. 2011. Acumulación de iones en Nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch] de maduración temprana sometidos a diferentes condiciones de salinidad. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 10:131-139
- Munns R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 20: 239-250.
- Munns R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review Plant Biology* 59: 651-681.
- Muralitharan M.S., S. Chandler and R.F.M. Steveninck. 1992. Muralitharan and . Effects of NaCl and Na₂SO₄ on Frowth and solute composition of Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Australian Journal of Plant Physiology* 19: 155-164.
- Parida A.K. and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.

- Parida A.K. and A.B. Dass. 2004. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety* 60:324-349.
- Pasternak D., N. Sagih, Y. DeMalach, Y. Keren and A. Shaffer. 1995. Irrigation with brackish water under desert conditions XI. Salt tolerance in sweet-corn cultivars. *Agricultural water management* 28: 325-334.
- Pitman M.G. and A. Läuchli. 2002. Global impact of salinity and agricultural evosystems. *In: Salinity: environment-plantsmolecules*. Läuchli A. and U. Lüttge (eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 3-20.
- Rathcke B, E. and Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review Ecology & Systematics* 16: 179–214.
- Richards L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª ed. Limusa, México. 172p.
- Rodríguez-Pérez L., 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana* 24:28-37.
- Ruiz C.E., R.A. Aldaco, J.A. Montemayor, M. Fortis, J. Olague y J.C. Villagómez. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica pecuaria en México*. 24:19-24.
- SAS. 2002. Lenguaje guide for personal computer. SAS Institute Inc. Ver. 9.0. North Caroline, USA.

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP).

2013. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México.

Solbrig O. T. and P.D. Cantino. 1975. Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 56:185–210.

Sosebee R. E. and C. Wan. 1987. Plant ecophysiology: a case study of honey mesquite. Contribution No T-9-502. Lubbock: College of Agricultural Sciences, Texas Tech University. P. 103–117.

Sparks D. 1977. Effects of fruiting on scorch, premature defoliation, and nutrient status of Chickasaw pecan leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102:669-673.

Steel R.G. and J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of statistics. McGraw-Hill, New York 481p.

Steudle E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* 51: 1531-1542.

Tanji K.K. 2002. Salinity in the soil environment. *In: Salinity: environment-plantsmolecules*. Läuchli A. and U. Lüttge (eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 21-52.

- Tarango S. y N. Chávez. 2011. Daño salino en nogal pecanero. Báez F (ed). INIFAP; Centro de investigación regional norte-centro. Campo experimental Delicias, Chihuahua, México 47p.
- Tester M. and R. Davenport. 2003. Na⁺ Tolerant and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91:503-527.
- Tyerman S.D., I.M. Skerrett IM. 1999 Root ion channels and salinity. *Sci Hort* 78: 175–235
- Walker R.R, E. Törökfalvi and M.H. Behboudian. 1987. Uptake and Distribution of chloride, sodium and potassium ions and growth of salt –treated Pistachio plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 38:383–394.
- Weimberg, R.; Lerner, H. R.; Poljakoff-Mayber, A. 1984. Changes in growth and water-soluble solute concentration in Sorghum bicolor stressed with sodium and potassium salts. *Physiol Plantarum* 62: 472–480.
- Willadino L. y T. Camara. 2003. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. *In: La ecofisiología Vegetal: Una Ciencia de Síntesis*. Reigosa M.J., N. Pedrol, A. Sánchez-Moreiras (eds). Ed. Paraninfo. Madrid pp:318-327.
- Zhu J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 441-445.

ANEXOS

Cuadro 1A. Análisis de varianza para la variable diámetro de planta.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	72.8721018	4.8581401	15.71	<.0001
Error	368	113.8163042	0.3092834		
Total correcto	383	186.6884060			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Diámetro Media	
0.390341		15.33245	0.556133	3.627161	

Cuadro 2A. Análisis de varianza para la variable altura de planta.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	3119.374896	207.958326	30.97	<.0001
Error	368	2470.820000	6.714185		
Total correcto	383	5590.194896			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Altura Media	
0.558008		14.77549	2.591174	17.53698	

Cuadro 3A. Análisis de varianza para la variable clorofila.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	56679.6849	3778.6457	7.33	<.0001
Error	368	189751.1250	515.6281		
Total correcto	383	246430.8099			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Ancho Media	
0.230002		16.05801	22.70744	141.4089	

Cuadro 4A. Análisis de varianza para la variable conductancia estomática.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	0.07568289	0.00504553	7.12	<.0001
Error	432	0.30619437	0.00070878		
Total correcto	447	0.38187726			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.198186		209.9628	0.026623	0.012680	

Cuadro 5A. Análisis de varianza para la variable Fotosíntesis.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	530.554431	35.370295	7.79	<.0001
Error	496	2252.591220	4.541515		
Total correcto	511	2783.145651			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.190631		56.01071	2.131083	3.804778	

Cuadro 6A. Análisis de varianza para la variable Déficit de presión de Vapor.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	13.6141310	0.9076087	0.77	0.7062
Error	496	580.9981987	1.1713673		
Total correcto	511	594.6123297			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.022896		38.12067	1.082297	2.839135	

Cuadro 7A. Análisis de varianza para la variable sodio en hoja.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	6400321.250	426688.083	11.98	<.0001
Error	48	1709018.500	35604.552		
Total correcto	63	8109339.750			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.789253		29.72986	188.6917	634.6875	

Cuadro 8A. Análisis de varianza para la variable potasio en hoja.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	1838133.500	122542.233	4.10	<.0001
Error	48	1433332.500	29861.094		
Total correcto	63	3271466.000			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.561868		12.79316	172.8036	1350.750	

Cuadro 9A. Análisis de varianza para la variable cloruros en hoja.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	16373.50109	1091.56674	31.48	<.0001
Error	48	1664.27250	34.67234		
Total correcto	63	18037.77359			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.907734		15.94469	5.888323	36.92969	

Cuadro 10A. Análisis de varianza para la variable sodio en tallo.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	4409769.359	293984.624	10.38	<.0001
Error	48	1359936.250	28332.005		
Total correcto	63	5769705.609			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.764297		23.39672	168.3211	719.4219	

Cuadro 11A. Análisis de varianza para la variable potasio en tallo.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	317944.3594	21196.2906	2.86	0.0030
Error	48	356174.2500	7420.2969		
Total correcto	63	674118.6094			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.471645		18.72316	86.14115	460.0781	

Cuadro 12A. Análisis de varianza para la variable cloruros en tallo.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	5155.619375	343.707958	12.29	<.0001
Error	48	1342.380000	27.966250		
Total correcto	63	6497.999375			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.793416		18.58605	5.288313	28.45313	

Cuadro 13A. Análisis de varianza para la variable sodio en raíz.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	5898937.984	393262.532	11.12	<.0001
Error	48	1697063.250	35355.484		
Total correcto	63	7596001.234			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.776585		27.96448	188.0305	672.3906	

Cuadro 14A. Análisis de varianza para la variable potasio en raíz.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	62911.1094	4194.0740	2.82	0.0033
Error	48	71389.2500	1487.2760		
Total correcto	63	134300.3594			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.468436		13.73420	38.56522	280.7969	

Cuadro 15A. Análisis de varianza para la variable cloruros en raíz

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	7548.148594	503.209906	30.11	<.0001
Error	48	802.322500	16.715052		
Total correcto	63	8350.471094			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.903919		12.24703	4.088405	33.38281	

Cuadro 16A. Análisis de varianza para la variable sodio de la variedad Riverside. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	334504.891	167252.446	1.45	0.2483
Error	33	3797088.229	115063.280		
Total correcto	35	4131593.120			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.080963		37.34191	339.2098	908.3890	

Cuadro 17A. Análisis de varianza para la variable cloruros de la variedad Riverside. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	2203.353889	1101.676944	14.97	<.0001
Error	33	2429.002500	73.606136		
Total correcto	35	4632.356389			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.475644		22.44122	8.579402	38.23056	

Cuadro 18A. Análisis de varianza para la variable sodio del material criollo SVA1. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	669540.954	334770.477	24.15	<.0001
Error	33	457441.859	13861.875		
Total correcto	35	1126982.814			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.594100		14.62473	117.7365	805.0506	

Cuadro 19A. Análisis de varianza para la variable cloruros del material criollo SVA1. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	2024.285000	1012.142500	7.23	0.0025
Error	33	4618.545000	139.955909		
Total correcto	35	6642.830000			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.304732		24.63790	11.83030	48.0166	

Cuadro 20A. Análisis de varianza para la variable sodio de la variedad Apache. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	488689.693	244344.846	7.69	0.0018
Error	33	1048696.465	31778.681		
Total correcto	35	1537386.158			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.317870		28.83692	178.2658	618.1859	

Cuadro 21A. Análisis de varianza para la variable cloruros de la variedad Apache. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	364.483889	182.241944	4.09	0.0260
Error	33	1471.492500	44.590682		
Total correcto	35	1835.976389			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.198523		20.62233	6.677625	32.38056	

Cuadro 22A. Análisis de varianza para la variable sodio del material criollo SVA2. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	211765.0556	105882.5278	4.93	0.0134
Error	33	708999.9167	21484.8460		
Total correcto	35	920764.9722			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.229988		19.66232	146.5771	745.4722	

Cuadro 23A. Análisis de varianza para la variable cloruros del material criollo SVA2. Tomando los datos únicamente de las plantas sometidas los tratamientos de NaCl de 2.5, 3 y 3.5 dS m⁻¹.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	1192.007222	596.003611	23.26	<.0001
Error	33	845.515833	25.621692		
Total correcto	35	2037.523056			
R-cuadrado		Coef Var	Raiz MSE	Conductancia Media	
0.585028		17.49298	5.061787	28.93611	