

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



**CRECIMIENTO EN VIVERO DE GUAYABO EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO**

**FRANCISCO JAVIER INDA ROMERO**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAestrÍA EN CIENCIAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS ÁGRICOLAS**

**XALISCO, NAYARIT. JUNIO DE 2019**

## CRECIMIENTO EN VIVERO DE GUAYABO EN CONDICIONES DE ESTRÉS SALINO

Francisco Javier Inda Romero

Universidad Autónoma de Nayarit, 2019

El guayabo es un cultivo muy rustico y puede ser utilizado para zonas con suelos marginados. Esta investigación se realizó con el objetivo de evaluar la tolerancia de genotipos de guayabo a estrés salino, en etapa de crecimiento. El material vegetal consistió en varetas enraizadas. El experimento se realizó en hidroponía a raíz flotante, en solución Steiner al 50%. Se utilizó diseño de tratamientos factorial, dos genotipos, Merita (selección) y Siglo XXI (variedad); y cinco condiciones de salinidad. Se ajustó la conductividad eléctrica de la solución con cloruro de sodio para obtener 2.0, 2.5, 3.0 y 3.5 dS m<sup>-1</sup>; el testigo, sin adición de sal, presentó conductividad eléctrica de 1.2 dS m<sup>-1</sup>. Las variables evaluadas fueron: volumen de agua transpirada, número y longitud de brotes, número de hojas por brote, vida media de la hoja, contenido de clorofila, área foliar, longitud de raíces, volumen de raíz, materia fresca y seca en hojas, tallo y raíz, concentración de fósforo, calcio, potasio y sodio; densidad y diámetro longitudinal de estomas. Se encontraron diferencias entre genotipos. La variedad Siglo XXI superó a Merita en el contenido de clorofila (36.35 y 32.74 respectivamente); acumuló mayor cantidad de materia seca en tallo (28 %) y raíz (99 %); y presentó mayor concentración en hoja de fósforo (15 %) y calcio (41 %). Con respecto al efecto de la sal, los resultados indican que el mayor consumo de agua se presentó con conductividades eléctricas de 2.5 dS m<sup>-1</sup>. La vida media de la hoja disminuyó conforme se incrementó la conductividad eléctrica desde 74 días en el testigo, a 42 días con la mayor concentración de sal (3.5 dS m<sup>-1</sup>). Las hojas presentaron mayor concentración de potasio que la raíz. A 3.5 dS m<sup>-1</sup> la concentración de potasio en hoja disminuyó en 31.8 % y en raíz 55.5 % en comparación al testigo. La concentración de sodio en hoja incrementó con la conductividad eléctrica. No se encontraron diferencias en la concentración de fósforo, calcio y sodio en raíz.

## NURSERY GROWTH OF GUAVA IN SALT STRESS CONDITIONS

Francisco Javier Inda Romero

Universidad Autónoma de Nayarit, 2019

The guava is a rustic culture and can be used to marginal land. This research has been done with the purpose of evaluating the tolerance of guava genotypes to salt stress in growth stage. The vegetative material was rooted stakes. The experiment was done in hydroponic system, in floating root in Steiner solution at 50 %. The trait design was factorial, two genotypes and five salinity conditions. The electrical conductivity of solution was adjusted with NaCl to 2.0, 2.5, 3.0 y 3.5  $\text{dS m}^{-1}$ ; the control had electrical conductivity of 1.2  $\text{dS m}^{-1}$ . The variables were: transpired water volume, sprout number and length, sprout leaf number, average leaf lifespan, chlorophyll content, leaf area, root length, root volume, fresh and dried mass in leaf, stem and root; phosphorus, calcium, potassium and sodium concentration; K/Na relation; density and diameter of stomata. Differences was found between genotypes. The Siglo XXI variety was superior to Merita selection in chlorophyll content (36.35 y 32.74 respectively); accumulated more dried mass in stem (28 %) and root (99 %); and showed more phosphorus (15 %) and calcium (41 %) concentration in leaf. With respect to salinity effect the results shown that the most water consumption was at electric conductivity of 2.5  $\text{dS m}^{-1}$ . The average leaf lifespan decreases according to increases the electric conductivity from 74 days in the control, to 42 days with the greater conductivity (3.5  $\text{dS m}^{-1}$ ). The leaves showed more potassium concentration than the roots. At 3.5  $\text{dS m}^{-1}$  the leaf potassium concentration decreased in 31.8 % and in roots 55.5 % in comparison of control. The sodium leaf concentration increased with the electric conductivity There were no differences in root phosphorus, calcium, and sodium concentration.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

Francisco Javier Inda Delgado

Hermila Romero Zuñiga

### **A mis Hermanos**

Universo y Zeus

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Nayarit**

**Al Posgrado en Ciencias biológico agropecuario**

**A mis Asesores**

Dra. Guillermina Arrieta ramos

Por ser mi guía incondicional, dedicarme todo el tiempo posible.

Dr. Álvaro Can Chulim

Por mostrarme el camino con paciencia y dedicación

Dr. Gelacio Alejo Santiago

Por todo a asesoría y tiempo brindado en laboratorio tanto como en todo el trabajo

Dr. Rubén Bugarin

Por sus revisiones continuas para lograr el trabajo

## CONTENIDO

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVO E HIPÓTESIS</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivos	3
2.2 Hipótesis	3
<b>III. LITERATURA REVISADA</b>	<b>4</b>
3.1 Guayabo	4
3.1.1 Importancia económica	4
3.1.2 Origen y distribución	5
3.1.3 Requerimientos edafoclimáticos	5
3.1.4 Mejoramiento	5
3.2 Estrés en plantas	6
3.2.1 Tipos de estrés	6
3.2.2 Mecanismos de resistencia al estrés en plantas	6
3.3 Las sales en el suelo	7
3.3.1 Importancia de la salinidad	7
3.3.2 Origen de la salinidad	8
3.3.3 Iones presentes en suelos salinos	9
3.4 Estrés por sales	9
3.4.1 Efecto de las sales en las plantas	10
3.4.2 Desbalance nutricional por salinidad	11
3.4.3 Factores que influyen en la tolerancia a salinidad	11
3.4.4 Mecanismos de tolerancia a salinidad en plantas	12
3.4.5 Ajuste osmótico	13

3.4.6 Cambios morfológicos y anatómicos debido a sales	14
3.4.7 Mejoramiento genético y salinidad	15
3.5 Tolerancia a salinidad en guayabo	15
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
4.1 Ubicación	17
4.2 Material vegetal	17
4.3 Sistema hidropónico	17
4.4 Tratamientos	17
4.5 Diseño experimental	18
4.6 Variables	18
4.6.1 Volumen de agua transpirada	19
4.6.2 Número de brotes	19
4.6.3 Longitud de brotes	19
4.6.4 Número de hojas por brote	19
4.6.5 Vida media de la hoja	19
4.6.6 Contenido de clorofila	19
4.6.7 Área foliar	19
4.6.8 Densidad estomática y diámetro longitudinal de estomas	20
4.6.9 Longitud de raíces	20
4.6.10 Volumen de raíz	20
4.6.11 Materia fresca, seca en hojas, tallo y raíz	20
4.6.12 Materia seca en hojas, tallo y raíz	21
4.6.13 Análisis nutrimental	21
4.7 Análisis Estadístico	21
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>22</b>
5.1 Crecimiento vegetativo	22
5.2 Consumo de agua	25

5.3 Contenido de clorofila	26
5.4 Vida media de la hoja	28
5.5 Área foliar	29
5.6 Número de hojas	30
5.7 Materia fresca	30
5.8 Materia seca	30
5.4 Concentración nutrimental en hojas y raíz	31
5.5 Densidad y longitud de estomas	36
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>36</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	<b>38</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Resultado del análisis de varianza para las variables evaluadas en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad 14 días después de establecido el experimento	23
Cuadro 2	Tamaño de brote en plantas de dos genotipos de guayabo, 15 días después de establecido el experimento.	23
Cuadro 3	Resultado del análisis de varianza para las variables evaluadas en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad 30 días después de establecido el experimento.	24
Cuadro 4	Resultado del análisis de varianza para las variables consumo de agua, contenido de clorofila en la hoja y vida media de la hoja en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.	26
Cuadro 5	Consumo de agua en plantas de guayabo en función del nivel de salinidad en la solución nutritiva en un periodo de 120 días.	26
Cuadro 6	Contenido de clorofila en genotipos de guayabo a los 99, 106, y 113 días después de establecido el experimento.	28
Cuadro 7	Vida media de la hoja en plantas de guayabo en diferentes condiciones de salinidad.	29
Cuadro 8	Resultado del análisis de varianza para las variables vida media de la hoja área foliar número de hojas, materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz, volumen y longitud de raíz en dos genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.	30
Cuadro 9	Acumulación de materia seca en hoja, tallo y raíz en plantas de dos genotipos de guayabo.	31

Cuadro 10	Resultado del análisis de varianza en la concentración de fósforo, potasio, calcio y sodio en hoja y raíz en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.	33
Cuadro 11	Concentración de fósforo, potasio, calcio, sodio y relación K/Na en hojas y raíz en plantas de dos genotipos de guayabo.	34
Cuadro 12	Concentración de fósforo, potasio, calcio, sodio y relación K/Na en hojas, en guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.	35
Cuadro 13	Resultado del análisis de varianza para número y longitud de estomas en plantas de dos genotipos de guayabo cultivadas en diferentes condiciones de salinidad	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1	Número de brotes por planta, en guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad, 30 días después de establecido el experimento	25
Figura 2	Interacción entre genotipo y la conductividad eléctrica en la acumulación de materia seca en tallo.	32

## ÍNDICE DE CUADROS EN EL APÉNDICE

	Página
Cuadro 1A Resultado de a prueba de medias para las variables materia seca en hoja, tallo y raíz en plantas de guayabo en diferentes condiciones de salinidad	50
Cuadro 2A Efecto del genotipo en la densidad y longitud de estomas en plantas de guayabo	50
Cuadro 3A Efecto de la salinidad en la densidad y longitud de estomas en plantas de guayabo	51

## I. INTRODUCCIÓN

El guayabo (*Psidium guajava*) es una especie importante en México ya que se puede aprovechar, además de su fruto, las flores, hojas y raíces (Valdés *et al.*, 2003). El árbol de guayabo es muy rústico, resiste sequía y tolera déficits nutricionales (Samson, 1991). La importancia de esta especie radica en que puede explotarse en terrenos marginales, ya que el árbol puede sobrevivir con pocos cuidados y en condiciones desfavorables (Mata y Rodríguez, 2005). Así, Zacatecas y Aguascalientes, que durante muchos años fueron los primeros productores y actualmente ocupan el segundo y tercer lugar en producción nacional, no cuentan con las condiciones edafoclimáticas adecuadas para la producción (Mata y Rodríguez, 2005; SIAP, 2018).

Una de las condiciones que limitan la producción agrícola es la salinidad del suelo, que es un problema para la agricultura. Las principales zonas afectadas son las regiones áridas y semiáridas (Corwin *et al.*, 2007). Actualmente alrededor del 6% de la superficie terrestre en el mundo está afectada por la sal y este número aumenta debido a regímenes hídricos inadecuados o uso de agua salina en el riego (Muns y Tester, 2008).

En México, el problema de salinidad se presenta en las zonas áridas y semiáridas, y a lo largo de las costas. Se estima que la superficie afectada es del orden de un millón de hectáreas. Dicha situación es crítica debido a que disminuye la productividad en algunos distritos de riego, lo cual es relevante debido a que las superficies con riego producen cerca del 40 % de los alimentos (Karim, 2014).

En la mayoría de suelos y aguas salinas, el catión soluble que predomina es el sodio. Debido a que la acumulación de sodio intercelular es negativa en el metabolismo celular, la mayoría de cultivos exhiben hipersensibilidad a los ambientes salinos (Cha-um y Kirdmanee, 2009). Las altas concentraciones de sal también generan zonas de bajo potencial de agua, lo que provoca mayor dificultad en la planta para adquirir tanto el agua como los nutrientes. Por lo tanto, el estrés salino esencialmente

ocasiona condiciones de déficit de agua en la planta y, de esta forma, toma las características de sequía fisiológica. (Mahajan y Tuteja, 2005).

El estrés osmótico ocasionado por salinidad limita el crecimiento y la productividad de las plantas, que responden y se aclimatan a las condiciones adversas con una serie de cambios morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares en respuesta al estrés (García-Morales, 2013). Sin embargo, las plantas no responden de la misma forma al estrés salino ya que estos mecanismos de tolerancia a la salinidad difieren entre plantas (Roy y Chakraborty, 2014).

La obtención de variedades de las especies cultivadas tolerantes a salinidad, o, en el caso de la fruticultura portainjertos tolerantes a estas condiciones, puede ser una solución al problema, ya que, debido a la variabilidad genética, la salinidad afecta de forma diferenciada a variedades de la misma especie (Reyes *et al.*, 2014; Ruíz *et al.*, 2014).

Por lo tanto, es importante conocer la tolerancia a la salinidad de los genotipos de las especies cultivadas, así como los mecanismos que utilizan para aclimatarse a esas condiciones de estrés, por lo que éste trabajo se plantea con el siguiente objetivo.

## **II. OBJETIVO E HIPÓTESIS**

### **2.1 Objetivo**

Evaluar la tolerancia y respuesta de dos genotipos de guayabo a estrés salino en etapa de crecimiento en invernadero con el empleo de sistema de cultivo en solución hidropónica.

### **2.2 Hipótesis**

La tolerancia a sales y el crecimiento de las plantas de guayabo depende del genotipo.

La tolerancia a sales y el crecimiento de las plantas de guayabo dependen de la concentración de sales en el medio.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Guayabo

El guayabo es una especie que puede explotarse en terrenos marginales, ya que el árbol puede sobrevivir con pocos cuidados y en condiciones ecológicas desfavorables (Mata y Rodríguez, 2005).

De la planta no se utiliza únicamente el fruto, sino también se pueden consumir las flores, raíces y hojas en infusión, práctica que se remonta hasta la época prehispánica. El fruto se utiliza como alimento fresco, y tiene un papel importante en la gastronomía mexicana. Además, la guayaba es una de las frutas tropicales y subtropicales, de mayor valor nutricional por su aporte de vitaminas, ya que 100 g de fruta fresca contienen 300 UI de vitamina C y, 200 UI de vitamina A (Valdés *et al.*, 2003; Cañizares *et al.*, 2003). Comparada con otras frutas, el contenido de vitamina C de una guayaba mediana es similar a poco más de 16 manzanas medianas ó 1.5 naranjas. El contenido de vitamina A, equivalente a la encontrada en 1.3 plátanos; tiene un contenido menor de energía que la mayoría de las frutas, 100 g de guayaba contienen 30 calorías por 100 g de fruta, contenido menor que la piña, naranja, papaya con 41, 43 y 43 cal/100 g, respectivamente o plátano (89 cal /100 g) (Mata y Rodríguez, 2005).

##### 3.1.1 Importancia económica

La producción de guayaba es de 324 666 t, lo que coloca a México en el 4° lugar mundial como productor de esta fruta. El comercio exterior creció en los últimos cinco años, y en 2017 se duplicó su exportación comparado con el 2012, enviando el producto a siete países, el 93.6 % lo compro Estados Unidos, y representó una derrama económica de aproximadamente 22.6 millones de dólares (SIAP, 2018).



### **3.1.2 Origen y distribución**

La referencia más antigua indica que el guayabo es originario de México (De Candolle, 1967); aunque, Padilla *et al.* (1999) consideran que el centro de origen está ubicado desde el sur de México hasta Perú. El guayabo se encuentra en 21 de los 30 estados de la República Mexicana y, se puede encontrar de manera silvestre desde el Sur de Tamaulipas, Este de San Luis Potosí y el Norte de Puebla hasta Veracruz; en altitudes entre los cero a 1700 m (Vázquez *et al.*, 1999).<sup>4</sup>

### **3.1.3 Requerimientos edafoclimáticos**

El árbol de guayabo crece en diferentes tipos de suelos (Samson, 1991), presenta buena producción en muchas clases de suelos, arcillosos y orgánicos de buen drenaje; arenosos y calcáreos, siempre que tengan una adecuada fertilización (Mata, 2005). García *et al.* (2003) y, arenosos o arcillosos, siempre con una buena fertilidad y profundidad. En Aguascalientes y Zacatecas, produce en suelos de tepetate de tendencia alcalina (Mata y Rodríguez, 2005). Tolera suelos con pH entre 4.5 y 8.2, sin embargo, se comporta mejor en suelos con pH entre 6 y 7 (SAG, 2005). De igual manera, tolera suelos inundados ya que sus raíces superficiales aumentan de número (Avilán *et al.*, 1989).

El guayabo, es de origen tropical, por lo que se recomienda establecerlo por debajo de los 800 msnm (SAG, 2005). Requiere temperaturas entre 16 y 34 °C, con precipitación anual entre 1000 y 1800 mm y humedad relativa entre 36 y 96 % (García *et al.*, 2003).

### **3.1.4. Mejoramiento**

El mejoramiento de guayabo a través de selección se ha realizado en México desde 1969 (mata y Rodríguez, 2005). Actualmente la red de guayaba del SINAREFI realiza evaluación de materiales para la obtención, conservación y caracterización de nuevo germoplasma, esto permitirá la disponibilidad y aprovechamiento de la materia por parte de productores, contribuyendo a mejorar su productividad (Padilla *et al.*, 2007).

## **3.2 Estrés en plantas**

Las plantas pocas veces se encuentran en las condiciones ideales de crecimiento y generalmente tienen que hacer frente a condiciones ambientales diversas, lo que produce tensión. Las plantas, por lo tanto, desarrollaron la capacidad de detectar pequeños cambios ambientales y responder inmediatamente, a nivel morfológico, fisiológico, bioquímico y molecular. Para reducir los daños lo que les permite conservar sus recursos para el crecimiento y desarrollo (Martínez *et al.*, 2018; García-Morales *et al.*, 2013).

Así, el estrés biológico es cualquier factor capaz de producir una deformación potencialmente nociva al organismo (Levitt, 1980). De acuerdo a Bidwell (1993) la tensión es similar a una fuerza aplicada y el organismo debe ceder. La deformación corresponde a la respuesta de la tensión a la que está sometida la planta.

Si la condición de estrés es temporal, la planta disminuye su desarrollo para adaptarse a la condición; pero, si el estrés es demasiado intenso o prolongado, los daños se vuelven irreparables y la planta se daña y muere (Larcher, 1995).

La respuesta a la tensión puede ser de dos tipos: 1) elástica, cuando una vez que cesa la tensión el organismo vuelve a su estado original; y 2) plástica, cuando el organismo permanece deformado por la tensión (Valladares *et al.*, 2004).

### **3.2.1 Tipos de estrés**

Las causas de estrés en las plantas se agrupan en factores bióticos y abióticos. Los factores bióticos incluyen ataque de insectos, herbívoros y patógenos; dentro de los factores abióticos se encuentran exceso o déficit de agua, temperaturas, cambios bruscos de temperatura, deficiencia o exceso de luz, déficit de nutrientes, toxicidad por metales pesados, y estrés por exceso de sales (Bhaskar y Bingru, 2014).

### **3.2.2 Mecanismos de resistencia al estrés en plantas**

Durante el proceso evolutivo, las plantas desarrollaron mecanismos de resistencia que permite a la especie adaptarse a condiciones de estrés climático o edáfico

constantes. Así, las plantas que no logran sobrevivir a condiciones adversas, desaparecen de la población y solo quedan las que lograron adaptarse y generar descendencia, de esta forma los descendientes estarán capacitados para resistir el estrés ya que esta adaptación se perpetuará genéticamente con su descendencia, asegurando la supervivencia de la especie (Muns y Tester, 2008).

Las plantas responden al estrés por dos mecanismos: 1) resistencia, relacionada con mecanismos que evitan la exposición al estrés; y 2) tolerancia, que incluye mecanismos que le permiten limitar y reparar las consecuencias negativas del daño causado por una situación de estrés (Levitt, 1980; Bray *et al.*, 2000).

Las plantas asignan recursos simultáneamente a ambas estrategias, por lo que exhiben un patrón mixto de defensa (Núñez *et al.*, 2007). Aunque las especies tienden a depender de un tipo de estrategia más que de otra, una planta puede presentarlas simultáneamente o en diferentes momentos durante el periodo de estrés (Pallardy, 2008). Las plantas leñosas, debido a que son perennes, rara vez presentan adaptaciones de escape o evitación (Pallardy, 2008).

El estrés por sequía causa tantos daños en el crecimiento de árboles frutales como en los cultivos de plantas herbáceas (Pallardy, 2008).

### **3.3 Las sales en el suelo**

Uno de los principales problemas en el suelo es la presencia de sales. La salinidad del suelo se determina en extracto de pasta saturada de suelo y se expresa como conductividad eléctrica en deciSiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$ ) o milimhos por centímetro ( $\text{mmhos cm}^{-1}$ ).

#### **3.3.1 Importancia de la salinidad**

En la actualidad, la salinidad en el suelo es el factor que mayor influencia tiene en la expansión de la frontera agrícola en la parte noroeste de México (Ashraf *et al.*, 2008) y es uno de los procesos de degradación de los suelos que más daños causan a la

agricultura, pues tierras productivas y fértiles se convierten en estériles (Ruiz *et al.*, 2014).

En 2005, Mahajan y Tujeta pronosticaban un incremento en la salinidad de las tierras de cultivo del mundo que podría llegar a más del 50% en la segunda mitad del siglo XXI.

En México, específicamente, Baja California Sur, han disminuido la productividad de los cultivos agrícolas y por ende la rentabilidad de los mismos (Reyes *et al.*, 2014).

La reducción del impacto de la salinidad sobre el crecimiento de los vegetales requiere con frecuencia el uso de enmiendas aplicadas al suelo, las cuales incrementan los costos de producción y no son totalmente efectivas (Reyes *et al.*, 2014).

### **3.3.2 Origen de la salinidad**

La salinidad de los suelos puede ser de origen natural (primaria) o inducida por el hombre que transforma los ecosistemas (secundaria) (Dregne *et al.*, 1995).

La salinización primaria o natural ocurre en los suelos que, desde su formación, presentan acumulación de sales por la descomposición de las rocas o por la actividad volcánica; y se encuentra en lugares donde la evaporación es mayor que la precipitación, en lugares cercanos al mar o donde existan manantiales salinos y mantos freáticos salinos (Gómez *et al.*, 2009).

Sin embargo, la más común es la salinización secundaria, provocada fundamentalmente por los efectos del riego, el uso de aguas de mala calidad, el drenaje restringido, la baja permeabilidad del suelo y el mal uso de la fertilización; lo que causa la acumulación de sales solubles, principalmente sodio, en los horizontes superiores (Corwin *et al.*, 2007).

Otros factores que contribuyen a exacerbar el problema, son el riego prolongado con aguas salinas y climas secos subhúmedos o muy secos (Tejada y González, 2005).

Diversos estudios indican que, en zonas de riego, dicha problemática se debe a las sales acumuladas a través del tiempo (Tejada y González, 2005).

Esta situación trae consigo la pérdida de la productividad de las tierras y su consiguiente abandono (Egamberdieva y Lugtenberg, 2014).

### **3.3.3 Iones presentes en los suelos salinos**

Los principales constituyentes solubles del suelo relacionados con la salinidad son los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ . Las altas concentraciones de sal, en particular de  $\text{Na}^+$ , que se depositan pueden alterar la textura del suelo. Los cationes  $\text{Na}^+$  desplazan el  $\text{Ca}^{2+}$  del complejo arcillo-húmico y degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y, consecuentemente, reducen la aeración. Los iones más problemáticos en estrés salino son:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^+$  (Mahajan y Tuteja, 2005)

En un gran parte de suelos y aguas salinas, el catión soluble con mayor presencia es el sodio. Debido a que la acumulación de sodio intracelular es negativa en el metabolismo celular, la mayoría de cultivos exhiben hipersensibilidad a los ambientes salinos (Cha-um y Kirdmanee, 2009).

### **3.4 Estrés por sales**

Las altas concentraciones de sales en el suelo generan zonas de bajo potencial de agua, lo que provoca mayor dificultad en la planta para adquirir tanto el agua y los nutrientes. Por lo tanto, el estrés salino esencialmente ocasiona condiciones de déficit de agua en la planta y, toma las características de sequía fisiológica. (Mahajan y Tuteja, 2005). Además de la sequía osmótica, la salinidad provoca en las plantas estrés por toxicidad específica, en virtud de que los altos niveles de sodio y cloro y desbalance nutricional, debido a que los altos niveles de sodio y cloro reducen la absorción de  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , (Nawaz *et al.*, 2010).

Las plantas en condiciones de estrés por sales, producen formas reactivas de oxígeno que disparan señales de desintoxicación y respuestas complejas

moleculares como la expresión de proteínas y producción de osmolitos, previniendo el daño a las estructuras celulares. En condiciones severas de estrés hídrico, causado por salinidad o sequía, las plantas detienen el crecimiento y acumulan solutos en células para mantener el volumen y turgencia celular contra la deshidratación (Alcaráz, 2012).

#### **3.4.1 Efecto de las sales en las plantas**

El efecto de la salinidad se expresa en dos fases: efecto osmótico y efecto específico de la sal. La primera fase de salinidad tiene un efecto sobre el crecimiento de las plantas. Se produce inmediatamente después de la exposición al NaCl. Esta respuesta se debe a los cambios osmóticos fuera de la raíz que causan desequilibrio en las relaciones de agua celular (efecto osmótico). El efecto osmótico reduce inicialmente la capacidad de la planta para absorber agua. El otro efecto de la salinidad es la acumulación de sal en las hojas, es mucho más lento, puede llevar desde días, hasta meses y provoca toxicidad en la planta, principalmente en las hojas más viejas (Muns *et al.*, 2006).

Debido a que la salinidad reduce la capacidad de las plantas para absorber agua, se provoca reducción del crecimiento (Munns, 2002). Sin embargo, el estrés por sales afecta la mayoría de los procesos fisiológicos de los vegetales además del crecimiento como son: fotosíntesis, síntesis de proteínas y metabolismo energético (Apse y Blumwald, 2002; Tester y Davenport, 2003; Parida y Das, 2005).

Las sales en el suelo inhiben el crecimiento de las plantas debido a la influencia sobre conductividad estomática, ajustes osmóticos y absorción de iones entre otros, pero la cantidad de daño a la planta depende de la especie, la duración y cantidad del periodo de estrés, así como la etapa de desarrollo en que se encuentre la planta. Generalmente, las fases juveniles son más sensibles que las etapas adultas (Willandino y Camara, 2005; Munns y Tester, 2008; Ruíz *et al.*, 2014).

### **3.4.2 Desbalance nutricional por salinidad**

Las sales en la rizósfera pueden provocar desbalance nutrimental, ya que ocurre un desbalance iónico por acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las células que reduce la absorción de nutrientes como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mn}^+$  (Karimi *et al.*, 2009).

El  $\text{K}^+$  es el ión más importante en la planta debido a que está implicado en el balance hídrico. Además, está relacionado con el potencial osmótico en la estela de la raíz que provoca la presión de turgor y el transporte de solutos en el xilema (Marschner, 2002).

En condiciones salinas el  $\text{Na}^+$  compite con el  $\text{K}^+$  en los cotransportadores  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ ; y puede también bloquear transportadores específicos de  $\text{K}^+$  de las células de las raíces en condiciones salinas (Zhu, 2003).

### **3.4.3 Factores que influyen en la tolerancia a salinidad**

Existen diversos factores que influyen en el grado de tolerancia a sales que presentan las plantas. El comportamiento de los cultivos anuales difiere de los árboles frutales cuando se cultivan en suelos salinos, debido a que los últimos son cultivos perennes. Los cultivos anuales generalmente muestran mayor tolerancia a la sal, mientras que la mayoría de los cultivos frutales tienden a convertirse en sensibles a la sal a medida que crecen. Esto se atribuye a la transferencia de las sales almacenadas en las raíces hacia las hojas, así como tasas de crecimiento más lento en las plantas más viejas (Munns, 2005).

Bajo ciertas condiciones, puede ser que el sodio y cloro no sean los iones predominantes en suelos salinos, y el uso de portainjertos que restringen la absorción de estos iones tóxicos, puede hacer que los efectos específicos de la sal sean relativamente poco importantes (Munns, 2005).

La tolerancia a la salinidad, depende no sólo de la concentración de sales en la solución del suelo, sino de otros factores del medio, tales como la temperatura del aire, la disponibilidad de agua para las plantas, la intensidad lumínica y la nutrición

mineral. En este sentido, algunos autores observaron mayor daño por salinidad en las plantas de diferentes cultivos a temperaturas de 25-35°C, en relación con las cultivadas a temperaturas del aire de 15 a 20°C (Villagra, 1997).

#### **3.4.4 Mecanismos de tolerancia a salinidad en las plantas**

La tolerancia a la salinidad es un fenómeno complejo que involucra cambios morfológicos y de desarrollo, estrechamente relacionados con los principales procesos fisiológicos y bioquímicos que operan en las plantas. Las plantas poseen mecanismos bioquímicos, fisiológicos, anatómicos y moleculares para adaptarse al estrés salino. En general, las plantas tolerantes a la sal expresan dos tipos diferentes de respuestas: (a) mecanismos que minimizan la entrada de las sales en la planta; y (b) mecanismos que dividen las sales a nivel celular para evitar toxicidad en el citoplasma (Egamberdieva y Lugtenberg, 2014).

En el primer caso se minimiza la absorción de sal por las raíces y, en el segundo, las sales se distribuyen en los tejidos y los organelos celulares para evitar alcanzar una concentración tóxica en el citosol de las hojas, estas plantas transpiran alrededor de 50 veces más agua de la que conservan. Así, la mayoría de estas plantas, excluyen aproximadamente el 98% de las sales solubles en el suelo, permitiendo que sólo el 2% sea transportado en el xilema a los brotes (Bhaskar y Bingru, 2014).

Las adaptaciones de las plantas a la salinidad presentan una amplia gama de mecanismos que generalmente implican el control de la absorción de Na, Cl y su distribución dentro de la planta.

Las plantas pueden responder con un amplio rango de soluciones fisiológicas a nivel molecular, celular y de organismo al estrés salino (Huang *et al.*, 2014). Estas incluyen, por ejemplo, cambios en el desarrollo y la morfología como es la inhibición del crecimiento apical, incremento en el crecimiento de las raíces y cambios en el ciclo de vida; ajuste en el transporte iónico relacionado con la concentración, expulsión y secuestro de iones entre los que destacan el Na<sup>+</sup> y el K<sup>+</sup>; regulación de los sistemas de defensa antioxidantes; cambios en la expresión de genes y proteínas



involucradas en la respuesta a la salinidad, así como otros mecanismos metabólicos dentro de los que destacan el metabolismo del carbono y la síntesis de solutos compatibles (Fuentes *et al.*, 2007).

### **3.4.5 Ajuste osmótico**

El ajuste osmótico es un mecanismo que permite a la planta mantener la absorción de agua y la presión de turgencia en condiciones de estrés hídrico. Se basa en la acumulación activa de solutos, que pueden ser, iones como Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>; así como la síntesis de compuestos orgánicos, entre los que se encuentran: prolina, colina, glicina-betaína, betaína, polioles y azúcares solubles (Zhu, 2002).

El compuesto más estudiado relacionado con el estrés por salinidad es la prolina, sustancia protectora de bajo peso molecular, más ampliamente extendida. La prolina es un aminoácido no proteico formado en la mayoría de los tejidos de la planta, que se considera que podría desempeñar un papel crítico en la protección de plantas sometidas a estrés. La cantidad de prolina suele aumentar en estrés por sales y se acumula tanto en la hoja como en los tejidos de raíz. Watanabe *et al.* (2000) sugirieron que la prolina y los azúcares acumulados promueven la tolerancia osmótica a la sal en las plantas. La acumulación de prolina puede utilizarse para mantener el equilibrio osmótico y activar los mecanismos de protección y cerrar los poros estomáticos para conservar el agua. También protege la membrana y las proteínas contra los efectos adversos de altas concentraciones de iones inorgánicos y temperaturas extremas. La función protectora de la síntesis de prolina se realiza principalmente en los órganos sobre el suelo, no en las raíces.

La acumulación endógena de prolina en plantas estresadas por sales ha sido utilizada como un indicador efectivo de la tolerancia a sales y se ha sugerido como un parámetro de evaluación para la programación de riego y selección de variedades tolerantes a la sequía (Cha-um y Kirddmanee, 2009).

Sin embargo, los solutos involucrados en el ajuste osmótico dependen de la especie (Pallardy, 2008); y los compuestos protectores que llevan a cabo esa función

protectora son variados: compuestos de amonio (poliaminas, glicina betaina, b-alanina betaina, dimetilsulfonio, propionato y colina-O-sulfato), azúcares y azúcares-alcohol como fructanos, trehalosa, manitol, d-ononitol y sorbitol) y aminoácidos como prolina y ectoina (Singh *et al.*, 2015).

El ajuste osmótico es un mecanismo que no se observa de manera generalizada en las plantas, aun cuando se ha observado, en condiciones de sequía, en algunos frutales como manzana (Wang *et al.*, 1995),

### **3.4.6 Cambios morfológicos y anatómicos debidos a sales**

Las plantas en condiciones de estrés modifican su desarrollo para adaptarse a las condiciones cuando estas se desarrollan lentamente, proceso conocido como aclimatación (Nilsen y Orcutt, 1996).

Para contrarrestar el daño por sales, las plantas realizan cambios anatómico-morfológicos. El estrés por sales, limita el crecimiento foliar mientras que el crecimiento radical se inhibe con menor intensidad de manera similar al estrés hídrico lo que provoca cambios en la relación raíz-parte aérea (Casierra-Posada y García, 2005; Potters *et al.*, 2007).

Se han encontrado también cambios anatómicos en las plantas sometidas a estrés por sales. Salas *et al.* (2001) encontraron en plantas de tomate cultivadas en conductividades eléctricas de 0.5, 2.3, 3.1 y 5.0 dSm<sup>-1</sup>, obtenidas a partir de cloruro de sodio, que el índice estomático en ambas caras de la hoja (adaxial y abaxial) se incrementó de 58.47 en CE de 0.5 dSm<sup>-1</sup> a 77.52 en la concentración de 5.0 dSm<sup>-1</sup>. Esto fue debido a un incremento el número de estomas en la superficie abaxial de la hoja, aun cuando en la superficie adaxial se redujo, de 117.8 a 59.73 (en CE de 0.5 y 5.0 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente) e indican que este puede ser un mecanismo de la planta para evitar pérdidas de agua por transpiración, similar a las respuestas de las plantas contra sequía ya que los estomas son poros que regulan la transferencia de CO<sub>2</sub> y

vapor de agua entre las plantas y la atmósfera y por lo tanto la economía del agua (Cooke *et al.*, 2015).

### **3.4.7 Mejoramiento genético y salinidad**

El mejoramiento genético, puede ser utilizado para la recuperación de áreas subutilizadas, así como para incrementar los rendimientos en aquellas zonas donde la salinidad es un factor limitante (Lamz y González, 2013) ya que pueden obtenerse cultivares tolerantes a salinidad, o, en el caso de la fruticultura, portainjertos tolerantes a éstas condiciones (Reyes *et al.*, 2014) ya que la salinidad afecta de forma diferenciada a variedades de la misma especie, debido a variabilidad genética (Ruíz *et al.*, 2014).

De esta forma, a pesar del amplio rango de adaptación de las especies vegetales, el uso de portainjertos ha ayudado al desarrollo de la fruticultura, no sólo por la tolerancia a enfermedades que presentan (Amorós, 2003), o los beneficios adicionales como: mayor productividad y calidad; sino porque ayudan a resolver problemas causados por clima y suelo (Toplu *et al.*, 2008).

### **3.5 Tolerancia a salinidad en guayabo**

En el caso del guayabo existen algunos reportes sobre la tolerancia a salinidad. En un estudio realizado en la India con plantas del cultivar Palmira ICA-1, obtenidas a partir de semilla de aproximadamente 90 días y seis hojas se evaluó la tolerancia a salinidad inducida con NaCl. Los tratamientos consistieron en conductividades eléctricas de 1.9, 3.8, 6.2, 8.6 y 11.5 dS m<sup>-1</sup>, medidos en extracto de saturación de suelo. Se observó que los tratamientos redujeron el área foliar hasta 61.8 % sin embargo, indujeron pocos cambios en el contenido de materia seca. Los resultados sugieren que el cultivar de guayabo Palmira ICA-1 es relativamente tolerante a la salinidad por NaCl (Casierra, 2006).

Sá *et al.* (2016) probaron el efecto de cinco niveles de salinidad en el agua de riego (0.6, 1.2, 1.8, 2.4 y 3.0 dS m<sup>-1</sup>) por 30 días, en semillas de tres portainjertos de guayaba ('Criolla', 'Paluma' y 'Ogawa'). Encontraron que el aumento en la

concentración de sales restringe la germinación de guayaba, el crecimiento y la acumulación de biomasa y los efectos más drásticos ocurrieron a niveles superiores a  $1.8 \text{ dS m}^{-1}$ . El número de hojas y biomasa seca total son las variables más afectadas por el estrés de las sales.

De igual manera, en la India se utilizaron plantas de un año del cultivar *Allahabad Safeda* y se encontró que tiene un umbral de tolerancia a la salinidad (CE) de aproximadamente  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$  indicando su idoneidad para el cultivo comercial en suelos moderadamente salinos. Uno de los mecanismos fisiológicos implicados en la tolerancia a la salinidad de éste cultivar es la absorción preferente de potasio por la raíz (Anshuman *et. al.*, 2016).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Ubicación del experimento**

Esta investigación se realizó en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit dentro de un invernadero ubicado a 21° 25' 40" N, 104° 53' 30" O y 984 m de altitud. El invernadero de tipo cenital con cobertura de polietileno blanco lechoso y malla antiáfidos en ventanas laterales. La temperatura promedio máxima fue de 41 °C, mínima de 18 °C, humedad relativa promedio de 60%.

### **4.2 Material vegetal**

El material vegetal consistió de varetas de 30 cm de largo y al menos 0.5 cm de diámetro, de dos genotipos, una selección de la Red de Guayaba de SINAREFI: Merita y la variedad registrada Siglo XXI, que fueron enraizadas en una cama con agrolita. Cuando presentaron callo y comenzaron a desarrollar raíz se regaron con solución nutritiva universal de Steiner al 50 % (Steiner, 1984) dos veces por semana.

### **4.3. Sistema hidropónico.**

Una vez enraizadas las estacas, se establecieron en un sistema hidropónico con raíz flotante, en contenedores con capacidad de 12 litros.

Los contenedores se llenaron con 10 litros de solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984). El sistema de aireación consistió en bombas de pesera de 2.5 PSI que se mantuvieron encendidas las 24 horas del día.

Dos semanas después del trasplante, se aplicaron los tratamientos salinos correspondientes. Durante el transcurso de la investigación la solución se renovó cuando se consumió el 25 % de la solución del contenedor.

#### **4.4 Tratamientos**

Se utilizó un diseño de tratamientos factorial (2 x 5); los factores fueron genotipos y niveles de estrés salino. Se evaluaron una selección de la Red de Guayaba de SINAREFI: Merita y la variedad registrada Siglo XXI, y cinco niveles de estrés por sal inducidos con cloruro de sodio (NaCl). Una vez preparadas las soluciones, se ajustaron los niveles de salinidad en el agua de riego a las siguientes conductividades eléctricas: 1.2 dS m<sup>-1</sup> utilizando la solución nutritiva Steiner al 50% sin adición de cloruro de sodio y 2.0, 2.5, 3.0 y 3.5 dS m<sup>-1</sup> con adición de cloruro de sodio (NaCl); la cantidad de NaCl en los tratamientos se calculó mediante la ecuación propuesta por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Richards, 1990).

$$\text{mg L}^{-1} = 640 (\text{CE})$$

Dónde CE es la conductividad eléctrica de la solución salina en dS m<sup>-1</sup>.

La conductividad eléctrica de la solución se ajustó con NaCl a los valores establecidos con un conductímetro. Se consideró el aporte de CE del agua de riego.

Los tratamientos iniciaron la segunda semana después del trasplante.

#### **4.5 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con cinco repeticiones, cada repetición consistió de dos plantas.

Al momento de establecer el experimento se realizó la asignación de las varetas a los tratamientos, considerando el tamaño para uniformizar las unidades experimentales.

#### **4.6 Variables de respuesta**

Las variables: volumen de agua transpirada, número y longitud de brotes, número de hojas por brote, se tomaron cada 14 días, las demás variables se registraron al final del experimento, a los cuatro meses (120 días).

Después de cuatro meses de aplicación de los tratamientos salinos, las plantas se trasladaron al laboratorio donde se procedió a separar raíz, tallo y hojas para tomar los demás datos.

#### **4.6.1 Volumen de agua transpirada**

Se cuantificó el volumen de agua transpirada al realizar los cambios en la solución de las macetas y se reportó en mililitros.

#### **4.6.2 Número de brotes**

Se cuantificó el número de brotes desarrollados por planta.

#### **4.6.3 Longitud de brotes**

Se midió la longitud con vernier digital marca Truper (Truper Inc. México). Los datos se reportaron en milímetros.

#### **4.6.4 Número de hojas por brote**

Se cuantificaron el número total de hojas desarrolladas por brote.

#### **4.6.5 Vida media de la hoja**

Para evaluar la vida media de la hoja se etiquetaron las hojas con hilos de colores que identificaban el día en que emergieron, y se cuantificaron los días hasta caída de la hoja.

#### **4.6.6 Contenido de clorofila**

Se realizaron tres lecturas semanales del contenido de clorofila por medio de un medidor de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Japan) a las 3, 4 y 5 semanas de establecido el experimento.

#### **4.6.7 Área foliar**

Al final del experimento se midió el área foliar de cinco hojas con un integrador de área foliar con un integrador de área foliar LI-3100 (LICOR, Inc. Lincoln, Ne, USA) y se registró en  $\text{cm}^2$  el área foliar de cinco hojas.

#### **4.6.8 Densidad y diámetro longitudinal de estomas**

De cada planta se tomaron tres hojas completas, maduras sin daño mecánico ni por insectos. La impresión se realizó en la parte media, abaxial de la hoja por medio del método de microrelieve con pegamento de secado rápido (Weyers y Meidner, 1990), que consistió en colocar una gota de pegamento instantáneo Kola Loca® en un portaobjetos, posteriormente se presionó la hoja por un minuto sobre la gota y enseguida se despegó del portaobjetos. Se fotografiaron tres campos por hoja con el objetivo 40x del microscopio estereoscópico Leica CME (Microsystems AG, Wetzlar, Germany). Las imágenes se analizaron con el programa Image Tool V3.0 (UTHSCSA, University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas). Se contó el número de estomas por campo, se midió el área del campo y la densidad estomática se expresó en estomas/ $\text{mm}^2$ . De la misma forma, se midió el diámetro longitudinal de cinco estomas elegidos al azar.

#### **4.6.9 Longitud de raíces**

Se midió la longitud de las raíces, desde el cuello hasta el ápice radical, se reportó en centímetros.

#### **4.6.10 Volumen de raíz**

El volumen se determinó colocando la raíz en una probeta de 200 mL que contenía un volumen de agua conocido, al sumergirla, la columna de agua se elevó, este exceso se extrajo con una pipeta. El volumen de agua extraído correspondió al volumen de la raíz en mililitros.



#### **4.6.11 Materia fresca en hojas, tallo y raíz**

La planta separada en hojas, tallo y raíz. Se pesó en una balanza Sartorius de 500 g.

#### **4.6.12 Materia seca en hojas, tallo y raíz**

Después de pesar la materia fresca, se colocaron las muestras en bolsas de papel de estraza con perforaciones en una estufa con circulación de aire forzado a temperatura de 70° C hasta peso constante. Se reportó en g.

#### **4.6.13 Análisis nutrimental**

La materia seca se pulverizó. Se utilizó una muestra de 0.5 g de material vegetal que se colocó en un matraz de digestión. Se le agregaron 4 ml de mezcla diácida (4:1 de ácido sulfúrico y ácido perclórico) y 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30 % para acelerar la reacción. Posteriormente se colocaron los matraces con sus respectivas muestras en una estufa de digestión, a 260 °C, hasta alcanzar una decoloración completa. Después cada muestra digerida se aforó con agua a 50 mL, se colocaron en recipientes de plástico completamente sellados para su manipulación y se procedió a la determinación de la concentración nutrimental de los macronutrientes a evaluar (Alcántar y Sandoval, 1999).

**Fósforo.** Se tomaron 5 ml del extracto, al cual, se le añadió 10 mL de ácido nítrico, 5 mL de solución de molibdato-vanadato (amarillo) y por último se aforó a 50 mL con agua destilada para proceder a su lectura de absorbancia en el espectrofotómetro, 10UV a 420 nm.

**Potasio, Calcio y Sodio.** Para el análisis de K, Ca y Na se tomó 1 mL del extracto y se realizó una dilución 1:10 extracto, agua destilada respectivamente, esto se realizó para todas las muestras. Después la lectura del extracto diluido se efectuó en el flamómetro 410. Las concentraciones se expresaron en porcentaje.

#### **4.7 Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos en las variables evaluadas, se realizó análisis de varianza y prueba de medias por Tukey ( $P < 0.05$ ). Los datos se procesaron con el programa SAS® 9.2 (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc.).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Crecimiento vegetativo

El análisis de varianza para la primera evaluación de las variables de crecimiento vegetativo se muestra en el cuadro 1. Existieron diferencias entre genotipos únicamente para el variable tamaño del brote.

Cuadro 1. Resultado del análisis de varianza para las variables evaluadas en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad, 15 días después de establecido el experimento.

Variable	Media	C.V. <sup>z</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo*Salinidad
Altura de planta	62.8333	34.17245	0.6571	0.9910	0.9574
Número de ramas	3.9666	19.39156	0.8148	0.5419	0.2208
Número de hojas	54.6916	24.82353	0.6596	0.9303	0.1227
Número de brotes	5.4166	25.22326	0.4709	0.6279	0.5962
Tamaño de brote	9.7623	18.29654	0.0457	0.2563	0.0340
Número de hojas/brote	5.1860	9.55157	0.0620	0.1052	0.0306

<sup>z</sup>C.V. Coeficiente de variación

El resultado de la prueba de medias para tamaño de brote se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tamaño de brote en plantas de dos genotipos de guayabo, 15 días después de establecido el experimento.

Genotipo	Tamaño del brote (cm)
Siglo XXI	9.0673 b <sup>z</sup>
Merita	10.4573 a
C.V. <sup>y</sup>	18.2965
DMS <sup>x</sup>	0.2400

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05). <sup>y</sup>C.V.: coeficiente de variación. <sup>x</sup>DMS: diferencia mínima significativa

La selección Merita presentó mayor tamaño de brote. Se ha demostrado que el genotipo influye no solo en el tamaño de brotes sino en la precocidad del fruto y desarrollo de la planta (Castillo-Martínez *et. al.*, 2005).

El análisis de varianza para la segunda evaluación se muestra en el cuadro 3. Sólo se encontraron diferencias en el número de brotes debidas a la concentración de sal en el medio.

Cuadro 3. Resultado del análisis de varianza para las variables evaluadas en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad, 30 días después de establecido el experimento.

Variable	Media	C.V. <sup>z</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo*Salinidad
Número de brotes	5.7916	23.3386	0.9734	0.0238	0.5958
Tamaño de brote	6.4410	14.0280	0.7604	0.9296	0.0458
Número de hojas/brote	2.8173	19.5617	0.6478	0.5804	0.0857

<sup>z</sup>C.V. Coeficiente de variación.

El efecto de la concentración de sal en la solución en el cultivo de guayabo se observa en la figura 1. El tratamiento con conductividad de 2.5 dS m<sup>-1</sup> presentó el mayor número de brotes. A los 30 días, las plantas no presentan daño por las diferentes concentraciones de sal, lo que contrasta con lo reportado por Casierra-Posada (2006) quienes encontraron una disminución del crecimiento vegetativo, a las cuatro semanas con los tratamientos de salinidad, de 30 % en área foliar y 16.6 % en peso seco a partir de 3.8 dS m<sup>-1</sup>, en plántulas de guayabo cultivar Palmira ICA-1 a las que se les aplicó el tratamiento de sales a los 90 días después de emergidas.

Sin embargo, Sá *et al.* (2016) aplicaron diferentes niveles de riego salino, utilizando NaCl para obtener las siguientes conductividades eléctricas: 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, y 3.0 dS m<sup>-1</sup> en semillas de portainjertos de guayaba de los cultivares Criolla, Paluma y Ogawa. A los 15 días el mayor porcentaje de emergencia lo obtuvieron con 1.33 dS

m<sup>-1</sup>. Estos autores consideran que esa concentración de sales favoreció la dispersión de los coloides de los sustratos y por eso obtuvieron el mayor porcentaje de germinación.

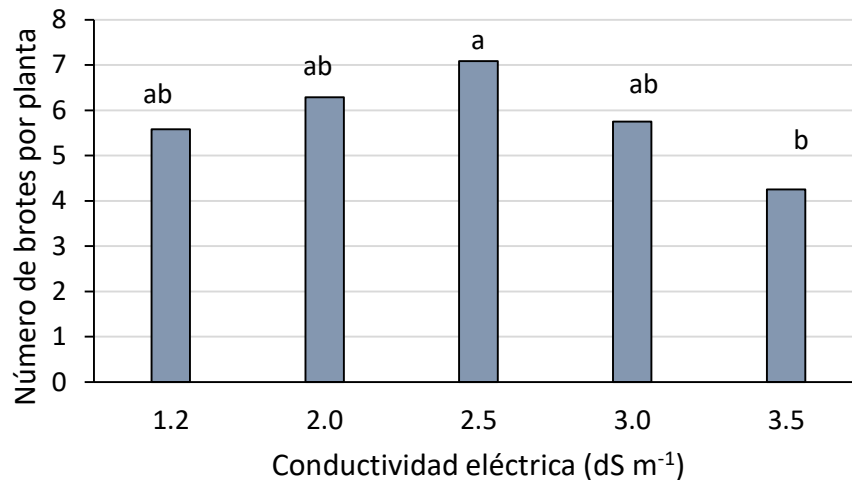


Figura 1. Número de brotes por planta, en guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad, 30 días después de establecido el experimento.

Se ha observado que existen diversos factores que influyen en el grado de tolerancia a sales que presentan las plantas. Se considera que la mayoría de los cultivos frutales tienden a convertirse en sensibles a la sal a medida que crecen debido a la transferencia de las sales almacenadas en las raíces hacia las hojas, así como tasas de crecimiento más lento en las plantas más viejas (Munns, 2005).

En este trabajo no existieron diferencias en el tamaño y número de hojas en los brotes, entre los tratamientos a pesar de que la salinidad produce sequía osmótica. Esto significa que se mantuvo el crecimiento vegetativo, lo que puede deberse a que en suelos secos las partes de las plantas que desarrollan los potenciales hídricos más bajos, obtienen agua de los tejidos viejos, ya que diferentes partes de las plantas pierden agua a diferentes velocidades y en diferentes niveles (Pallardi, 2008).

## 5.2 Consumo de agua

El análisis de varianza para consumo de agua, contenido de clorofila en la hoja y vida media de la hoja se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultado del análisis de varianza para las variables consumo de agua, contenido de clorofila en la hoja y vida media de la hoja en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.

Variable	Media	C.V. <sup>z</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo*Salinidad
Consumo de agua	35.2614	47.8158	0.1420	0.4132	0.664
Contenido de clorofila					
a los: 99 días	42.1666	3.9789	0.6836	0.5467	0.499
106 días	39.1566	6.5392	0.8825	0.3357	0.439
113 días	34.5466	6.9812	0.0006	0.9264	0.082
Vida media de la hoja	60.6666	6.9674	0.3123	<0.0001	0.667

<sup>z</sup>C.V. Coeficiente de variación.

El consumo de agua presentó diferencias debidas a las condiciones de salinidad que se manifestaron a partir de los 45 días (Cuadro 5).

Cuadro 5 Consumo de agua en plantas de guayabo en función del nivel de salinidad en la solución nutritiva en un periodo de 120 días.

Salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	Consumo de agua (L/planta/semana) /días después de establecido el experimento							
	15	30	45	60	75	90	105	120
1.2	0.8167 a <sup>z</sup>	0.8467 a	0.6890 a	0.9167 b	0.9367 b	1.6667 a	0.9167 b	0.9167 b
2.0	0.7500 a	0.7500 a	0.7034 a	0.7500 b	0.7514 b	0.7500 b	0.7500 b	0.7500 b
2.5	0.7833 a	0.5833 a	0.8092 a	1.5833 a	1.5793 a	1.5833 a	1.5833 a	1.5983 a
3.0	0.8333 a	0.8333 a	0.7184 a	0.8333 b	0.8343 b	0.8132 b	0.8471 b	0.8471 b
3.5	0.5603 a	0.5603 a	0.5505 a	0.5603 b	0.5833 b	0.5831 b	0.5838 b	0.5138 b
C.V. <sup>x</sup>	38.4540	37.8158	35.5417	35.2650	35.2650	39.5237	35.2650	36.5421
DMS <sup>y</sup>	6.1339	3.0188	0.5584	0.5686	0.5686	0.7397	0.5686	0.5686

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05). <sup>y</sup>C.V.: coeficiente de variación. <sup>x</sup>DMS: diferencia mínima significativa.

Es notorio que las plantas que consumieron más agua fueron las que se cultivaron en CE de 2.5 dS m<sup>-1</sup>. Las raíces pueden absorber la sal del suelo para aumentar la presión osmótica a través de la pared celular, lo que aumenta la capacidad de absorber el agua y prevenir la salinización porque la planta acumula sales en las raíces y las hojas (Zhuang *et al.*, 2011).

El estrés salino altera las relaciones hídricas de las plantas pues produce sequía osmótica (Zhu *et al.*, 2002). De acuerdo a Casierra-Posadas *et al.* (2006). La disminución en la transpiración en las plantas cultivadas en concentraciones más altas de salinidad puede deberse a que las plantas reducen la transpiración para evitar la absorción excesiva de iones tóxicos y su acumulación en los tejidos. Estos autores encontraron en plantas de guayabo de tres meses del cultivar Cimpa 00916 propagado por semilla, un ligero incremento en la evapotranspiración (0.03 %) a 2.0 mM de NaCl Kg<sup>-1</sup>, en concentraciones mayores, de 4.0, 6.0 y 8.0 mM la evapotranspiración se redujo.

Las diferencias en la respuesta en consumo de agua en las concentraciones utilizadas en este trabajo pueden ser debidas a que ésta puede variar dependiendo de la duración y cantidad del periodo de estrés, así como la etapa de desarrollo en que se encuentre la planta (Willandino y Camara, 2005; Munns y Tester, 2008; Ruíz *et al.*, 2014).

### **5.3 Contenido de clorofila**

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 4) No se encontraron diferencias en el contenido de clorofila en la hoja entre los tratamientos de salinidad; sólo se encontraron diferencias en la tercera evaluación, debidas al genotipo. Esto significa que el comportamiento de los genotipos en el tiempo difiere.

El resultado de la prueba de medias para el contenido de clorofila se observa en el cuadro 6.

En las evaluaciones, la variedad Siglo XXI no disminuyó el contenido de clorofila mientras que, el contenido de clorofila en la selección Merita disminuyó en la tercera evaluación. Al contrario de lo discutido por Argentel *et al.* (2009), quienes encontraron en el cultivar de trigo C-204 que el contenido de clorofila disminuyó en la medida que se incrementaron las concentraciones salinas desde 0.02, 4.0, 8.0 hasta 12.0 dSm<sup>-1</sup>, tanto en la fase vegetativa como reproductiva.

Cuadro 6. Contenido de clorofila en genotipos de guayabo a los 99, 106, y 113 días después de establecido el experimento.

Genotipo	Contenido de clorofila (unidades SPAD)		
	Días después de establecido el experimento		
	99	106	113
Siglo XXI	42.2933 a <sup>z</sup>	39.2267 a	36.3533 a
Merita	42.0400 a	39.0867 a	32.7400 b
C.V. <sup>y</sup>	3.9790	6.5392	6.9812
DMS <sup>x</sup>	1.278	1.9501	1.8371

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ). <sup>y</sup>C.V.: coeficiente de variación. <sup>x</sup> DMS: diferencia mínima significativa.

Sin embargo, otros autores atribuyen el descenso en la actividad fotosintética a las relaciones hídricas en la planta en condiciones de salinidad. Tabatabaei (2006) encontró en *Olea europaea* L. que el incremento en la concentración de NaCl en el medio en que se desarrollan las raíces disminuyó la fotosíntesis; pero relacionó este efecto al incremento de la resistencia al flujo de agua hacia el interior de la planta. De manera similar, Rajiput *et al* (2015) en *Populus euphratica* concluyeron que los tratamientos de sal redujeron la apertura estomática y por tanto la capacidad fotosintética de la hoja.

Es importante considerar que si se presentó disminución en el contenido de clorofila en un genotipo en la tercera evaluación por lo que se observa que la respuesta al estrés depende del genotipo y del tiempo que permanecen las plantas en condiciones de estrés (Tester y Davenport, 2003) lo que podría explicar la



disminución en el tiempo, del contenido de clorofila en hojas de guayabo en la selección Merita observada en este trabajo.

#### 5.4 Vida media de la hoja

El resultado de la prueba de medias para vida media de la hoja se muestra en el cuadro 7.

Se observa que la vida media de las hojas disminuyó significativamente conforme se incrementó la concentración de sal en el medio. En comparación con el tratamiento testigo (1.2 dS m<sup>-1</sup>) la vida media de la hoja disminuyó 16.17 % en CE de 2.5 dS m<sup>-1</sup>, en 28.76 % en CE de 3.0 dS m<sup>-1</sup> hasta 42.69 % en la mayor CE (3.5 dS m<sup>-1</sup>).

Cuadro 7. Vida media de la hoja en plantas de guayabo en diferentes condiciones de salinidad.

Salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	Vida media de la hoja (Días a caída)
1.2	74.17 a <sup>z</sup>
2.0	71.67 a
2.5	62.17 b
3.0	52.83 c
3.5	42.50 d
C.V. <sup>y</sup>	6.967
DMS <sup>x</sup>	12.221

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05). ).

<sup>x</sup>C.V.: coeficiente de variación. <sup>y</sup>DMS: diferencia mínima significativa.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Plaut *et al.* (2000) quienes encontraron que la salinidad incrementó el área foliar necrosada y la senescencia de la hoja en *Saccharum officinarum* L.

Los días a caída de hojas en los diferentes tratamientos fue menor a lo reportado por Kumar y Pardey (1979). Estos autores, encontraron que la estabilización de nutrientes y procesos ocurrió de los cinco a los siete meses de emergida la hoja;

además, el contenido de materia seca en las hojas, se incrementó con la edad y con la posición desde la base hacia la parte terminal de la rama.

## 5.5 Área foliar

El resultado del análisis de varianza para las variables tomadas al final del experimento se muestra en el cuadro 8.

No se encontraron diferencias en el área foliar de cinco hojas ni entre genotipos, ni debido a los tratamientos de salinidad.

Se considera que el área foliar puede ser afectada por la salinidad, sin embargo, la respuesta depende de los genotipos y su grado de tolerancia. Ali *et al.* (2004) encontraron en arroz cultivado en suelo salinizado con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, MgCl<sub>2</sub> y CaCl<sub>2</sub> en proporción de 10:4:1:5, para simular las condiciones del desierto, y conductividad eléctrica de 8.5 dSm<sup>-1</sup>, que la salinidad redujo el área foliar de las plantas en diferente proporción dependiendo del genotipo, desde 49.75 % a únicamente 8.62 %.

Cuadro 8. Resultado del análisis de varianza para las variables: área foliar, número de hojas, materia fresca y seca de hoja, tallo y raíz, volumen y longitud de raíz en dos genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.

Variable	Media	C.V. <sup>z</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo* Salinidad
Área foliar	244.6380	14.8660	0.5952	0.1922	0.7860
No. De hojas	122.5167	46.7485	0.1019	0.2930	0.9844
Longitud de raíz	34.7833	33.8867	0.1403	0.9955	0.8600
Volumen de raíz	88.3703	70.5956	0.6863	0.8443	0.9223
Materia fresca hojas	169.1130	52.7854	0.1200	0.3187	0.8892
Materia fresca tallo	215.2893	44.3197	0.0959	0.8152	0.8675
Materia fresca raíz	95.9286	62.8491	0.3733	0.9069	0.4012
Materia seca hoja	55.3781	61.3400	0.4823	0.2199	0.3442
Materia seca tallo	100.7477	31.5800	0.0315	0.0210	0.0332
Materia seca raíz	26.8672	68.8800	0.0114	0.6216	0.7673

<sup>z</sup>C.V. Coeficiente de variación.

## 5.6 Número de hojas

No se encontraron diferencias en el número de hojas en las plantas debidas al genotipo o a las condiciones de salinidad (Cuadro 8).

Aunque se considera que se la salinidad provoca decremento en el crecimiento de las plantas, esto depende de la tolerancia que presente la especie. Kumar *et al.* (2014) encontraron en girasol cultivar Suntech, cultivado en sustrato salinizado con mezclas de cloruro de sodio, cloruro de calcio, y sulfato de sodio en relación 7:2:1 y conductividades eléctricas de 0, 5, 10, 15,20 y 25 dS m<sup>-1</sup>, un ligero incremento en el número de hojas, área foliar y peso seco de brotes y raíces a los 30, 60 y 90 días, en CE de 5 dS m<sup>-1</sup> y lo atribuyen a resistencia a ese nivel de salinidad.

## 5.7 Materia fresca

En el cuadro 8 se observa el resultado del análisis de varianza para esta variable. No se encontraron diferencias debidas al genotipo a la salinidad.

Se considera que, debido a la disminución de la absorción de agua causada por la salinidad, el contenido de materia fresca es más afectada que la materia seca, y esto resulta en menor tamaño y, en ocasiones, menor número de hojas (Al-Maskr *et al.*, 2010). En este trabajo el número y área foliar de las hojas no fue afectada, lo que demuestra que los genotipos evaluados presentaron cierta tolerancia a las condiciones salinas en las conductividades eléctricas evaluadas.

## 5.8 Materia seca

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 8) Se encontraron diferencias en materia seca en raíz debida a genotipo e interacción en materia seca del tallo entre genotipo y salinidad.

En relación a materia seca por genotipo (Cuadro 9) se observa que Siglo XXI acumuló mayor cantidad de materia seca que Merita en tallo y raíz.

Cuadro 9. Acumulación de materia seca en hoja, tallo y raíz en plantas de dos genotipos de guayabo.

Genotipo	Materia seca (g)		
	Hoja	Tallo	Raíz
Siglo XXI	59.21 a <sup>z</sup>	113.29 a	35.76 a
Merita	51.54 a	88.20 b	17.96 b
DMS <sup>y</sup>	25.876	24.236	13.688
C.V. <sup>x</sup>	61.345	31.583	66.889

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ). ).

<sup>y</sup>C.V.: coeficiente de variación. <sup>x</sup>DMS: diferencia mínima significativa.

La interacción entre genotipo y la salinidad en el contenido de materia seca de tallo se muestra en la figura 2. Se puede observar que la respuesta a las condiciones de salinidad varió entre genotipos.

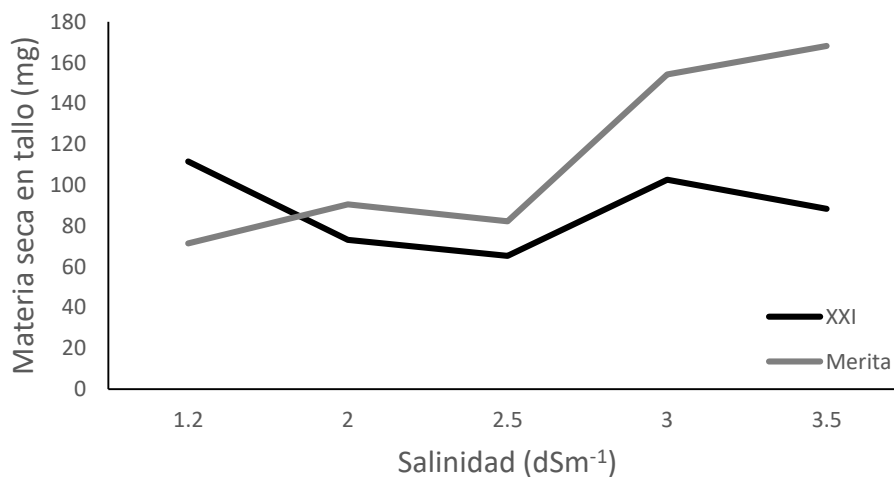


Figura 2. Interacción entre genotipo y la salinidad en la acumulación de materia seca en tallo.

Esto puede ser explicado por las diferencias en las características genotípicas que, por mínimas que sean, pueden causar diferencias relacionadas con el aumento de la tolerancia al estrés salino (Yeo, 1995).

#### 5.4 Concentración de nutrientes en hoja y raíz

En el cuadro 10 se muestra el análisis de varianza para concentración de fósforo, potasio, calcio y sodio en hoja y raíz de los genotipos de guayabo cultivados en diferentes condiciones de salinidad. No se presentaron interacciones entre el genotipo y las condiciones de salinidad (Cuadro 10).

Se encontraron diferencias entre genotipos en la concentración de fósforo y calcio en hoja y para salinidad en potasio y sodio en hoja y potasio en raíz.

Cuadro 10. Resultado del análisis de varianza en la concentración de fósforo, potasio, calcio y sodio en hoja y raíz en genotipos de guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.

Variable	Media	C.V. <sup>z</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo* Salinidad
<b>Hoja</b>					
Concentración de P	0.1206	17.2278	0.0167	0.6809	0.3294
Concentración de K	2.4810	18.6705	0.9179	0.0291	0.2478
Concentración de Ca	0.8988	43.1710	0.0437	0.7595	0.9938
Concentración de Na	6.6199	40.1661	0.5859	0.0019	0.6524
Relación K/Na	1.0651	40.9915	0.8958	0.0547	0.9001
<b>Raíz</b>					
Concentración de P	1.2118	31.35	0.2894	0.5144	0.7003
Concentración de K	0.9677	28.28	0.1851	0.0010	0.2007
Concentración de Ca	1.4478	30.43	0.8170	0.8604	0.2347
Concentración de Na	1.2551	40.09	0.5529	0.1056	0.2154
Relación K/Na	0.5731	40.44	0.2693	0.0009	0.3702

<sup>z</sup>C.V.: coeficiente de variación.

En el cuadro 11 se observa el efecto del genotipo en la concentración de los nutrientes evaluados en hojas y raíz. La selección 'Merita' presentó mayor

concentración de fósforo, así como mayor concentración de Ca en la hoja que el cultivar Siglo XXI. En el caso de la concentración de nutrientes en raíz, no se encontraron diferencias entre genotipos.

Cuadro 11. Concentración de fósforo, potasio, calcio, sodio y relación K/Na en hojas y raíz en plantas de dos genotipos de guayabo.

Órgano	Genotipo	P (%)	K (%)	Ca (%)	Na (%)	Relación K/Na
Hoja	Merita	0.1306 a <sup>z</sup>	2.4900 a	1.0514 a	6.8907 a	1.0844 a
	Siglo XXI	0.1106 b	2.4200 a	0.7463 b	6.3493 a	1.0458 a
	DMS	0.1447	0.3531	0.2956	2.025	0.6084
	C.V. <sup>x</sup>	17.3875	18.6705	43.1710	40.1661	40.9915
Raíz	Merita	1.2874 a	1.0300 a	1.4667 a	1.3124 a	0.6581 a
	Siglo XXI	1.1363 a	0.8900 a	1.4290 a	1.1980 a	0.4882 a
	DMS <sup>y</sup>	0.2894	0.2085	0.8479	11.9543	0.3119
	C.V. <sup>x</sup>	31.3581	28.2807	30.4320	40.0985	40.4403

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ). <sup>y</sup>DMS: diferencia mínima significativa. <sup>x</sup>C.V.: coeficiente de variación.

Esto difiere de lo encontrado por Guerra y Bautista (2002) quienes reportan la misma concentración foliar de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu y Mn en tres clones de guayabo: Mara 4, Mara 6 y Mara 8. Estos autores reportan concentraciones de fósforo de 0.18 %; de potasio de 1.27 a 1.25 %; calcio de 1.62 a 1.67 %. Diferentes a lo encontrado en esta investigación (Cuadro 11), ya que, en los dos materiales probados, la concentración de fósforo fue menor, el de potasio casi el doble y en el caso de calcio se encontraron valores muy inferiores, especialmente en el cultivar Siglo XXI que presenta concentración foliar de casi la mitad de lo reportado por estos autores. Es importante resaltar que la concentración de potasio en hoja reportado está muy por debajo de los valores encontrados en este trabajo con una media de 2.46 %

El resultado de la prueba de medias para el porcentaje de los nutrientes evaluados en hojas y raíz en las diferentes condiciones de salinidad se muestra en el cuadro 12.

Se observa que la que a medida que se incrementó la salinidad, también se incrementó la concentración de Na<sup>+</sup> en la hoja (Cuadro 12).

Las plantas transportan Na<sup>+</sup> a las hojas como un mecanismo de eliminación de sales (Raiput *et al.*, 2016) y la toxicidad por Na<sup>+</sup> pudo ser la causa de que se acelerara la senescencia de las hojas.

Cuadro 12. Concentración de fósforo, potasio, calcio y sodio en hojas, en guayabo cultivado en diferentes condiciones de salinidad.

Órgano	Salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	Concentración				
		P (%)	Ca (%)	K (%)	Na (%)	K/Na
Hoja	1.2	0.1283 a <sup>z</sup>	1.0282 a	2.8477 a	3.1939 c	1.7826 a
	2.0	0.1133 a	1.0033 a	2.6049 ab	5.2236 bc	1.2834 ab
	2.5	0.1183 a	0.8458 a	2.6490 ab	6.0924 abc	1.1886 ab
	3.0	0.1266 a	0.8126 a	2.3620 ab	8.4202 ab	0.6856 ab
	3.5	0.1166 a	0.8043 a	1.9426 b	10.1623 a	0.3853 b
	DMS <sup>y</sup>	0.3283	0.6704	0.8008	1.2345	1.3799
	C.V. <sup>x</sup>	17.9801	43.1310	18.6705	40.1661	40.9915
Raíz	1.2	0.9727 a	1.3515 a	1.3716 a	0.8880 a	1.3510 a
	2.0	1.2183 a	1.3724 a	1.1430 ab	1.0686 a	0.5161 b
	2.5	1.2438 a	1.4039 a	0.8001 bc	1.2341 a	0.4620 b
	3.0	1.2754 a	1.5296 a	0.9144 abc	1.3696 a	0.3147 b
	3.5	1.3491 a	1.5820 a	0.6096 c	1.7157 a	0.2220 b
	DMS <sup>y</sup>	0.6565	0.4233	0.4728	0.8966	0.7074
	C.V. <sup>x</sup>	31.3588	30.4320	28.2807	40.0958	40.4403

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05).

<sup>y</sup>DMS: diferencia mínima significativa. <sup>x</sup>C.V.: coeficiente de variación.

El transporte de sodio hacia las hojas queda en evidencia cuando se observa que. no se presentó incremento de Na<sup>+</sup> en raíz en las diferentes condiciones de salinidad. Aunque las plantas presentan una selectividad alta de K<sup>+</sup> con respecto a Na<sup>+</sup> (Goldhamer y Viveros, 2000), en condiciones salinas el Na<sup>+</sup> compite con el K<sup>+</sup> en los cotransportadores Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>; y también puede bloquear transportadores específicos de K<sup>+</sup> de las células de las raíces en condiciones salinas (Zhu, 2003). Esto ocurre independientemente de si la solución está dominada por sales sódicas de iones cloruro (Belkheiri y Mulas, 2013).

El transporte de Na<sup>+</sup> a las hojas observado en este estudio puede ser un mecanismo que permite mantener un adecuado suministro de agua por la raíz al evitar la competencia por los cotransportadores Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> (Zhu, 2003).

Se observa en el cuadro 12 que a medida que se incrementaba la concentración de  $\text{Na}^+$  en hoja disminuyó la concentración de potasio. Sin embargo, con una CE de  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  la concentración de  $\text{K}^+$  en hoja disminuyó únicamente  $6.98 \%$  y es estadísticamente igual al testigo (CE de  $1.2 \text{ dS m}^{-1}$ ); mientras que en raíz, en esa CE, la disminución fue de  $41.67 \%$  a partir de los  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  y llegó al  $55.55 \%$  a los  $3.5 \text{ dSm}^{-1}$  en comparación con el testigo. Esto significa que, junto con el  $\text{Na}^+$ , la planta transportó el  $\text{K}^+$  hacia las hojas manteniendo los niveles adecuados de iones  $\text{K}^+$ , esenciales para la supervivencia de las plantas en condiciones salinas (Belkheiri y Mulas, 2013).

En el caso de plántulas del cultivar Safeda, cultivadas en condiciones salinas, Singh *et al.* (2016) encontraron incremento de aproximadamente  $30 \%$  en la concentración de potasio en la hoja cuando el nivel de salinidad fue de  $1.4 \text{ dS m}^{-1}$  en comparación con CE menores y mayores de  $0.5$ ,  $0.98$  y  $2 \text{ dS m}^{-1}$  y lo atribuyen a una absorción diferencial de nutrientes que permite a la planta mantener sus procesos metabólicos.

En éste caso la concentración de potasio que presentan las hojas es alta ( $2.48 \%$ ) en comparación con lo reportado en otros genotipos (desde  $1.25$  a  $1.27 \%$  en los cultivares Mara 4, 6 y 8;  $1.32$  a  $1.62 \%$  en Trujillo) lo que indica transporte preferencial de  $\text{K}^+$  hacia las hojas y esa pudo ser la razón por la que las plantas mantuvieron las condiciones necesarias para los procesos metabólicos y no manifestaran diferencias en la mayoría de las variables evaluadas, incluyendo los nutrientes, ya que la salinidad no afectó la concentración de fósforo y calcio en hojas o raíces.

Se considera, que las sales en la rizosfera pueden provocar desbalance nutrimental, por desbalance iónico causado por acumulación de sodio y Cloro en las células, que reduce la absorción de nutrientes como potasio, calcio y manganeso (Karimi *et al.*, 2009; Belkheiri y Mulas, 2013) así como de  $\text{PO}_4^{3-}$  (Nawaz *et al.*, 2010), sin embargo, en este caso, la concentración de potasio en la hoja solo presentó diferencias en la mayor concentración de sales ( $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) y en raíz a partir de los  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  y no tuvo influencia en el porcentaje de fósforo o calcio en hoja y raíz.



La disponibilidad de potasio para contrarrestar el efecto de la salinidad es importante e incluso, se ha propuesto que, para atenuar el efecto adverso de las sales en el rendimiento del cultivo, se utilice la fertilización potásica, la cual permite regular la competencia por los nutrientes que provoca el ion  $\text{Na}^+$  (Munns *et al.*, 2005). El potasio es activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis, respiración, síntesis de almidón, proteínas y está involucrado en el transporte de fotoasimilados (Swietlik, 2003). Además, el K es un ion que desempeña un papel fundamental en la osmorregulación celular, y su deficiencia produce pérdida de turgencia y marchitamiento, más acentuado cuando hay déficit hídrico (Bonilla, 2000). Así, de acuerdo con Samra y Arora (1997), el potasio alivia las condiciones de estrés y mejora la calidad y duración del cultivo.

En cuanto a la relación K/Na no se encontraron diferencias entre genotipos (Cuadro 11) pero sí para salinidad.

La relación media K/Na en hoja fue de 1.0651; mientras que en raíz fue de 0.5731 (Cuadro 11). Se considera que los genotipos tolerantes a salinidad generalmente muestran una mayor relación K/Na en los brotes y menor en las raíces (Bağci *et al.* 2007) y esto puede ser respaldado por la falta de diferencias encontradas en la mayoría de las variables en este trabajo.

Se observa en el cuadro 12 que en hoja la relación K/Na solo presentó diferencias en la concentración de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$ ; mientras que en raíz las diferencias se manifestaron desde  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$ .

El  $\text{K}^+$  es el ión más importante en la planta debido a que está implicado en el balance hídrico de la planta (Marschner, 2002), y, en condiciones salinas el  $\text{Na}^+$  compite con el  $\text{K}^+$  en los cotransportadores  $\text{Na}^+-\text{K}^+$ ; además de bloquear transportadores específicos de  $\text{K}^+$  de las células de las raíces en condiciones salinas (Zhu, 2003) mantener una adecuada relación K/Na es de suma importancia en la planta cuando se encuentra en condiciones de estrés por sales. Aunque Bağci *et al.* (2003) indican que se le debe dar más importancia a la absorción de K alta y después a la relación K/Na, esta relación puede ser afectada por diferencias no sólo en la absorción de  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ , sino en la distribución de estos elementos en brotes y raíces. En este caso, la

movilización del Na<sup>+</sup> hacia las hojas, donde se concentró mayor cantidad de K<sup>+</sup> mantuvo una relación K/Na en la raíz que permitió que las plantas mostraran mayor tolerancia a las condiciones de salinidad.

## 5.5 Densidad y longitud de estomas

En cuanto al número de estomas, el resultado del análisis de varianza se muestra en el cuadro 13. No se encontraron diferencias en el número y longitud de estomas entre genotipos, ni debidas a las condiciones de salinidad (Cuadros 2A y 3A).

Cuadro 13. Resultado del análisis de varianza para número y longitud de estomas en plantas de dos genotipos de guayabo cultivadas en diferentes condiciones de salinidad.

Variable	Media	C.V. <sup>x</sup>	Pr <sub>(0.05)</sub> >F		
			Genotipo	Salinidad	Genotipo*Salinidad
Densidad de estomas	3679.75	19.74078	0.3874	0.9558	0.9039
Longitud de estomas	4.4910	15.22011	0.8432	0.3945	0.4278

<sup>x</sup>C.V. Coeficiente de variación.

Rajput *et al.* (2015) regaron con agua adicionada con NaCl plantas de un año de *Populus euphratica*. La sal se acumuló en concentraciones de 0 a 200 mM. El análisis reveló que la densidad de estomas y el tamaño de la abertura del estoma se vio afectado de la siguiente forma. La menor densidad de estomas se encontró en el testigo, en concentración de sal de 0 mM, con 35 estomas mm<sup>-2</sup> y la mayor se obtuvo a 1.5 mM con 49.7 estomas mm<sup>-2</sup>. Sin embargo, la apertura estomatal se redujo de 29.03 µm a 0 mM a 16.89 µm en la concentración de 1.5 mM.

En este trabajo la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos pudiera ser explicada, a la tolerancia a sales debidas a la presencia de tricomas en las hojas en los genotipos de guayabo evaluados. Aunque en este trabajo no se consideró como variable la densidad de tricomas, la cantidad de tricomas presentes en las

hojas de guayabo dificultó mucho la toma de impresiones de estoma. La presencia de tricomas en las hojas se ha relacionado con la tolerancia a salinidad, debido a que disminuyen la difusión de gases (Quintana *et al.*, 2012).

Por último, la resistencia a salinidad se ha relacionado con la madurez del tejido, y aunque la salinidad afectó la germinación de guayabo (Casierra, 2006) y el desarrollo temprano de las plántulas (Sá *et al.* 2016) las plantas evaluadas obtenidas a partir de estacas maduras, presentaron mayor tolerancia a las CE evaluadas por un periodo de cuatro meses.

#### **IV. CONCLUSIONES**

El genotipo afectó el contenido de clorofila a los 113 días de establecido el experimento; la materia seca de tallo y raíz además la concentración de P y Ca.

Las plantas de guayabo obtenidas por enraizamiento de estacas no presentaron efecto significativo en el crecimiento vegetativo en los cuatro meses que duró el experimento; aunque, la senescencia de la hoja se aceleró con los niveles de salinidad probados. Genotipos con alto concentración de potasio en hoja y modificaciones en la concentración potasio en hoja y raíz, así como el transporte del sodio hacia las hojas pudo incrementar la resistencia a la salinidad en los niveles evaluados.

## V. LITERATURA CITADA

- Alcaraz, F. J. 2012. Salinidad y vegetación. En: Geobotánica. pp. 144-153  
Universidad de Murcia, España.
- Ali, Y., Aslam, Z., Ashraf M. Y. and Tahir, G. R. 2004. Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(3): 221-225.
- Al-Maskri, A., Al-Kharusi L. and Al-Miqbali, H. 2010. Effects of salinity stress on growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under closed-recycle nutrient film technique. *International Journal of Agriculture & Biology*, 12: 377–380
- Anshuman S., Ashwani K., Ashim D. and Sharma D. 2016. Growth and mineral nutrition in salt stressed guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda. *Journal of AgriSearch*, 3(1):21-25.
- Argentel, L., López, C., Fonseca, I., Girón, R., Gómez, E., González, L. M., López Aguilar, D. R. 2009. Contenido de clorofila e iones en la variedad de trigo harinero Cuba-C-204 en condiciones de estrés salino. *Cultivos Tropicales*, 30(4):00. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000400007&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400007&lng=es&tlng=es).
- Avilán, L., Leal, F. y Bautista, D. 1989. Manual de fruticultura cultivo y producción. Ed. Maracay, Venezuela.
- Bağci, S. A., Eküz, H. and Yilmaz, A. 2003. Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27:253-260

- Bağcı, S. A., Eküz, H. and Yilmaz, A. 2007. Salt Tolerance of Sixteen Wheat Genotypes during Seedling Growth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31: 363-372
- Bekheiri, O. y Mulas, M. 2013 Los efectos del estrés salino sobre el crecimiento, las relaciones hídricas y la acumulación de iones en dos especies de *Atriplex* halófitas. *Botanica Ambiental y Experimental*, 86: 17-28.
- Bhaskar, G., Bingru. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2014/701596>.
- Bidwell, R. G. S., 1993. *Fisiología Vegetal*. AGT Editores. México, D.F. 784 p.
- Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp. 103-141. En: Azcón-Bieto, J. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Calderón B., F., Dardón, D., Liu, Y. M. y Lin, H.L. 2000. Cultivo de guayaba tailandesa (*Psidium guajava* L). MAGA ICTA MITAC. Bárcenas, Guatemala 20 p.
- Casierra-Posada, F. 2006. Distribución y producción total de materia seca en guayabo (*Psidium guajava* L. cv. Palmira ICA-1) bajo estrés salino. *Revista Orinoquia*, 10(2):59-65
- Castillo-Martínez, R., Livera-Muñoz, M. y Márquez-Guzmán G. M. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*, 39:183-194.
- Cha-Um, S. and Kirdmanee, C. 2009. Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1):87-98
- Cooke, J.; Bourne, A., Medlyn, B. and Ellsworth, D. 2015. Plant traits and stomatal sensitivity to water deficit contribute to optimizing carbon-water economics in

- plants. In: British Ecological Society Annual Meeting 2015, pp. 13-16. Edinburgh, UK.
- Corwin, D. L., Rhoades, J. D. and. Simunek, J. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agriculture Water Management*, 90:165-108.
- De-Candolle, A. 1967. *Origen of cultivated plants*. Hafner Publishing Company. 468 p.
- Egamberdieva, D. and Lugtenberg, B. 2014. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to alleviate salinity stress in plants. In: *Use of microbes for the alleviation of soil stresses*. pp. 73-96. M. Miransari (ed.). New York. Springer.
- Fuentes, L. Sosa, M. y Pérez, Y. 2007. Aspectos fisiológicos y bioquímicos del estrés salino en las plantas. *Revista de la Universidad de Matanzas*, 55:31-39.
- García, M. A., Lin, H. y Chang, D. 2003. *El cultivo de la guayaba taiwanesa*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Andrés, El Salvador. 14 p.
- García-Morales, S., Gómez-Merino, F. C., Trejo-Téllez L. I. y Herrera-Cabrera, E. B. 2013. Factores de transcripción involucrados en respuestas moleculares de las plantas al estrés osmótico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (2):105-115.
- Goldhamer, D. and Viveros, M. 2000. Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science*, 19(3): 125–131.
- Gomez da Silveira, J. A. 2009. Saltinduced decrease in nitrate uptake and assimilation in cowpea plants. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 11(2):77-82.
- González, L. y Ramírez, M. 2002. Los suelos salinos y su utilización en la producción agrícola. *Alimentaria*, 339:103-107.

- Guerra, E., y Bautista, D. 2002. Contenido foliar de elementos nutricionales en tres clones de guayaba (*Psidium guajava* L.) en época de alta actividad de crecimiento. *Bioagro*, 14 (2), 99-104.
- Huang, B., DaCosta, M. and Jiang, Y. 2014. Research advances in mechanism of turfgrass tolerance to abiotic stresses: from physiology to molecular biology. *Critical Review in Plant Science*, 33(1-2):141-189.
- Karim, M. H. 2014. Agricultural water reforms versus climate changes. *Basic Research Journal of Agricultural Science Review*, 3(3):6-12.
- Karim, M. H. 2014. Agricultural water reforms versus climate changes. *Basic Research Journal of Agricultural Science Review*, 3 (3): 6-12.
- Karimi, G., Ghorbanli, M., Heidari, H., Khavari, R. and Assareh, M. H. 2005. The effects of NaCl on growth, water relations, osmolytes and ion content in *Kochia prostrata*. *Biologia Plantarum*, 41:301-304.
- Karimi, S., Rahemi, M., Maftoun, M. E. and Tavallali, V. 2009. Effects of long-term salinity on growth and performance of two pistachio (*Pistacia* L.) rootstocks. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3):1630-1639.
- Kumar P. y R. Pardey. 1979. Sampling for mineral content in leaves of guava cultivar Lucknow 49. *Scientia Horticulturae* 11:163-174.
- Kumar, S., Ahmad, A. Rao, V. and Masood A. 2015. Effect of salinity on growth and leaf area of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cv. Suntech-85. *African Journal of Agricultural Research*, 9(15): 1144-1150.
- Lamz Piedra, A. y González Cepero, M. C. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4): 31-42.
- Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg. 506 p.



- Mahajan, S. and Tuteja, N. Cold, 2005. salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444 (2):139-154.
- Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. Academic Press. 889 p.
- Martínez N., M., Vera H., P., Ruiz, M., Villalobos L., M., Arroyo B., A., Luna S., S. y Rosas C., F. F. 2018. Resistencia y tolerancia a estrés abiótico: Mecanismos sofisticados de adaptación de las plantas ante distintas condiciones de estrés. Frontera Biotecnológica, 5: 19-25.
- Mata, B. I. y Rodríguez, M. A. 1985. El Guayabo, Aspectos de su Cultivo y Producción. Editorial Trillas-UAAAN. Saltillo, México. 160 p.
- Mesa, D. 2003. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 37:217-226.
- Munns R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167:645-63.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: ringing them together. New Phytologist, 167(3):645-660.
- Munns, R. and James, R. A. Läuchli A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57:1025–1043
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59:651–681
- Murillo-Amador, B., Yamada S., Yamaguchi, T., Rueda-Puente, E., Ávila-Serrano, N., García-Hernández, J. L., López-Aguilar, R., Troyo-Diéguez, E. and Nieto-Garibay, A. 2007. Influence of calcium silicate on growth, physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress. Journal Agronomy Crop Science, 193:413-421.

- Nawaz, K., Hussain, K., Majeed, A., Khan, F., Afghan S. and Ali, K. 2010. Fatality of salt stress to plants: morphological, physiological and biochemical aspects. *African Journal of Biotechnology*, 9(34):5475-5480.
- Nilsen, E.T. y Orcutt. D. M. 1996. *Physiology of Plants Under Stress. Abiotic factors*. 2da Ed. John Wiley and Sons. New York, NY. 689 p.
- Núñez-Farfán, J., Fornoni, J. and Valverde, P. L. 2007. The evolution of resistance and tolerance to herbivores. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 38(1):541-566
- Padilla, R. J. S., González, G. E., Valadez, M. C. C., Esquivel. V. F. y Reyes, M. L. 1999. Tecnología para aumentar la productividad del guayabo en la región Calvillo-Cañones. Publicación especial No. 28. SAGAR-INIFAP-CIRNOC-CEPAB. 38 p.
- Pallardy, S. G. 2008. Transpiration and Plant Water Balance. In: *Physiology of Woody Plants (Third Edition)* pp. 325-366. Academic Press.
- Parida, A. y Das, A. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60(3) 324-3449.
- Plaut, Z., Meinzer, F.C. and Federman E. 2000. Leaf development, transpiration and ion uptake and distribution in sugarcane cultivars grown under salinity. *Plant and Soil*, 218:59-69.
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme K. J. and Jansen M. A. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in Plant Science*, 12(3):99-105.
- Quintana, C. G., Sanabria M. E., Ojeda M. G. y Valera, R. E. 2012. Efecto de la salinidad sobre a anatomía foliar y radical de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. 'Española roja'. *Pittieria*, 36: 87-108.
- Rajput, V. D., Chena, B Y., and Ayupa M. 2015. Effects of high salinity on physiological and anatomical indices in the early stages of *Populus euphratica* growth. *Russian Journal of Plant Physiology*, 62(2):229–236.

- Reyes P. J., Murillo A. B., Nieto G, A., Troyo D. E., Reynaldo E. I., Rueda P. E., y Cuervo A. J. 2014. Crecimiento y desarrollo de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 32(1):35-45.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual Núm. 60. 6ª (Ed.). Departamento de Agricultura de los EE. UU. Laboratorio de Salinidad. Limusa. México. 172 p.
- Roy, S., and Chakraborty, U. 2014. Salt tolerance mechanisms in salt tolerant grasses (STGs) and their prospects in cereal crop improvement. *Botanical Studies*, 55- 31. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1999-3110-55-31>.
- Ruiz E., F. H., Villalpando G., R. L., Murillo A., B., Beltrán M., F. A. y Hernández M., L. G. 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoamericana*, 32(4):311-323.
- Sá, F. V. da S., Nobre, R. G., Silva, L. de A., Moreira, R. C. L., Paiva, E. P. de, and Oliveira, F. A. de. 2016. Tolerance of guava rootstocks under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(12):1072-107.
- SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería, HN); DICTA (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, HN); PROMOSTA (Proyecto de Modernización de los Servicios de Transferencia de Tecnología Agrícola, HN); Banco Interamericano de Desarrollo. 2005. El Cultivo de la Guayaba (*Psidium guajava*) 5. HN. p. 3-8.
- Salas, J. A., Sanabria, M. E. y Pire, R. 2001. Variación en el índice y densidad estomático en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro*, 13(3):99-104.
- Samson, J. (1991). *Fruticultura Tropical*. Trad. B Gurza González. ed. México, D.F, Limusa. 396 p.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Atlas Agroalimentario 2012-2018 Consultado: 09-11-2018, en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Pratap S. V. and Mohan P. S. 2015. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3):407-426.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *Proceeding Sixth International Congress on Soilles Culture*. pp. 633-650. Wageningen. The Netherlands.
- Swietlik, D. 2003. Plant nutrition. In: *Concise Encyclopedia of Temperature Tree Fruit*. pp. 251-257. Baugher, T.A. y S. Singha (eds.). Food Product Press, New York, NY.
- Tabatabaei, S. J. 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Scientia Horticulturae*, 108(4):432-438.
- Tejada, M. and González, J. L. 2005. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. *European Journal of Agronomy*, 23:336-347.
- Tester, M. and Davenport, R. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91: 503-527.
- Trinchant, J. C., Boscari, A., Spennato, G., Van de Sype, G. and Le Rudulier, D. 2004. Proline betaine accumulation and metabolism in alfalfa plants under sodium chloride stress. Exploring its compartmentalization in nodules. *Plant Physiology*, 135:1583-1594.
- Valdés-Infante, D., Becker, B., Rodríguez, N., González, D., Sourd, J., Rodríguez, N., Billotte, A., Risterucci, E. and Ritter, W. 2003. Molecular characterization of Cuban accessions of guava (*Psidium guajava* L.), establishment of a first

- molecular linkage map and mapping of QTLs for vegetative characters. *Acta Horticulturae*, 775(12):57-349.
- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J., Corguera, L., Sisó, S. y Gil-Pelegrín, E. 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de sequía. En: *Ecofisiología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante*. pp. 163-190. Ministerio de Medio ambiente, EGRAF, S.A., Madrid.
- Villagra, P. E. 1997. Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal of Arid Environment*, 37: 261-267.
- Willadino, L. e Cámara. T. 2005. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas. In: *Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas*. pp. 127-137. R. Custodio, E. Araújo, L. Gómez, and U. cavalcante (eds.). MXM. Gráfica e editora. Recife, Pernambuco, Brasil.
- Yeo, A. 1998. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. *Scientia Horticulturae*, 78:159-174.
- Zhu, J. K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53: 247–273.
- Zhu, J. K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 441-445.
- Zhuang, L., Li, W., Yuan, F., Gong, W., and Tian, Z. 2010. Ecological adaptation characteristics of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* leaf microstructures in the lower reaches of Tarim River, *Acta Ecologica Sinica*, 30: 62–66.

## VII. APÉNDICE

Cuadro 1A. Efecto de la salinidad en el contenido de materia seca en hoja, tallo y raíz en plantas de guayabo

Concentración de sal (dSm <sup>-1</sup> )	Hoja	Tallo	Raíz
1.2	36.01 a <sup>z</sup>	91.48 ab	20.49 a
2.0	38.18 a	85.16 ab	28.87 a
2.5	55.48 a	73.81 b	24.27 a
3.0	65.34 a	125.68 ab	33.63 a
3.5	81.31 a	128.32 a	30.07 a
DMS <sup>y</sup>	22.3516	49.1234	4.1625
C.V. <sup>x</sup>	22.1525	29.4562	31.1624

<sup>z</sup>C.V. : Coeficiente de variación.

Cuadro 2A. Efecto del genotipo en la densidad y longitud de estomas en plantas de guayabo.

Genotipo	Numero de estomas por mm <sup>2</sup>	Longitud
Siglo XXI	7.3873 a	4.5160 a
Merita	7.0147	4.4660
DMS	1.0957	0.5206
C.V	19.9774	15.2201

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05).

<sup>y</sup>DMS: diferencia mínima significativa. <sup>x</sup>C.V.: coeficiente de variación.

Cuadro 3A. Efecto de la salinidad en la densidad y longitud de estomas en plantas de guayabo.

salinidad (dS m <sup>-1</sup> )	Numero de estomas por mm <sup>2</sup>	Longitud
1.2	6.9883 a	4.9450
2.0	7.5183 a	4.4767
2.5	6.8133 a	4.5500
3.0	7.4533 a	4.2650
3.5	7.2317 a	4.2183
DMS	2.4854	1.1809
C.V	19.9774	15.2201

<sup>z</sup>Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente (P≤0.05).

<sup>y</sup>DMS: diferencia mínima significativa. <sup>x</sup>C.V.: coeficiente de variación.