



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

**Evaluación de la tolerancia de salinidad en higo (*Ficus carica L.*)**

**TESIS**

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

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

**PRESENTA:**

**Mariana Elizabeth Zamarripa Contreras**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de:  
Dr. Jesús G. Arreola Ávila

Mayo, 2019

Bermejillo, Durango, México



## Evaluación de la tolerancia de salinidad en higo (*Ficus carica* L.)

Tesis realizada por **Mariana Elizabeth Zamarripa Contreras** bajo la supervisión 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:



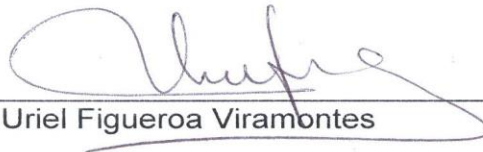
Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

Co-DIRECTOR:



Dr. Jorge Artemio Zegbe Domínguez

ASESOR:



Dr. Uriel Figueroa Viramontes

## **Agradecimientos**

A Dios por darme la oportunidad de terminar otra etapa en mi vida

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico para poder realizar este trabajo de investigación

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo recibido en estos años para concluir este proyecto.

Al Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila por compartir sus conocimientos, por su paciencia y dedicación, por su ayuda para poder aprender y concluir este nivel de estudios.

Al M.C José Ramón Hernández Salgado por su gran ayuda en la elaboración de la tesis, por su tiempo y paciencia.

Al Dr. Uriel Figueroa Viramontes por su ayuda y por compartir de sus conocimientos para enriquecer el mío, por ayudarme a crecer académicamente al igual que el Dr. Jorge A. Zegbe por su aporte y ayuda en la realización de este trabajo de investigación.

A los profesores en general de la universidad por su ejemplo, por su dedicación, por contribuir en gran manera en mi formación por este periodo.

A mi familia por su apoyo incondicional en este tiempo, por su paciencia y por estar con migo en todo momento.

A mis compañeros especialmente a Mónica y Adrián por estar ahí cuando lo necesite, por su apoyo en todos los aspectos.

## **Dedicatoria**

A mis hijas por ser mi mayor motivación cada día para seguir avanzando, para no rendirme, para tener el deseo de superarme, de ser mejor persona, de buscar lo mejor para nuestras vidas, por enseñarme siempre y darme su amor.

A mi esposo Pablo Vicab por su amor, por su apoyo y ayuda en cada momento de mi vida, por impulsarme y animarme a seguirme superando, por su paciencia y por estar conmigo a cada momento para poder lograr mis metas.

A mis padres Irma Contreras y Jesús Zamarripa por ser mi mayor ejemplo en la vida, por su humildad y esfuerzos para poder estar en este punto de mi vida, por su amor incondicional y su gran apoyo por ser un soporte en todo aspecto de mi vida.

A mis hermanas Ana y Noemi por su ayuda al cuidar de Melissa estos años.

## Datos biográficos

Nombre: Mariana Elizabeth Zamarripa Contreras

Nacionalidad Mexicana.

Fecha de nacimiento: 1 de Febrero de 1991

Lugar De Nacimiento: Gómez Palacio, Durango. México.

CURP: ZACM910201MDGMNR01

Cédula profesional: 11487694

Desarrollo académico:

Bachillerato: Centro de Estudios Tecnológico industrial y de servicios No. 88

Licenciatura: Facultad en Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango

El presente trabajo fue realizado por Mariana Elizabeth Zamarripa Contreras. En la preparatoria egreso de la carrera de técnico laboratorista químico, concluyendo sus estudios en el año 2009. Es Lic. Químico Farmacéutico Biólogo, título obtenido en, en el año 2016.

Los estudios de maestría los realizó en el Programa en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas en URUZA-UACH, generación 2017-2018.



# Índice

1	Introducción .....	1
2	Objetivos.....	2
2.1	Objetivo general .....	2
2.2	Objetivos específicos .....	2
3	Hipótesis .....	2
4	Revisión de literatura .....	3
4.1	Generalidades del cultivo de higo .....	3
4.2	Salinidad en suelos y agua .....	4
4.3	Salinidad en las plantas .....	7
	Crecimiento.....	8
	Fotosíntesis. ....	8
	Conductancia estomática:.....	9
	Transpiración: .....	9
4.4	Transporte de iones .....	9
4.5	Tolerancia a salinidad en arboles caducifolios .....	10
5	Materiales y métodos.....	13
5.1	Localización .....	13
5.2	Material vegetal .....	13
5.3	Tratamientos .....	13
5.4	Diseño experimental.....	14
5.5	Variables .....	14
5.6	Recolección del material vegetal.....	16
5.7	Contenido de iones .....	16
5.8	Análisis de estadístico.....	16

6	Resultados y Discusión.....	17
6.1	Conductancia estomática .....	17
6.2	Transpiración .....	18
6.3	Fotosíntesis.....	18
6.4	Sodio y Calcio en tejido.....	20
7	Conclusiones .....	24
8	Literatura citada .....	25

## Índice de cuadros

Cuadro 1.	Clasificación de suelos afectados por salinidad .....	5
Cuadro 2.	Concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> ) aplicada en cada riego, sus equivalencias en iones disueltos y la conductividad eléctrica (CE) en cada solución de riego.....	14
Cuadro 3.	Influencia de tratamientos de salinidad en la conductancia estomática (gs), transpiración (E) y asimilación de CO <sub>2</sub> (A) en plantas de higo de un año de edad. ....	20

## Índice de figuras

Figura 1.	Concentración de sodio en hoja, raíz y tallo. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey; $\alpha = 0.05$ ). .	21
Figura 2.	Concentración de calcio en hoja, raíz y tallo. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey $\alpha = 0.05$ ). ...	23

## Resumen<sup>1</sup>

### Evaluación de la tolerancia de salinidad en higo (*Ficus carica L.*)

El Higo (*Ficus carica L.*) es un árbol que crece satisfactoriamente en suelos pobres en materia orgánica, alcalinos y salinos. Muestra, además buen potencial productivo bajo condiciones de estrés de humedad, característica observada frecuentemente en las zonas áridas y semiáridas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de salinidad sobre variables fisiológicas así como la capacidad de exclusión iónica de plantas de higo de un año de edad desarrolladas a partir de estacas. Se aplicaron tratamientos formulados con NaCl y CaCl<sub>2</sub> a concentraciones de 0.5; 2.5; 4.0; 5.5; 7.0 u 8.5 dS m<sup>-1</sup>. Se utilizó agua de río como testigo, equivalente a una conductividad eléctrica de 0.05 dS m<sup>-1</sup>. Se evaluó fotosíntesis, conductancia estomática (CE) y transpiración durante tres meses, de igual forma se evaluó contenido de sodio (Na) y calcio (Ca) en raíz, tallo y hoja. Se observó una disminución de la fotosíntesis a partir de nivel de salinidad de 4.0 dS m<sup>-1</sup>. Mientras que la CE y la transpiración disminuyeron significativamente cuando la concentración de sales en la solución incrementó a 2.5 dSm<sup>-1</sup>. El incremento de sal en la solución aumentó el contenido de Na y Ca en el tejido. El contenido de Na en hoja y raíz aumentó significativamente pero fue menor en tallo. Estos resultados indican que la raíz tiene mayor capacidad de retención de este ion, confiriendo a esta especie capacidad para tolerancia moderada a salinidad debido al efecto de exclusión iónica observada.

Palabras clave: *Ficus carica L.*, niveles de sal, conductancia estomática, fotosíntesis, exclusión de iones.

---

<sup>1</sup> 1 Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo Autor: Zamarripa Contreras Mariana Elizabeth. Director de tesis: Arreola Ávila Jesús Guadalupe.



## Abstract<sup>2</sup>

### Evaluation of salinity tolerance in fig (*Ficus carica L.*)

The fig (*Ficus carica L.*) is a tree that satisfactorily grows in poor organic matter soils, alkaline and saline. It also shows good productive potential under conditions of humidity stress, a frequently observed characteristic in arid and semi-arid zones. The objective of the present study was to evaluate the effect of different levels of salinity on physiological variables as well as the capacity of ionic exclusion of one year old fig plants developed from cuttings. Treatments formulated with NaCl and CaCl<sub>2</sub> at concentrations of 0.5; 2.5; 4.0; 5.5; 7.0 or 8.5 dS m<sup>-1</sup> were applied. River water, equivalent to an electrical conductivity of 0.05 dS m<sup>-1</sup> was used as a control. Photosynthesis, stomatal conductance (CE) and transpiration for three months were evaluated, as well as sodium (Na) and calcium (Ca) content in root, stem and leaf. A decrease in photosynthesis was observed from the salinity level of 4.0 dS m<sup>-1</sup>. While EC and transpiration decreased significantly when the concentration of salts in the solution increased to 2.5 dSm<sup>-1</sup>. The increase of salt in the solution increased the Na and Ca content in the tissue. The content of Na in leaf and root increased significantly but was lower in stem. These results indicate that the root has a greater retention capacity of this ion, conferring to this species capacity for moderate tolerance to salinity due to the observed ionic exclusion effect.

**Keywords:** *Ficus carica L.*, salt levels, stomatal conductance, photosynthesis, ion exclusion.

---

<sup>2</sup> 1 Tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo Autor: Zamarripa Contreras Mariana Elizabeth. Director de tesis: Arreola Ávila Jesús Guadalupe.

# 1 Introducción

La salinidad en los suelos, es un problema común que está ampliamente distribuido alrededor del mundo, este se presenta principalmente en las zonas áridas y semiáridas (Moreno et al., 2015; Serrato et al., 2002). Se consideran como suelos salinos aquellos que tienen una conductividad de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  o más (Mesa, 2003). En el mundo existen alrededor de 800 millones ha que son afectadas por la salinidad (Munns y Tester, 2008) y cada minuto cerca de 10 ha se pierden, cinco por erosión, tres por salinización, una por otros procesos de degradación y otra, por uso en la agricultura (Mesa, 2003). Leidi y Pardo, (2002) mencionan que para 2050, el 50% de la tierra cultivable del mundo será afectada por la salinidad. En México se estima que un 10% del área irrigada es afectada por salinidad, y de ésta, el 64% aproximadamente se localiza al norte del país (Martínez, López, Basurto, & Pérez, 2011). En la comarca lagunera en el año 2002 la superficie afectada por estas condiciones fue aproximadamente de 150,000 Ha (Serrato Sánchez et al., 2002). El problema de la salinidad es una limitante para la correcta producción de cultivos en el mundo y ésta va en aumento (Lolaei et al., 2012). El problema se debe comúnmente a las sales de  $\text{Na}^+$ , particularmente al  $\text{NaCl}$  (Demiral, 2005). Estas sales provienen principalmente, de agua de riego o debido a largos periodos de sequía, entre otros. (Koch et al., 2012; Rodríguez y Martín, 2011; Grattan, 2018; Koch et al., 2012). La salinidad es la mayor amenaza para los cultivos causa mal funcionamiento fisiológico de las plantas, como la acumulación de iones hasta niveles tóxicos, rotura de membranas, crecimiento anormal de las plantas, mayor tasa de transpiración e indisponibilidad de nutrientes, permeabilidad de la membrana y actividad fotosintética reducida (Arshadullah et al., 2016). Ante el grave problema que representa la salinidad la higuera puede ser una alternativa de cultivo. Este árbol frutal es una especie que tolera el déficit hídrico, es tolerante a la salinidad y es poco exigente a suelos fértiles (Golombek et al., 1990). Además, crece en suelos pedregosos o poco profundos (Rodríguez y Martín, 2011). El objetivo del presente estudio fue evaluar la fotosíntesis, conductancia estomática, transpiración y la capacidad de exclusión iónica en higuera.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

- Estudiar el comportamiento del higo en condiciones de estrés salino.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la respuesta fisiológica de plantas de higo de un año de edad a diferentes concentraciones de salinidad en el medio de crecimiento.
- Determinar la concentración de Na y Ca en raíz, tallo y hoja en plantas de un año de edad.

## **3 Hipótesis**

- La fotosíntesis y conductancia estomática en higo no es afectada por la salinidad.

## 4 Revisión de literatura

### 4.1 Generalidades del cultivo de higo

La higuera (*Ficus carica* L.) es un árbol caducifolio, pertenece a la familia Moraceae (Metwali et al., 2014), es uno de los primeros árboles frutales domesticados y cultivados en el mundo (Crisosto et al., 2010; Zarei y Azizi, 2016). Es originario de Asia occidental y se extendió al Mediterráneo y hacia otros países del mundo. (Husain et al., 2016). En el mundo se cultivan a alrededor de 427 000 ha, produciendo más de un millón de toneladas anuales (Qrunfleh et al., 2013). En México se ha cultivado desde el periodo de la colonia. A nivel de traspatio se cultiva mayormente en Morelos, Hidalgo, Veracruz, la península de Baja california, Distrito federal, Puebla, San Luis potosí, Michoacán, Sonora, Zacatecas y Durango, abarcando no más de las 500 ha. (Muñoz et al., 2015). Este árbol es de gran valor por sus características nutricionales y también económicas, sin considerar que es una parte importante del ecosistema (Mawa, 2013). Su fruto puede ser de consumo humano o animal y estos pueden ser ingeridos frescos, secos, conservados, enlatados o confitados (Pérez, 2014; Slatnar, 2011). Los higos son nutritivos, ricos en fibra, potasio, calcio y fierro. Contienen aminoácidos, vitaminas, antioxidantes (vitamina c, tocoferoles, carotenoides y compuestos fenólicos) están libres de sodio, grasa y colesterol (Crisosto et al., 2010).

Una de las características de este frutal es que al contacto con el suelo enraíza con facilidad, el árbol puede alcanzar una altura de 3 a 7 m (Cattraro, 2014; Gallego et al., 1996), sus raíces son adventicias, las cortezas son grisáceas y ligeramente ásperas (Husain et al., 2016).

La higuera es un frutal que se adapta con facilidad a condiciones de suelo pobre, a las que otras especies les es difícil, es una especie robusta que no requiere muchos cuidados en el manejo, puede crecer sin complicaciones en diferentes tipos de suelos, ya sean pedregosos o poco profundos (Rodriguez y Martín, 2011). Es tolerante a las sales, puede tolerar bien altas y bajas temperaturas y es resistente a la sequía (Cabrera, 2007; Metwali et al., 2014).

## 4.2 Salinidad en suelos y agua

Uno de los principales problemas que el hombre ha tenido que enfrentar, es la degradación de la tierra, debido a la salinización: esta situación requiere su atención e intervención de forma inmediata, para prevenir, controlar y mejorar los suelos afectados. Las principales regiones dañadas por la salinidad son las zonas áridas y semiáridas ya que la evapotranspiración es mayor que la precipitación (Otero, 2008). En el mundo existen alrededor de 800 millones de ha cultivables afectadas por la salinidad del suelo (Acosta et al., 2017) y se pierden cada minuto cerca de 10 ha, cinco por erosión, tres por salinización, una por otros procesos de degradación y otras por uso en la agricultura (Mesa, 2003). Leidi y Pardo, (2002) mencionan que para el 2050, 50% de la tierra cultivable del mundo se verá afectada por la salinidad. En México un 10% del área irrigada sufre esta problemática y, de ésta, 64% se localiza en el norte del país (Ruiz et al., 2007).

Tanji (2002) definió la salinidad como la concentración de sales minerales disueltas presentes en los suelos (solución de suelo) y aguas. La salinidad primaria o aquella que se da de forma natural está distribuida por todo el mundo, esta se presenta por los cambios climáticos, procesos geomorfológicos de sedimentación, erosión y redistribución de materiales; así como cambios en la hidrología superficial y subterránea (Tanji, 2010). La salinidad secundaria o la inducida por el hombre se debe principalmente a un mal uso del riego y del suelos (Mesa, 2003; Otero, 2008). La salinidad afecta negativamente el funcionamiento fisiológico, la acumulación de iones hasta alcanzar niveles tóxicos, la permeabilidad y ruptura de la membrana, menor tasa de transpiración, indisponibilidad de nutrimentos, así como el crecimiento anormal de las plantas (Arshadullah et al., 2016) Una mayor concentración de sales en los brotes afecta la actividad de las enzimas, la síntesis de proteínas, la fotosíntesis y la conductancia estomática.

El suelo está compuesto de partículas sólidas (principalmente minerales y partículas orgánicas de diferentes formas, tamaños y arreglos) agua y aire, constituye el sustrato para el crecimiento de las plantas (SAGARPA, 2010). Mesa (2003) señala que la salinidad del suelo es la cantidad de sales disueltas en un volumen de

solución (g/L) y por valores de conductividad eléctrica, considerándose suelos salinos aquellos que tienen una conductividad de 4 dS m<sup>-1</sup> o más. Los principales cationes en la solución de suelo salino son el Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y k<sup>+</sup> y los principales aniones, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Otros constituyentes que contribuyen a la salinidad en suelos y aguas hipersalinos incluyen B, Sr<sup>2+</sup>, SiO<sub>2</sub>, Mo, Ba<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup> (Tanji, 2002). Debido al pobres drenaje de ciertos suelos, estas sales tienden a acumularse, induciendo la salinización de los suelos (Moreno et al., 2015). Otero (2008) hizo una clasificación de los suelos afectados por salinidad, tomando en cuenta la relación entre la cantidad total de iones y los aspectos que provocarían daños al agroecosistema, agregando además, otros indicadores químicos de salinidad como PSI (% Na<sup>+</sup> intercambiable) y pH (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de suelos afectados por salinidad

Clasificación	pH	CE	PSI	Proceso
Salinos	< 8.5	> 4	< 15	Salinización
Sódicos	> 8.5	< 4	> 15	Sodificación
Salinos – Sódicos	< 8.5	> 4	> 15	Salinización – Sodificación

Este conocimiento sobre la concentración real, la composición química y propiedades físicas de la solución del suelo, son importantes para comprender la nutrición de los cultivos. La salinización puede ser parte de paisajes naturales y o puede ocurrir donde el drenaje es deficiente y existe una alta salinidad del suelo (Pitman y Läuchli, 2002). De acuerdo a Carrillo et al. (2011), todos los suelos y aguas de riego (de canales o bombeo subterráneo) contienen sales, incluso aquellos que se consideran de buena calidad, contienen cierta cantidad de sales disueltas. Las sales por ejemplo nitratos y potasio son componentes comunes y necesarios del suelo y son nutrientes esenciales para las plantas, estas sales son originadas de minerales a la intemperie, fertilizantes orgánicos, enmiendas del suelo (como el yeso, abonos, etc.) y agua de riego. Carrillo et al. (2011) también afirmaron que la adición de cualquier material soluble aumenta la salinidad del suelo, así como

el manejo inadecuado de la salinidad lleva a la sodicidad del suelo, alterando su estructura.

La calidad de agua para riego ha sido investigada para conocer sus características físicas y químicas ya que los problemas más comunes se deben a salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, efectos por sólidos en suspensión, metales pesados, corrosividad etc. (García, 2012). El agua de riego contiene calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y sodio ( $\text{Na}^{+}$ ). El  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  precipitan en carbonatos al evaporarse el agua, esto ocasiona que el  $\text{Na}^{+}$  sea dominante en el suelo (Carrillo et al., 2011; Catraro, 2014). Por otro lado, la sobre explotación del agua subterránea causa el agotamiento de los mantos acuíferos, y una elevada salinidad. Las sequías recurrentes en el norte de México agravan la salinidad en las fuentes de agua, con un riego superficial y suelos bien drenados, la salinidad del agua no debe exceder  $1 \text{ dS m}^{-1}$  si la textura es arcillosa, en suelos de migajón debe ser de  $1\text{-}2 \text{ dS m}^{-1}$  y para irrigar suelos arenosos debe estar entre  $2\text{-}2.5 \text{ dS m}^{-1}$ . Cuando la CE del agua es mayor a  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$  deben implementarse medidas de prevención para evitar la acumulación salina (Tarango y Chavez, 2011).

En el sector agrícola es de gran importancia la conservación y recuperación de los suelos, el ensalitramiento de los mismos, se puede deber a su origen, manejo y utilización, así como a las fuentes y calidad del agua de riego utilizada, factores que influyen en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Ruiz et al., 2007). Algunos métodos para poder recuperar los suelos con problemas de sales o sodio intercambiable, incluyen realizar un barbecho profundo, subsoleo, adicionar arena o invertir el perfil, incorporar estiércol, abonos verdes o establecer cultivos tolerantes a las sales, hacer pasar una corriente eléctrica directa a un volumen de suelo, o lavar y drenar, también el intercambio de sodio por calcio mediante el uso de las sales cálcicas de alta solubilidad, así como de ácidos y sustancias formadas de ácido (Serrato Sánchez et al., 2002).

### 4.3 Salinidad en las plantas

En un suelo salino, las plantas pueden ser estresadas de dos formas, una debido a la dificultad de las raíces para extraer el agua y la otra por las altas concentraciones en el tejido, que llegan a ser tóxicas para estas (Munns y Tester, 2008). Carrillo et al. (2011) a los efectos por salinidad agregaron los trastornos nutricionales, el estrés oxidativo, la alteración de procesos metabólicos, la desorganización de la membrana, la reducción de la división y expansión celular, así como el cierre de estomas, como respuesta inmediata o mediata al estrés iónico, que pueden conducir a la senescencia prematura de las hojas adultas. Aunque Demiral (2005) afirma que todas las sales afectan el crecimiento de las plantas, pero no todas inhiben su crecimiento. Las plantas que se encuentran en un medio salino sufren disminuciones en su crecimiento debido a una reducción en el suministro de agua a sus tejidos, así como efectos a largo plazo causados por la captación continua de iones minerales y su acumulación gradual (Moreno et al., 2015). A las plantas que pueden crecer en presencia de altas concentraciones de sales de  $\text{Na}^+$  se les conoce como halófitas u ósalt que significa planta tolerante y glicofitas o plantas Ósweetó aquellas plantas que no pueden crecer en presencia de altas concentraciones de sales de  $\text{Na}^+$  (Demiral, 2005). Carrillo et al. (2011) hacen una relación de los niveles de toxicidad entre plantas sensibles y las tolerantes a la salinidad que se alcanzan dependiendo del tiempo de exposición y del tipo de especie y del nivel de salinidad, esto podría ser en una escala de días, semanas o meses. En la fase 1 ambos tipos de plantas se ven afectadas en su crecimiento, esto debido al efecto osmótico, esta fase inicia inmediatamente después que la concentración de sal alrededor de las raíces aumenta a tal grado que es más difícil para las raíces extraer agua, cayendo significativamente el crecimiento del brote. En la fase 2 las hojas viejas de las plantas sensibles mueren y se reduce la capacidad fotosintética, esta fase es específica de iones, corresponde particularmente a la acumulación de  $\text{Na}^+$ , en la lámina de la hoja, el  $\text{Na}^+$  se acumula después de haber sido depositado en la corriente de transpiración más bien que en las raíces. La acumulación de  $\text{Na}^+$  llega a ser tóxica en las hojas viejas, que ya no se expanden y por lo tanto ya no diluyen la sal que llega a ellas como lo hacen las hojas jóvenes.



Con base en lo anterior se puede indicar que los principales efectos en la planta por la salinidad son los siguientes:

**Crecimiento.** El daño por salinidad se ve reflejado en la reducción de crecimiento, junto con las quemaduras y defoliación de las hojas, está asociado con la acumulación de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  en las células de las hojas a niveles tóxicos (Grosser et al., 2012). Al aumentar los niveles de  $\text{NaCl}$ , el crecimiento de la planta se afecta en ambas etapas de multiplicación y enraizamiento de forma gradual, se reduce la longitud del tallo, brotes, peso fresco y peso seco (Ibrahim et al., 2017). Sin embargo, Acosta et al. (2017) mencionan que el crecimiento de las plantas no está controlado directamente con la cantidad de sales absorbidas, esta variable está más bien relacionada con dos fases, la primera es cuando el crecimiento es afectado por una disminución en el potencial hídrico del suelo, esto es la fase osmótica y luego una lesión de sal en las hojas, que mueren al llegar al punto donde es imposible para las vacuolas secuestrar o captar sales entrantes (fase iónica), provocando un aumento de la sal en la pared celular o citoplasma.

**Fotosíntesis.** La fotosíntesis es afectada por la salinidad tanto a corto como a largo plazo, es decir a corto plazo, es afectada por limitaciones estomáticas y/ o por la alteración de la cadena de electrones fotosintética y/ o la inhibición de las enzimas del ciclo de Calvin, provocando una disminución en la asimilación de carbono. A largo plazo es afectada por la acumulación de sal en las hojas jóvenes y por la disminución de la concentración de clorofila y carotenoides (Acosta et al., 2017; Golombek et al., 1990). Este daño al proceso fotosintético puede ser reversible si la acumulación de sal que existe dentro de las hojas disminuye al realizar riegos con agua sin sal, pero si existe un estrés prolongado y la sal continua acumulándose en las hojas, este daño se tornara irreversible, asociado con una reducción de la actividad y contenido de la ribulosa-1,5- bis-fosfato carboxilasa/oxigenasa (Loreto et al., 2003). Cuando se limita la capacidad de asimilación de  $\text{CO}_2$ , se desencadena una sobreproducción de electrones en la cadena fotosintética, una forma de combatir la fotoinhibición, es mediante la transferencia de electrones dirigiéndolos a los aceptores de oxígeno y agua (Aparicio et al., 2014). Se ha documentado que

el estrés causado por la salinidad disminuye la fotosíntesis en pera (Fallahi, 2001; Tamura, 2012), olivo (Chartzoulakis et al., 2002; Loreto et al., 2003; Tattini et al., 1992; Kchaou et al., 2013) y vid (Soar et al., 2006).

**Conductancia estomática:** La acumulación de ácido abscísico puede ser el responsable del cierre estomático en las plantas estresadas por sal. El mantenimiento de las relaciones de agua está relacionado con la interacción entre información química e hidráulica. Al darse una disminución de la conductancia estomática es una manera que utilizan las plantas como mecanismo de defensa frente al estrés salino, al reducir el nivel de sal de las hojas y elevando los niveles sub-tóxicos por más tiempo. Como consecuencia de un declive de la conductancia estomática causa una disminución de la fotosíntesis. Las tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> neta reducidas por la salinidad se deben al cierre de estomas, una disminución en el contenido de pigmentos fotosintéticos y otros factores recurrentes no estomáticos (Acosta et al., 2017). Similarmente a lo que sucede en fotosíntesis, la conductancia estomática es afectada por la salinidad en olivo (Aparicio et al., 2014), nogal (Campos et al., 2017) e higo (Zarei, et al., 2016).

**Transpiración:** En muchas plantas el estrés salino desencadena una reducción de la transpiración, esta respuesta se atribuye a la disminución de la capacidad de la raíz para absorber agua y a los incrementos en la resistencia estomática al igual que a cambios anatómicos y morfológicos que ocurren en las hojas de las plantas que se encuentran en condiciones salinas (Castorena et al., 2006).

#### **4.4 Transporte de iones**

La mayor superficie de la raíz es la que se presenta por pelos de raíz, y por medio de la membrana plasmática de estas células epidérmicas ocurre la mayor parte de la absorción de iones (Blumwaldb y Biosciences, 2007). La elevada concentración de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en un suelo salino, provoca una interferencia en la absorción de nutrientes como K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Almeida-Machado y Serralheiro, 2017) e impide la captación de los mismos, al mismo tiempo que puede alcanzar niveles citosólicos tóxicos para el metabolismo celular. Para mantener el equilibrio iónico u

homeostasis iónica celular frente a cambios del medio externo, depende de las proteínas de membrana que regulan el flujo de iones, como las bombas de protones (ATPasas y pirofosfatasa), transportadores secundarios y canales iónicos. En condiciones fisiológicas típicas, las plantas mantienen una alta relación de  $K^+/Na^+$  en su citosol con  $K^+$  relativamente alto (100-200mM) y bajo  $Na^+$  (1-10 mM). La entrada de  $K^+$  y  $Na^+$  en la célula se produce mediante transportadores y canales iónicos de la membrana celular. Los canales iónicos permiten la disipación en forma rápida de un gradiente iónico establecido a través de la membrana celular. Actualmente se conocen tres tipos de canales capaces de mediar la entrada o salida de iones como  $K^+$  y  $Na^+$  a través de la membrana, denominados KIRC o canales rectificadores de entrada de  $K^+$ , KORC o canales rectificadores de salida de  $K^+$  y VIC o canales independientes del voltaje. Los canales tipo KIRC pueden permitir una entrada de  $Na^+$  significativa en un medio salino a largo plazo debido a que en esas condiciones presentan una conductividad iónica máxima y el gradiente electroquímico de  $Na^+$  es elevado. Por otro lado, los canales de tipo VIC no distinguen entre  $Na^+$  y  $K^+$ , por lo cual se considera que este tipo de canal es la principal vía de entrada de  $Na^+$  en las células vegetales (Leidi y Pardo, 2002). Contrario a la capacidad para el transporte de solutos, 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), vid (Soar et al., 2006) 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).

#### **4.5 Tolerancia a salinidad en árboles caducifolios**

Debido a las condiciones que enfrentan las plantas ante distintos tipos de estrés ya sea bióticos o abióticos, estas han tenido que evolucionar para poder sobrevivir, en el caso del estrés salino las plantas han desarrollado ciertos mecanismos para su adaptación, estos mecanismos incluyen cambios en morfología, relaciones hídricas, fotosíntesis, perfil hormonal, adaptación bioquímica (Acosta et al., 2017). La

adaptación de las plantas depende de la regulación en el transporte iónico (Demiral, 2005). La retención de iones en la raíz y en tallo es uno de esos mecanismos, afirma Campo et al. (2017). Lolaei et al. (2012) observaron que al agregar  $\text{Ca}^{2+}$  en condiciones salinas favorece significativamente a la tolerancia de sal. La señalización por las especies reactivas de oxígeno (ROS) al igual que el ácido abscísico (ABA) forman parte integral en la aclimatación y respuesta a la salinidad. Es posible distinguir tres tipos de respuesta o tolerancia de la planta: 1) La tolerancia al estrés osmótico, 2) La exclusión de  $\text{Na}^+$  y, 3) la tolerancia del tejido (Carillo et al., 2011). Cuando una célula vegetal necesita equilibrar su potencial hídrico debido a que se encuentra en un medio salino, provoca la pérdida de agua en la célula, lo que desencadena una serie de señales químicas (aumento del  $\text{Ca}^{2+}$  libre intracelular, síntesis de ABA, etc.) favoreciendo a la adaptación, por otro lado el mantener una alta relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en el citosol es un factor de tolerancia al igual que las características anatómicas y morfológicas de la raíz (Leidi y Pardo, 2002). Otro mecanismo de protección es el aumento de prolina que se da bajo estrés salino, la prolina es un aminoácido que al enfrentar tales condiciones aumenta lo suficiente para servir como un agente osmótico, así ayuda a la planta contra la deshidratación, ayuda a eliminar los radicales libres de oxígeno y funciona como un antioxidante (Aparicio et al., 2014; Moreno et al., 2015). La exclusión de  $\text{Na}^+$  sirve para reducir la velocidad a la que se acumula la sal en órganos transpirables. Las plantas transpiran entre 30 y 70 veces más agua de la que se utiliza para la expansión celular, dependiendo del clima, los mecanismos para excluir la sal de las hojas son:

- a) Selectividad de captación por células de la raíz
- b) Carga del xilema
- c) Eliminaciones de sal del xilema en la parte superior de raíces, tallo, peciolo o las vainas foliares (Munns, 2002).

Acosta et al., (2017) sugieren para mejorar o proteger a las plantas contra el estrés salino, la inoculación de las raíces con hongos micorrizicos arbusculares, estos son considerados como importantes biomejoradores para la solución salina en suelos.

El problema de la salinidad como lo han mencionado varios autores es preocupante ya que afecta la demanda de los cultivos alimentarios (Gupta y Huang, 2014), por esta razón es de gran importancia la habilidad de tolerancia que tienen y que desarrollan los diferentes cultivos frente a este tipo de estrés para mantener su producción y calidad a pesar de encontrarse en tales condiciones. La tolerancia que presentan los cultivos a la salinidad puede ser descrita como “una función de la reducción de productividad a lo largo de un rango de concentraciones de sal, expresadas como la salinidad promedio de la zona de raíces”. La tolerancia a la sal se puede caracterizar mediante dos parámetros: el parámetro de la “cantidad limite” (ECt), es decir la cantidad de sal en las raíces que el cultivo puede tolerar antes que la producción se vea afectada y la “pendiente”, es el índice en el que la producción se reduce con un incremento en la salinidad del suelo, las plantas sensibles a la salinidad tienen una cantidad limite baja y pendientes pronunciadas y las plantas tolerantes a salinidad tienen cantidades más altas y pendientes menos pronunciadas (Grattan, 2018). Benlloch et al. (1991) mencionan que el rango de tolerancia a la salinidad de los cultivos es muy amplio, este rango se extiende desde las especies muy sensibles, como lo son los frijoles, a los más tolerantes, como la cebada, algodón, el olivo también es una especie tolerante a la sal, más que otros cultivos leñosos (Gucci et al., 1996), la manzanilla es otro cultivo reportado como tolerante a la salinidad, es resistente a las concentraciones de cloruros presentes en agua de riego, se asocia con la exclusión de sodio y cloro por las raíces, lo que evita la acumulación en las hojas. El nogal pecanero al igual que el almendro forman parte de estas especies tolerantes (Koch et al., 2012). Diferentes autores han reportado también la tolerancia de la higuera frente a este tipo de estrés (Golombek et al., 1990) encontraron al higo como un árbol tolerante a la sal, en su estudio la higuera mostró concentraciones de Na y Cl relativamente altas en la hoja a una reducción comparable de la fotosíntesis neta. Ibrahim et al. (2017) al trabajar con los cultivares de *Ficus Carica* L. ('Masone Black' y 'Shami Stihy'), mostraron una mayor tolerancia a la sal en comparación con otros cultivares. Como una forma de minimizar o atacar este problema de salinidad, podría ser mediante la plantación de

árboles en el paisaje, utilizando árboles que son tolerantes a la sal (Pitman y Läuchli, 2002).

## **5 Materiales y métodos**

### **5.1 Localización**

El presente estudio se realizó en el vivero de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, ubicada en Bermejillo, Dgo., cuyas coordenadas son 25° 53' 38.93" latitud norte y 103° 36' 01.09" longitud oeste y presenta una altura sobre el nivel del mar de 1115 msnm.

### **5.2 Material vegetal**

El presente estudio se llevó a cabo con plantas de higo de la variedad 'Misión' en etapas inicial de crecimiento, propagadas a partir de estacas de dos años de edad. Las estacas se colectaron de un árbol de higo de 1 año de edad. El material vegetativo de 20 cm de longitud fue tratado con enraizador con una dosis de 2000 ppm. Se colocaron en perlita húmeda por un mes hasta observar encallamiento. Después de formar callo, fueron pasadas a macetas con un volumen de 5 kg a base de arena para aclimatarlas por un mes.

### **5.3 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 2. Las soluciones se aplicaron cada tercer día de mayo a julio de 2018.

Cuadro 2. Concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) aplicada en cada riego, sus equivalencias en iones disueltos y la conductividad eléctrica (CE) en cada solución de riego.

Por 1 litro NaCl (ppm)	Por 1 litro CaCl <sub>2</sub> (ppm)	Por 20 litros de NaCl y CaCl <sub>2</sub> (ppm)	CE (dS m <sup>-1</sup> )
0	0	0	0.5
640	640	12800	2.5
1120	1120	22400	4
1600	1600	32000	5.5
2080	2080	41600	7
2560	2560	51200	8.5

#### 5.4 Diseño experimental

El experimento se condujo en un diseño experimental en bloques completos al azar con 6 tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos de salinidad se prepararon con NaCl y CaCl<sub>2</sub> para generar concentraciones de 0.5 (testigo), 2.5, 4, 5.5, 7 y 8.5 dS m<sup>-1</sup>.

#### 5.5 Variables

Se tomaron mediciones de conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis con el medidor portátil de fotosíntesis LI-6400 (LI-6400, Li-Cor Inc., Nebraska, USA), hasta que las plantas mostraron daño severo ocasionado por la salinidad. Las mediciones se llevaron a cabo cada tercer día en la hoja situada hacia el oriente de la parte media de la planta de las 9:00 a las 10:00 A. M. Se efectuó una medición por planta y se consideraron tres plantas por repetición o unidad experimental. Se consideraron, por lo tanto, 15 plantas por tratamiento. Antes de hacer las mediciones con el IRGA LI-6400® se hizo una revisión de la calibración del equipo, y se establecieron valores iguales en cada medición con humedad relativa del 55%, radiación fotosintéticamente activa de 550  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la cámara, un flujo constante de 400 CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>. La revisión consistía en los siguientes puntos de acuerdo al manual de uso del equipo.

A. Calentamiento (con la cámara cerrada)

1. Fuente de aire: preparar el mezclador de CO<sub>2</sub>.

2. Temperaturas: que los valores estén funcionando bien, y que los marcadores de temperatura de la hoja (Tleaf) funcionen.
3. Fuente de luz y sensores: comprobar que respondan, y que los valores estén bien.
4. Sensor de presión: corroborar que los valores estén bien y que sea estable.
5. Ventilador de la hoja: que el ventilador funcione.
6. 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. Verificar el flujo en cero.
2. Ajustar el cerrado de la cámara, cerrar la cámara
3. Verificar el CO<sub>2</sub> en cero.
4. Verificar el H<sub>2</sub>O en cero.
5. Calibrar el mezclador.
6. Verificar Tleaf (temperatura de la hoja) en cero.
7. Fijar los valores de referencia de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.
8. Hacer una prueba para fugas o entradas de CO<sub>2</sub>.
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 CO<sub>2</sub> de referencia.
4. Fijar la temperatura (opcional).
5. Fijar el área y la tasa estomática (opcional)
6. Fijar una humedad constante (opcional)
7. Poner una hoja dentro de la cámara.
8. Esperar a que el medidor se estabilice y registrar los valores que resultan.



## **5.6 Recolección del material vegetal**

Una vez que las plantas mostraron síntomas severos causados por las sales (tres meses de aplicación de los tratamientos), éstas se recolectaron. Las plantas se separaron en raíces, tallos y hojas, se secaron en estufa (Binder, ED 23 Munich, Alemania) a 55° C por 48 h a peso constante. Las muestras fueron pulverizadas con molino y en una licuadora, para finalmente, determinar la concentración de iones.

## **5.7 Contenido de iones**

Para la determinación de Na y Ca, se tomaron 0.5 g de la muestra del material vegetal y se hizo una digestión húmeda, con 10 ml de una mezcla Nitrico-perclorica 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 Absorción Atómica PerkinElmer (AANALYST 200, USA) usando las lámparas de cátodo hueco correspondientes para cada uno de los iones.

## **5.8 Análisis de estadístico**

La información se analizó en un modelo lineal en bloques completos al azar considerando a las fechas de muestreo como factor de bloqueo y el nivel de salinidad (0.5, 2.5, 4.0, 5.5, 7.0 y 8.5 dS m<sup>-1</sup>) como factor de estudio. La evaluación se realizó con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico SAS (SAS, 2002). La comparación de niveles de salinidad se realizó con la diferencia mínima significativa de Tukey con  $P \leq 0.05$ , (Steel et al., 1997).

## 6 Resultados y Discusión

### 6.1 Conductancia estomática

La condición salina afectó significativamente la conductancia estomática ( $g_s$ ) de las plantas en estudio (Cuadro 3). La  $g_s$  disminuyó 15% cuando el nivel de salinidad fue de  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$ . Pero cuando la concentración de sal incrementó a  $4.0 \text{ dS m}^{-1}$ , la caída en la conductancia estomática fue 33%, la cual se mantuvo sin variación significativa a medida que el medio fue más salino. La disminución de la conductancia estomática debido al incremento de la salinidad, es una respuesta rápida como la mencionan Munns y Tester (2008) y Leidi y Pardo (2002). Esta respuesta se debe a la interrupción de las relaciones hídricas, como lo sugiere Leidi y Pardo (2002) las cuales se relacionan con un cambio en la capacidad de absorción de agua por la raíz, debido al incremento de la presión osmótica en la solución del suelo causadas por la salinidad, las cuales conllevan a un déficit hídrico. Los resultados encontrados en el presente estudio concuerdan con los encontrados por Okubo y Utsunomiya (1996), quienes observaron una disminución de la conductancia estomática en higos por tratamiento de sal. Esta disminución de acuerdo con los investigadores, fue causante también, de una reducción en la tasa fotosintética incluyendo la transpiración.

Al comparar el efecto sobre la disminución de la conductancia estomática en plantas de higo, evaluadas en este estudio, con la observada por Campos et al. (2017) en genotipos de nogal pecanero, se tiene que el higo es el menos afectado. Esto se debe posiblemente a que el nogal es más sensible a la salinidad. Este supuesto se fundamenta en que bajo condiciones similares de estrés salino ( $2.5 \text{ dS m}^{-1}$ ), la conductancia estomática en higo disminuyó 15%, mientras que en nogal se redujo en un 21, 22, 56 y 57% en cuatro genotipos estudiados, SVA2, Apache, Riverside y SVA1, respectivamente, mientras que el incremento a  $3.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  causó, en los mismos genotipos, una reducción en la conductancia estomática de 55, 72, 79 y 77%, siendo para higo de 33% bajo una conductividad eléctrica de  $4.0 \text{ dSm}^{-1}$ . Aunque en el presente estudio solo se evaluaron plantas clonales de higo 'Mision', queda de manifiesto que el gradiente de tolerancia, depende del genotipo, como el

observado en nogal pecanero, o variedades en olivo, como 'Frantoio' y 'Picudo', las de mayor tolerancia al estrés salino entre seis evaluadas bajo condiciones de salinidad (Aparicio et al., 2014), esta respuesta variable en conductancia estomática en la hoja por estrés hídrico, también se documenta en portainjertos de vid con mayor tolerancia como Teleki 5C y Ramsey, (Soar et al.,2006).

## **6.2 Transpiración**

La presencia de sal en el medio disminuyó significativamente la transpiración ( $E$ ) de las plantas (Cuadro 3). Esta disminución se incrementó sostenidamente hasta 5.5 dSm<sup>-1</sup> en la solución la cual se mantuvo sin variación significativa. El porcentaje de decremento en esta tasa fue de 29% bajo las condiciones salinas de 3.27 y 2.78 dS m<sup>-1</sup> respectivamente. Los resultados encontrados coinciden con los observados por Golombek et al., (1990) quienes notaron una disminución notable de transpiración en cultivos de higo con tratamientos de sal por largo tiempo. Esta variable tomó patrón similar de respuesta a la conductancia estomática, debido a que se trata de relaciones hídricas. La reducción de la transpiración es un síntoma presente en las plantas debido al estrés salino, esta disminución en la transpiración se atribuye a la poca capacidad de la raíz para absorber agua, a incrementos en la resistencia estomática y a cambios anatómicos y morfológicos que suceden en las hojas de las plantas por el medio salino en el que crecen (Castorena et al., 2006). Okubo y Utsunomiya (1996) observaron el mismo comportamiento en higo al ser tratado con NaCl por cuatro semanas, la disminución de  $E$  se observó a partir de la segunda semana de la experimentación.

## **6.3 Fotosíntesis**

La condición salina del medio afectó significativamente la asimilación de CO<sub>2</sub> ( $A$ ) de las plantas de higo tratadas con soluciones salinas (Cuadro 3). La  $A$  de las plantas bajo condiciones de salinidad a 4 dS m<sup>-1</sup> disminuyó significativamente en comparación al testigo (sin sal), esta diferencia no se observó con el nivel de salinidad inmediato inferior, pero  $A$  disminuyó, en promedio, sostenidamente a partir de la concentración salina de 5.5 dS m<sup>-1</sup>. La disminución de  $A$ , se debió a la

condición salina de la solución, fue del 7.3, 26 y 48%, en las soluciones con 5.5, 7.0 y 8.5 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente. Los resultados sugieren la capacidad de esta especie para tolerar niveles de salinidad altos, sin afectar esta variable fisiológica, como ocurre en nogal, ya que de acuerdo a lo reportado por Campos et al. (2017) en esta especie, la *A* disminuye en 50% cuando la salinidad de la solución está entre 2.5 y 3 dS m<sup>-1</sup>; mientras que en higo la reducción de la *A* en 50% se alcanzó con niveles de salinidad de 8.5 dS m<sup>-1</sup>. La disminución de la fotosíntesis del higo causada por la salinidad, soporta también con los resultados obtenidos por Loretto et al. (2003), quienes observaron en 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, una reducción mayor de esta de *A* 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 sometidos a esta condición. La fotosíntesis en olivo puede estar, también limitada, por el cierre estomático, el cual varía entre genotipos según lo observado por Kchaou et al. (2013). De acuerdo con Loreto et al. (2003) la concentración de CO<sub>2</sub> en el cloroplasto es fijada por la conductancia estomática y del mesófilo, que son las principales limitantes de la fotosíntesis en genotipos estresados por sal.

Cuadro 3. Influencia de tratamientos de salinidad en la conductancia estomática (gs), transpiración (E) y asimilación de CO<sub>2</sub> (A) en plantas de higo de un año de edad.

Tratamientos de salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	gs (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	E (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	A (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
0.5	0.1199 a	3.91 a	12.36 a
2.5	0.1023 b	3.27 b	11.06 ab
4.0	0.0808 c	2.78 c	11.68 b
5.5	0.0550 d	1.97 d	9.13 e
7.0	0.0463 d	1.73 d	7.86 d
8.5	0.0449 d	1.64 d	6.44 c

Dentro de columnas, letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

#### 6.4 Sodio y Calcio en tejido

La concentración de Na<sup>+</sup> en la hoja y tallo aumentó conforme incrementó la concentración de sal en el medio de 0.5 a 4 dS m<sup>-1</sup> (Figura 1). La retención de sodio en la raíz, al igual que en la hoja y el tallo incrementó gradualmente conforme la concentración de sal aumentó en la solución, hasta 5.5 dS m<sup>-1</sup>. A partir de estos valores la concentración salina en los tejidos de hoja y raíz no vario considerablemente. Aunque no se mostraron diferencias significativas, es importante destacar que la concentración de Na<sup>+</sup> en la hoja incrementó el doble, en el medio con 2.5 dS m<sup>-1</sup>, siendo tres veces mayor a partir de 4 dS m<sup>-1</sup> en comparación con el testigo. Mientras que en la raíz el incremento fue del orden del 23, 32, 62, 63 y 66 % conforme se incrementó la salinidad de acuerdo a los tratamientos aplicados. En raíz la concentración de Na<sup>+</sup> mostró variación, siendo del 57, 102, 80, 58 y 75% como respuesta a los tratamientos de salinidad, en comparación a la condición salina de 0.5 dS m<sup>-1</sup>. La hoja y la raíz mostraron la mayor cantidad de Na<sup>+</sup> particularmente en los tres niveles más elevados de salinidad. La efectividad del mecanismo de exclusión de Na<sup>+</sup> en la raíz del genotipo criollo de nogal de ciclo corto SVA2 coincide con lo encontrado por Montes et al. (2011), quienes observaron en este genotipo mayor retención del ion en comparación con dos genotipos criollos de ciclo intermedio. La mayor retención de Na<sup>+</sup> en raíz observado en este estudio, puede conferir al higo ciertas

ventajas para tolerar condiciones de salinidad. Este fundamento se basa en lo documentado por Aparicio et al., (2014), quienes proponen 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. Esto no sucedió en un estudio llevado a cabo por Zarei et al. (2016) quienes encontraron mayor exclusión iónica de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el tallo de higo, agregando, además variación en concentración en el tejido dependiendo del genotipo de higo. Esta 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). El contenido de sodio en los tejidos de raíz, tallo y hoja fue variable entre tratamientos (Figura 1). Las plántulas que retuvieron la mayor cantidad de  $\text{Na}^+$  en hoja y raíz, fueron las que se sometieron a los valores más elevados de salinidad. Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas, a partir de la condición salina de  $5.5 \text{ dS m}^{-1}$ .

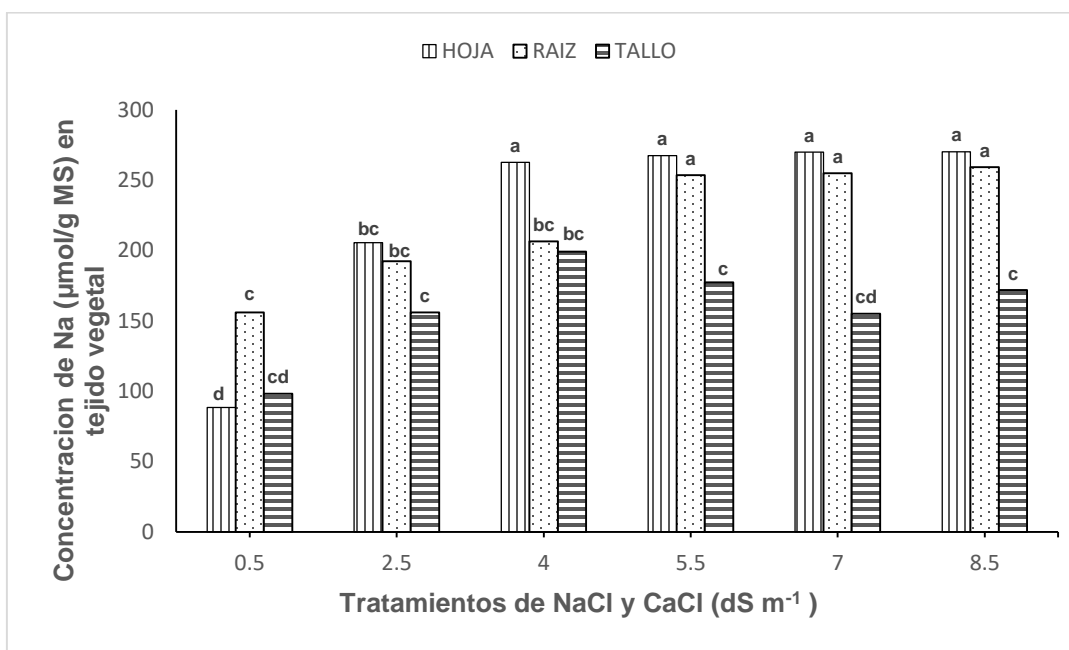


Figura 1. Concentración de sodio en hoja, raíz y tallo. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey;  $\alpha = 0.05$ ).

La capacidad en la raíz para controlar el transporte de estos iones, puede estar relacionado con la capacidad diferente del tejido para excluir  $\text{Na}^+$  de la hoja, como se ha observado en la variedad Hass de aguacate (Mickelbart y Arpaia, 2002). Una respuesta similar fue observada en portainjertos nativos de *Pyrus betulaefolia* que exhibieron alta tolerancia a sales, pero fueron superados por *Pyrus a mygdaliformis* y *P. elaeagrifolia*, debido al alto mecanismo para inhibir el transporte de sales de la raíz a las partes superiores del árbol (Matsumoto et al, 2006). En olivo se ha observado también diferencias entre variedades para excluir iones, según lo documentan Gucci et al. (1997) donde el olivo 'Frantoio' excluyó mayor cantidad de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  que el olivo 'Leccino'. Walker et al. (1997) Observaron que el incremento de estos iones en la solución salina, aumentó su contenido en la lámina de hoja, de la variedad de vid 'Sultana' plantada directamente; sin embargo, esto no sucedió cuando se utilizó el portainjerto Ramsey. Así, el portainjeto ayudó a la exclusión de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , y por lo tanto, a minimizar el efecto fitotóxico de sales en la parte aérea de la vid.

La concentración de calcio en la hoja mantuvo una tendencia hacia el incremento a medida que la salinidad en el medio fue de 0.5 a 4  $\text{dS m}^{-1}$ . Después de estos valores de salinidad en el medio, la concentración de Ca en el tejido foliar se mantuvo sin cambios significativos, excepto en las plantas tratadas con 7  $\text{dS m}^{-1}$ , quienes mostraron un incremento (Figura 2). La concentración de Ca en tallo mostró una tendencia hacia un incremento constante conforme al aumento en la salinidad. El incremento de Ca en este tejido, entre las plantas tratadas con 8.5  $\text{dS m}^{-1}$  fue del 100%, en comparación con las plantas del testigo. Este patrón no fue observado en la raíz. El valor de calcio retenido en la raíz en la concentración de 8.5  $\text{dS m}^{-1}$  fue 24 % aproximadamente mayor que el observado en las tres dosis inmediatas inferiores (2.5, 4.0, 5.5  $\text{dS m}^{-1}$ ) y 31%, comparadas con las plantas testigo. El patrón observado hacia el incremento en raíz y tallo particularmente, son similares a los obtenidos por Lolalei et al. (2012). Estos últimos autores observaron que a medida que la salinidad en el medio aumentó, el Ca aumentó paralelamente. Resultados similares fueron observados por Aktas et al., (2005), quienes encontraron en *Capsicum annuum* un aumento en Ca a

medida que la salinidad incrementaba 0.2 a los 7.5 dS m<sup>-1</sup> utilizando tratamientos de NaCl. Esta tendencia no se produjo en cultivares de olivo, en los cuales el contenido de Ca en raíz, tallo y hoja disminuyeron a medida, que la salinidad en el medio aumentó (Demiral, 2005).

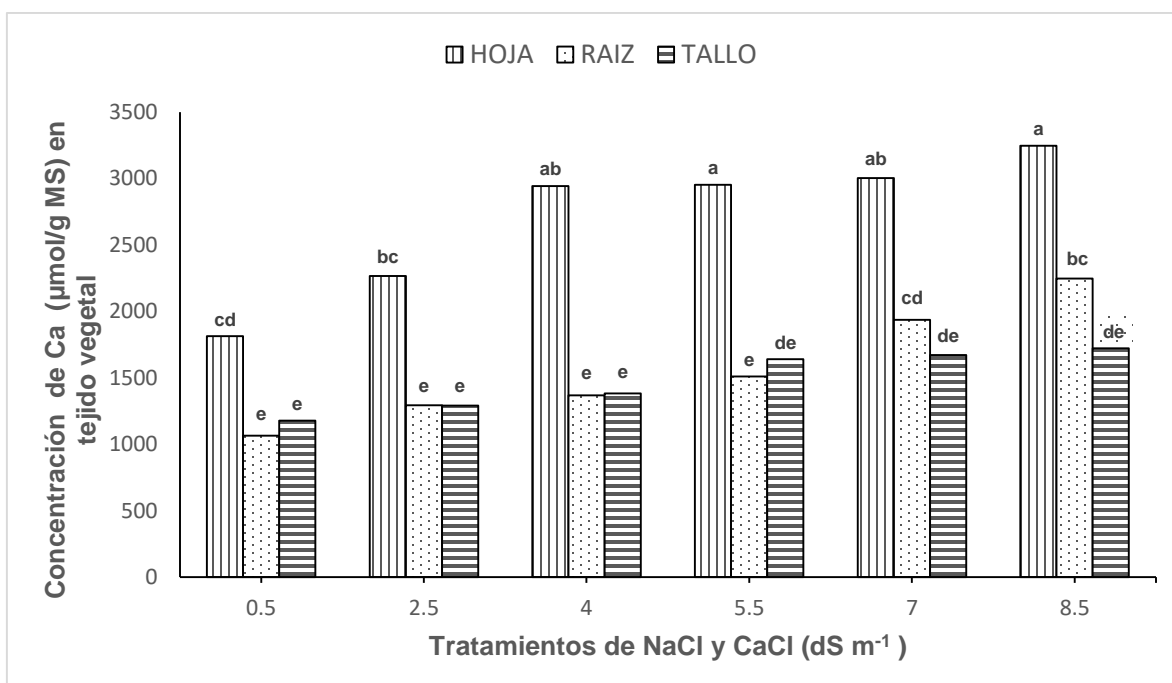


Figura 2. Concentración de calcio en hoja, raíz y tallo. Medias entre tratamientos en cada tejido con letras iguales son estadísticamente similares (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).



## 7 Conclusiones

Las plantas de higuera tratadas con los diferentes gradientes de salinidad manifestaron una disminución en la actividad fotosintética, como resultado de una baja conductancia estomática, y una baja transpiración, producidos por las altas concentraciones de sales a las que se sometieron éstas. Los procesos fisiológicos de este cultivo fueron significativamente afectados con los tratamientos de mayor conductividad eléctrica ( $\geq 2.5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Es necesario seguir realizando estudios sobre esta especie en suelos salinos para poder aplicarlo como una alternativa al problema de la salinidad que afecta a los suelos de las zonas áridas. Utilizar diferentes niveles de salinidad y analizar el efecto entre las fechas de toma de muestra para observar los cambios en los procesos fisiológicos, la actividad fotosintética, conductancia estomática, transpiración entre otras variables.

## 8 Literatura citada

- Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M., and Hernandez, J. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Aktas, H., Karni, L., Chang, D. C., Turhan, E., Bar-Tal, A., and Aloni, B. (2005). The suppression of salinity-associated oxygen radicals production, in pepper (*Capsicum annuum*) fruit, by manganese, zinc and calcium in relation to its sensitivity to blossom-end rot. *Physiologia plantarum*, 123(1), 67–74. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2004.00435.x2>
- Almeida-Machado, R.M, and Serralheiro, R.P. (2017). Soil Salinity: Effect on vegetable crop growth. management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020030>
- Arshadullah, M., Suhaib, M., Usama, M., Badar-uz-Zaman, Mahmood, I. Ali, and Hyder, S. I. (2016). Effect of salinity on growth of different mungbean varieties, *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 4(9), 7–9.
- Benlloch, M., Arboleda, F., Barranco, D., and Fernandez-Escobar, R. (1991). Response of young olive trees to sodium and boron excess in irrigation water. *Hortscience*, 26(7), 867–870.
- Cabrera, C. N. (2007). El Higo: manual de producción, uso y aprovechamiento. Fundación de investigación, capacitación y difusión agropecuaria. retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/946>
- Campos Villareal, A. G., J.G., A.-Á., Chávez-Simental, J. A., Trejo-Calzada, R., Borja de la Rosa, A., López-Santos, A., y Hernández-Salgado, J. R. (2017). Respuesta fisiológica , acumulación iónica y peso seco en portainjertos de nogal pecanero (*Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch ) desarrollados bajo condiciones de estrés salino . *Interciencia*, 42(11), 744–749. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33953499007.pdf>
- Carillo, P., Grazia, M., Pontecorvo, G., Fuggi, A., and Woodrow, P. (2011). Salinity stress and salt tolerance. *abiotic stress in plants - Mechanisms and adaptations*. <https://doi.org/10.5772/22331>
- Castorena, M. V., Valencia, E. A. C., Ibarra, M. . I., and Cohen, I. S. (2006). Transpiration and nutrient uptake by pepper plants as affected by n fertilization and soil salinity. *Terra latinoamericana*, 24(3), 391–399.
- Catraró, M. (2014). “El cultivo de la higuera: Producción de higos y su

deshidratación como método para el agregado de valor del producto. Facultad de Ciencias Agrarias,45.

- Crisosto, C. H., Bremer, V., Ferguson, L., and Crisosto, G. M. (2010). Evaluating quality attributes of four fresh fig (*Ficus carica* L.) cultivars harvested at two maturity stages. *HortScience*, 45(4), 707–710.
- Demiral, M. A. (2005). Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(4), 267–274. <https://doi.org/10.3906/tar-0406-8>
- Gallego, M. C., Angulo, R., Serrano, S., y Jodral, M. (1996). Estudio espacio-temporal del consumo de higos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1(3), 43–48. <https://doi.org/10.1080/11358129609487562>
- García, Á. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *International Union of Soil Sciences*, 6, 27–36. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6 Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- Golombek, S. D. y Lüdders, P., (1990). Gas exchange of *Ficus carica* in response to salinity, (1983), M. L. van Beusichem (Ed.), *Plant nutrition - Physiology and Applications*, 487-493.
- Grageda, J. G., Palma, R. S., Martínez, A. V., Flores, A. Q., Núñez, J. H. y Rodríguez, J. C.(2012). Salinidad del suelo en huertas de nogal pecanero carya illinoensis (Wangenh.) K.Koch. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22–27.
- Grattan, S. R. (2018). Consejo sobre la sequía: La tolerancia del cultivo a la sal,Universidad de California,agricultura y recursos naturales, 1–7.
- Grosser, J., Omar, A., Gmitter, J., and Syvertsen, J. P. (2012). Salinity tolerance of ‘ Valencia ’ Orange trees on allotetraploid rootstocks. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 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.
- Gupta, B., y Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014(April). <https://doi.org/10.1155/2014/701596>
- Husain, K., Mawa, S., Husain, K., and Jantan, I. (2016). *Ficus carica* L. (Moraceae ): Phytochemistry , Traditional uses and biological activities and biological Activities, 2013(September 2013). <https://doi.org/10.1155/2013/974256>
- Ibrahim, H., Soliman, A., and Alhady, M. R. A. A. (2017). Evaluation of salt tolerance

ability in some fig (*Ficus carica* L.) cultivars using tissue culture technique. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, (October 2017). <https://doi.org/10.7324/JABB.2017.50605>

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

Leidi, E., y Pardo, J. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino. *Revista de Investigaciones de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 2, 70–91.

Lolaei, A., Rezaei, M. A., Raad, M. K., and Kaviani, B. (2012). Effects of salinity and calcium on the growth, ion concentration and yield of olive (*Olea europaea* L.) Trees. *Annals of Biological Research*, 2012, 3 (10):4675-4679

Loreto, F., Centritto, M., and Chartzoulakis, K. (2003). Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant, Cell and Environment*, 26(4), 595–601. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00994.x>

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

Martínez, N., López, C., Basurto, M., y Pérez, R. (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *TecnoCiencia Chihuahua*, V(3), 156–161.

Mesa, D. (2003). Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(3), 217–226. <https://doi.org/10.1080/03014223.2011.645838>

Metwali, E. M. R., Soliman, H. I. A., Al-Zahrani, H. S., Howladar, S. M., and Fuller, M. P. (2014). Influence of different concentrations of salt stress on in Vitro multiplication of some fig (*Ficus Carcia* L.) cultivars. *Life Science Journal*, 11(10), 386–397.

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.

Moreno, Barrios, D. O., Quezada, G. A., Prieto, V. G., Quezada, R. P., y Anchondo, T. R. (2015). Sodium sulfate exposure slows growth of native pecan seedlings El sulfato de sodio reduce el crecimiento en plántulas nativas de nogal pecanero, *Revista internacional de Botánica Experimental International Journal of Experimental Botany*, 9457, 80–85.

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.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 20: 239-250. J.0016-8025.2001.00808.X. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
- Munns, R., y Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Okubo, M., y Utsunomiya, N. (1996). Effects of sodium chloride on growth , gas exchange and ion concentration in latex of Fig (*Ficus carica* L .), *Environ. Control in Biol.*, 34 (4), 259-265.
- Otero, L. (2008). Caracterización y evaluación de la salinidad. Ministerio de la agricultura, (537), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736%2805%2967566-6>
- Pérez, A. T. (2014). Calidad agroalimentaria de los higos amparados bajo la futura marca de garantía Higo de Gredos. Congreso nacional del medio ambiente (CONAMA).
- Pitman, M. G., and Läuchli, A. (2002). Global impact of salinity and agricultural ecosystems, *Salinity: Environment - Plants - Molecules*, 3–20.
- Rodríguez, Á. M. G., y Martín, M. J. G. (2011). *Higueras de Canarias*, caracterización morfológica de variedades. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias
- Ruiz, C. E., Aldaco Nuncio, R. a., Montemayor Trejo, J. A., Fortis Hernández, M., Olague Ramírez, J., y Villagómez Gamboa, J. C. (2007). Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. *Técnica Pecuaria en México*, 45(1), 19–24. Retrieved from <http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1790>.
- SAS (Statistical Analysis System). 2002. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Serrato Sánchez, R., & Ortiz Arellano, A., & Dimas López, J., & Berúmen Padilla, S. (2002). Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra Latinoamericana*, 20 (3), 329-336.
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. and Dickey, D.A. (1997). Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach (3rd edition). McGraw-Hill Book Company In Company. New York, pp 666
- Tanji, K. K. (2002). Chapter 2 Salinity in the soil environment. *salinity: Environment-Plants-Molecules*, (1995), 21–51. [https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3\\_2](https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3_2)

- Tarango, S., y Chavez, N. (2011). Daño salino en nogal pecanero, Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. (38).
- Walker RR, Blackmore DH, Clin-geleffer PR, and 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) *Australian Journal of Grape Wine Research*, 3: 66-74.
- Zarei M, Azizi1M, Rahemi M, and 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.