



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**  
**POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**

CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN IÓNICA EN  
NUEVE ACCESIONES DE AGUACATE  
REGADAS CON AGUA SALINA

**RAFAEL ROJAS ROJAS**

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2011

La presente tesis titulada: “**Crecimiento y distribución iónica en nueve accesiones de aguacate regadas con agua salina**”, realizada por el alumno: **Rafael Rojas Rojas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EDAFOLOGÍA**

### **CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



---

DR. JOSE ISABEL CORTÉS FLORES

DIRECTOR DE  
TESIS



---

DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ

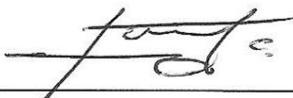
ASESOR



---

DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

ASESOR



---

M. C. DAVID JAEN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Noviembre de 2011

# CRECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN IÓNICA EN NUEVE ACCESIONES DE AGUACATE REGADAS CON AGUA SALINA

Rafael Rojas Rojas, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2011.

## RESUMEN

El presente estudio se realizó para conocer la respuesta en crecimiento y distribución iónica de nueve accesiones de aguacate, al estrés provocado por el riego con agua salina. Plantas originadas de semilla de las accesiones: Tochimilco S2, Criollo 38, Tepetl, Aquila S1, 257 PTB todas ellas de la raza Mexicana (var. *drymifolia*), Navideño y un Segregante de Hunucma de la raza Antillana (var. americana), Fuerte negro (Guatemalteco x Mexicano) y *Persea nubigena* 1/7 (*Persea nubigena* Will.), fueron trasplantadas, cuando tenían un año de edad, a una cama de siembra con suelo de textura franco arenoso y fueron manejadas bajo condiciones de invernadero en Chapingo, Estado de México. El diseño experimental fue completamente al azar con 9 tratamientos (accesiones) y 15 repeticiones. Semanalmente se regó por goteo con agua destilada, a la que se le agregó NaCl ( $1.8 \text{ g L}^{-1}$ ) y solución de nutrientes Steiner al 25%. La CE y el pH (ajustado con ácido sulfúrico concentrado) del agua de riego fueron de  $3 \text{ dS m}^{-1}$  y 5.5, respectivamente. Se cuantificó el incremento acumulado de altura, incremento del diámetro de tallo, número de hojas y porcentaje de plantas con necrosis. La intensidad de necrosis en la hoja se tomó como criterio para establecer un índice de necrosis, con valor de 1 para hojas normales y 5 para hojas con necrosis severa. Debido a la intensidad de la necrosis en las plantas por la toxicidad de Na y Cl, de cada accesión se estudió una planta con necrosis y otra sin necrosis, en cuanto a la distribución de Cl y Na en raíz, tallo (porción basal, intermedia y apical) y hojas (adultas y jóvenes). También se determinó la concentración de macronutrientes y micronutrientes en hojas adultas y jóvenes, concentración de prolina en ápices de tallo y raíces laterales así como el número de esporas de

micorriza presente en el suelo. En relación al crecimiento vegetativo e intensidad de necrosis, la accesión Navideño presento la mejor respuesta a la condición de agobio por el agua salina, 17 % de sus individuos mostraron hojas normales (índice 1), mientras que la accesión 257 PTB de la Raza Mexicana, var. *drymifolia* tuvo una respuesta inferior en crecimiento y fue la más sensible ya que el 74 % de sus individuos presentaron necrosis con intensidad severa (índice 5). El crecimiento vegetativo del Segregante de Hunucma se redujo pero mostro una respuesta favorable en términos de índice visual de necrosis. Se encontraron diferencias en la distribución de Na en raíz y tallo pero no en hojas. Las plantas con necrosis y sin necrosis en sus hojas presentaron concentraciones similares de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn y Mn. La concentración de Mg, Fe, y Cu estuvieron en un nivel tóxico. La prolina fue similar en ápices del tallo y raíces, así mismo el número de esporas para micorrizas nativas en el suelo de plantas con necrosis y sin necrosis.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill, riego, toxicidad, salinidad, recursos fitogenéticos

# **GROWTH AND IONIC DISTRIBUTION IN NINE AVOCADO ACCESSIONS IRRIGATED WITH SALINE WATER**

**Rafael Rojas Rojas, M. C.  
Colegio de Postgraduados, 2011.**

## **ABSTRACT**

This study was realized to know the response on growth and ionic distribution of nine avocado accessions to stress induced by irrigating with saline water. Plants obtained from seed of the accessions: Tochimilco S2, Criollo 38, Tepetl, Aquila S1, 257 PTB belong to the Mexican race (var. *drymifolia*), Navideño and Segregante of Hunucma from West Indian race (var. *americana*), Fuerte negro (Guatemalan x Mexican) and *Persea nubigena* 1/7 (*Persea nubigena* Will.), they were transplanted in a seedling bed with sandy loam soil under greenhouse conditions at Chapingo, Mexico State. A completely randomized design with nine treatments (accessions) and 15 repetitions was used. Weekly were irrigated with distilled water containing NaCl ( $1.8 \text{ g L}^{-1}$ ) and Steiner solution 25% with an electrical conductivity (EC) of  $3 \text{ dS m}^{-1}$  and adjusted the pH of 5.5 with sulfuric acid. Height and diameter stem cumulative increase; besides leaf number and leaf necrosis was quantified. The intensity of leaf necrosis was used as a criterion for establishing a necrosis index, with value of 1 (normal leaves) to 5 (leaves with severe necrosis). Due to necrosis intensity in the accessions by Cl and Na toxicity, from each one of the nine accessions was analyzed one plant without necrosis (index 1) and other with necrosis (index 5), Cl and Na concentration were determined in root, stem (basal, media and apical part) and leaves (young and mature). Also was quantified the concentration of macronutriments and micronutriments in young and mature leaves as well as proline in steam apex and roots and the number of spores of mycorrhiza in the soil. In relation to vegetative growth and intensity of necrosis, Navideño (var. *americana*) showed the best response, had 17 % of plants with normal leaves (index 1), while the accession

257 PTB (var. *drymifolia*) had low vegetative growth and was the most sensitive because 74 % of plants showed leaves with severe necrosis (index 5). Vegetative growth of *Hunucma Segregant* (var. *americana*) was reduced but showed a tolerant response in terms of percentage of plant with necrosis. There was difference in the distribution of Na in root and stem but not in the leaves. Plants with necrosis and without necrosis showed similar in the distribution for P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn y Mn. The concentration of Mg, Fe and Cu were in toxic level. The proline was similar in both stem apex and roots, besides of number of native spores in plants with and without necrosis.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill, irrigation, toxicity, salinity, fitogenetic resources

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS**

Por darme la vida, una familia y la oportunidad de superarme.

### **A MIS PADRES**

Miguel Rojas Mendoza y Bertha Rojas Buenrostro, por todo el apoyo incondicional durante mi formación personal y académica, por su ejemplo y por enseñarme que no importan las adversidades, con esfuerzo y dedicación cualquier meta se puede alcanzar.

### **A MIS HERMANOS**

Laura, Miguel Ángel, Teresa, Alma, Javier, Alejandra, José Manuel y Norma Angélica, por su apoyo y motivación para venir y cumplir mi meta.

### **A MARÍA FERNANDA**

Por ser alguien muy importante para mí y por todo el apoyo incondicional. Por todas las cosas que vivimos juntos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para la realización de los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de superarme.

Al Dr. Alfredo López Jiménez, por su paciencia y tiempo para la realización de este trabajo.

Al Dr. José I. Cortes Flores, por sus valiosas opiniones y acertadas sugerencias.

Al Dr. Alejandro Barrientos, por sus observaciones y sugerencias para el mejoramiento de mi trabajo.

Al M.C. David Jaen Contreras, por el apoyo en el laboratorio y su ayuda para la redacción.

A mis amigos; Lucas, Jorge, Isabel, Catalina y Rocío por todos los buenos y malos momentos que vivimos durante estos años. Gracias.

A Nicolás, Gerónimo, Alejandra y Violeta, por todas las cosas que pasamos juntos.

# CONTENIDO

## Página

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE</b> .....	<b>xii</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	3
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
Importancia del aguacate .....	4
Variabilidad genética del aguacate .....	4
Definición de salinidad .....	6
Problema actual y futuro de la salinidad .....	7
Manejo de suelos salinos .....	9
Tolerancia de las plantas a la salinidad .....	10
Movimiento de las sales en la planta .....	11
Alteraciones causadas por la salinidad.....	11
Relaciones salinidad-disponibilidad de nutrimentos .....	16
Síntesis de prolina.....	18
Micorrizas .....	20
Efectos de la salinidad en el aguacate.....	21
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
Localización del experimento .....	27
Material vegetal .....	27
Diseño experimental.....	28
Establecimiento y manejo del experimento.....	28
Variables de estudio .....	29
Incremento de altura de la planta.....	29
Incremento del diámetro de tallo .....	29
Número de hojas .....	29
Necrosis en hojas .....	30
Estado nutrimental .....	31
Concentración de Cl y Na en raíz, tallo y hoja. ....	34
Concentración de Cl y Na en el suelo .....	34

Conductividad eléctrica y pH del suelo .....	35
Concentración de prolina .....	35
Micorrizas en el suelo.....	36
Análisis estadístico .....	36
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
Incremento acumulado de altura de la planta .....	37
Incremento del diámetro de tallo .....	39
Número de hojas .....	41
Necrosis en la hoja .....	43
Distribución de Cl y Na en la planta .....	44
Concentración de Cl y Na en el suelo .....	47
Conductividad eléctrica y pH del suelo .....	48
Concentración de nutrientes en hojas.....	49
Concentración de prolina .....	54
Micorrizas nativas en el suelo .....	56
<b>V CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>VI LITERATURA CITADA .....</b>	<b>59</b>
<b>VII APÉNDICE .....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.</b> Niveles críticos de conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación del suelo .....	7
<b>Cuadro 2.</b> Distribución de suelos salinos en México .....	8
<b>Cuadro 3.</b> Accesiones de aguacate empleadas en este estudio y variedad botánica o especie a la que pertenecen. ....	28
<b>Cuadro 4.</b> Índice visual de necrosis en hojas de aguacate causado por la toxicidad de Cl y Na presentes en el agua de riego. ....	31
<b>Cuadro 5.</b> Incremento acumulado mensual de altura de planta de nueve accesiones de aguacate durante el periodo de diciembre 2009 a mayo 2010. ....	38
<b>Cuadro 6.</b> Respuesta de la accesión en el incremento de diámetro del tallo de accesiones de aguacate regados con agua salina. ....	40
<b>Cuadro 7.</b> Efecto de la accesión en el número de hojas de nueve accesiones de aguacate, regadas con agua salina. ....	41
<b>Cuadro 8.</b> Efecto del riego con agua salina en la acumulación de Cl y Na en el suelo. ....	47
<b>Cuadro 9.</b> Concentración de nutrimentos en hojas de diferente posición en plantas con necrosis y sin necrosis de nueve accesiones de aguacate, bajo la condición de riego con agua salina. ....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Efectos adversos y mecanismos de adaptación a la salinidad .....	14
<b>Figura 2.</b> Índice visual de necrosis en hojas de aguacate causado por toxicidad de Cl y Na aplicados con el agua de riego. ....	30
<b>Figura 3.</b> Porcentaje de plantas con necrosis en hojas de nueve accesiones de aguacate. ....	43
<b>Figura 4.</b> Concentración de Cl y Na (%) en A) hoja, B) tallo y C) raíz en plantas de aguacate sin necrosis y con necrosis. ....	45
<b>Figura 5.</b> Efecto del riego con agua salina en la conductividad eléctrica (CE) y pH del suelo. ....	49
<b>Figura 6.</b> Concentración de prolina en A) el ápice del tallo y b) raíces laterales de plantas de aguacate sin necrosis y con necrosis de diferente origen genético. ....	55
<b>Figura 7.</b> Número de esporas de micorrizas nativas en la rizosfera de plantas de aguacate sin necrosis y con necrosis. ....	57

## ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1A.</b> Distribución de Cl y Na (% peso seco) en hoja, tallo y raíz de aguacate de diferente origen genético. ....	72
<b>Cuadro 2A.</b> Relación Ca/Na y K/Na en plantas de aguacate de diferente origen genético. ....	72
<b>Cuadro 3A.</b> Distribución preferencial de nutrimentos en plantas con necrosis y sin necrosis de diferente origen genético por efecto de la toxicidad de Cl y Na .....	73

# I INTRODUCCIÓN

México es el principal productor y exportador de aguacate a nivel mundial con un total de 106,221 ha plantadas (SAGARPA-SIAP, 2009) y una producción de 1,124, 570 t (FAOSTAT, 2009), además es el país con mayor consumo *per cápita* cercano a 10 kg anuales (Coria-Ávalos, 1999).

La falta de agua para riego en las zonas productoras de aguacate, lleva a los productores a buscar fuentes alternas para el suministro del vital líquido. Una alternativa viable es la extracción de agua subterránea; sin embargo, dependiendo de las características de los suelos es probable que el agua contenga cantidades de sales no deseables; es decir, sea un agua de riego de mediana calidad. El riego continuo, incrementa la presencia de sales en el suelo debido a que la planta al absorber el agua, concentra las sales en la vecindad de la zona radicular.

El aguacate (*Persea americana* Mill.) está clasificado como una especie sensible a la salinidad (Bernstein *et al.*, 2004), lo cual provoca una reducción del crecimiento por la alteración de procesos fisiológicos como: fotosíntesis, ajuste osmótico, absorción y acumulación de iones y transporte de agua que ocasionan toxicidad y desbalance nutrimental (Parés *et al.*, 2008), e induce daños en hojas, frutos y raíces, inclusive la muerte prematura del árbol.

Se han llevado a cabo numerosos estudios relacionados con los efectos de la salinidad en frutales y se ha demostrado que el uso de portainjertos tolerantes es recomendable, debido a que confieren tolerancia a la variedad, mediante el mecanismo de exclusión de Na y Cl. La tolerancia a la salinidad difiere en el mecanismo; en algunas especies existen órganos o células específicas que le confieren dicha capacidad, otras acumulan solutos a nivel celular (Nuccio *et al.*, 1999), algunos de estos pueden ser solutos inorgánicos como K y orgánicos como azúcares, alcoholes y aminoácidos.

También se han realizado investigaciones en aguacate (Ben-Ya'acov and Michelson 1995) para encontrar portainjertos tolerantes a otros factores edáficos adversos; salinidad-alcalinidad, salinidad- aireación y salinidad-pudrición radicular, que limitan el cultivo en algunas regiones. Estos autores indican que los portainjertos de aguacate de la raza Mexicana y Antillana tolerantes a salinidad reducen la acumulación de Cl y Na en la parte aérea pero presentan algún grado de incompatibilidad con el cultivar por lo que resulta en una reducción del crecimiento y rendimiento.

En México, por ser centro de origen del aguacate, existe una gran diversidad de genotipos silvestres, debido a la amplia variedad de climas y al cruzamiento entre plantas (Barrientos y López-López, 2000), lo que provoca alta variabilidad en la respuesta de los árboles dentro de la misma raza a condiciones de estrés.

Por lo anterior, es pertinente continuar con la evaluación de germoplasma de la raza Mexicana y Antillana, con el objeto de identificar nuevos genotipos con mayor grado de tolerancia al riego con agua salina, que sirvan como base para formar una plataforma de mejoramiento genético y encontrar genotipos que en combinación con el cultivar tengan una mínima reducción de rendimiento.

## **Objetivos**

1. Estudiar el efecto del riego con agua salina en el crecimiento de nueve accesiones de aguacate provenientes del banco de germoplasma de alta elevación ubicado en la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S.C.
2. Estudiar la distribución de Cl y Na en diferentes órganos de la planta y su estado nutrimental, la concentración de prolina en ápices y raíces, así como la presencia de micorrizas en la raíz de aguacate en respuesta al riego con agua salina.

## **Hipótesis**

1. Debido a la variabilidad genética del aguacate, la respuesta del crecimiento al riego con agua salina depende del género, especie y raza.
2. El efecto del riego con agua salina tiene relación con la distribución de Cl y Na en la planta de aguacate, estado nutrimental, concentración de prolina, y presencia de micorrizas.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### Importancia del aguacate

A nivel mundial México es el principal productor de aguacate (*Persea americana* Mill), con una superficie de 129,354 ha y un rendimiento promedio de 10.13 t ha<sup>-1</sup>. Se cultiva en 27 estados del país; sin embargo, los principales productores son: Michoacán, Jalisco, Morelos, Nayarit, Edo. de México y Puebla (SAGARPA-SIAP, 2009). El aguacate es uno de los frutales de mayor interés en México, debido al beneficio económico que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores y trabajadores de campo. Su presencia en el mercado internacional ha crecido sostenidamente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse como parte de la dieta en la población de muchos países (Téliz y Marroquin, 2007).

### Variabilidad genética del aguacate

La variabilidad genética es importante en la conservación de especies silvestres y como fuentes de genes en plantas cultivadas (Weising *et al.*, 2005); para resistencia a factores adversos como: ataque de plagas o enfermedades, sequía y salinidad entre otros. Por lo tanto, los recursos genéticos del aguacate son fuentes de genes (caracteres) que pueden utilizarse para el mejoramiento genético de cultivares, portainjertos e interinjertos (Barrientos *et al.*, 2007; Stephen, 2002).

México posee una amplia diversidad de materiales criollos de aguacate, con al menos 20 diferentes especies emparentadas con este frutal. Esta diversidad es producto de las diferentes condiciones ambientales en las que se desarrollan, que le han conferido mecanismos que maximizan su entrecruzamiento, incrementando la variabilidad genética y la adaptación a un mayor número de ambientes (Barrientos y López-López, 2000). No obstante, en Michoacán ha disminuido la

producción de aguacates criollos, debido a que han sido injertados con la variedad Hass, lo cual ha generado pérdida de germoplasma, aun cuando existe la posibilidad de rescatar el material original mediante el despunte severo hasta el punto de unión con la variedad (Bellon *et al.*, 2009).

La diversidad morfológica y genética del aguacate, se presenta a nivel interespecífico (diferentes especies, dentro del mismo género) e intraespecífico (distintos tipos o variedades dentro de una especie), incluyendo no solo especies domesticadas y sus variantes, sino también parientes silvestres que contribuyen al reservorio de germoplasma (Bellon *et al.*, 2009).

Por lo antes mencionado, se puede mejorar el rendimiento, tolerancia a plagas y enfermedades, valor nutritivo, calidad y tolerancia a factores ambientales y edáficos (por ejemplo, salinidad), a través de portainjertos y variedades de aguacate.

En la selección de portainjertos, los fitomejoradores se concentran en la búsqueda de atributos que confieran mayor adaptación para un alto rendimiento de la variedad injertada. Esta selección es de gran importancia ya que puede resultar en el éxito o fracaso de una plantación. La selección de plantas de aguacate con características deseables para una cierta región permite la posibilidad de obtener un portainjerto que exprese un potencial superior a los provenientes de semilla caracterizados por presentar una amplia variabilidad genética y una producción alternada (Barrientos *et al.*, 2007).

Las características más buscadas en los portainjertos de aguacate son: resistencia a *Phytophthora cinnamomi* Rands, tolerancia a la salinidad, adaptación a suelos calcáreos, porte bajo del árbol y eliminación de la alternancia. El portainjerto, también influye en la incidencia de enfermedades y desórdenes internos del fruto de la variedad injertada (Newett *et al.*, 2002). Borys *et al.* (1985) sugieren una relación entre la alternancia de producción y las características del

portainjerto, debido a los componentes morfológicos del sistema radicular: longitud de la raíz principal y lateral, así como su diámetro y número.

La selección de plantas tolerantes es compleja debido a las interacciones de factores externos, por ejemplo: salinidad-pudrición radicular, salinidad-clorosis inducida por cal, salinidad-baja aireación (Wolstenholme, 2002).

### **Definición de salinidad**

La salinidad se define como la concentración de sales minerales en el suelo y agua. Las sales minerales constituyen una mezcla de electrolitos de cationes y aniones. En los suelos salinos predominan los cationes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ , y  $\text{K}^+$  y los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-$  (Laüchli y Lüttge, 2002).

La salinidad en el suelo y agua es reportada con parámetros universales como conductividad eléctrica (CE) o sólidos disueltos totales (SDT) y algunas veces como cationes solubles totales (CST) y aniones solubles totales (AST). La CE es un parámetro reportado en miliSiemens/cm (equivalente a  $\mu\text{mhos/cm}$ ) para salinidades bajas y deciSiemens/m ( $\text{dS/m}$ , equivalente a  $\text{mmhos/cm}$ ) para salinidades altas (Cuadro 1). Una solución salina ofrece poca resistencia al paso de la corriente eléctrica por lo tanto tiene mayor conductividad mientras que una solución con menor conductividad ofrece gran resistencia (Laüchli y Lüttge, 2002).

La salinidad potencial (SP) del agua de riego es uno de los mejores estimadores del efecto de las sales sobre las plantas. Cuando la humedad aprovechable del suelo disminuye a niveles inferiores del 50 %, las últimas sales que quedan en solución son los cloruros y parte de los sulfatos. La salinidad potencial es un índice para estimar el peligro de estas sales que quedan en solución, a bajos niveles de humedad y aumentan considerablemente la presión osmótica (Salazar-García, 2002).

**Cuadro 1.** Niveles críticos de conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación del suelo (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

CE (dS m <sup>-1</sup> )	Salinidad	Efectos
0-2	Ninguna	Ninguno
2-4	Ligera	Rendimientos restringidos en cultivos sensibles.
4-8	Mediana	Rendimientos restringidos en casi todos los cultivos.
8-16	Muy alta	Rendimientos satisfactorios sólo en cultivos tolerantes
16 o más	Extremadamente alta	Rendimientos sólo en cultivos sumamente tolerantes.

### **Problema actual y futuro de la salinidad**

Existen dos formas de salinización de suelos, por fenómenos naturales y por la acción del hombre. La salinización primaria de los suelos se produce por fenómenos naturales como la meteorización de roca con alto contenido de bicarbonatos, sulfato o cloruro de sodio, calcio o magnesio. Se estima que la salinización primaria afecta 3.23 millones de km<sup>2</sup> lo que representa el 26 % de la tierra cultivada del mundo. La salinización secundaria ocurre por la acción del hombre debido al manejo inadecuado del agua para riego, que lleva a la acumulación progresiva en el suelo de las sales disueltas en el agua de riego y afecta alrededor de un tercio de los 2.3 millones de km<sup>2</sup> de superficie regada del mundo (Cuartero *et al.*, 1995).

Según Tester y Davenport (2003) en el mundo existen 1.5 billones de hectáreas cultivadas y cerca del 5 % (77 millones) están afectadas por salinidad (Barkla *et al.*, 2007). Por su parte la FAO y UNESCO señalan que más de la mitad de las áreas de riego del mundo están sujetas a salinización secundaria producida por el uso de agua con altos contenidos de sales y cada año 10 millones de hectáreas son abandonadas por los efectos adversos de la salinidad en los cultivos (Pessarakli y Szabolcs, 1999).

En México, el 30 % de los 5.5 millones de hectáreas bajo riego están afectadas por sales (Barkla *et al.*, 2007). Ortega (1991) señala que estos suelos se localizan en siete zonas del país (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Distribución de suelos salinos en México (Ortega, 1991)

Zona	Sales comunes	Origen de la salinidad	Localización
Noroeste	NaCl y Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Salinización primaria, debido a la geomorfología, geoquímica y condiciones climáticas e hidrológicas. Salinización secundaria por efecto del riego con elevada concentración de sales.	Zonas áridas y semiáridas de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa.
Norte	Cloruros y sulfatos	Salinización primaria debido a procesos deltaicos de planicies aluviales, además del aumento de la salinización secundaria por efecto del riego agrícola.	Zonas áridas y semiáridas de Chihuahua, Durango y Zacatecas.
Noreste y Altiplano	CaSiO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , NaCl Na <sub>2</sub> y SO <sub>4</sub>	Salinización primaria debido a características geomorfológicas y geoquímicas de la región.	Zonas semiáridas del sur de Nuevo León, Tamaulipas y norte de San Luis Potosí.
Del Bajío	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Efecto del riego y la desecación de lagos como el de Cuitzeo en Michoacán.	Zonas semiáridas de Guanajuato, Michoacán y Querétaro.

...Continuación Cuadro 2

Zona	Sales comunes	Origen de la salinidad	Localización
Centro	Sulfática y Sulfática-clorhídrica	Deseccación del lago de Texcoco y Laguna del Carmen (Tlaxcala). Riego con aguas negras en el Valle del Mezquital.	Edo de México, Tlaxcala, Puebla y parte sur de Hidalgo.
Sur	Dato no reportado	Derivados de procesos artesianos (Surgencia de agua freática).	Valles centrales de Oaxaca
Costera	Sulfáticas	Salinización primaria de suelos ácidos.	Zonas costeras de Colima y Nayarit

Wang *et al.* (2003) mencionan que la salinización de suelos cultivados tendrá un efecto devastador a nivel mundial, con una pérdida del 30% de suelos fértiles en los próximos 25 años y un 50 % para el año 2050.

### Manejo de suelos salinos

El aumento de la población mundial ha incrementado la demanda de productos agrícolas, siendo necesario el uso de suelos afectados por salinidad, por lo que resulta imperativa su recuperación.

Pessarakli y Szabolcs (1999) señalaron que una forma de recuperación de suelos salinos es mediante la lixiviación de sales fuera de la zona de crecimiento de las raíces a través de la aplicación de riegos, para lograr su efectividad se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: cantidad de agua aplicada, calidad del agua requerida y tiempo necesario para la recuperación del suelo. Las técnicas de lavado de suelos han reducido los problemas en algunos países, pero los costos e insumos de esta tecnología no están siempre disponibles. Sin embargo, Lahav (2003) menciona que se debe tener cuidado con el tipo de suelo

especialmente en suelos pesados para el aguacate ya que al aumentar la cantidad de agua puede provocar falta de aireación causando problemas de clorosis.

En los suelos con problemas de salinidad, la solución principal es la sustitución de cultivos sensibles por otros más tolerantes como la remolacha azucarera y espinaca. En el caso de frutales como aguacate el uso de portainjertos adaptados a condiciones de salinidad reduce los efectos negativos en la variedad injertada (Ben-Ya'acov, *et al.*, 1992).

Por otro lado, Avnimelech *et al.* (1994) encontraron que la aplicación de composta y otras fuentes de materia orgánica como estiércol y residuos de cultivos, tuvo una respuesta positiva en la recuperación de suelos salinos al mejorar las condiciones físicas y químicas, ya que aportan ácidos orgánicos que favorecen el intercambio de Na por Ca, estabilizan la estructura del suelo y mejoran el crecimiento de los cultivos.

### **Tolerancia de las plantas a la salinidad**

Los mecanismos de tolerancia a la salinidad son de dos tipos: aquellos que minimizan la entrada de sal a la planta y aquellos que minimizan la concentración de sales en el citoplasma (Munns, 2005).

La tolerancia a la salinidad en las plantas se define como el proceso evolutivo que confiere a distintas especies la capacidad de crecer y desarrollarse en ambientes con presencia excesiva de sales (Parida y Das, 2005). Yeo (1983), define la resistencia al estrés por sales como la habilidad de una planta para mantener el crecimiento y metabolismo bajo condiciones desfavorables. En general, las funciones metabólicas y enzimáticas en glicófitas y halófitas están influenciadas por la cantidad y el tipo de sales (Flowers *et al.*, 1977).

## **Movimiento de las sales en la planta**

El movimiento de sales absorbidas desde las raíces hacia las hojas es inducido por el flujo de agua producto de la transpiración. En las raíces, las sales siguen el flujo respiratorio moviéndose por el simplasto hasta llegar al xilema donde son interrumpidas por la endodermis cuya impermeabilidad de las células endodérmicas con suberina y lignina impiden el flujo libremente; sin embargo, en algunas especies como arroz existen sitios de acceso que permiten el paso de los iones y pueden continuar su curso en el flujo respiratorio vía apoplasto (Leidi y Pardo, 2002).

En el xilema, los sistemas de transporte pueden contribuir a la selectividad en el movimiento de iones hacia las hojas por medio de células especializadas. Una característica diferencial entre plantas tolerantes y susceptibles es la translocación de iones de la raíz a la parte aérea y la retranslocación desde la parte aérea hacia el ápice de la raíz con ayuda del antiporte  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  SOS1, el cual actúa principalmente en los tejidos vasculares y en la epidermis de tejido poco diferenciado cercano a la raíz, éste expulsa Na al medio de crecimiento a través del ápice de la raíz y continúa reabsorbiendo Na de los tejidos xilemáticos para reducir la acumulación producida por el flujo respiratorio (Shi *et al.*, 2002).

## **Alteraciones causadas por la salinidad**

La salinidad induce la reducción del crecimiento vegetativo por la alta concentración de solutos en la raíz y la toxicidad específica por la concentración de Na y Cl en la planta, causando una amplia variedad de alteraciones fisiológicas y bioquímicas que inhiben el crecimiento (Maggio *et al.*, 2004; Munns, 2005). Mientras la reducción del rendimiento es atribuido a un acortamiento de la vida de la hoja.

Bernstein *et al.* (1974), indicaron que la incidencia del necrosamiento debido a la salinidad es más importante que la tasa de crecimiento al determinar la tolerancia al estrés inducido por sales. Los daños en hojas y la supervivencia de plantas es el criterio principal para la determinación de la tolerancia a las sales (Francois, 1982).

El efecto en las raíces de las plantas, resulta en un menor alargamiento que afecta el crecimiento general de la planta al reducirse el volumen de suelo que pueden explorar (Almasoum, 2000). La variabilidad en la respuesta depende del cultivar o especie, los niveles de salinidad a que son expuestas y la duración del periodo de estrés.

Algunas plantas tienen mecanismos fisiológicos de translocación de sales y pueden ser retenidas en las hojas basales y tallo o dirigiendo las sales lejos de las hojas jóvenes y dirigiéndolas hacia las maduras (Munns, 2005).

Al ingresar el Na al citosol en las células de la raíz a través de transportadores, o a través de la vía apoplástica, se reduce la relación K/Na en el citosol, la cual en condiciones normales debe ser alta para el buen funcionamiento celular (Chinnusamy *et al.*, 2005). Una relación alta genera niveles tóxicos de Na y una insuficiente concentración de K para algunas reacciones enzimáticas y ajuste osmótico, dado que el K también es un soluto compatible. La toxicidad es causada por el reemplazo del K por Na en reacciones bioquímicas (Chinnusamy *et al.*, 2005). Se considera también que una alta relación K/Na mejora la tolerancia de las plantas a la salinidad (Hu y Schimdhalter, 2005). Es necesario una concentración de K y una relación K/Na apropiada en las células bajo condiciones salinas para un eficiente funcionamiento celular (Kafkafi y Bernstein, 1995).

La mayoría de las plantas excluyen cerca del 98 % de las sales en la solución del suelo permitiendo el transporte de solo el 2 % en el flujo del xilema hacia los brotes (Munns, 2005).

El mecanismo fisiológico de tolerancia a salinidad en halófitas, implica la acumulación de cantidades elevadas de sales en órganos no esenciales o reemplazables. Durante el proceso de crecimiento en condiciones salinas el contenido de clorofila disminuye regulando la cantidad de sales y almacenando el exceso en hojas senescentes, cuando la acumulación alcanza niveles excesivos inicia la degradación de clorofila induciendo la caída (Shonubi, 2010).

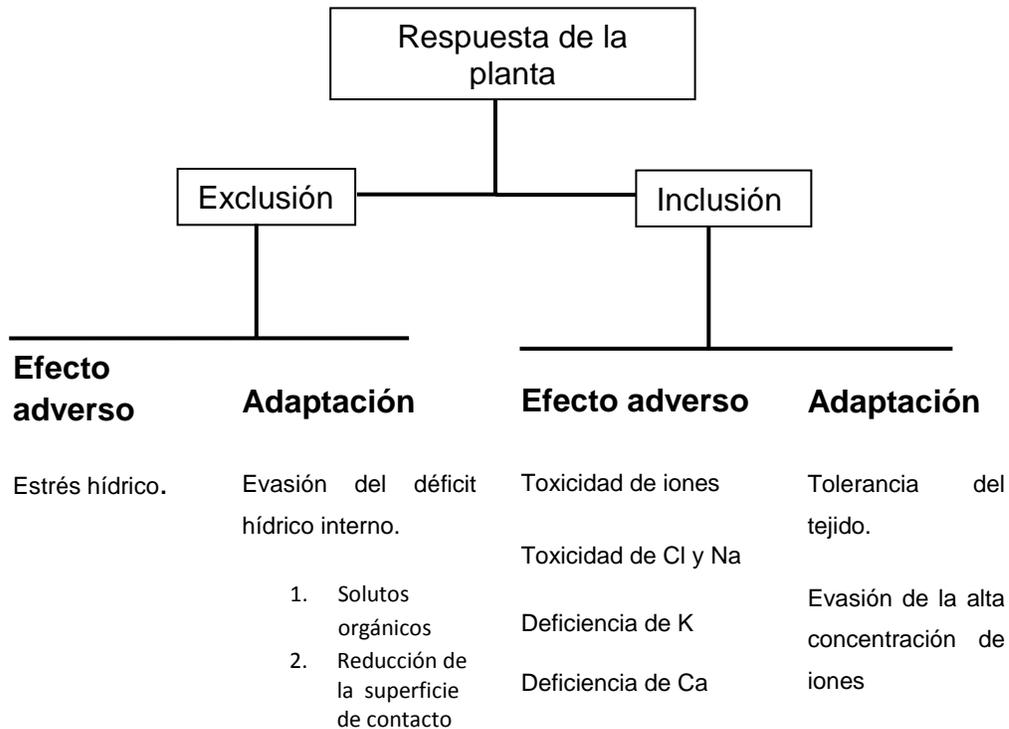
Shonubi y Okusanya, 2007, encontraron que la cantidad de Na y Cl en hojas caídas de la halófita *Paspalum vaginatum*, se incrementaba conforme aumentaba la concentración de sales en el medio de crecimiento y fue superior a la encontrada en hojas verdes, concluyendo que las especies también pueden remover sales del interior de la planta a través de las hojas maduras y mantener un balance óptimo en las jóvenes. Este mecanismo hace más tolerante a las especies para prosperar en condiciones salinas.

Los síntomas de toxicidad por Na aparecen en forma de quemadura o necrosis en hojas. Las concentraciones de Na en las hojas alcanzan niveles tóxicos después de varios días o semanas. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas y en sus bordes, a medida que se intensifica, la necrosis se desplaza progresivamente en el área intervenal, hacia el centro de las hojas. El aguacate es un árbol sensible a una concentración mayor a 15 % de Na intercambiable (Ayers y Westcot, 1987).

Las plantas se clasifican de acuerdo a la forma de tolerancia a la salinidad y pueden ser excluyentes o incluyentes (Figura 1). Para árboles injertados, la tolerancia se considera sí el Na o Cl es transportado hacia las hojas (Adaptado por Marschner 1995).

Los daños en las hojas son el resultado de la acumulación de niveles tóxicos de Cl y Na, desbalance de iones, estrés hídrico o deficiencia de nutrientes. El incremento de iones en la célula provoca cambios en la integridad de la

membrana. Las plantas son capaces de evitar o reducir los daños por estrés dependiendo del grado de adaptación determinado genéticamente (Marschner, 1995).



**Figura 1.** Efectos adversos y mecanismos de adaptación a la salinidad (Greenway y Munns, 1980).

De acuerdo a Shannon y Grieve (1999), las plantas responden al estrés salino disminuyendo la tasa de crecimiento, el número y tamaño de las hojas.

La presencia de sales en el suelo afecta negativamente el flujo de agua hacia la raíz, debido a una disminución en el movimiento del agua en el suelo y/o a la reducción de la conductividad hidráulica en las raíces, dando como resultado, el descenso de la permeabilidad y flujo de agua hacia la planta (Seaman, 2005).

Normalmente, la presión osmótica de la raíz presenta valores de 1 a 2.5 megapascales (MPa), mientras que en la solución de suelo es de alrededor de 0.1 a 0.2 MPa; de esta forma, las plantas pueden absorber agua y nutrientes del suelo

a través de las células de las raíces. Si la presión osmótica de la solución del suelo se incrementa a 0.4 MPa, la absorción de agua del suelo llega a ser difícil y el crecimiento de la planta se restringe, y si la presión osmótica se incrementa a 1 MPa, la mayoría de las plantas no crecen normalmente. Finalmente, si la presión osmótica de la solución del suelo aumenta a 1.5 MPa las plantas se marchitan y mueren (Li, 2010).

El diámetro estomático puede ser reducido cuando la concentración de sales es elevada en el suelo, esto dificulta la difusión de CO<sub>2</sub> en la planta afectando la fotosíntesis. La concentración de hormonas que inducen la apertura de estomas, es reducida, y la concentración de ácido abscísico, que regula la apertura de estomas se incrementa (Li, 2010).

La disminución en la absorción de agua resulta en la pérdida de turgencia de las hojas, seguida por un cierre de estomas, induciendo una baja transpiración y fotosíntesis. La necrosis foliar causada por los niveles tóxicos de sales en las hojas contribuye a la reducción del área fotosintética (Kumar *et al.*, 1994).

La pérdida de las hojas es crucial para la supervivencia. Si las hojas nuevas son producidas a mayor velocidad comparado con la muerte de las hojas maduras entonces habrá hojas fotosintéticamente activas para producir flores y semillas aunque en menor cantidad que en condiciones normales. Por otro lado, si las hojas viejas mueren antes de que las jóvenes se desarrollen, la planta no sobrevivirá (Munns, 2005).

En cuanto a los efectos nutrimentales, altas concentraciones de Na en la solución externa causan disminución en las concentraciones de K y Ca en los tejidos. Estas reducciones se pueden deber al antagonismo del Na y K por los sitios de absorción en las raíces, efecto del Na en el transporte al xilema o a la inhibición de los procesos de absorción (Hu y Schimdhalter, 2005). Una alta concentración de Na no sólo inhibe la absorción de nutrientes directamente por

interferencia con transportadores en la membrana plasmática de la célula de la raíz, tales como los canales selectivos de K, sino también por la inhibición del crecimiento de la raíz a causa del efecto osmótico del Na y a los efectos adversos del Na en la estructura del suelo (Tester y Davenport, 2003).

En condiciones salinas, la fertilización debe considerar el aporte de K y Ca, puesto que el Na presente en los suelos salinos, interfiere en la absorción del potasio; estos iones compiten por entrar a las células de las raíces, lo cual puede significar efectos negativos en el crecimiento (Goykovic y Saavedra, 2007). Otros investigadores (Hu y Schimdhalter, 2005) consideraron que la salinidad causa una deficiencia de nutrientes en las plantas debido a la competencia tanto del Na como del Cl con nutrientes tales como K, Ca y N en forma de  $\text{NO}_3$ .

La competencia de cationes puede influenciar el antagonismo del Cl impidiendo la absorción de  $\text{NO}_3$ . Kafkafi *et al.* (1992), encontraron que el Cl proveniente del  $\text{CaCl}_2$ , y no del KCl, inhibió la absorción de  $\text{NO}_3$  bajo condiciones semejantes a las de campo (arriba de  $60 \text{ mol/m}^3$ ). Esto ocurrió solo con una alta concentración de KCl ( $100 \pm 200 \text{ mol/m}^3$ ), la cual inhibió la absorción de  $\text{NO}_3$ . Estos autores concluyeron que el efecto de NaCl y KCl es similar, pero la inhibición de la absorción del  $\text{NO}_3$  por Cl es más pronunciada a bajos niveles de salinidad.

### **Relaciones salinidad-disponibilidad de nutrimentos**

Algunos autores (Bar-Tal *et al.*, 1991), han indicado que el aumento de  $\text{NO}_3$  en el medio de crecimiento de la raíz en dosis superiores a las óptimas, disminuyen la absorción y acumulación de Cl en hojas de aguacate y cítricos al reducir los daños foliares y disminuir la inhibición del crecimiento por efecto del Cl.

La disponibilidad de fosfatos es disminuida en suelos salinos no solo por el efecto iónico que reduce la actividad del fosfato sino también por las

concentraciones de fosfatos que están estrechamente relacionadas con los procesos de fijación y por la baja solubilidad de minerales (Sharpley *et al.*, 1992).

Bajo condiciones salino-sódicas o sódicas, los niveles altos de Na no solo interfieren con la absorción de K por las raíces, sino alteran la integridad de las membranas de las raíces y modifican su selectividad. Se han realizado numerosos estudios que muestran que la concentración de K disminuye cuando la salinidad del medio en la raíz se incrementa por NaCl (Grattan y Grieve, 1999a).

Cachorro *et al.* (1994), aplicaron Ca en un medio salino y observaron un incremento en la integridad de la membrana de la raíz, concluyendo que la eficiencia para corregir los efectos de la salinidad depende del cultivo, la concentración de Ca y la fuente de Na.

Ruiz *et al.* (1997), encontraron que la salinidad inducida por NaCl reduce el contenido de Mg en hojas de cítricos. Sin embargo, Bernstein *et al.* (1974), indicaron que un incremento en la salinidad no está relacionado con la disminución del contenido de Mg en hojas de remolacha azucarera y tuvo poco o nulo efecto en hojas de cinco cultivos hortícolas estudiados.

La salinidad induce deficiencias de Mn en tejidos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) pero cuando se adiciona a la solución de cultivo aumenta la tolerancia a la salinidad (Cramer y Nowak, 1992).

En suelos salino-sódicos, la solubilidad de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) es baja y las plantas frecuentemente presentan síntomas de deficiencia (Page *et al.*, 1990).

La aplicación de Zn mejora el crecimiento de plantas bajo estrés salino (El-Sherif *et al.*, 1990), presentando mejores respuestas en suelos sódicos que en suelos salinos o salinos-sódicos (Mehrotra *et al.*, 1986; Shukla y Mukhi, 1985).

## **Síntesis de prolina**

Para contrarrestar los efectos del estrés osmótico, las plantas han desarrollado mecanismos adaptativos los cuales pueden ser clasificados en cuatro categorías. Tres de ellas son: 1) características del desarrollo (por ejemplo, fecha de floración), 2) estructurales (hojas cerosas) y 3) mecanismos fisiológicos (capacidad de excluir sales manteniendo la absorción de agua y la compartimentación de sales en la vacuola). La cuarta categoría involucra respuestas metabólicas, tales como la alteración en el metabolismo fotosintético y la acumulación de solutos compatibles (Delauney y Verna, 1993).

Estudios bioquímicos han demostrado que las plantas sometidas a estrés salino acumulan ciertos metabolitos, denominados solutos compatibles ya que no interfieren con el metabolismo de la planta. La acumulación de estos solutos de bajo peso molecular contribuye a mantener la turgencia de la planta. Entre estos solutos compatibles, se encuentran la prolina y glicinbetaina que funcionan como osmoprotectantes. La acumulación de prolina es la modificación inducida por el estrés relacionado con los mecanismos de resistencia. La prolina también actúa como fuente de energía para regular los potenciales redox y reducir el estrés mejorando la actividad de las enzimas oxigenasa y carboxilasa de la Rubisco (Misra y Saxena, 2009).

Algunas plantas tienen la capacidad de sintetizar y acumular solutos, en el citoplasma como parte del mecanismo para aumentar la presión osmótica y mantener tanto la turgencia como el gradiente de conducción, para la absorción de agua (Nuccio *et al.*, 1999).

Los solutos compatibles, además tienen la función de proteger las estructuras celulares y reducir los daños oxidativos causados por los radicales libres, producidos por la presencia de salinidad. Sus componentes principales

comprenden azúcares, polioles, aminoácidos, amonios terciarios y cuaternarios y componentes sulfurados (Seaman, 2005).

La prolina es un aminoácido que en condiciones de estrés salino aumenta para actuar como un agente osmótico, protegiendo a las células del estrés. Al actuar como un mediador del ajuste osmótico, estabiliza las proteínas y membranas, además de inducir genes relacionados con el estrés salino (Khedr *et al.*, 2003).

Otra función de la prolina es la protección de la membrana de los tilacoides expulsando o reduciendo la producción de O<sub>2</sub>, su acumulación no solo se debe a la activación de la biosíntesis, sino también a la inactivación de su degradación. De esta forma se puede inferir que la prolina actúa en la expulsión de radicales libres y puede tener mayor importancia en la adaptación al estrés que actuando como osmolito (Reddy *et al.*, 2004).

Existen dos enzimas relacionadas con la síntesis de prolina:  $\gamma$ -glutamyl quinasa y fosfato reductasa, consideradas como enzimas del complejo P-5-C sintasa, debido a que catalizan y producen glutamina  $\gamma$ -semialdehído (GSA), la cual es convertida vía no enzimática a pirrolina-5-carboxilato. La biosíntesis de prolina es regulada por la actividad de la enzima P-5-C sintasa. La enzima prolina oxidasa influye en la acumulación de prolina ya que degrada la prolina a glutamato (Misra y Saxena, 2009).

El glutamato sufre una desaminación y entra rápidamente al ciclo de Krebs. La velocidad de catabolismo de prolina a glutamato supera la conversión de glutamato a prolina en secciones de raíces basales y apicales de maíz, lo cual sugiere que la prolina no es soluto inerte o fuente de carbono, sino que es activamente catabolizada en la mitocondria, sirviendo como una fuente reductante y de energía en el ápice de la raíz (Verslues y Sharp, 1999).

Las plantas también pueden sintetizar prolina a partir de ornitina, esto ocurre por dos rutas, involucrando la transaminización de ornitina (Delauney y Verna, 1993).

## **Micorrizas**

Con relación al mejoramiento y uso de plantas tolerantes a la salinidad, se ha reportado que la colonización de micorrizas puede aumentar la tolerancia al mejorar la nutrición mineral, potencial hídrico y algunas funciones fisiológicas tales como; tasa de intercambio de CO<sub>2</sub>, transpiración, conductancia estomática y eficiencia en el uso de agua (Asghari, 2008). La simbiosis con micorrizas arbusculares, modifica el movimiento del agua que se mueve dentro, a través y fuera de la planta hospedante, produciendo cambios en la hidratación de los tejidos y fisiología de la hoja (Augé, 2001).

Las micorrizas arbusculares son simbioses obligados benéficos, que forman una relación mutualista con las raíces de la mayoría de los cultivos al inducir la absorción de nutrientes de baja movilidad en la solución del suelo tales como P, Zn y Cu (Cantrell y Linderman, 2001).

Estudios previos sugieren que la respuesta más importante de tolerancia en plantas con micorrizas arbusculares, es el aumento de la disponibilidad de P (Feng *et al.*, 2002). Clark y Zeto (2000), mencionaron que las micorrizas arbusculares poseen hifas (diámetro 3-4 µm) que penetran los poros y hacen contacto con partículas y cavidades del suelo que la raíz y pelos radiculares son incapaces de alcanzar.

En un ambiente específico con factores de agobio en igualdad de condiciones, la presencia de micorrizas arbusculares puede ser la diferencia entre si la planta sobrevive y si es capaz de obtener los minerales para mantener el crecimiento de la planta (Clark y Zeto 2000).

Feng *et al.* (2002), concluyeron que un mayor requerimiento de carbohidratos por la micorriza arbuscular incrementó la distribución y acumulación de azúcares solubles. Dicha acumulación, especialmente en las raíces probablemente aumentó la resistencia al estrés osmótico inducido por la exposición a las sales.

Se han reportado diferencias en el comportamiento y eficiencia de la micorriza frente al estrés salino dependiendo de su origen. Las micorrizas provenientes de suelos no salinos tienden a promover el crecimiento del brote y la acumulación de Cl en las hojas. Por el contrario, las micorrizas provenientes de suelos salinos reducen el crecimiento de la planta pero también disminuye la acumulación de Cl en las hojas lo que se considera como un mecanismo de tolerancia a largo plazo (Ruíz-Lozano y Azcon, 2000).

### **Efectos de la salinidad en el aguacate**

El aguacate requiere agua de riego baja en sales ( $<2 \text{ dS m}^{-1}$ ), con un pH menor de 7 y superior a 5.5; el contenido de carbonatos, bicarbonatos y sulfatos debe ser menor de  $2 \text{ meq L}^{-1}$ . El carbonato de sodio residual puede ser un problema cuando presenta un valor superior de  $3 \text{ meq L}^{-1}$  en aguas con presencia de carbonatos y alta disponibilidad de Na intercambiable en el suelo. Rodríguez (1982), mencionó que el contenido de Na y Cl debe ser menor de  $3 \text{ meq L}^{-1}$  y 107 ppm, respectivamente. Sin embargo, se puede emplear agua de menor calidad siempre y cuando se apliquen algunos correctivos.

El aguacate es una planta extremadamente sensible al riego con agua salina. Cuando el agua tiene un contenido bajo en sales, se considera adecuado para el riego de los cultivos, pero será muy salina para el aguacate injertado sobre portainjertos comunes (Salazar-García y Larqué-Saavedra, 1985).

Los síntomas de toxicidad por sales en el aguacate no están muy relacionados con la CE del suelo o del agua de riego, sino más bien con la acumulación de algunos iones tóxicos. Se consideran aceptables para regar aguacates el agua cuyo nivel de cloruros sea inferior a  $1 \text{ meq L}^{-1}$  (Salazar, 2002).

Cuando la concentración de sales es mayor en el tejido de la raíz comparado con el suelo, el agua se mueve hacia la raíz, pero cuando la concentración es menor en la raíz, el agua en el tejido de la raíz es succionada hacia el suelo. Algunas investigaciones señalan que cuando la CE alcanza valores cercanos a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , la planta ya no es capaz de extraer agua aun si el suelo está saturado de agua (Crowley, 2008).

Los síntomas de daños por exceso de Cl en aguacate, presentan gran variación dependiendo del estado de desarrollo, edad de la hoja y estado nutrimental. El árbol reduce significativamente el crecimiento, debido en parte al menor número de hojas funcionales para llevar a cabo la fotosíntesis (Bingham y Fenn, 1966). De forma general, el rendimiento es disminuido en 12 % por cada miliequivalente de Cl en el agua de riego (Lahav, 2003)

Kadman, *et al.* (1976), observaron que portainjertos resistentes presentaban la absorción selectiva de Ca, mientras las plantas de la raza Mexicana reaccionaban a la salinidad con una mayor absorción y translocación de K. Al parecer los arboles resistentes transportan Cl hacia las hojas en forma de  $\text{CaCl}_2$ , mientras los susceptibles lo hacen en forma de KCl, influyendo considerablemente sobre la toxicidad del Cl.

El Cl es un ion que la planta de aguacate absorbe en cantidades relativamente bajas, su exceso causa toxicidad. La toxicidad de Na y Cl en el aguacate se ha logrado superar a través de la selección y uso de portainjertos tolerantes (Salazar-García, 2002).

Salazar-García y Larqué-Saavedra (1985) encontraron que en plántulas de aguacate de la variedad Fuerte y Franco, las respuestas a corto plazo, utilizando agua con diferente concentración de Cl (233, 700 y 1400 ppm) fueron; incremento en el potencial hídrico de la hoja (aumento de la succulencia) y reducción de casi 50 % en la conductancia estomática por el cierre parcial de los estomas, y la consecuente disminución en la fijación de CO<sub>2</sub>, comparado con el tratamiento testigo.

El Cl al no ser fijado por las partículas del suelo, se desplaza fácilmente con el agua del suelo siendo absorbido por las raíces y translocado a las hojas, en donde se acumula por la transpiración. Cuando la concentración excede la tolerancia de la planta, produce daños como necrosis en las hojas. Los daños se presentan primero en los ápices de las hojas, característico de la toxicidad, para luego desplazarse a través de los brotes y provocar una defoliación prematura. En cultivos sensibles como el aguacate, estos síntomas se manifiestan cuando se alcanzan concentraciones de 0.3 a 1.0 % de Cl en base al peso seco de las hojas. Los síntomas de toxicidad del Cl también se presentan por la absorción directa a través de las hojas en huertos regados con agua de alto contenido de Cl. El nivel máximo permisible de Cl para la raza Antillana en la zona radicular es de 7.5 meq L<sup>-1</sup>, y 5 meq L<sup>-1</sup> en el agua de riego; para la raza Mexicana 5 meq L<sup>-1</sup>, y 3.3 meq L<sup>-1</sup>, respectivamente (Ayers y Westcot, 1987).

La acumulación de Na en las raíces debe alcanzar un nivel crítico antes de ser translocado a la parte aérea, por lo contrario, el Cl no se acumula en las raíces. Cuando la concentración de Cl en el suelo es alta se mueve rápidamente favorecido por la transpiración y se acumula en la hoja (Shaffer y Whiley, 2002).

Altos niveles de salinidad (1.5, 3.0, 4.5 y 6.0 dSm<sup>-1</sup>) afectaron la concentración de Mg, Ca, K, Na y Cl en árboles de aguacate 'Hass' de un año de edad, injertados en los portainjertos 'Duke 7', 'Toro Canyon' y 'Thomas'. El contenido de Mg en raíces, tallos y hojas adultas fue menor mientras que no hubo

diferencia en el contenido de Ca. La concentración de K fue menor en las raíces y tallos de los árboles injertados sobre 'Thomas'. El contenido de K permaneció sin cambios a un nivel de salinidad de 3.0 dS m<sup>-1</sup>, el contenido de Na y Cl se incrementó en todos los órganos de los portainjertos al aumentar la salinidad, pero en mayor grado 'Thomas' y en menor 'Toro Canyon'. La necrosis de las hojas se presentó a concentraciones de 4 mg g<sup>-1</sup> o más y en una relación Na/K de 0.01 en hojas adultas (Mickelbart *et al.*, 2007)

Castro *et al.* (2009), encontraron interacción entre el portainjerto y la concentración de NaCl, en el diámetro de tallo. Además, observaron que la variedad Hass injertado sobre 'Zutano' (híbrido Mexicano x Guatemalteco) desarrollaron los brotes 59 % más rápido que los portainjertos 'Duke 7' y 'Mexicola' (raza Mexicana), 'Degania 117' (raza Antillana) y 'Nabal' (raza Guatemalteca). Sin embargo, 'Nabal' presentó el mayor vigor expresado como diámetro del tronco y volumen de la raíz.

Musyimi *et al.* (2008), evaluaron diferentes niveles de salinidad en plántulas de aguacate y observaron un incremento constante en diámetro de tallo en los primeros 16 días con los tratamientos de 15, 30, y 45 mM de NaCl después de iniciar el riego con agua salina. Sin embargo, después de 32 días, disminuyó el crecimiento del diámetro de tallo. No encontraron diferencias significativas en altura de las plantas.

Mickelbart y Arpaia (2002), evaluaron el efecto de la salinidad (1.5, 3.0, 4.5, y 6.0 dS m<sup>-1</sup>) sobre el crecimiento y fisiología de árboles de aguacate cv. Hass de un año de edad injertados sobre 'Thomas', 'Toro Canyon' y 'Duke 7'. Ellos encontraron que las hojas de los árboles injertados sobre "Thomas" presentaron el mayor contenido de Cl, Na y necrosis comparado con los otros portainjertos. La salinidad disminuyó el crecimiento en todos los árboles, pero fue mayor en 'Thomas' y menor en 'Duke 7'. De acuerdo a la respuesta global, el cv. Hass sobre

'Thomas' tuvo una baja tolerancia, mientras que los arboles sobre 'Duke 7' mostraron mayor tolerancia.

El aguacate es muy sensible al estrés por altas concentraciones de NaCl, aún bajas concentraciones de sales (15 mM) inhiben el crecimiento y disminuyen el rendimiento. Bernstein *et al.* (2004), evaluaron cuantitativamente el efecto inhibitorio del estrés inducido por sales sobre el crecimiento de la raíz en comparación al crecimiento vegetativo, en plántulas de portainjertos antillanos a 1, 5, 15 y 25 mM de NaCl. Ellos observaron que a 5 y 15 mM hubo reducción del crecimiento vegetativo. En todas las concentraciones, el crecimiento de raíces fue más sensible comparado con el crecimiento vegetativo. La concentración de 15 mM de NaCl, no afectó la tasa de emergencia de hojas pero disminuyó la producción de biomasa en 10 %, la tasa de alargamiento de la raíz en un 43 % y el volumen de crecimiento radicular en 33 %. Cuando la concentración de sales fue 25 mM, la producción de biomasa de las hojas se redujo 19 %, y el volumen de crecimiento y alargamiento de la raíz se redujo 65 y 75 %, respectivamente.

Downton (1978), al evaluar el efecto de la salinidad (0, 5, 10 y 20 mM de NaCl) sobre el crecimiento y floración de aguacate variedad Fuerte en portainjertos de la raza Mexicana, 'Zutano' y raza Guatemalteca, observó que las plantas sobre los dos primeros grupos de portainjertos fueron menos tolerantes a la salinidad que las injertadas sobre la raza Guatemalteca de acuerdo al diámetro de tallo y biomasa producida. La absorción de Na en los portainjertos de la raza Mexicana y 'Zutano' estuvo asociada con un incremento en la succulencia de los tallos y hojas. El contenido de N y K en hojas por unidad de peso seco se incrementó en el portainjerto de la raza Mexicana con el tratamiento de 20 mM de NaCl. Esta misma concentración fue detrimental para la inducción de la floración en árboles injertados sobre portainjertos de la raza Mexicana y resultó en una reducción en el número de yemas florales, flores por yema, inflorescencias por yema, y flores por inflorescencia.

Wiesman (1995), evaluó la respuesta a la salinidad por NaCl ( $450 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}$ ) en aguacate variedad Ettinger injertado en dos portainjertos: Schmidt, de origen Mexicano y 'Zriphin 99', de origen Antillano. Él observó que en el caso de 'Ettinger'/'Zriphin' 99, la disminución del sistema radicular redujo la competencia con los brotes vegetativos y que el estrés provocado por Cl dañó principalmente el sistema radicular de Ettinger/Zriphin 99; el porcentaje de hojas necróticas de aguacate cv. Ettinger/Schmidt fue de 60 %, mientras que sobre Zriphin 99 fue solamente de 10 %. Además, en la combinación con Schmidt el contenido de Cl fue más alto en las hojas mientras que Zriphin 99 presentó la mayor cantidad en las raíces.

Cesped *et al.* (2007), encontraron diferencias significativas en la acumulación de Cl en hojas de árboles de aguacate 'Hass' injertados sobre portainjertos Antillanos comparados con 'Duke 7' en condiciones salinas de 2 a 8 meq/L de Cl. Cuando las plantas estuvieron sujetas a un nivel de Cl de  $2 \text{ meq L}^{-1}$  se presentó una acumulación de 20 % en hojas. En concentraciones mayores de Cl ( $8 \text{ meq L}^{-1}$ ), el contenido en hojas fue de 60 a 70 % menor que el contenido en las hojas de 'Duke 7'.

Rodríguez *et al.* (2008), establecieron tres tratamientos a distintas concentraciones de NaCl ( $S_0$ , agua de riego libre de sales,  $S_1$  agua de riego con  $0.75 \text{ g L}^{-1}$  y  $S_2$  agua de riego con  $1.5 \text{ g L}^{-1}$ ). Los resultados mostraron que los portainjertos de la raza Antillana 'Canarias 1' y 'Canarias 2' fueron altamente tolerantes a la salinidad siendo el portainjerto de raza Mexicana 'Duke 7' el más susceptible al estrés salino.

Bar *et al.* (1997), concluyeron que la tolerancia de las plantas de aguacate de la variedad americana al Cl no se debía al bajo contenido de Cl en las hojas, sino a la capacidad de los tejidos para soportar altos contenidos, la capacidad de perder hojas adultas con elevado contenido de Cl y a una mayor tasa de crecimiento.

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### Localización del experimento

El experimento se realizó en un invernadero localizado en el Campo Experimental “San Martín” del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en la carretera México-Texcoco km 38.5, Estado de México. Geográficamente el invernadero está localizado a una latitud de 19° 29' 57.21" Norte, longitud de 98° 52' 42.19" Oeste y una altitud de 2254 metros.

#### Material vegetal

Se emplearon plantas de un año de edad, propagadas por semilla de las razas Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*) y Antillana (*Persea americana* var. *americana*), una accesión de la especie *Persea nubigena* Will. y un híbrido Guatemalteco x Mexicano (Cuadro 3). Las semillas se obtuvieron de árboles establecidos en el banco de germoplasma de alta elevación ubicado en la Fundación Salvador Sánchez Colín- CICTAMEX|, S.C. Se extrajeron las semillas del fruto y se les retiró la cubierta, después se desinfectaron con Captan 50<sup>®</sup> a una dosis de 2 g L<sup>-1</sup>, enseguida fueron sembradas directamente en envases de polietileno negro de 1 L de volumen, llenados con suelo franco arenoso. Después de 8 meses fueron trasplantadas a una cama de siembra de 73 cm de altura, 5 m de largo y 1.5 m de ancho, que contenía suelo de textura franco arenosa.

**Cuadro 3.** Accesiones de aguacate empleadas en este estudio y variedad botánica o especie a la que pertenecen.

<b>Nombre o número de accesión</b>	<b>Variedad botánica o especie</b>
257 PTB	drymifolia
Aquila S1	drymifolia
<i>Persea nubigena</i> 1/7	<i>Persea nubigena</i> Will.
Segregante de Hunucma	americana
Teptl	drymifolia
Navideño	americana
Tochimilco S2	drymifolia
Criollo 38	drymifolia
Fuerte negro	Guatemalteco x Mexicano

### **Diseño experimental**

Se usó un diseño completamente al azar, teniendo un total de nueve tratamientos que son las accesiones, con 15 repeticiones y una planta como unidad experimental.

### **Establecimiento y manejo del experimento**

Las 135 plantas resultado de los nueve tratamientos fueron colocadas en hileras de 6 plantas con distancia entre hileras de 10 cm y 18 cm entre plantas. El riego fue aplicado por medio de un sistema de riego por goteo, empleando goteros con un gasto de dos litros por minuto, distribuidos cada 15 cm en cuatro hileras.

El riego con agua salina se inició en noviembre de 2009 y terminó en junio de 2010, agregando 1.8 g de NaCl (equivalente a 1.08 gL<sup>-1</sup> de Cl) en la solución Steiner al 25 % (Steiner, 1984), ajustando el pH a 5.5 con ácido sulfúrico

antes de aplicar cada riego, y con una CE final de 3 dS m<sup>-1</sup>. Al inicio del experimento, el riego se aplicó una vez por semana y aumentó a dos riegos por semana a partir del mes de abril, hasta que la mayoría de las plantas presentaron 80 % de necrosis en las hojas (junio, 2010).

## **Variables de estudio**

### **Incremento de altura de la planta**

La altura se midió cada mes a partir de noviembre, desde el cuello hasta el ápice de la planta. Los resultados se presentan como incremento acumulado mensual. Para obtener este, a cada lectura mensual se le restó la lectura del mes anterior. Los datos se registraron en centímetros.

### **Incremento del diámetro de tallo**

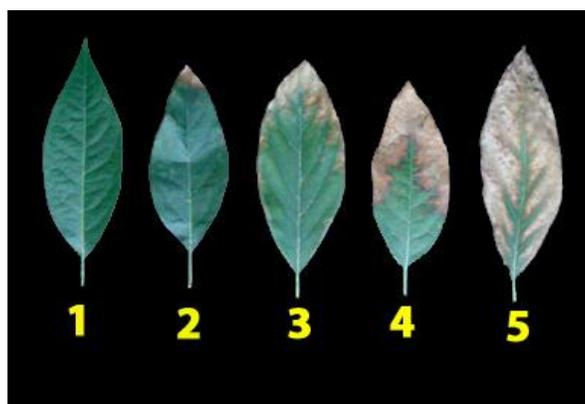
Se marcó con pintura blanca 5 cm arriba del cuello de la planta y se registró el diámetro cada mes de noviembre a mayo, con un vernier digital. Para obtener el incremento de diámetro de tallo, al valor de la lectura final se le restó el valor inicial.

### **Número de hojas**

Se cuantifico cada mes de noviembre a mayo, por conteo directo en cada una de las plantas, tomando en cuenta sólo las hojas plenamente desarrolladas. El 9 de noviembre de 2009, se marcó con pintura blanca el ápice del tallo para distinguir las hojas recientes.

## Necrosis en hojas

En el mes de marzo de 2010, cuando comenzaban a presentarse síntomas de necrosis en las hojas, se evaluó el porcentaje de necrosis por medio de una escala visual de necrosis causada por la toxicidad de Cl y Na (Figura 2).



**Figura 2.** Índice visual de necrosis en hojas de aguacate causado por toxicidad de Cl y Na aplicados con el agua de riego.

La descripción de cada índice visual de necrosis, se realizó considerando las características más sobresalientes de las hojas inducidas por el riego con agua salina (Cuadro 4).

Para la evaluación de las variables fisiológicas que a continuación se describen se requería la destrucción total o parcial de las plantas, por ello se decidió conservar plantas sin necrosis y con necrosis a fin de propagarlas con el objeto de mantener el material vegetal y seguir evaluando su respuesta en futuros experimentos.

**Cuadro 4.** Índice visual de necrosis en hojas de aguacate causado por la toxicidad de Cl y Na presentes en el agua de riego.

<b>Índice visual de necrosis</b>	<b>Descripción</b>
1	Hoja normal, sin necrosis y con un color verde oscuro
2	Hoja con necrosis leve, con presencia de necrosamiento inicial en el ápice de la hoja.
3	Hoja con necrosis fuerte, con 50 % necrosamiento en el limbo, avanzando a lo largo de los márgenes, cambio a color verde pálido en tejido sano enrollado de la punta.
4	Hoja con necrosis muy fuerte, con 75 % de necrosamiento, avanzando a lo largo de los márgenes con puntos de necrosamiento distribuidos en forma heterogénea dentro del limbo, aumenta el enrollado de la hoja y la senescencia de hojas inferiores.
5	Hoja con necrosis severa, completamente necrosada solo con tejido verde en la parte cercana a las nervaduras, la mayoría de las hojas se ha caído.

### **Estado nutrimental**

De acuerdo con el índice visual de necrosis al final del experimento se seleccionaron las plantas de cada accesión: una sin necrosis (índice 1, hoja normal) y otra con necrosis (índice 5, hoja con necrosis severa). Una excepción

fue la accesión *P. nubigena* 1/7, de la cual se tomaron tres plantas sin necrosis y tres plantas con necrosis, por ser la accesión con menor número de individuos con necrosis en la hoja. Por lo tanto, se seleccionó un total de 11 plantas con necrosis y 11 plantas sin necrosis. Se cosecharon las 22 plantas y se separó la hoja, tallo y raíz. A estas plantas se les realizó el análisis foliar para determinar la condición nutrimental, además de concentración de prolina y presencia de micorrizas en el suelo próximo a sus raíces.

**Hoja.** La determinación de nutrimentos se llevó a cabo en hojas adultas y jóvenes. El muestreo se realizó al final del experimento, las hojas de cada planta fueron separadas en dos secciones: parte inferior (madura) y parte superior (joven), tomando como referencia la marca realizada en el ápice del tallo al inicio del experimento para obtener el número de hojas; de esta forma, las hojas debajo de esta marca se consideraron hojas de la parte inferior y arriba de la marca se consideraron hojas de la parte superior.

Las muestras se llevaron al laboratorio donde se lavaron con agua destilada y ácido clorhídrico al 3 %, se secaron a 70 °C durante 48 horas en estufa con circulación de aire forzado, posteriormente se molieron en molino de acero inoxidable en una malla del número 20.

Para la determinación de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y Na, se pesó 0.5 g de muestra y se digestó mediante la mezcla diácida ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$  2:1) (Chapman y Pratt, 1961). La concentración se determinó por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo SpectrAA 220 Varian. Para el caso de K se determinó por emisión de flama (Bradfield y Spencer, 1965).

La cuantificación de sulfatos se realizó por el método turbidimétrico (Etchevers, 1992). Se transfirió una alícuota de 5 mL del digestado a un matraz aforado a 50 mL, se agregó 10 mL de la mezcla de  $\text{BaCl}_2$  con goma arábica, enseguida se aforó y transfirió a frascos de cristal donde se mantuvo en agitación

durante 5 min a 180 rpm, finalmente se leyó a 670 nm en un espectrofotómetro UV-Vis marca Hewlett Packard con arreglo de diodos modelo 8453.

La determinación de N-NO<sub>3</sub> se realizó por el método de nitratación del ácido salicílico (Cataldo *et al.*, 1975). Se pesó 0.5 g de muestra vegetal en tubos de polipropileno de 100 mL y se agregó 50 mL de agua destilada, se agitó en forma horizontal por 20 minutos a 180 rpm en agitador de acción recíproca y se filtró (papel Whatman No. 2). De la muestra y de cada punto de la curva de calibración, se transfirió 0.2 mL a matraces Erlenmeyer de 50 mL, se adicionó 0.8 mL de ácido salicílico al 5% y se agitó hasta disolver el precipitado. Después se dejó enfriar durante 20 min, enseguida se adicionaron 19 mL de NaOH 2N y se volvió a agitar. Nuevamente se dejó enfriar por 20 minutos y se leyó en el espectrofotómetro señalado anteriormente a una absorbancia de 410 nm.

Para obtener la concentración de N-NO<sub>3</sub> se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{N-NO}_3(\text{ppm}) = (\text{ppcc M} - \text{ppcc B}) \times \text{DM}$$

Donde:

DM= dilución de masa 0.5 g/50 mL

ppcc M= partes por millón de la curva de calibración de la muestra

ppcc B= partes por millón de la curva de calibración en el blanco

La cuantificación del fósforo total se realizó por el método del complejo fosfovanadomolibdico (Chapman y Pratt, 1961). Se tomó un alícuota de 5 mL del digestado, se adicionaron 7.5 mL del reactivo vanadomolibdico, se aforó con agua y se agitó. Se dejó reposar por 20 minutos y se leyó la absorción de luz por el complejo a 470 nm.

Para los cálculos se empleó la siguiente formula:

$$P (\%) = \frac{\text{ppm CC} \times \text{Dm} \times \text{Dv}}{10\ 000}$$

Donde:

Ppm CC= partes por millón en la curva de calibración

Dm=dilución de masa (volumen del extractante/g de muestra)

Dv= dilución de volumen (aforado/alícuota)

### **Concentración de Cl y Na en raíz, tallo y hoja.**

Se determinó con un potenciómetro (Conductronic PC45) usando el electrodo específico para cloruros (Etchevers, 1992). Se pesó 0.5 g de muestra seca y se le agregó 25 mL de agua desionizada y se mantuvo en agitación por 25 minutos. Después se filtró (Whatman No 2), se colectaron 20 mL del filtrado y se le agregó 5 mL de solución SAFI (Solución Ajustadora de Fuerza Iónica), posteriormente se tomó la lectura.

**Raíz.** Se cuantificó la concentración de Na y Cl en la raíz principal de cada planta de acuerdo a la metodología antes mencionada para hojas.

**Tallo.** Cada tallo de la planta fue dividido en tres partes; basal, medio y apical.

**Hojas.** Fueron divididas en hojas inferiores y superiores tomando como referencia la marca que se puso en el tallo cuando se inició el experimento.

### **Concentración de Cl y Na en el suelo**

Se tomaron muestras de solución del suelo cada mes a partir de mayo, en tres partes de la cama de siembra empleando sondas de succión colocadas a una profundidad de 25 cm. La determinación de Na, se realizó con la misma metodología usada para las hojas. En cuanto al Cl, se hizo a través del método de cloruros por volumetría de precipitación (Chapman y Pratt, 1961). Se tomó una alícuota de 1 mL de la solución de suelo y se le agregaron 25 mL de agua desionizada. Posteriormente se tomó una alícuota de 3 mL a la cual se le

agregaron 3 gotas de cromato de potasio 5 % y se tituló con nitrato de plata 0.005 N hasta la producción de un precipitado café rojizo.

La concentración de cloruros se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Cl (meq L}^{-1}\text{)} = (\text{mL de AgNO}_3 \text{ muestra} - \text{mL de AgNO}_3 \text{ blanco}) \times N_{\text{AgNO}_3} \times 1000/\text{alícuota}$$

### **Conductividad eléctrica y pH del suelo**

La CE y el pH se determinaron cada 20 días directamente tomando las lecturas de la solución del suelo en el momento de la extracción de la sonda de succión con medidores portátiles (marca Hanna).

### **Concentración de prolina**

Se colectaron las raíces laterales y ápice del tallo de las 22 plantas seleccionadas, se lavaron para remover el suelo adherido e inmediatamente se sumergieron en nitrógeno líquido para detener la actividad metabólica. Después se liofilizaron (Liofilizador marca LABCONCO) durante 48 h y se molieron finamente en un mortero de porcelana.

El método utilizado para la determinación de prolina fue el descrito por Bates (1973), con algunas modificaciones, como se indica a continuación:

Se pesaron 100 mg de muestra vegetal liofilizada, cada muestra se colocó en un mortero y se maceró con 5 mL de ácido salicílico al 3 %, después se filtró, utilizando papel (Whatman no. 4). Del filtrado se tomaron 2 mL en un tubo de ensayo, se agregó 2 mL de ninhidrina y 2 mL de ácido acético glacial seguido por una agitación en vortex. Las muestras se incubaron en baño maría por una hora a 100 °C y se detuvo la reacción en agua con hielo. El blanco consistió en 2 mL de ácido salicílico, 2 mL de ninhidrina y 2 mL de ácido acético glacial.

A cada tubo se le agregaron 4 mL de tolueno y se agitó nuevamente en el vortex. Se dejó reposar hasta que se separaran las dos fases. Se tomó parte de la fase superior y se leyó a 520 nm en un espectrofotómetro marca Spectronic 21D, Milton Roy.

### **Micorrizas en el suelo**

Al final del experimento, se cuantificó la presencia de esporas de micorrizas en el suelo circunvecino a la raíz de las 22 plantas seleccionadas para el análisis nutricional por el método descrito por Gerdemann y Nicolson (1963). Se pesó 100 g de suelo y se agregó en 1 L de agua destilada, se agitó por 5 min, después se dejó reposar (5 min) posteriormente se pasó por una serie de tamices graduados (45, 60 y 100  $\mu$ ). Se colectó la muestra de cada tamiz y se colocó en papel filtro cuadrículado para cuantificar las esporas con la ayuda de un microscopio estereoscópico, el resultado se reporta en número de esporas por 100 g de suelo.

### **Análisis estadístico**

Los datos de las variables incremento acumulado de altura de la planta, incremento del diámetro de tallo y número de hojas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

Para la concentración de N-NO<sub>3</sub>, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, concentración de prolina y presencia de micorrizas, solo se hizo la comparación de medias agrupando las accesiones de la siguiente manera: cinco accesiones de la raza Mexicana, dos de la raza Antillana, tres de *P. nubigena* Will. y una del híbrido Guatemalteco x Mexicano.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis de varianza, hubo diferencias altamente significativas ( $P=0.0001$ ) en el incremento acumulado de altura de la planta, incremento del diámetro de tallo y número de hojas entre accesiones de aguacate.

### **Incremento acumulado de altura de la planta**

Las plantas de la accesión Navideño presentaron el mayor incremento acumulado de altura de 11.30 del mes de diciembre de 2009 a 22.86 cm al mes de mayo de 2010 y con un aumento constante hasta el mes de marzo, mientras que las plantas de la accesión Aquila S1 presentaron numéricamente el menor incremento (en promedio 3.92 cm), durante el periodo antes señalado. La diferencia de 18.94 cm, entre el incremento acumulado más alto obtenido por la accesión Navideño en el mes de mayo (22.86 cm) y el más bajo por la accesión Aquila S1 (3.92 cm) para el mismo mes (Cuadro 5), indica la amplitud de variación en la capacidad de las accesiones para tolerar los efectos provocados por el riego con agua salina. El incremento en altura de la planta fue inhibido debido a los efectos negativos a corto plazo (Lachaâl *et al.*, 2002), principalmente por el estrés osmótico que restringe la absorción de agua requerida para mantener la turgencia celular, así como la absorción y transporte de nutrimentos a través de las raíces que son necesarios para el crecimiento (Bybordi y Tabatabael, 2009).

**Cuadro 5.** Incremento acumulado mensual de altura de planta (cm) de nueve accesiones de aguacate durante el periodo de diciembre 2009 a mayo 2010.

Accesión	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Navideño	11.30 a <sup>z</sup>	15.23 a	19.16 a	21.78 a	22.40 a	22.86 a
Fuerte negro	6.52 ab	8.30 ab	10.57 ab	11.83 b	12.52 b	12.62 b
Criollo 38	5.70 b	6.93 b	8.00 b	8.88 b	9.31 b	10.53 b
Segregante H.	5.55 b	7.15 b	8.45 b	9.19 b	9.73 b	10.28 b
<i>P. nubigena</i> 1/7	5.40 b	9.73 ab	10.96 ab	11.97 b	12.30 b	13.16 b
Tepetl	4.83 b	6.04 b	7.11 b	7.71 b	8.11 b	8.37 b
Tochimilco S2	4.80 b	5.91 b	7.53 b	9.71 b	10.57 b	11.76 b
257 PTB	4.60 b	5.80 b	7.16 b	8.56 b	9.06 b	9.33 b
Aquila S1	1.82 b	2.42 b	2.99 b	3.66 b	3.80 b	3.92 b
<b>C.V.<sup>†</sup></b>	<b>79.74</b>	<b>89.53</b>	<b>82.83</b>	<b>79.08</b>	<b>76.40</b>	<b>71.78</b>
<b>DSH<sup>‡</sup></b>	<b>5.15</b>	<b>7.74</b>	<b>8.69</b>	<b>9.43</b>	<b>9.57</b>	<b>9.45</b>

<sup>z</sup> Promedios con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>†</sup> Coeficiente de variación. <sup>‡</sup> Diferencia significativa honesta.

La respuesta de incremento mensual acumulado en altura fue influenciada por el origen genético de cada raza y en cada accesión que le infiere tolerancia o susceptibilidad, lo que se reflejó en un alto coeficiente de variación (>71.76 %) (Cuadro 5). Existen antecedentes que indican que las plantas de la variedad americana son más vigorosas y tolerantes a suelos salinos que las de la variedad *drymifolia* (Kadman y Ben-Ya'acov, 1976; Bar *et al.*, 1997). En este trabajo se confirma parcialmente lo anterior, ya que la accesión Navideño pertenecen a la variedad americana, mientras que las accesiones Tepetl, Tochimilco S2, Criollo 38, Aquila S1 y 257 PTB a la variedad *drymifolia*; sin embargo, la respuesta del Segregante de Hunucma también perteneciente a la variedad americana fue semejante a las accesiones de la variedad *drymifolia* al menos en esta variable. Labidi *et al.* (2002), mencionan que la reducción del crecimiento vegetativo por el exceso de NaCl es un criterio básico para discriminar especies o cultivares tolerantes a salinidad.

Castro *et al.* (2009), indican que la disminución del vigor se debe al efecto tóxico inducido por la reducción de la fotosíntesis ocasionando un elevado

consumo de oxígeno, el Na promueve la formación de ADP y fósforo inorgánico a partir del ATP, después el ADP entra a la cadena respiratoria y estimula el incremento de la respiración. El incremento de la respiración y la disminución de la fotosíntesis reducen la cantidad de asimilados y reducción en la acumulación de materia seca en la planta por unidad de agua transpirada.

Al final del experimento, individuos de las accesiones 257 PTB y Aquila S1 mostraron destacados síntomas de toxicidad en forma de necrosis en la parte apical del tallo, lo que afectó el incremento de altura. Esto concuerda con Salazar-García (2002), quien mencionó que el exceso de Cl y Na está relacionado con la muerte de los brotes.

### **Incremento del diámetro de tallo**

La accesión Navideño y Fuerte negro presentaron el mayor incremento de diámetro (1.00 y 0.50 mm, respectivamente), que el resto de las accesiones. Numéricamente el valor más bajo se presentó en Aquila S1 (0.14 mm) (Cuadro 6). En este trabajo todas las accesiones probadas de la variedad *drymifolia* presentaron menor incremento de diámetro de tallo, lo mismo ocurrió con la accesión *P. nubigena* 1/7 de la especie *P. nubigena* Will. y el Segregante de Hunucma de la variedad americana. Esta respuesta pudo deberse a la reducción de la fotosíntesis al disminuir la conductancia estomática producto del cierre de los estomas para reducir la pérdida de agua (Renault *et al.*, 2001) y por la redistribución de los fotosintatos hacia el mecanismo de osmorregulación.

**Cuadro 6.** Respuesta de la accesión en el incremento de diámetro del tallo de nueve accesiones de aguacate regados con agua salina.

Accesión	Incremento de diámetro de tallo (mm)
Navideño	1.00 a <sup>z</sup>
<i>P. nubigena</i> 1/7	0.39 b
Fuerte negro	0.50 ab
Tochimilco S2	0.31 b
Segregante de Hunucma	0.41 b
Criollo 38	0.41 b
257 PTB	0.17 b
Teptl	0.23 b
Aguila S1	0.14 b
CV <sup>†</sup>	125
DSH <sup>¶</sup>	0.53

<sup>z</sup> Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup> Coeficiente de variación. <sup>¶</sup> Diferencia significativa honesta.

Se observó un alto CV (125 %), lo cual indica la variación en la respuesta en el crecimiento debido al origen genético de cada individuo producto de la polinización cruzada, como lo indica Kadman y Ben-Ya'acov (1976) lo que hace genéticamente diferente cada planta proveniente del mismo árbol.

En este estudio no se encontró reducción del diámetro del tallo (Cuadro 6), como lo reportó Lahav (2003), en plantas de aguacate como un efecto negativo causado por el exceso de Cl y Na.

Por otro lado, Lachaâl *et al.* (2002), señalaron que el crecimiento vegetativo es un mecanismo de tolerancia que permite la dilución de las sales en los tejidos, prolongando el tiempo para que la acumulación de iones alcance un nivel tóxico.

## Número de hojas

El número total de hojas que permaneció en la planta fue afectado por la aplicación del riego con agua salina (Cuadro 7) ya que por una parte, disminuyó la emergencia de hojas nuevas y por otra las accesiones más sensibles como 257 PTB, Tepetl y Fuerte negro presentaron defoliación más intensa, mientras que por otro lado las plantas de la accesión Navideño al tener mayor incremento de altura también presentaron aumento en el número de hojas de diciembre a marzo coincidiendo con el incremento acumulado de altura, para después reducir el número de hojas.

**Cuadro 7.** Efecto de la accesión en el número de hojas de nueve accesiones de aguacate, regadas con agua salina.

Accesión	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Navideño	36.93 a <sup>z</sup>	40.66 a	42.46 a	45.46 a	45.46 a	37.26 ab	27.93 ab
Criollo 38	33.86 a	36.66 ab	37.53 ab	37.06 ab	37.46 abc	31.80 abcd	37.20 ab
Tepetl	32.33 ab	36.40 ab	36.00 ab	37.33 ab	37.33 abc	34.40 abc	37.66 ab
Tochimilco S2	32.06 ab	36.86 ab	38.13 ab	38.60 ab	39.33 ab	39.20 a	54.26 a
<i>P. nubigena</i> 1/7	27.4 abc	32.13 abc	31.46 abc	29.13 bc	28.33 bcd	20.40 bcd	21.93 b
Fuerte negro	27.33 abc	29.86 abc	31.53 abc	32.00 abc	30.46 abcd	25.33 abcd	22.66 b
Segregante H.	27.06 abc	30.33 abc	31.73 abc	31.60 abc	31.86 abcd	29.60 abcd	25.33 b
Aguila S1	21.86 bc	23.86 bc	25.20 bc	24.53 bc	23.20 cd	18.26 cd	16.73 b
257 PTB	17.40 c	19.93 c	20.66 c	19.86 c	20.40 d	15.86 d	12.26 b
<b>CV<sup>†</sup></b>	<b>33.78</b>	<b>36.42</b>	<b>36.43</b>	<b>37.90</b>	<b>41.68</b>	<b>54.45</b>	<b>80.98</b>
<b>DSH<sup>‡</sup></b>	<b>11.08</b>	<b>13.37</b>	<b>13.75</b>	<b>14.34</b>	<b>15.68</b>	<b>17.58</b>	<b>26.55</b>

<sup>z</sup> Promedios con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). <sup>†</sup> Coeficiente de variación. <sup>‡</sup> Diferencia significativa honesta.

A partir del mes de abril las accesiones de la raza Mexicana (Tochimilco S2, Tepetl y Criollo 38) y *P. nubigena* 1/7 tuvieron una recuperación en el número de hojas. Esto se debió a que después del mes de marzo las altas temperaturas en el invernadero aumentaron la pérdida de agua, la absorción y acumulación de Cl y Na lo que restringió el incremento en la altura, por consiguiente las plantas comenzaron a producir brotes laterales y con ello hojas.

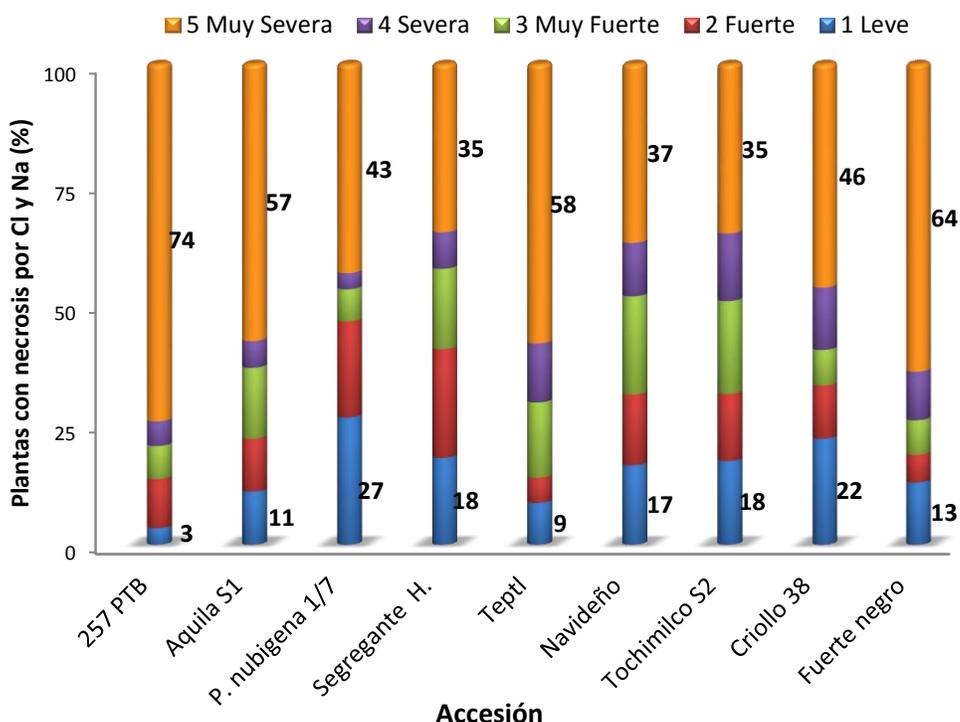
La accesión con mayor número de hojas sin defoliar al final del experimento, fue Navideño cuyas plantas presentaron 40 hojas en promedio, mientras la accesión 257 PTB solamente tuvieron al final 20 hojas. La diferencia en el número de hojas entre accesiones tuvo estrecha relación con la diferencia en el crecimiento de altura de la planta, como fue el caso de Aquila S1 y 257 PTB las cuales se mantuvieron en el grupo estadístico que mostró valores más bajos en incremento acumulado mensual de altura de planta (2.10 y 4.73 cm, respectivamente) (Cuadro 5) y en incremento del diámetro de planta (0.14 y 0.17 mm, respectivamente) (Cuadro 6). Esto concuerda con lo mencionado por Musyimi *et al.* (2008), quienes señalaron que una de las causas de la reducción del crecimiento en aguacate por la salinidad, se debe a la reducción en la acumulación de biomasa, necrosis foliar y reducción del número de hojas por muerte o senescencia.

Estos resultados confirman que el número de hojas tiene relación con la sensibilidad de la planta al estrés salino así como a la exclusión de iones tóxicos a través de la senescencia de la hoja como fue encontrado en las plantas de las accesiones pertenecientes a la raza Antillana (Navideño y Segregante de Hunucma), como lo mencionan Bar *et al.* (1997). Por lo tanto, la sensibilidad o tolerancia al riego con agua salina, puede cambiar durante la ontogenia de la planta, dependiendo de la especie, cultivar o factores ambientales (Marschner, 1995).

Otra explicación para la reducción del número de hojas, es la capacidad de las accesiones para superar o sobrellevar el efecto osmótico ejercido en la zona radicular (Byrt y Munns, 2008), debido a que este impacta en el crecimiento y emergencia de hojas inmediatamente cuando la concentración de Cl y Na aumenta en el suelo arriba del umbral de tolerancia (40 mM de NaCl para la mayoría de las especies), lo que induce la acumulación de sales principalmente en las hojas maduras aumentando su senescencia y disminuyendo la disponibilidad de fotosintatos necesarios en las zonas de crecimiento.

## Necrosis en la hoja

Las accesiones que presentaron mayor porcentaje de individuos con necrosis severa (índice 5), fueron 257 PTB, Fuerte negro, Teptl y Aquila S1, mientras que *Persea nubigena* 1/7 y Criollo 38 presentaron los mayores porcentajes de plantas normales (índice 1) (Figura 3).



**Figura 3.** Porcentaje de plantas con necrosis en hojas de nueve accesiones de aguacate.

Se puede observar que las accesiones pertenecientes a la raza Antillana variedad americana (Segregante de Hunucma y Navideño) presentaron el menor porcentaje de individuos con índice 5. Los daños por necrosamiento evidencian el efecto negativo de la absorción y acumulación de altas concentraciones de Cl en las hojas (Kadman y Ben-Ya'acov 1976; Bar *et al.*, 1997; Francois y Mass, 1999), lo cual coincide con lo mencionado por Salazar-García (2002), quien señaló que la acumulación de cloruros se manifiesta en forma de quemaduras en el ápice y márgenes de las hojas más viejas, defoliación prematura y en ocasiones un moteado amarillento junto a las áreas necrosadas.

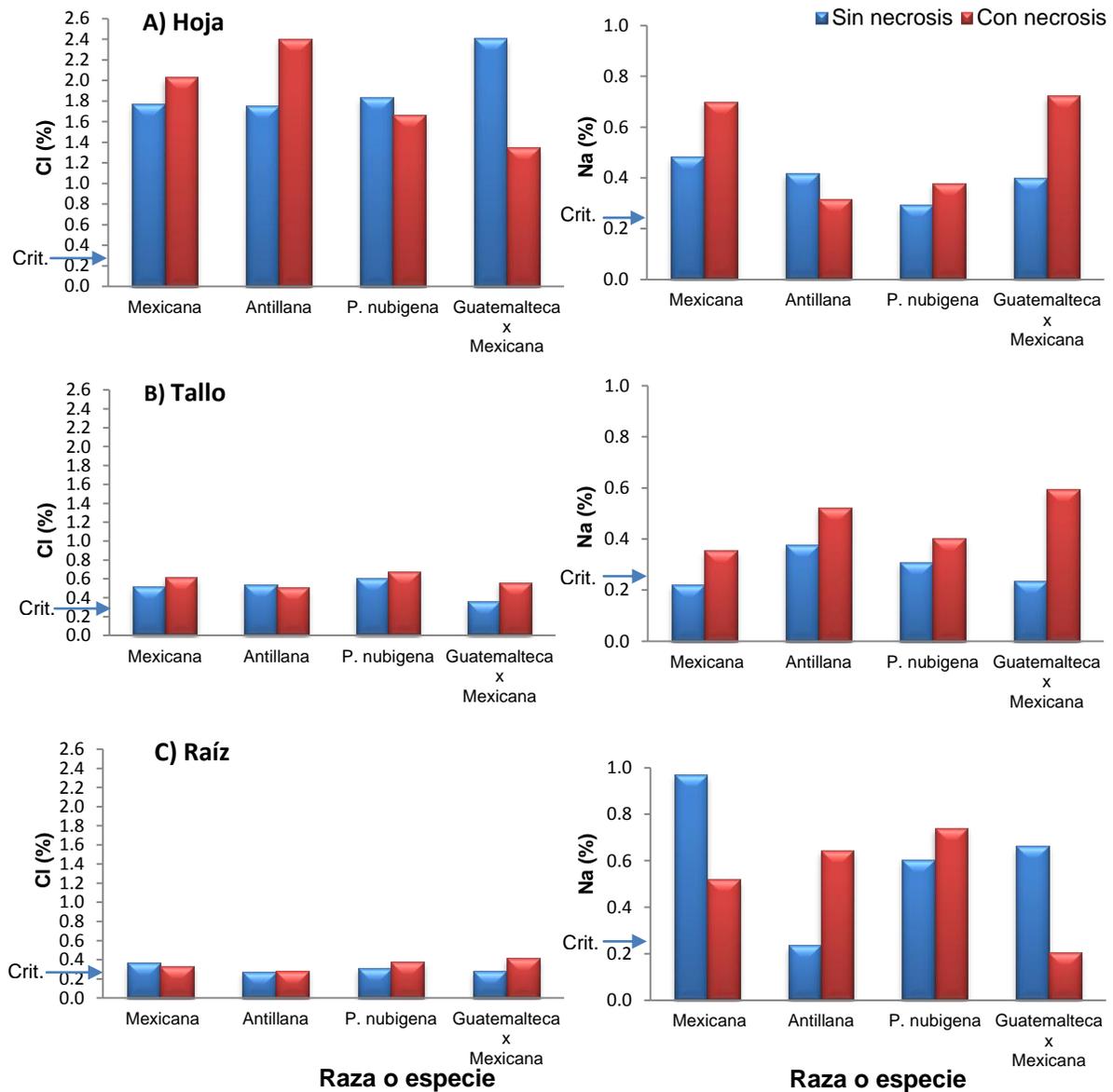
Las accesiones Tochimilco S2 y Criollo 38, presentaron una respuesta moderada en términos de porcentaje de individuos con hojas normales, 18 y 22 % respectivamente, aun cuando pertenecen a la variedad *drymifolia*, conocida como la más susceptible a la salinidad y más tolerante a bajas temperaturas. Por lo que individuos sobresalientes de estas accesiones, pueden prosperar en regiones donde además de tener problemas de salinidad en el suelo y agua también se tiene la presencia de bajas temperaturas (Crowley, 2008).

Subbarao y Johansen (1999), señalaron que la necrosis en hojas producto de la acumulación elevada de sales es un síntoma inducido por el desajuste de la regulación iónica que lleva a la identificación de genotipos que poseen mayor eficiencia en regulación iónica y otros mecanismos fisiológicos que contribuyen a un mayor nivel de tolerancia, siendo un parámetro que puede ser utilizado para evaluar el efecto de la salinidad de una especie en particular.

### **Distribución de Cl y Na en la planta**

El origen genético de las plantas influyó en la distribución de Cl y Na en la raíz, el tallo (basal, medio y apical) y hojas, tanto de la parte inferior (adultas) como superior (jóvenes) de plantas con necrosis y sin necrosis seleccionadas de acuerdo al índice visual de necrosis en las hojas (Apéndice Cuadro 1A).

Las concentraciones de Cl y Na (Figura 4), fueron superiores a los límites reportados como críticos 0.25 % Cl y 0.25 % Na en base a materia seca para aguacate (Reuter y Robinson, 1997).



**Figura 4.** Concentración de Cl y Na (%) en A) hoja, B) tallo y C) raíz en plantas de aguacate sin necrosis (índice 1: hoja normal) y con necrosis (índice 5: hoja con necrosis severa). "Crit." nivel reportado como crítico para Cl y Na en hojas maduras de aguacate (Reuter y Robinson, 1997)

En las raíces se encontró la mayor concentración de Na (0.21 a 0.97 %), superando a las hojas (0.22-0.59 %) y tallos (0.29-0.72 %), esto sugiere que la acumulación en general en todas las plantas de aguacate estudiadas, tuvieron la capacidad de mantener el Na en las raíces y evitar ser transportado hacia los brotes y hojas. Esto coincide con lo encontrado en otros estudios, (Bar *et al.*, 1997;

Tester y Davenport, 2003) donde reportaron que un mecanismo para reducir la acumulación de Na en los brotes, es la compartimentación del Na que ha logrado entrar al xilema antes que llegue al ápice del tallo. Esto ocurre en las raíces y en la base del brote donde es acumulado en las vacuolas de las células diferenciadas. Cuando la tasa de entrada supera la capacidad de compartimentación de Na en las células del mesófilo por la acumulación de sales en el apoplasto, causa la desecación y muerte de las células de la hoja (Lachaâl *et al.*, 2002).

Se encontraron diferencias entre las concentraciones de Na en el tallo (promedio de las tres fracciones) para las plantas sin necrosis. Los individuos de las accesiones que pertenecen a la raza Mexicana y Guatemalteco x Mexicano, tuvieron en promedio concentración normal (< 0.25%) (Reuter y Robinson, 1997) en el tallo basal y medio, pero una concentración mayor a esta en la fracción apical del tallo. Por el contrario los individuos sin necrosis de *P. nubigena* 1/7 sin necrosis en sus hojas tuvieron mayor concentración (>0.25%) en tallo pero la más baja en hojas (Apéndice Cuadro 3A). Mickelbart y Arpaia (2002), mencionan que en algunas especies de trigo y maíz tolerantes a salinidad, se ha reportado la recirculación del Na del tallo hacia las raíces a través del floema a niveles que modifican significativamente la acumulación total en las hojas.

La distribución de Cl y Na a lo largo del tallo y la raíz de las plantas con necrosis y sin necrosis muestra una clara tendencia de aumentar la concentración de Cl de la raíz hacia el ápice del tallo de la planta (Kadman, 1964) (Apéndice Cuadro 1A). Por otra parte, las plantas con necrosis mostraron mayor concentración de Cl en la parte apical del tallo, a excepción de las plantas correspondientes a las accesiones de la raza Antillana, lo cual provocó síntomas de toxicidad en las hojas.

Se observaron valores inferiores de Na en hojas superiores (jóvenes) de la raza Antillana y *P. nubigena* Will. (Apéndice Cuadro 1A). Este resultado está de acuerdo a investigaciones anteriores las cuales mencionan que en hojas jóvenes

es menor la concentración debido a la baja tasa de transpiración y a que tienen menos tiempo de vida.

La concentración de Cl en hojas fue mayor a la reportada por Crowley (2008), quien mencionó que los daños en hojas de aguacate 'Hass', ocurren cuando la concentración excede el 0.25 %. En concordancia con lo anterior, en este trabajo la concentración de Na también fue muy superior a lo reportado (0.25 %) como crítico para aguacate (Reuter y Robinson, 1997). Esto coincide, con lo mencionado por Téliz y Marroquin (2007), quienes indicaron la existencia de genotipos que transportan Cl con mayor facilidad a las partes aéreas, pero sus tejidos pueden soportar esas cantidades sin presentar daños minimizando los efectos negativos producidos por el Cl y Na.

### Concentración de Cl y Na en el suelo

La evaluación periódica de las concentraciones de Cl y Na en la solución del suelo, mostró cómo el problema de salinidad causado por el riego con agua salina se agravó conforme transcurrió el tiempo (Cuadro 8). Del periodo de mayo a julio hubo un incremento en las concentraciones de Cl y Na de 0.31 y 4.5 meq L<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Cuadro 8.** Efecto del riego con agua salina en la acumulación de Cl y Na en el suelo.

Fecha	Cl	Na
	meq L <sup>-1</sup>	
Mayo	1.39 <sup>†</sup>	17.9
Junio	1.44	19.0
Julio	1.70	22.4

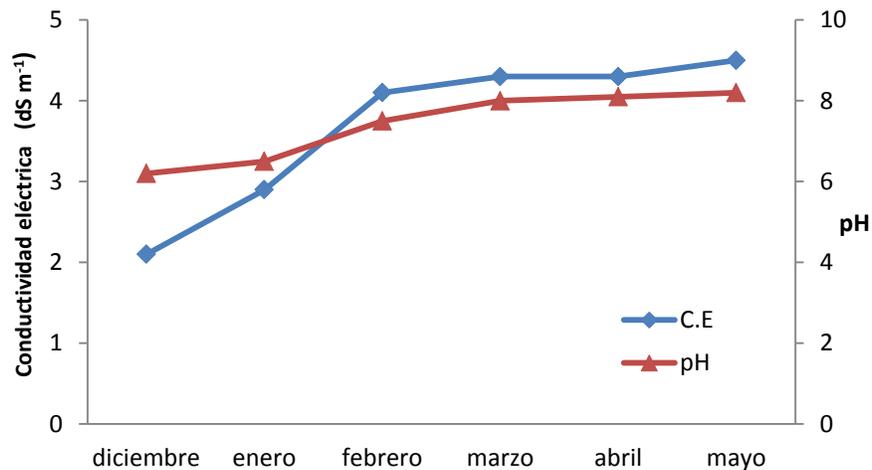
<sup>†</sup> Valores promedio de tres repeticiones

En el mes de julio la concentración alcanzada de Cl fue de  $1.70 \text{ meq L}^{-1}$ . Salazar y Cortés-Flores (1988), mencionan que la concentración de Cl en el suelo de  $1.97 \text{ meq L}^{-1}$  a una profundidad de 30 cm es suficiente para inducir efectos tóxicos en el aguacate. En el caso de Na se encontró  $22.4 \text{ meq L}^{-1}$ , Rodríguez 1982 menciona que la concentración debe ser menor que  $3.0 \text{ meq L}^{-1}$  para suelos donde se cultiva el aguacate.

El efecto negativo del Cl y Na en las accesiones que presentaron mayor porcentaje de individuos con necrosis severa (257 PTB, Fuerte negro, Teptl y Aquila S1) posiblemente fueron agravados por la dispersión de las partículas del suelo, inducido por la acumulación de Na, lo cual influyó en aspectos como drenaje deficiente, afectación en la estructura del suelo y espacio poroso, reducción del oxígeno y efectos en la planta como la anoxia y la muerte de la raíz (Crowley, 2011).

### **Conductividad eléctrica y pH del suelo**

Por efecto de la aplicación del riego con agua salina la CE y el pH mostraron una tendencia ascendente de diciembre a enero, estabilizándose en febrero y marzo (Figura 5). Los valores de CE superiores a  $4 \text{ dS m}^{-1}$  y el pH de 8.5 indican características específicas de suelos salinos. El incremento de la CE fue el reflejo de la acumulación de Cl y Na en el suelo, provocando necrosamiento en las hojas, reducción del crecimiento de la planta, diámetro del tallo y número de hojas por efecto del déficit hídrico como lo mencionan Oster *et al.* (2007), quienes evaluaron la respuesta de árboles de aguacate 'Hass' de 10 años, al riego salino en condiciones de campo. Ellos obtuvieron rendimientos aceptables ( $59 \text{ kg árbol}^{-1}$ ) al aumentar la frecuencia del riego mejorando la disponibilidad del agua, pero cuando la CE alcanzó valores de  $4 \text{ dS m}^{-1}$  en la zona radicular disminuyó la absorción de agua y se redujo el rendimiento a  $12 \text{ kg árbol}^{-1}$ .



**Figura 5.** Efecto del riego con agua salina en la conductividad eléctrica (CE) y pH del suelo.

La calidad del agua utilizada para el riego de acuerdo al valor de la CE de 3 dS m<sup>-1</sup> se clasifica como agua moderadamente salina (Rhoades, 1992), lo que fue perjudicial para las accesiones 257 PTB, Fuerte negro, Teptl y Aquila S1 con mayor número de individuos con necrosis severa, ya que el aguacate es una especie sensible a la salinidad a una CE mayor a 2 dS m<sup>-1</sup> induciendo necrosamiento en las hojas.

### Concentración de nutrimentos en hojas

La mayor concentración de N-NO<sub>3</sub> estuvo presente en las plantas de Guatemalteco x Mexicano (0.24 %) mientras que la menor fue observada en *P. nubigena* Will. (0.13 %). El grupo de plantas que pertenecen a la raza Mexicana, raza Antillana, *P. nubigena* Will. y Guatemalteco x Mexicano tuvieron concentraciones de N-NO<sub>3</sub> mayores en las hojas con necrosis, 0.08, 0.03, 0.06 y 0.28 %, respectivamente (Cuadro 9). Una respuesta inversa fue encontrada por Kafkafi *et al.* (1992) en plantas tolerantes a salinidad de tomate y melón.

**Cuadro 9.** Concentración de nutrimentos en hojas de diferente posición en plantas con necrosis y sin necrosis de nueve accesiones de aguacate, bajo la condición de riego con agua salina.

Raza o especie	Posición de la hoja	Presencia de necrosis <sup>†</sup>	N-NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Mn	Fe
			(% peso seco)				(mg Kg <sup>-1</sup> peso seco)					
Mexicana	Superior	Sin necrosis	0.12	0.16	3.01	2.20	0.99	856	166	21	123	421
		Con necrosis	0.19	0.16	2.93	2.33	0.95	902	252	23	115	320
	Inferior	Sin necrosis	0.08	0.13	2.20	2.59	1.37	1173	174	25	120	472
		Con necrosis	0.18	0.13	2.42	2.88	1.13	637	227	17	116	480
Antillana	Superior	Sin necrosis	0.09	0.16	2.36	2.46	0.92	650	182	27	117	341
		Con necrosis	0.13	0.18	2.62	2.44	1.11	928	281	24	90	213
	Inferior	Sin necrosis	0.12	0.10	2.07	2.95	1.13	541	183	21	137	422
		Con necrosis	0.16	0.14	2.70	3.58	1.38	902	185	37	146	319
<i>P. nubigena</i> Will.	Superior	Sin necrosis	0.08	0.16	2.72	2.13	0.98	793	175	29	88	304
		Con necrosis	0.17	0.20	2.88	2.11	0.93	925	296	46	74	415
	Inferior	Sin necrosis	0.08	0.16	2.40	2.43	1.33	962	202	32	75	583
		Con necrosis	0.13	0.12	3.02	2.43	1.24	885	202	41	85	603
Guatemalteca x Mexicana	Superior	Sin necrosis	0.10	0.19	2.35	2.21	1.07	1202	239	t	84	205
		Con necrosis	0.44	0.13	2.36	2.76	0.99	536	119	7	129	296
	Inferior	Sin necrosis	0.10	0.11	2.07	2.50	1.16	836	238	30	107	513
		Con necrosis	0.32	0.09	1.55	3.09	1.18	289	309	t	159	648

<sup>†</sup> Plantas con necrosis (Índice 5: hoja con necrosis severa) y sin necrosis (Índice 1: hoja normal).  
t :elementos encontrados en concentración traza.

La concentración de NO<sub>3</sub> se mantuvo en el intervalo normal (0.02 a 2.0 %) mencionado por Fernandes y Rossiello (1995), quienes encontraron que en plantas cultivadas en condiciones normales se pueden acumular los NO<sub>3</sub> llegando a niveles de hasta 10 % de su peso seco, sin causar toxicidad, y difiere con Lovatt (1995), quien en condiciones de cultivo no salinas, reporta valores de NO<sub>3</sub> en hojas de aguacate de 0.21 %. Sin embargo, en este trabajo las concentraciones fueron similares a las encontradas por la misma autora en brotes nuevos de 0.10 % en árboles de aguacate con ocho años de edad del cv. Hass.

Por otra parte las plantas sin necrosis mostraron la tendencia a tener mayor concentración de Mg y Mn, mientras que las plantas con necrosis tuvieron mayor concentración de K, Ca y Cu (Apéndice Cuadro 3A). Respecto al Ca los resultados

difieren de lo encontrado por Kadman y Ben-Ya'acov (1976), quienes mencionan que las plantas de aguacate tolerantes a salinidad, transfieren Cl hacia las hojas en forma de  $\text{CaCl}_2$ , y en las susceptibles lo hacen en forma de KCl, es por ello que hay más acumulación Ca en hojas de las plantas tolerantes. Así mismo, Bar *et al.* (1997), encontraron mayor concentración de Ca en plantas de aguacate tolerantes a salinidad.

En estudios anteriores (Zhu *et al.*, 1998, Royo *et al.*, 1999 y Labidi *et al.* (2002) se ha resaltado la importancia del contenido de K por ser un nutrimento que está intrínsecamente relacionado con la fisiología a nivel celular, por lo tanto la absorción y acumulación en los tejidos tiene alta significancia en plantas tolerantes. En contraste con lo antes mencionado, en este estudio las plantas sin necrosis de la raza Antillana y *P. nubigena* Will. presentaron menor concentración de K, esta respuesta tiene relación con la selectividad del K y el Na en las células. La menor absorción de K y la lenta tasa de crecimiento vegetativo en las accesiones evaluadas, sugieren que la adaptación del aguacate al estrés por el exceso de Na es lograda si se mantiene un balance entre la protección contra la excesiva absorción de Na y la capacidad para conservar niveles óptimos de K necesarios para el crecimiento (Labidi *et al.*, 2002).

De acuerdo a Fisarakis *et al.* (2004), la acumulación y mantenimiento de altas concentraciones de K en hojas tiene la función de participar en el ajuste osmótico de la planta bajo estrés salino, esto concuerda con la acumulación preferencial observada en plantas con necrosis de la raza Mexicana, Antillana y *P. nubigena* Will. (Apéndice Cuadro 3A).

La reducción de la absorción de K por efecto del Na obedece a un proceso de competencia y ocurre sin tener en cuenta si la solución está saturada por Na según Grattan y Grieve (1999b). Al respecto Bernstein y Kafkafi (2002), mencionaron que el Cl y Na se mueven por flujo de masas acumulándose cerca de la superficie de la raíz y compiten con otros iones nutrimentales en la pared

celular y sitios de absorción de las membranas, induciendo concentraciones menores del nivel óptimo en los tejidos.

Las concentraciones de P, Ca y Mn (Cuadro 9) estuvieron en niveles adecuados en todas las plantas según los niveles establecidos por Reuter y Robinson (1997) quienes reportan los siguientes valores óptimos en hojas de 4 a 5 meses de edad, 0.08-0.25 % para P, sin embargo el Ca estuvo en un nivel adecuado (1.0-3.0 %) en las plantas de la raza Mexicana y *P. nubigena* Will., pero fue alto (3.1-4.0 %) para la raza Antillana y Guatemalteco x Mexicano, el Mn estuvo en un nivel adecuado (30-500 mg kg<sup>-1</sup>); mientras que la concentración de S fue marginal (200-1900 mg kg<sup>-1</sup>), en el caso de Zn también fue marginal (12-29 mg kg<sup>-1</sup>) solo en la raza Mexicana y adecuada para la raza Antillana, *P. nubigena* Will. y Guatemalteco x Mexicano (30-50 %), respecto a K la concentración fue alta en todas las plantas evaluadas (2.1-3.0 %). Las hojas de la parte inferior presentaron menor concentración de K, pero en Ca y Mg fue mayor (Cuadro 9), lo cual estuvo relacionado con el desplazamiento por Na. El Mg al estar disponible participa en funciones específicas como la formación de clorofila, inducción de la nitrato reductasa o la translocación de RNAm en tejidos meristemáticos (Marschner, 1995); mientras que el Ca juega un papel importante en los procesos de mantenimiento e integridad de la membrana, estabiliza la pared celular, regula la selectividad y el transporte de iones, controla el intercambio iónico, así como las actividades enzimáticas de la pared celular (Rengel, 1992; Marschner, 1995).

Las hojas de la posición superior mostraron valores mayores en P, al igual que K (Cuadro 9), lo cual está relacionado con la edad de la hoja, debido a la removilización de nutrimentos hacia las hojas jóvenes (Lahav y Whiley, 2002).

La concentración de macro y micronutrientes en hojas de la parte superior e inferior de plantas de raza Mexicana y *P. nubigena* Will. en orden de mayor a menor fue el siguiente: K>Ca>Mg>P>S>Fe>Cu>Mn>Zn, mientras que en la raza Antillana y Guatemalteco x Mexicano fue Ca>K>Mg>P>S>Fe>Cu>Mn>Zn, siendo

mayor la concentración de Ca como era de esperarse debido a la posición de la hoja por la baja movilidad de este elemento hacia órganos jóvenes.

La concentración de K y la relación K/Na, a excepción de la raza Antillana, fue mayor en las hojas de la parte superior (Apéndice Cuadro 2A), lo anterior pudo ser producto de la baja absorción de K en la raíz en condiciones de salinidad así como a la translocación de las hojas inferiores (adultas) hacia las hojas superiores (jóvenes). Al respecto Chartzoulakis (2005) y Naeini *et al.* (2004), afirmaron que la planta en condiciones salinas, es capaz de mantener altos niveles de K en hojas jóvenes al actuar como catión monovalente, acumulando gran parte del Na en las hojas inferiores y manteniendo una relación óptima K/Na en tejidos activamente en crecimiento como hojas y brotes del tallo. Grattan y Grieve (1994a), afirmaron que la salinidad produce desbalances nutrimentales en varias formas que pueden resultar del efecto en la disponibilidad de nutrientes, competencia durante la absorción, transporte en la planta o por la inactivación fisiológica de los nutrientes lo que resulta en el incremento de la demanda interna de la planta para el elemento problema.

En cuanto a la relación Ca/Na se observó que las plantas de la raza Mexicana, *P. nubigena* Will. y Guatemalteco x Mexicano mostraron una mayor relación en plantas sin necrosis (Apéndice Cuadro 2A). Esto tiene relación con lo mencionado por Shabala, *et al.* (2006) quienes en *Arabidopsis thaliana* sugieren que el Ca disminuye la toxicidad del Na al reducir la entrada a través de canales no selectivos y por otro lado mencionan que un mecanismo para superar el agobio salino es impedir la pérdida de K por los canales de las membranas.

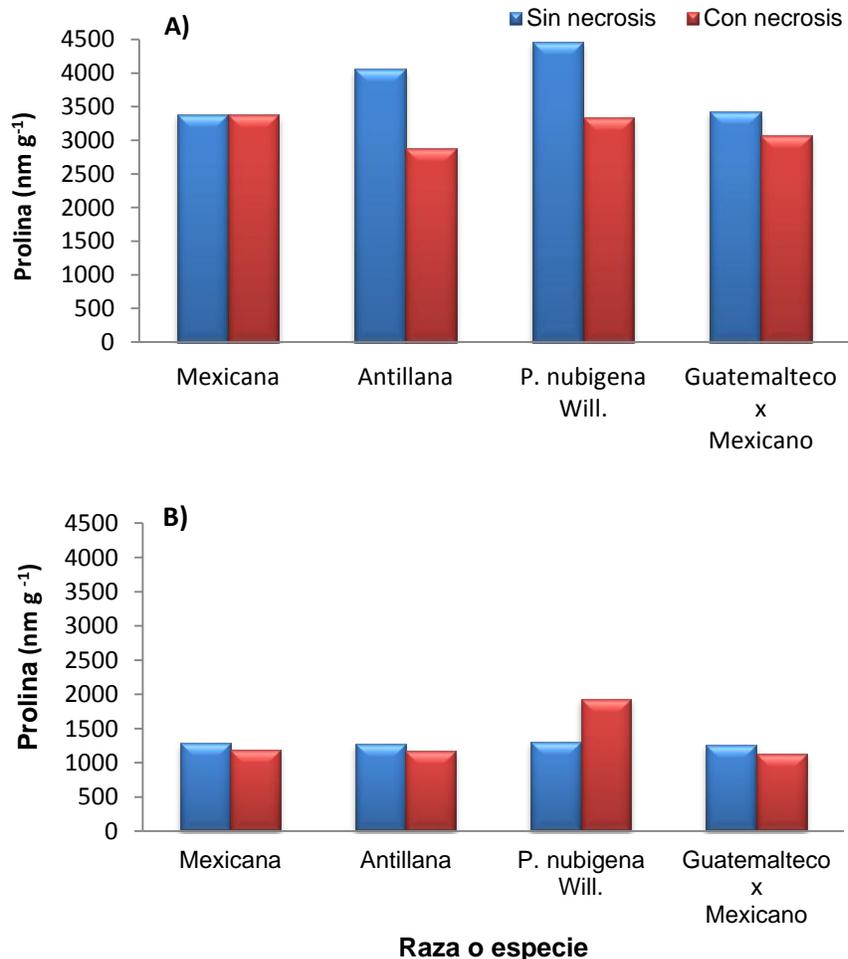
El análisis nutrimental también mostro que la concentración de Mg (>1.0 %), Cu (>25 mg kg<sup>-1</sup>) y Fe (50-200 mg kg<sup>-1</sup>) se encontró en niveles tóxicos en las accesiones de la raza Mexicana, raza Antillana, *P. nubigena* Will. y Guatemalteco x Mexicano, de acuerdo a valores que reportan Reuter y Robinson (1997). Según Lahav y Whiley (2002) indican que los niveles tóxicos en aguacate son inducidos

por el riego con agua salina, esta respuesta fue similar a la encontrada en especies como: calabaza, trigo y mango (Alam, 1994; Villora *et al.*, 2000 y Zuazo *et al.*, 2004). La alta concentración de Cu encontrada en las hojas, también pudo deberse por la aplicación de oxiclورو de cobre ya que los residuos de fungicidas a base de este elemento aplicados para el control de enfermedades del follaje incrementan la concentración (Maldonado-Torres *et al.*, 2007).

Hu y Schmidhalter (2001) reportan que las concentraciones de Mg, Fe y Cu aumentan en brotes de chícharo, tomate y arroz pero disminuyen en cebada y maíz, bajo condiciones de salinidad. Estos autores señalan que los cambios en las concentraciones de Fe, Zn y Mn en condiciones salinas son complejas y dependen del contenido de macronutrientes, sustrato, especie y órgano de la planta, además que estos cambios no son un factor limitante para el crecimiento en condiciones salinas.

### **Concentración de prolina**

El análisis de prolina en el ápice del tallo mostró que las plantas de la raza Antillana (accesiones Navideño y Segregante de Hunucma) y la especie *P. nubigena* Will. tuvieron mayor concentración en las plantas que no manifestaron necrosis comparado con las que sí tuvieron. Por otro lado, *P. nubigena* Will. mostró la mayor concentración en ápices del tallo y en raíces laterales, mientras que las accesiones de la raza Mexicana y Guatemalteco x Mexicano tuvieron un valor similar (Figura 6).



**Figura 6.** Concentración de prolina en A) el ápice del tallo y B) raíces laterales de plantas de aguacate sin necrosis (Índice 1: hoja normal) y con necrosis (Índice 5: hoja con necrosis severa) de diferente origen genético.

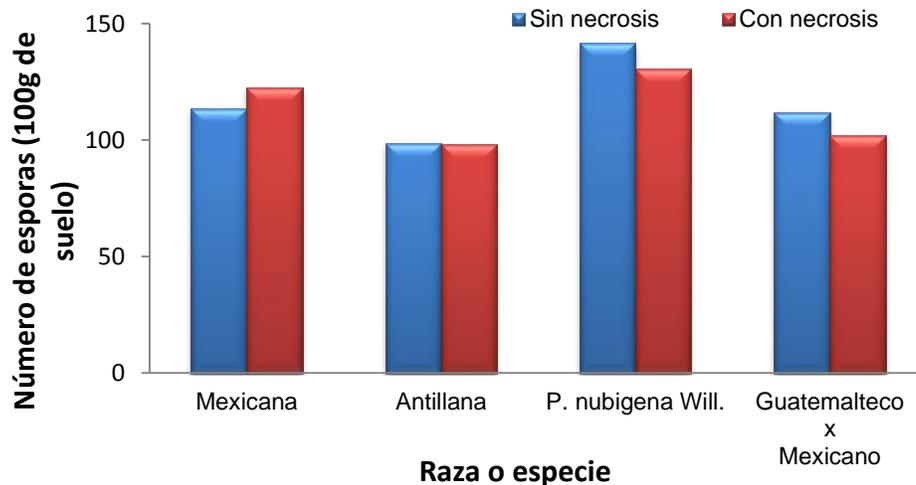
Las concentraciones de prolina fueron mayores en el ápice del tallo (2288-4471 nm g<sup>-1</sup>) que en la raíz (1174-1938 nm g<sup>-1</sup>), lo cual pudo deberse a que el estrés hídrico inducido por la acumulación de Na y principalmente Cl, promovió mayor síntesis y acumulación de solutos compatibles como prolina, sacarosa, polioles, trehalosa y compuestos cuaternarios de amonio (Ashraf y Foolad, 2007), que permitieron el equilibrio osmótico en el ápice del tallo. El incremento en la concentración también pudo ser causado por la inducción o activación de la síntesis o por la reducción de la oxidación de prolina a glutamato así como también por la utilización de esta en la síntesis de proteínas (Khan *et al.*, 2007).

La concentración de prolina encontrada en las raíces laterales (Figura 6) coincide con lo observado con Verslues y Sharp (1999), quienes señalan que bajo estrés, los valores inferiores en raíces se debe a que no se interrumpe el catabolismo de prolina comparado con los ápices vegetativos, debido a los altos requerimientos de energía de las células de la zona de alargamiento de la raíz.

La variación de los resultados en la concentración de prolina en el ápice del tallo y raíces laterales en plantas con necrosis y sin necrosis, indican la controversia en torno a la respuesta en la síntesis de este aminoácido. Por un lado existen estudios que indican que actúa como agente osmoprotectante y aumenta la tolerancia a la salinidad, como fue el caso del ápice de las plantas sin necrosis, y por el otro, existen trabajos en frijol y *Arabidopsis* que relacionan altas concentraciones con mayor susceptibilidad a la salinidad (Andrade *et al.* 1995; Nanjo *et al.*, 2003). En relación con lo anterior, Ghars *et al.* (2008) encontraron una correlación negativa entre la concentración de prolina y la tolerancia a la salinidad y concluyeron que esta se debió a la disponibilidad de K y una alta relación K/Na y no por la prolina, por lo que es necesario seguir investigando en el caso específico del aguacate.

### **Micorrizas nativas en el suelo**

En la Figura 7 se observa que el mayor número de esporas estuvo en la rizosfera de las plantas sin necrosis y con necrosis de *P. nubigena* Will. con 131 y 142 esporas, respectivamente.



**Figura 7.** Número de esporas de micorrizas nativas en la rizosfera de plantas de aguacate sin necrosis (Índice 1: hoja normal) y con necrosis (Índice 5: hoja con necrosis severa).

Estos valores fueron bajos de acuerdo a lo reportado por Tapia *et al.* (2008) en suelos salinos, debido a que el suelo no fue incubado con micorrizas antes del establecimiento del experimento, por lo que no existió una cantidad adecuada de micorrizas para que ocurriera la infección e influir positivamente en la respuesta de la planta al riego con agua salina. Otra explicación, es la especie de micorriza presente en el suelo debido que cada una actúa de manera diferente en el crecimiento y estatus nutricional de la planta de aguacate (Silveria *et al.*, 2003).

Otra causa, son los posibles efectos negativos en la población de micorrizas por el riego con agua salina y la adición de fertilizantes que contenía la solución Steiner, al reducir el número de arbusculos y vesículas, la germinación y supervivencia de esporas y crecimiento de la hifa, impidiendo la colonización de la raíz y evidenciar la baja adaptación a las sales de las especies de micorrizas presentes en el suelo (Pfeiffer y Bloss, 1988; Dixon, 1993; García y Mendoza, 2007). Por lo tanto, se deben conocer las características y limitaciones de las micorrizas arbusculares para determinar la efectividad de una especie en la colonización de un nuevo hábitat donde el hongo tiene que enfrentar una condición de estrés en particular (Ruiz-Lozano y Azcon, 2000).

## V CONCLUSIONES

La accesión Navideño tuvo mayor número de individuos que mostraron adaptación en condiciones de riego con agua salina al presentar el mayor incremento en el diámetro de tallo, incremento acumulado mensual en altura de la planta y menor porcentaje de individuos con necrosis en las hojas, de tal manera que puede ser considerada como más tolerante a la salinidad. Mientras las accesiones de la variedad *drymifolia* (257 PTB, Fuerte negro y Aquila S1), fueron más sensibles al riego con agua salina, lo que se reflejó en la reducción del crecimiento y mayor porcentaje de plantas con necrosis. Sin embargo, se encontró que en todas las accesiones hubo individuos con diferente grado de adaptabilidad, debido a la variabilidad genética, como fue el caso de Segregante de Hunucma de la variedad americana, y Criollo 38 y Tochimilco S2 de la variedad *drymifolia*.

La respuesta de las accesiones estuvo asociada con la distribución de Na en raíz y tallo pero no en hojas. Con respecto al Cl solamente hubo relación de la distribución en raíces. La acumulación de Cl siguió una tendencia ascendente de raíz a hojas.

La mayor concentración de Na en raíces y en el tallo de las plantas de la raza Antillana y *P. nubigena* Will. sin necrosis, pudo ser un mecanismo de tolerancia para mantener el Na en la parte baja de la planta y prevenir los daños en las hojas.

Las plantas con necrosis y sin necrosis tuvieron un estatus nutrimental similar en hojas adultas y jóvenes. Las concentraciones de Mg, Fe, y Cu estuvieron en niveles tóxicos, sin que las plantas mostraran síntomas de toxicidad.

La concentración de prolina fue mayor en el ápice del tallo y no mostró relación con la necrosis en las hojas, al igual que la presencia de micorrizas en el suelo.

## VI LITERATURA CITADA

- Alam, S. M. 1994. Nutrient uptake by plants under stress conditions. *In: Handbook of plant and crop stress*. Pessarakli M. (ed.). 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 227-246.
- Almasoum, A. A. 2000. Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water. *Acta Hort.* 537:773-778.
- Andrade, A. L. Saavedra and C. L. Trejo. 1995. Proline accumulation in leaves of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. with different drought resistance. *J. Exp. Bot.* 57:149-157.
- Asghari, H. R. 2008. Vesicular-arbuscular (VA) mycorrhizae improve salinity tolerance in pre-inoculation subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) seedlings. *Int. J. Plant Production* 2: 243-256.
- Ashraf, M. and M. R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59:206-216.
- Augé, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhizal* 11:3-42.
- Avnimelech, Y., D. Shkedy, M. Kochva and Y. Yotal. 1994. The use of compost for the reclamation of saline and sodic soils. *Compost Sci. Utiliz.* 2:6-9.
- Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Riego y Drenaje N° 29. FAO, Roma, Italia. pp. 7-12.
- Bar, Y., A. Apelbaum, U. Kafkafi and R. Goren. 1997. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. *J. Plant Nutr.* 20:715-731.
- Barkla, B. J., R. V. Estrella, E. Balderas y O. Pantoja. 2007. Mecanismos de tolerancia a salinidad. *Biotecnología* 14:263-272.
- Barrientos P., A. F. y L. López-López. 2000. Historia y genética del aguacate. *In: El aguacate y su manejo integrado*. Téliz D. y A. Mora. (comps). 2a. ed. Ediciones Mundi Prensa. D.F., México. pp. 22-62.

- Barrientos P., A. F., R. B. Muñoz P. y J. C. Reyes A. 2007. Taxonomía, cultivares y portainjertos. *In: El aguacate y su manejo integrado*. Téliz D. y A. Mora (comps). 2a. ed. Ediciones Mundi Prensa. D.F., México. pp. 22-62.
- Bar-Tal, A., S. Feigenbaum and D. L Sparks. 1991. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. *Irrig. Sci.* 12:27-35.
- Bates, L. S., R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline in plants. *Agronomie* 23:447-454.
- Bellon, M. R., A. F. Barrientos-Priego, P. Colunga-GarcíaMarín, H. Perales, J.A. Reyes A., R. Rosales S. y D. Zizumbo-Villareal. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, *In: Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Dirzo R., R. González M., I. J. March (eds.) Conabio. D.F., México, pp. 355-382.
- Ben-Ya'acov, A. and Michelson, E. 1995. Avocados rootstocks. *Horticultural Reviews* 17:381-429.
- Ben-Ya'acov, A., Z. Barkan, E. Michelson, I. Stela and E. Zilberstaine. 1992. Selection of clonal avocado rootstock in Israel for high productivity under different soil conditions. *Proc. of second world avocado congress*. Riverside, CA, USA. pp. 521-526.
- Bernstein, L., L. E. Francois, and R. A. Clark. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agron. J.* 66:412-421.
- Bernstein, N. and U. Kafkafi. 2002. Root Growth under salinity stress *In: Plant roots the hidden half*. Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). 3rd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 787-838.
- Bernstein, N., A. Meiri and M. Zilberstaine. 2004. Root Growth of Avocado is More Sensitive to Salinity than Shoot Growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129:188–192.
- Bingham F. T. and L. B. Fenn 1966. Chloride injury to Hass avocado trees: A sandculture experiment. *Calif. Avoc. Soc. Yrbk* 50: 99-106.
- Borys, M. W., J.R. Barrera-Guerra and J. Luna-López. 1985. Some root characteristics of avocado (*Persea americana* Mill.) seedlings of the West Indian and Guatemalan races. *Calif. Avoc. Soc. Yrbk.* 69:111-122.

- Bradfield, E. G. and S. Spencer. 1965. Leaf analysis as guide to the nutrition of fruit crops: Determination of magnesium, zinc and copper by atomic absorption spectroscopy. *J. Sci. Food. Agr.* 16:33-38.
- Bybordi, A. and J. Tabatabael. 2009. Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 37:71-76.
- Byrt, C. S. and R. Munns. 2008. Living with salinity. *New Phytologist* 179: 903–905.
- Cachorro, P., A. Ortiz and A. Cerda. 1994. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant Soil* 159:205-212.
- Cantrell, I. C. and R.G. Linderman. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. *Plant Soil* 233: 269–281.
- Castro, V. M., E. R. Iturrieta and O. C. Fassio. 2009. Rootstock effect on the tolerance of cv. Hass avocado plants to NaCl stress. *Chilean J. Agric. Res.* 69: 316-324.
- Cataldo, D. A., L. E. Haroon and V. I Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6:71-80.
- Cesped, R., D. Crowley, W Smith, J. Osterand and C. Lovatt. 2007. Growth and physiological response of Hass avocado (*Persea americana* Mill) on clonal rootstocks irrigated with isotonic solutions with increasing chloride concentrations. *Proceedings of the Six World Avocado Congress.* 12-16 noviembre. Viña del Mar, Chile. p. 33.
- Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. Plant analysis. *In: Methods of analysis for soils, plants and waters.* Chapman, H. D. (ed.). Division of Agriculture Sciences. University of California. Riverside, California, USA. pp. 56-64.
- Chartzoulakis, K. S. 2005. Salinity and olive: Growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. *Agricultural Water Management* 78:108-121.
- Chinnusamy, V., A. Jagendorf and J. Zhu. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45:437-448.

- Clark, R. B. and S. K. Zeto. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *J. Plant Nutr.* 23: 867-902.
- Coria-Ávalos, V. M. 1999. Ciclo de vida, fluctuación poblacional y control del barrenador de la semilla del aguacate (*Conotrachelus perseae* Barber, C. *aguacatae* B.)(Coleóptera:Curculiónidae) en Ziracuaretiro, Michoacán, México. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 5: 313-318.
- Cramer, G. R. and R. S. Nowak. 1992. Supplemental manganese improves the relative growth, net assimilation and photosynthetic rates of salt-stressed barley. *Physiol. Plant.* 84:600-605.
- Crowley, C. 2011. Irrigation and salinity management of avocado. <http://www.californiaavocadogrowers.com/assets/Uploads/Growers-Site/Cultural-Management/20102011-Grower-Seminars/Irrigation-Management-SLO-Crowley-2011.pdf>
- Crowley, D. 2008. Salinity management in avocado orchards. *Calif. Avoc. Soc. Yrbk* 91:83-104.
- Cuartero Z., J., R. Fernández-Muñoz y J. J. Gonzalez-Fernandez. 1995. Estreses abióticos. *In: El cultivo del tomate*. Nuez, F. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao, España. pp. 351-384.
- Delauney, A. J. and D. P. S Verna. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.* 4:215.
- Dixon, R. K., M. V. Rao and V. K. Garg. 1993. Salt stress affects *in vitro* growth and *in situ* symbiosis of ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 3:63-68.
- Downton, W.J.S., 1978. Growth and flowering in salt-stressed avocado trees. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 523–534.
- El-Sherif, A. F., S. M. Shata and R. A. Youssef. 1990. Response of tomato seedlings to zinc application under different salinity levels I. Dry matter, Ca, Mg, K and Na content. *Egypt. J. Hort.* 17:131-142.
- Etchevers, J. D. 1992. Manual de métodos para análisis de suelos, plantas aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad de Suelos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 803 p.

- FAOSTAT, 2009. Food and Agricultural commodities production. En línea: disponible en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (revisado el 13 de julio del 2011).
- Feng, G., F. S. Zhang, X. L. Li, C. Y. Tian, C. Tang and Z. Rengel. 2002. Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12: 185–190.
- Fernandes, M. S. and P. R. O. Rossiello. 1995. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. *Crit. Rev. Plant Sci.* 14:111-148.
- Fisarakis, I., N. Nikolau, P. Tsikalas, I. Therios and D. Stavarakas. 2004. Effect of salinity and rootstock on concentration of potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and nitrate-nitrogen in Thompson seedless grapevine. *J. Plant Nutr.* 27:2117-2134.
- Flowers, T. J., P. F. Troke and A. R. Yeo. 1977. Mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28:89-121.
- Francois, L. E. 1982. Salt tolerance of eight ornamental tree species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:66-68.
- Francois, L. E. and E. V. Mass. 1999. Crop response and management of salt-affected soils. *In: Handbook of plant and crop stress.* Pessarakli, M. (ed.). 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 149-181.
- Garcia, I. V. and R. E. Mendoza. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant symbiosis in a saline-sodic soil. *Mycorrhiza* 17:167-174.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal endogen species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46:234-244.
- Ghars, M. A., E. Parre, A. Debez, M. Bordenave, L. Richard, L. Leport, A. Bouchereau, A. Savouré and C. Abdelly. 2008. Comparative salt tolerance analysis between *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila*, with special emphasis on K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> selectivity and proline accumulation, *J. Plant. Physiol.* 165:588–599.

- Goykovic V., C. y G. Saavedra D. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA (Chile)* 25: 47-58.
- Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999a. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *In: Handbook of plant and crop stress*. Pessaraki, M. (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp 203-226.
- Grattan, S. R. and C. M. Grieve. 1999b. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 78:127-157.
- Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:149-190.
- Hu, Y. and U. Schimdhalter. 2001. Effects of salinity and macronutrient level on micronutrients in wheat. *J. Plant Nutr.* 24: 273-281.
- Hu, Y. and U. Schimdhalter. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 541-549.
- Kadman, A. 1964. The uptake and accumulation of sodium in avocado seedlings. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 85: 179-182.
- Kadman, A. and A. Ben-Ya'acov. 1976. Selection of avocado rootstocks for saline conditions. *Acta Horticulturae* 57:189-197.
- Kafkafi, U. and N. Bernstein. 1995. Root growth under ionic composition and salinity stress. *In: Plant Roots: The Hidden Half*. Waisel, Y., A. Eshel and U. Kafkafi. (eds.). 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 435-452.
- Kafkafi, U., M. Y Siddiqi, R. J. Ritchie, A. D. M Glass and T. J. Ruth. 1992. Reduction of nitrate ( $^{13}\text{NO}_3$ ) influx and nitrogen ( $^{13}\text{N}$ ) translocation by tomato and melon varieties after short exposure to calcium and potassium chloride salts. *J. Plant Nutr.* 15:959-975.
- Khan, M. N., M. H. Siddiqui, F. Mohammad, M. M. A. Khan and M. Naeem. 2007. Salinity induced changes in growth, enzyme activities, photosynthesis proline accumulation and yield in linseed genotypes. *World J. Agric. sci.* 3:685-695.

- Khedr, A. H. A., M. A. Abbas, A. A. A. Wahid, W. P. Quick and G. M. Abogadallah. 2003. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt-stress. *J. Exp. Bot.* 54:2553-2562.
- Kumar, S., K. M. Naidu and H. L. Sentiya. 1994. Causes of growth reduction in elongating and expanding leaf tissue of sugarcane under saline conditions. *Austr. Plant Physiol.* 21:79-83.
- Labidi, N., M. Lachaâl, C. Grignon and M. Hajji. 2002. Variability of the response to sodium chloride of eight ecotypes of *Arabidopsis Thaliana*. *J. Plant Nutr.* 25: 2627-2638.
- Lachaâl, M. C. Grignon and M. Hajji. 2002. Growth rate affects salt sensitivity in two lentil populations. *J. Plant Nutr.* 25:2613-2625.
- Lahav, E. 2003. The response of avocado to salinity and water-fertilizer management. *In: Proceedings of Avocado Brainstorming. Session II. Salinity Management.* Arpaia, M. L. and R. Hofshi (eds.). October 31-November 1, 2003. Ventura, CA. USA. 6 p.
- Lahav, E. and A. W. Whiley. 2002. Irrigation and mineral nutrition. *In: The avocado Botany, Production and Uses.* Whiley A., W., B. Schaffer and B. N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. London, U.K. pp. 259-297.
- Laüchli, A. and U. Lüttge. 2002. *Salinity: Environment-Plants-Molecules.* Kluwer Academy Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 557 p.
- Leidi, E. O. y J. M. Pardo. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: ¿Qué hay de nuevo? *Revista de investigación de la facultad de ciencias agrarias, sección de investigación.* NR, No. II. [Http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm](http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm). consultado el 25 de mayo de 2011.
- Li, B. 2010. Soil Salinization. *In: Desertification and Its Control in China.* Ci, L. and Yang, X. (eds.) Higher Education Press. Beijing, China. pp: 282-283.
- Lovatt, C. J. 1995. Nitrogen nutrition of the 'Hass' avocado: Where does all the N goes?. *In: Proceedings III World Avocado Congress.* 22-27 October. Tel Aviv, Israel. pp. 152-159.

- Maggio, A., S. De Pascale, G. Angelino, C. Ruggiero and G. Barbieri. 2004. Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Eur. J. Agron.* 21:149-159.
- Maldonado-Torres, R., M. E. Álvarez-Sánchez, G. Almaguer-Vargas, A. F. Barrientos-Priego y R. García-Mateos. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 13:103-108.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. Academic Press. London, U. K. 889 p.
- Martinez, V. and A. Cerdá. 1989. Influence of N source rate of Cl, N, Na and K uptake by cucumber seedlings grown in saline conditions. *J. Plant Nutr.* 12: 971-983.
- Mehrotra, N. K., V. K. Khanna and S.C. Agarwala. 1986. Soil-sodicity-induced zinc deficiency in maize. *Plant Soil* 92:63-71.
- Mickelbart, M. V. and M. L. Arpaia. 2002. Rootstock influences changes in ion concentrations, growth, and photosynthesis of 'Hass' avocado trees in response to salinity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:649–655.
- Mickelbart, M.V., S. Melser and M.L. Arpaia. 2007. Salinity induced changes in ion concentrations of 'Hass' avocado trees on three rootstocks. *J. Plant Nutr.* 30:105-122.
- Misra, N. and P. Saxena. 2009. Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress. *Plant Sci.* 177:181–189.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist.* 167:645-663.
- Musyimi, D. M., G. W. Netondo and G. Ouma. 2008. Salinity and temperature effects on CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of avocados. *Amer. J. Plant Physiol.* 3:40-49.
- Naeini, M. R., A. H. Khoshgoftarmansh, H. Lessani and E. Fallahi. 2004. Effect of sodium chloride-induced salinity on mineral nutrients and soluble sugars in three commercial cultivars of pomegranate. *Plant Soil* 27:1319-1326.

- Nanjo, T., M. Fujita, M. Seki, T. Kato, S. Tabata and K. Shinozaki. 2003. Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase, *Plant. Cell. Physiol.* 44:541–548.
- Newett, S. D. E., J. H. Crane and C. F. Balerdi. 2002. Cultivars and rootstocks. *In: The avocado Botany, Production and Uses.* Wiley A., W. B. Schaffer and B. N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. London, U.K. pp. 161-187.
- Nuccio, M. L., D. Rhodes, S. D. McNeil, and A. D. Hanson. 1999. Metabolic engineering of plants for osmotic stress resistance. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2:128-134.
- Ortega E, M. 1991. Manejo y uso de las aguas salinas bicarbonatadas y sulfáticas para riego. *In: Seminario internacional sobre uso eficiente de agua.* 21-25 octubre. D.F., México. pp. 1-20.
- Oster, J. D., D. E. Stottlmyer and M. L. Arpia. 2007. Salinity and water effects on 'Hass' avocado yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 132:253-261.
- Page, A. L., Chang, A. C. and Adriano, D. C. 1990. Deficiencies and toxicities of trace elements. *In: Agricultural Salinity Assessment and Management.* Tanji K.K. (ed.). ASCE. New York. USA. pp.138-160.
- Parés, J., M. A. Arizaleta, M. A., M. E. Sanabria y G. García. 2008. Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. *Acta Bot. Venez.* 31:27-34
- Parida, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotox. Environ. Safe.* 60: 324-349.
- Pessarakli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Pessarakli, M. (ed.). 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 1254 p.
- Pessarakli, M. and I. Szabolcs. 1999. Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factor. *In: Handbook of plant and crop stress.* Pessarakli, M. (ed.). 2nd. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 1-96.
- Pfeiffer, C. M. and H. E. Bloss. 1988. Growth and nutrition of guayale (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. *New Phytol.* 108:315-321.

- Reddy, A. R., K. V. Chaitanya and M. Vivekanandan. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.* 161:1189-1202.
- Renault, S., C. Croser, A. J. Franklin and J. J. Zwiazek. 2001. Effects of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx) seedlings. *Plant Soil* 233:261-268.
- Rengel, Z., 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ.* 15:625-632.
- Reuter, D. J. and J. B. Robinson. 1997. *Plant analysis: an interpretation manual*. 2nd. ed. CSIRO publishing. Collingwood, Victoria, Australia. 572 p.
- Rhoades, J. D. 1992. *Water for crop production*. U. S. Salinity Laboratory United States Department of Agriculture, Riverside. 1986. California, USA. UND/FAO 48:1-39.
- Rodríguez, N. A., L. Gallo y A. Marrero. 2008. Selección de patrones de aguacate de raza antillana. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Islas Canarias, España. 34 p
- Rodríguez, S. F. 1982. *El aguacate*. AGT editor. D.F., México. 167 p.
- Royo, A., and R. Aragües. 1999. Salinity-yield response function of barley genotypes assessed with a triple line source sprinkler system. *Plant Soil* 209:9-20.
- Ruiz, D., V. Martínez and A. Cerdá. 1997. Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiol.* 17:141-150.
- Ruiz-Lozano, J. M. and R. Azcon. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza* 10:137-143.
- SAGARPA-SIAP, 2009. Cierre de producción agrícola por cultivo. [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) (revisado el 10 de junio de 2011).
- Salazar-García, S. 2002. *Nutrición del Aguacate, Principios y Aplicaciones*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en asociación con el Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Querétaro, México. 165 p.

- Salazar-García, S. and A. Larqué-Saavedra. 1985. Effect of progressive soil salinity on the leaf water potential and stomatal conductance in avocado (*Persea americana* Mill.). Calif. Avoc. Soc. Yrbk. 69:101-104.
- Salazar-García, S. and J. I. Cortés-Flores. 1988. Leaf scorch and mineral nutrition of avocado trees irrigated with saline water. Calif. Avoc. Soc. Yrbk 72:229-235.
- Salazar G, S. 1985. Relación entre grado de daños y el contenido de sales en hojas de árboles de aguacate cv. Fuerte en la región de Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 164 p.
- SAS Institute, Inc. 2000. The SAS system for windows. Release 9.0. SAS Institute, Cary, North Caroline, U.S.A.
- Seaman, J. 2005. Mechanisms of salt tolerance in halophytes: Can crop plants resistance to salinity be improved? <http://www.shef.ac.uk/aps/mbiolsci/jeni/dissertation.pdf>(revisado el 12 de enero de 2011).
- Shabala, S., V. Demidchik, L. Shabala, T. A. Cuin, S. J. Smith, A. J. Miller, J. M. Davies and I. A. Newman. 2008. Extracellular  $Ca^{2+}$  ameliorates NaCl-induced  $K^+$  loss from *Arabidopsis* root and leaf cells by controlling plasma membrane  $K^+$ -permeable channels. Plant physiol. 141: 1653-1665.
- Shaffer B. and W. Whiley. 2002. Environmental physiology. In: The avocado Botany, Production and Uses. Whiley A., W., B. Schaffer and B. N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. London, U.K. pp. 135-160.
- Shannon, M. C. and C. M. Grieve. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hort. 78:5-38.
- Sharpley, A. N., J. J. Meisinger, J. F. Power and D. L. Suarez. 1992. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. Adv. Soil Sci. 19:151-217.
- Shi, H., F. J. Quintero, J. M. Pardo and J. K. Zhu. 2002. The putative plasma membrane  $Na^+/H^+$  antiporte SOS1 controls long distance  $Na^+$  transport in plants. Plant cell 14:465-477.

- Shonubi, O. O. 2010. The possible roles of the leaves of two *Paspalum* species in salinity tolerance. *Assian J. Plant Sci.* 9:94-98.
- Shonubi, O. O. and O. T. Okusanya. 2007. The growth and physiological responses of *Paspalum vaginatum* S.W. and *Paspalum scrobiculatum* Linn. in relation to salinity. *Assian J. Plant Sci.* 6:949-956.
- Shukla, U. C. and A. K. Mukhi. 1985. Ameliorative role of zinc on maize growth (*Zea mays* L.) under salt-affected soil conditions. *Plant Soil* 87:423-432.
- Silveira, S. V. da, P. V. D. de Souza y S. F. Schwartz. 2003. Elementos minerales y carbohidratos en plantones de aguacate "Carmen" inoculados con micorrizas arbusculares. *In: Proceedings V World Avocado Congress.* 19-24 octubre. Granada-Málaga, España. pp. 415-420.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solutions. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC.* Wageningen, The Netherlands. pp. 633-650.
- Stephen, R. G. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Rodríguez E., T. Benjamín, L. Rodríguez, A. Cortés (eds.). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Subbarao, G. V. and C. Johansen. 1999. Strategies and scope for improving salinity tolerance in crop plants. *In: Handbook of plant and crop stress.* 2nd. ed. Pessarakli, M. (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp. 1067-1089.
- Tapia, G. J., R. Ferrera C., L. Varela F., J. C. Rodríguez O., J. Lara M., J. C. Soria C., H. Cuellar T., M. A. Tiscareño I. y R. Cisneros Almazán. 2008. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Rev. Mex. Mic.* 26:1-7
- Téliz, O. D. y P. F. J. Marroquín. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. *In: Téliz, D. El Aguacate y su Manejo Integrado.* 2a. ed. Editorial Mundi Prensa. D.F., México. pp. 3-28.
- Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.

- Turner, N.C. 1997. Further progress in crop water relations. *Adv. Agron.* 58: 293-338.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook No. 60. U. S. Government Printing Office. Washington, D. C., U.S.A. 160 p.
- Verslues, P. and E. R. Sharp. 1999. Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. II. Metabolic source of increased proline deposition in the elongation zone. *Plant Physiol.* 119: 1349-1360.
- Villora, G., D. A. Moreno, G. Pulgar and L. Romero. 2000. Yield improvement in zucchini under salt stress: determining nutrient balance. *Sci. Hort.* 86:175-183.
- Wang, W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extremes temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218:1-14.
- Weising, K., H. Nybom, K. Wolff and G. Kahl. 2005. DNA fingerprinting in plants principles, methods and applications. 2nd. ed. CRC Press, Taylor & Francis. Boca Raton, Florida. 444 p.
- Wiesman, Z. 1995. Rootstock and nitrate involvement in 'Ettinger' avocado response to chloride stress. *Scientia Hort.* 62:33-43.
- Wolstenholme, B. N. 2002. Ecology: climate and edaphic environment. *In: The avocado Botany, Production and Uses.* Wiley A., W. B. Schaffer and B. N. Wolstenholme (eds.). CABI Publishing. London, U. K. pp. 71-99.
- Yeo, A. R. 1983. Salinity resistance. *Physiologies and prices.* *Physiol. Plant.* 58:214-222.
- Zhu, J. K., J. Liu and L. Xiong. 1998. Genetic analysis of salt tolerance in *Arabidopsis*: Evidence for a critical role of potassium nutrition. *Plant Cell.* 10:1181-1192.
- Zuazo, V. H. D., A. Martínez-Raya and D. F. Tarifa. 2004. Impact of salinity on macro and micronutrient uptake in mango (*Mangifera indica* L. cv. Osten). *Span. J. Agric. Res.* 2:121-133.

## VII APÉNDICE

**Cuadro 1A.** Distribución de Cl y Na (% peso seco) en hoja, tallo y raíz de aguacate de diferente origen genético.

Raza o especie	Presencia de necrosis	Numero de plantas	Hoja				Tallo						Raiz Principal	
			Cl		Na		Cl			Na			Cl	Na
			HI <sup>‡</sup>	HS	HI	HS	Basal	Medio	Superior	Basal	Medio	Superior		
Mexicana	Sin necrosis	5	1.58	1.91	0.38	0.53	0.45	0.49	0.61	0.15	0.23	0.28	0.37	0.97
	Con necrosis	5	1.91	2.15	0.69	0.71	0.47	0.65	0.73	0.34	0.31	0.41	0.34	0.52
Antillana	Sin necrosis	2	1.54	1.97	0.44	0.39	0.38	0.49	0.75	0.21	0.30	0.63	0.28	0.24
	Con necrosis	2	2.40	2.40	0.38	0.25	0.41	0.43	0.70	0.50	0.35	0.73	0.28	0.64
<i>P. nubigena</i>	Sin necrosis	3	1.71	1.96	0.30	0.29	0.46	0.57	0.80	0.29	0.30	0.33	0.31	0.60
Will.	Con necrosis	3	1.68	1.65	0.38	0.38	0.64	0.64	0.75	0.43	0.38	0.40	0.38	0.74
Guatemalteco x Mexicano	Sin necrosis	1	2.18	2.64	0.46	0.34	0.27	0.39	0.42	0.11	0.21	0.39	0.28	0.66
	Con necrosis	1	1.22	1.48	0.61	0.84	0.44	0.6	0.65	0.31	0.82	0.65	0.42	0.21

\* **HS:** Hoja de la parte superior, **HI:** Hoja de la parte inferior.

**Cuadro 2A.** Relación Ca/Na y K/Na en plantas de aguacate de diferente origen genético.

Raza o especie	Posición de la hoja	Planta <sup>†</sup>	Ca/Na	K/Na
Mexicana	Superior	Sin necrosis	4.0	2.49
		Con necrosis	3.0	2.22
	Inferior	Sin necrosis	7.0	1.82
		Con necrosis	4.0	1.73
Antillana	Superior	Sin necrosis	6.0	1.97
		Con necrosis	10.0	2.37
	Inferior	Sin necrosis	7.0	1.62
		Con necrosis	9.0	2.32
<i>P. nubigena</i> Will.	Superior	Sin necrosis	7.0	2.43
		Con necrosis	6.0	2.51
	Inferior	Sin necrosis	8.0	2.10
		Con necrosis	6.0	2.64
Guatemalteco x Mexicano	Superior	Sin necrosis	6.0	2.01
		Con necrosis	3.0	1.52
	Inferior	Sin necrosis	5.0	1.61
		Con necrosis	5.0	0.95

<sup>†</sup> Plantas con necrosis (Índice 5: hoja con necrosis severa) y sin necrosis (Índice 1: hoja normal).

**Cuadro 3A.** Distribución preferencial de nutrimentos en plantas con necrosis y sin necrosis de diferente origen genético por efecto de la toxicidad de Cl y Na.

Raza o especie	(% peso seco)				(mg Kg <sup>-1</sup> )				
	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	S
Mexicana	SN <sup>†</sup>	CN <sup>‡</sup>	CN	SN	SN	CN	SN	SN	SN
Antillana	CN	CN	CN	CN	SN	CN	CN	SN	CN
<i>P. nubigena</i> Will.	CN	CN	SN	SN	CN	CN	CN	SN	CN
Guatemalteco x Mexicano	SN	SN	CN	SN	CN	SN	SN	CN	SN

<sup>†</sup> SN= Planta sin necrosis (Índice 1: Hoja normal) <sup>‡</sup> CN= Planta con necrosis (Índice 5: Hoja con necrosis severa)