



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

---

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

## INJERTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) TOLERANTES A LA SALINIDAD

IBAR FELIPE TLATILPA SANTAMARIA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TÉXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

La presente tesis titulada: **Injertos de tomate (*Solanum lycopersicum*) tolerantes a salinidad** realizada por el alumno **Ibar Felipe Tlatilpa Santamaría** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS  
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

DR. JUAN LUIS TIRADO TORRES


ASESOR



---

DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

ASESOR



---

DR. PORFIRIO RAMIREZ VALLEJO

ASESOR



---

DR. PROMETEO SANCHEZ GARCÍA

ASESOR



---

DR. RANFERI MALDONADO TORRES

ASESOR



---

DR. CARLOS RAMIREZ AYALA

ASESOR



---

DR. MANUEL LIVERA MUÑOZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2013

# INJERTOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) TOLERANTES A LA SALINIDAD

## RESUMEN

La selección de cultivares tolerantes a salinidad es uno de los métodos más efectivos para incrementar la productividad en suelos salinos. El injerto sobre patrones tolerantes a la salinidad es un método eficaz para aumentar la tolerancia de las plantas al estrés salino. Los objetivos del presente estudio fueron, es seleccionar y caracterizar accesiones de tomate silvestre con base en la respuesta de la plántula a la salinidad, y determinar la magnitud de la variabilidad fenotípica de la tolerancia con base en índices de tolerancia al estrés salino; evaluar en injertos de tomate los mecanismos de tolerancia al sodio y su influencia en la concentración de nutrimentos en el tejido vegetal del injerto; y determinar los cambios morfológicos, fisiológicos y de rendimiento en plantas de tomate injertadas y sometidas a diferentes niveles de salinidad con NaCl. Esta investigación se dividió en dos etapas, en la primera se realizó un experimento donde se establecieron 44 accesiones de tomate en diferentes concentraciones de solución salina (0, 100 y 200 mM de NaCl). Se evaluó la biomasa en hoja, tallo, vástago, raíz y total. Con base en la biomasa se calcularon: relación raíz/vástago, porcentaje de reducción (PR), productividad media (PM), tolerancia al estrés salino (TOL), índice de susceptibilidad al estrés salino (ISS), productividad de la media geométrica (PMG) e índice de tolerancia al estrés salino (ITE) y el coeficiente de regresión ( $b_1$ ). La biomasa de raíz y tallo disminuye gradualmente a 100 y 200 mM de NaCl y en hoja la afecta en la misma intensidad con las dos concentraciones. Las accesiones identificadas como más tolerantes con potencial de rendimiento en ambientes estresantes con y sin estrés fueron G483 y P265. Con base en la producción de biomasa y a los índices las accesiones G303, O335 y G308 fueron susceptibles a ambientes estresantes. El efecto de la concentración de NaCl en los índices afecta el porcentaje de reducción, productividad media, tolerancia al estrés salino, productividad de la media geométrica e índice de tolerancia al estrés pero no así al índice de susceptibilidad al estrés salino. Los índices para determinar la selección genotípica con y sin estrés salino son productividad media, tolerancia al estrés y la productividad de la media geométrica. En la segunda se establecieron injertos (CID/483, CID/265, CID/MF y CID) en diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 75 y 100 mM). El incremento de la salinidad disminuyó la producción de biomasa y el contenido relativo de agua en tomate. Al aumentar la concentración de NaCl también aumentó la concentración de K, Ca y Mg en hojas, esto como parte de un mecanismo de respuesta por parte de la planta para compensar la concentración excesiva de Na. El injerto con mayor producción de biomasa total y contenido relativo de agua fue CID/MF, seguido de CID/483 y CID/265, y el menos productivo fue el no injertado (CID). El híbrido CID tuvo las mayores concentraciones de K, Ca, Mg, P, Cl y Na, sin embargo, fue el que tuvo mayores desbalances nutrimentales. El injerto CID/MF tuvo las mayores relaciones K/Na y Ca/Na, lo cual refleja una mayor selectividad de Na. El injerto CID/265 tuvo una mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ , lo cual sugiere que este injerto es capaz de tener una mayor selectividad a  $\text{Cl}^-$ . El injerto CID/MF fue el más productivo, mientras que los injertos 483 y 265, tuvieron la misma respuesta a la salinidad y tuvieron superior productividad que las plantas no injertadas. El injerto CID/MF sufrió un efecto menor por salinidad en altura de planta, diámetro de tallo, producción de biomasa, rendimiento y tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , y mayor en sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. Los injertos CID/265 y CID/483 sufrieron un mayor efecto de la salinidad que CID/MF pero menor que CID en diámetro, biomasa total, rendimiento. El efecto positivo del injerto en el rendimiento fue notable, ya que cualquiera de los injertos de CID fueron más productivos que plantas sin injertar (CID) independientemente del patrón empleado (CID/MF, CID/265 y CID/483). Los injertos en tomate ayudan a reducir los efectos de la salinidad.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, índice de tolerancia al estrés, estrés salino, concentración mineral en hojas, prolina.

## GRAFTING OF TOMATO (*Solanum lycopersicum*) SALINITY TOLERANT

### SUMMARY

The selection of salinity tolerant cultivars is one of the most effective methods to increase productivity in saline soils. The grafting onto rootstocks tolerant to salinity is an effective method to increase the tolerance of plants to salt stress. The objectives of this study were, select and characterize wild tomato accessions based on seedling response to salinity, and determine the extent of phenotypic variability tolerance indices based on tolerance to salt stress; assess tomato grafting mechanisms of sodium tolerance and their influence on nutrient concentration in plant tissue graft, and to determine the morphological changes, physiological and performance in grafted tomato plants under different NaCl salinity levels. This study was divided into two stages, in the first experiment was performed which set 44 different tomato accessions saline concentrations (0, 100 and 200 mM NaCl). Biomass was evaluated in leaf, stem, root and total. Based on the biomass were calculated: root/shoot ratio, percentage reduction (PR), mean productivity (MP), salt stress tolerance (TOL), stress susceptibility index saline (ISS), geometric mean productivity (PMG) and index of tolerance to salt stress (ITE) and the regression coefficient (b1). The root and shoot biomass gradually decreases at 100 and 200 mM NaCl and the sheet affects the same intensity in both concentrations. The accessions identified as more tolerant of yield potential in stress environments and stress were G483 and P265. Based on biomass production and accessions indices G303, G308 O335 and were susceptible to stressful environments. The effect of NaCl concentration on the rates affecting the reduction ratio, average productivity, salt stress tolerance, the geometric mean productivity and stress tolerance index but not the rate of susceptibility to salt stress. Indexes to determine the genotypic selection with and without salt stress are average productivity, stress tolerance and productivity of the geometric mean. Established on the second grafts (CID/483, CID/265, CID / MF and CID) in different concentrations of NaCl (0, 50, 75 and 100 mM). Increasing salinity biomass production decreased and the relative water content in tomato. By increasing the concentration of NaCl also increased the concentration of K, Ca and Mg in leaves, this as part of a response mechanism from the plant to compensate for the excessive concentration of Na. The graft with greater total biomass production and relative water content was CID/MF, and CID/265 and CID/483 followed, and the least productive was the non-grafted (CID). CID The hybrid had the highest concentrations of K, Ca, Mg, P, Cl and Na, however, was the one that had higher nutritional imbalances. The graft CID/MF had the highest ratios K/Na and Ca/Na, reflecting greater selectivity of Na. CID/265 graft had greater  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  ratio, suggesting that the graft is capable of having a greater selectivity for  $\text{Cl}^-$ . The graft CID / MF was the most productive, while 483 and 265 grafts, had the same response to salinity and had higher productivity than non-grafted plants. The graft CID/MF suffered a minor effect of salinity on plant height, stem diameter, biomass production, yield and  $\text{CO}_2$  assimilation rate, and increased total soluble solids, titratable acidity and maturity index. CID/483 CID/265 grafts and suffered a greater effect of salinity CID/MF but less than CID in diameter, total biomass yield. The positive effect of the graft in performance was remarkable as any CID grafts were more productive than non-grafted plants (CID) independently of the rootstock used (CID/ MF, CID/265, and CID/483). Tomato grafts help reduce the effects of salinity.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, stress tolerance index, salt stress, mineral concentration in leaves, proline.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme nuevamente otra oportunidad a través del financiamiento para realizar mis estudios doctorales.

Al Colegio de Postgraduados por ser mí segunda alma mater.

Al Dr. Juan Luis Tirado Torres, por su guía y apoyo durante mis estudios doctorales.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa, por sus valiosos consejos y dedicarle su valioso tiempo en a la revisión de esta tesis.

Al Dr. Prometeo Sánchez García, por ser un ser buen catedrático, es un excelente ser humano y maestro de vida.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo, por sus tan acertadas aportaciones y por proporcionarme su valioso material genético.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres, por haberme acompañarme desde la licenciatura hasta postgrado para formarme como profesional.

Al Dr. Manuel Livera Muñoz, por su apoyo incondicional durante mi estancia en el Colegio.

Al Dr. Carlos Ramírez Ayala, por ser un buen profesor y el apoyo recibido durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Oscar Hernández del Departamento de Suelos en Chapingo por permitirme realizar mis análisis y por brindarme su valiosa amistad.

A Laura Santamaría y Lorena Díaz, por todo su apoyo en el Área de Nutrición vegetal.

A Griselda, Lucia, Luciana y a la Lic. Padilla por todo el apoyo y la amistad recibida en mi estancia en el Colegio.

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme transcurrir el camino que llevo y rodearme de toda la gente maravillosa que he conocido en mi andar.

A mis padres Reina Santamaría y Felipe Tlatilpa, por ser las personas más nobles que conozco, por darme la vida y por el amor incondicional que siempre he recibido.

A mi hermana Teresa Tlatilpa, por su cariño y comprensión.

A mi hermano Mauro Tlatilpa, su esposa Cindy Espinoza e hijos Yahel e Isaac, quienes son parte fundamental en mi vida.

A Leopoldo Arroyo e Irma Hernández, por ser amigos incondicionales y permitirme ser parte de momentos tan especiales; así como a la familia Arroyo, en especial a la Sra. Esther Vergas<sup>†</sup> y Leopoldo Arroyo<sup>†</sup>, quienes tuve la gran fortuna de conocer y donde quiera que estén siempre los llevaré en mi corazón.

A José Luis González, Berenice Osorio, Fabiola Zavala y Patricia Varga por ser los amigos con quienes he pasado buenos y malos momentos, y demostrarme que a pesar de todo el mundo sigue siendo un lugar hermoso.

A Aarón Pulido, Alfonso Soto, Ararat Alvarado, Uriel Avalos, Ernesto Medel, Elia Cruz y Dany, Israel Cardoso, Juan Carlos Montiel, Jennifer Pérez, Juan Pablo Torres, Judith Castillo, Luis Eduardo Barroso, Antonio Mendieta, Lucía Alcalá, Oscar Severo, Alberto Olvera, Naihseli Contreras, Oscar León, Paulino Rodríguez, Plutarco Sánchez, Roxana Cortez, Sergio Díaz y José Luis Ruiz<sup>†</sup> de quienes me siento afortunado de ser su amigo y por las palabras alentadoras que siempre he recibido de ellos.

## Índice general

1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.1. LITERATURA CITADA .....	6
2. OBJETIVOS .....	11
2.1. Objetivo general .....	11
2.1.1. Objetivos específicos.....	11
3. HIPÓTESIS .....	12
3.1. Hipótesis general.....	12
3.2. Hipótesis particulares.....	12
4. CAPÍTULO I. SELECCIÓN DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE TOLERANTES A SALINIDAD EN PLÁNTULA .....	13
4.1. RESUMEN.....	13
4.2. ABSTRACT .....	13
4.3. INTRODUCCIÓN.....	14
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.5.1. Biomasa .....	18
4.5.2. Raíces .....	19
4.5.3. Tallos y hojas.....	21
4.5.4. Relación raíz/vástago .....	22
4.5.5. Índices de tolerancia al estrés .....	22
4.5.6. Porcentaje de reducción (PR).....	25
4.5.7. Productividad media (PM).....	25
4.5.8. Tolerancia al estrés salino (TOL).....	26
4.5.9. Índice de susceptibilidad al estrés salino (ISS) .....	27
4.5.10. Productividad de la media geométrica (PMG).....	27
4.5.11. Índice de tolerancia al estrés (ITE) .....	28
4.5.12. Coeficiente de regresión ( $b_1$ ) .....	28
4.6. CONCLUSIONES.....	30
4.7. LITERATURA CITADA .....	30
5. CAPÍTULO II. CAMBIOS NUTRIMENTALES EN INJERTOS DE TOMATE AFECTADOS POR SALINIDAD .....	35
5.1. RESUMEN.....	35
5.2. ABSTRACT .....	36
5.3. INTRODUCCIÓN.....	36
5.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38

5.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
5.5.1.	Biomasa .....	40
5.5.2.	Composición mineral en la hoja.....	41
5.5.3.	Contenido relativo de agua .....	50
5.6.	CONCLUSIONES.....	51
5.7.	LITERATURA CITADA .....	52
6.	CAPÍTULO III. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN INJERTOS DE TOMATE EXPUESTOS A SALINIDAD.....	58
6.1.	RESUMEN.....	58
6.2.	ABSTRACT .....	58
6.3.	INTRODUCCIÓN.....	59
6.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
6.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	62
6.5.1.	Altura.....	62
6.5.2.	Biomasa .....	63
6.5.3.	Diámetro.....	64
6.5.4.	Asimilación de CO <sub>2</sub> .....	65
6.5.5.	Prolina .....	66
6.5.6.	Calidad interna de los frutos .....	68
6.5.7.	Rendimiento de fruto .....	70
6.6.	CONCLUSIONES.....	72
6.7.	LITERATURA CITADA .....	72
7.	DISCUSIÓN GENERAL.....	78
8.	CONCLUSIONES GENERALES .....	85



## Índice de cuadros

Cuadro 1. Biomasa de plántulas y relación raíz/vástago de tomate a 0, 100 y 200 mM de NaCl. ....	18
Cuadro 2. Biomasa en plántulas y relación raíz/vástago en 44 accesiones de tomate. ....	19
Cuadro 3. Efecto de la concentración de NaCl en índices de estrés salino obtenidos de 0 a 100 y 0 a 200 mM de NaCl. ....	23
Cuadro 4. Índices de estrés salino en plántulas de tomate de 44 accesiones. ....	23
Cuadro 5. Correlación entre índices de tolerancia al estrés salino y rendimiento sin estrés ( $Y_p$ ) y rendimiento con estrés ( $Y_s$ ) a una concentración de 100 mM NaCl L <sup>-1</sup> . ....	29
Cuadro 6. Concentración nutrimental de hojas de plantas de tomate con y sin injertar expuestas a NaCl. ....	43
Cuadro 7. Relaciones nutrimentales en diferentes plantas de tomate con y sin injertar expuestas a NaCl. ....	44
Cuadro 8. Composición mineral de hojas de injertos de tomate a diferentes concentraciones de NaCl. ....	46
Cuadro 9. Relaciones nutrimentales en hoja de diferentes plantas de tomate con y sin injertar expuestas a diferentes concentraciones de NaCl. ....	49
Cuadro 10. Correlación entre nutrientes presentes en hojas de tomate con y sin injertar expuestas al estrés salino. ....	50
Cuadro 11. Efecto de la salinidad en la altura, biomasa de raíz, tallo, hoja y total en plantas de tomate con y sin injerto, y diferentes concentraciones de NaCl. ....	63
Cuadro 12. Diámetro de tallos de tomate con y sin injerto en diferentes concentraciones de sal (Na Cl). ....	65
Cuadro 13. Tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> y concentración de prolina en plantas de tomate con y sin injerto y en diferentes concentraciones de NaCl. ....	67
Cuadro 14. Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (IM), luminosidad e índice de color (IC) en plantas de tomate con y sin injerto y en diferentes concentraciones de NaCl. ....	69
Cuadro 15. Rendimiento de fruto por racimo y total en plantas de tomate con y sin injerto en diferentes concentraciones de NaCl. ....	71

## Índice de figuras

Figura 1. Biomasa total (g) en 0, 50, 75 y 100 mM NaCl (a) y en injertos de tomate El Cid sobre tres patrones (MF, 483, 265) y uno sin injertar. (b). ..... 40

Figura 2. Contenido relativo de agua en diferentes injertos de tomate (a) y concentraciones de NaCl (b). ..... 51

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La salinidad es considerada uno de los principales factores que limitan la productividad de los cultivos y el desarrollo de cultivos tolerantes a este estrés abiótico es vital para satisfacer la creciente demanda de alimentos a través de la agricultura sostenible (Munns y Tester, 2008). La respuesta de la salinidad de los cultivos varían en relación a las variables que interactúan, incluyendo el entorno cultural, la etapa de desarrollo de la planta y la magnitud (concentración y tiempo de exposición) (Munns, 2002). Los efectos perjudiciales de la salinidad sobre el crecimiento de la planta están asociados con (1) bajo potencial hídrico del medio radical, que provoca un déficit de agua dentro de la planta; (2) efectos tóxicos de iones principalmente  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , y  $\text{SO}_4^{2-}$ ; (3) desequilibrio nutrimental causado por la reducción de nutrientes (por ejemplo,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) la absorción y/o transporte hacia las hojas (Marschner, 1995; Serrano *et al.*, 1999;. Hasegawa *et al.*, 2000).

Tomate es considerado uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica en el mundo, pero por desgracia, es sensible a la salinidad. El éxito comercial obtenido a través de los programas de mejoramiento tradicionales con respecto a la tolerancia a la salinidad ha sido muy escaso, debido a la complejidad de la respuesta de la planta al estrés (Colle, 2010). Sin embargo, el éxito comercial ha sido limitado debido a la complejidad genética y fisiológica de las características que involucran la tolerancia a la salinidad (Flores, 2004). En la actualidad, los esfuerzos principales se han orientado hacia la transformación genética a fin de aumentar su tolerancia (Borsani *et al.*, 2003).

La tolerancia a la salinidad, es usualmente investigada en términos de crecimiento o rendimiento relativo o absoluto (Maas y Hoffman, 1977; Shannon, 1984). La tolerancia a la salinidad en tomate se incrementa por el injerto, pero los patrones tienen una capacidad diferente en la regulación del transporte de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  al vástago de tomate, lo que sugiere

la importancia de la selección del portainjerto (Estañ *et al.*, 2005). La selección debe basarse en índices de tolerancia calculados del rendimiento tanto en ambientes con y sin estrés, cuando el mejorador está buscando cultivares capaces de adaptarse a un intervalo amplio de ambientes (Mardeh *et al.*, 2006). Algunos de estos criterios de selección han sido reportados sobre la bases de la relación vástago/raíz (Munns *et al.*, 2000). Rosielle y Hamblin (1981) definieron otros índices como la tolerancia al estrés (TOL) y la productividad media (PM). Fischer y Maurer (1978) propusieron el índice de susceptibilidad al estrés (ISS). Esos índices de selección también tienen la desventaja de no seleccionar genotipos con alto rendimiento y tolerancia al estrés. Fernández (1993) por su parte define un nuevo indicador llamado índice de tolerancia al estrés (ITE), que es estimado sobre la base de la productividad de la media geométrica. El ITE es el criterio más usado para identificar genotipos para condiciones estresantes y no estresantes en comparación con TOL, PM y ISS (Fernández, 1993).

Una forma de evitar o reducir las pérdidas en la producción causadas por salinidad en genotipos de alto rendimiento es injertar en patrones capaces de reducir el efecto de la salinidad. Esta estrategia ofrece la posibilidad de combinar buenas características del injerto con características favorables de las raíces (Colle, 2010). El injerto es un proceso recíproco de integración, debido a que tanto la planta a injerto y el patrón son influenciados por la tolerancia a la salinidad (Etehadnia *et al.*, 2008). Varios estudios demuestran que la tolerancia a la salinidad del vástago depende del sistema de radical del patrón, independientemente del genotipo usado como un vástago, aunque el efecto positivo de los patrones, puede mostrarse en un grado diferencial en función de la mayor o menor capacidad de exclusión del genotipo del vástago (Estañ *et al.*, 2005; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2008). Además, la importancia del sistema radical en la regulación de la tolerancia a la salinidad también se ha documentado en genotipos de papa sensibles y

tolerantes a la salinidad (Shaterian *et al.*, 2005). En contraste, Chen *et al.* (2003) concluyeron que el genotipo de la planta a injertar juega un papel importante en el crecimiento de plantas de tomate injertadas, independientemente de la salinidad en el medio de cultivo, y que el patrón tiene poca influencia. Estudios en plantas de tomate sugieren que las características de tolerancia a la salinidad que el portainjerto le confieren al vástago dependerá también de la tolerancia a la salinidad del genotipo del vástago (Santa Cruz *et al.*, 2002).

Algunas explicaciones propuestas para la tolerancia inducida a la salinidad del injerto son: (1) mayor acumulación de prolina y el azúcar en las hojas (Ruiz *et al.*, 2005), (2) una mayor capacidad antioxidante en las hojas (López-Gómez *et al.*, 2007), (3) menor acumulación de Na<sup>+</sup> y/o Cl<sup>-</sup> en las hojas (Estañ *et al.*, 2005).

El injerto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una práctica prometedora para mejorar los rendimientos de los cultivos en suelos salinos. Santa-Cruz *et al.* (2001) encontraron un aumento en el crecimiento y rendimiento del fruto cuando 'Moneymaker', un cultivar de tomate sensible a la salinidad, fue injertado en un patrón tolerante 'Pera' y regadas con agua que contenía 50 mM de NaCl, en comparación con las plantas sin injerto. Estañ *et al.* (2005) también encontraron que el injerto proporciona una forma alternativa para mejorar la tolerancia a la salinidad, según lo determine el rendimiento de fruto, en un híbrido de tomate comercial ("Jaguar") injertado en varios portainjertos de tomate con diferentes potenciales para excluir los iones salinos y cultivados a diferentes concentraciones de NaCl (0, 25, 50, y 75 mM de NaCl).

La tolerancia a la salinidad de hortalizas injertadas ha sido asociada a menudo con el sistema radical. De hecho, los sistemas radicales son las partes más críticas de la planta frente a factores de estrés relacionados con el suelo como la salinidad. Por lo tanto, las características de la raíz son la principal la razón para la disminución de los efectos

perjudiciales del estrés salino sobre el crecimiento del vástago. En tomate, He *et al.* (2009) observaron que la biomasa de la raíz disminuyó a 100 y 150 mM de NaCl, en comparación con las condiciones no salinas, pero la disminución fue menor en plantas injertadas.

Las altas concentraciones sales pueden causar desequilibrio iónico, la toxicidad de iones y el estrés hiperosmótico en las plantas. Como consecuencia de estos efectos primarios, se generan efectos secundarios tales como el daño oxidativo (Zhu, 2001). Las plantas injertadas a nivel fisiológico y bioquímico desarrollan numerosos mecanismos para hacer frente a estrés salino. Estas estrategias incluyen (1) la exclusión de sal en el vástago y la retención de los iones salinos en la raíz, (2) un mejor mantenimiento de la homeostasis de potasio, (3) la compartimentación de iones salinos en la vacuola, y la acumulación de solutos compatibles y osmolitos en la citosol, (4) la activación de un sistema de defensa antioxidante, y (5) la inducción de cambios mediados por hormonas en el crecimiento de plantas.

Para muchas plantas, incluyendo las hortalizas tales como pepino, melón, sandía, tomate y berenjena, Na<sup>+</sup> es la causa principal de daño (Tester y Davenport, 2003; Varlagas *et al.*, 2010). Las plantas injertadas en portainjertos tolerantes a la salinidad restringen el transporte de Na<sup>+</sup> de la raíz al vástago (Romero *et al.*, 1997; Estañ *et al.*, 2005; Goreta *et al.*, 2008). Sin embargo, se desconoce si el injerto puede reducir la absorción de Na<sup>+</sup> por la planta.

En tomate las concentraciones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en el xilema y hojas de plantas tratadas con NaCl son más altos en plantas sin injertar que en las injertadas (Santa-Cruz *et al.*, 2002; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2008). La tolerancia a la salinidad de plantas injertadas y sin injertar similar, y el mayor rendimiento de las plantas injertadas se debe principalmente al mayor vigor de la planta (Colla *et al.*, 2006).

La toxicidad metabólica de  $\text{Na}^+$  es en gran parte un resultado de su capacidad para competir con  $\text{K}^+$  para sitios de unión esenciales para el funcionamiento celular. Más de 50 enzimas son activadas por  $\text{K}^+$ , y el  $\text{Na}^+$  no puede ser utilizado como un sustituto en este papel (Bhandal y Malik, 1988). Una disminución en la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  puede resultar en una deficiencia de K. Por lo tanto, la homeostasis de  $\text{K}^+$  es un factor importante en la tolerancia a la salinidad (Munns y Tester, 2008). Las plantas injertadas tienen un mayor contenido de  $\text{K}^+$  el cual parece estar relacionado a una mayor tolerancia a la salinidad en comparación con las plantas no injertadas (Huang *et al.*, 2009). La tolerancia a la salinidad de plantas de tomate injertadas es asociada con  $\text{K}^+$  en xilema pero no  $\text{Na}^+$  (Albacete *et al.*, 2009).

Las plantas necesitan para mantener el potencial hídrico interno por debajo de la del suelo a fin de mantener la turgencia y la absorción de agua para el crecimiento. Esto requiere un aumento de la presión osmótica ya sea a través de la absorción de iones inorgánicos o la síntesis de solutos compatibles metabólicamente. Los compuestos que comúnmente se acumulan son: sacarosa, prolina y glicina-betaína (Munns y Tester, 2008). A diferencia de solutos inorgánicos tales como iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , estos solutos orgánicos no son perjudiciales para las enzimas y otras estructuras celulares, incluso en altas concentraciones. Ellos se refieren a menudo como osmolitos compatibles (Zhu, 2001). A altas concentraciones, solutos compatibles funcionan en el ajuste osmótico. Las altas concentraciones de osmolitos compatibles se acumulan en el citosol y los orgánulos de equilibrar la presión osmótica de los iones en la vacuola (Munns y Tester, 2008).

Las plantas de tomate injertadas tienen un mayor contenido de azúcar soluble y de prolina que plantas sin injertar en condiciones de estrés salino con  $\text{NaCl}$  (Chen *et al.*, 2005). En plantas de pepino injertados también tienen un mayor contenido de azúcar soluble y prolina, además las plantas injertadas también tienen menor concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$

en las hojas que plantas sin injertar bajo estrés con NaCl, lo que sugiere que el incremento en la tolerancia a la salinidad de las plantas injertadas está relacionada con el cambio en el componente osmótico (Chen y Wang, 2008; Huang *et al.*, 2009). La acumulación excesiva de Na<sup>+</sup> en las hojas puede causar prematura senescencia de las hojas o incluso la muerte, mientras que un más alto de azúcar soluble y contenido de prolina puede evitar, hasta cierto punto, los efectos perjudiciales inducidos por la salinidad (Tester y Davenport, 2003).

### 1.1. LITERATURA CITADA

- Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Ghanem, M.E., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Asins, M.J., Cuartero, J., Lutts, S., Dodd, I.C., and Pérez-Alfocea, F. 2009. Rootstock-mediated changes in xylem ionic and hormonal status are correlated with delayed leaf senescence, and increased leaf area and crop productivity in salinized tomato. *Plant Cell Environ.* 32: 928-938.
- Bhandal, I.S., and Malik, C.P. 1988. Potassium estimation, uptake, and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. *Int. Rev. Cytol.* 110: 205-254.
- Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M.A. 2003. Developing salt-tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 73: 101-115.
- Chen, G., Fu, X., Lips, S.H., and Sagi, M. 2003. Control of plant growth resides in the shoot, and not in the root, in reciprocal grafts of flacca and wild-type tomato (*Lycopersicon esculentum*), in the presence and absence of salinity stress. *Plant Soil* 256: 205-215.
- Chen, G., and Wang, R. 2008. Effects of salinity on growth and concentrations of sodium, potassium, and calcium in grafted cucumber seedlings. *Acta Hort.* 771: 217-224.



- Chen, S.F., Zhu, Y.L., Liu, Y.L., and Li, S.J. 2005. Effects of NaCl stress on activities of protective enzymes, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic characteristics in grafted tomato seedlings. *Acta Hortic. Sin.* 32: 609-613.
- Colla, G., Roupshael, Y., Cardarelli, M., and Rea, E. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. *HortScience* 41: 622-627.
- Colla, G., Roupshael, Y., Leonardi, C., and Bie, Z. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Sci. Horticul.* 127: 147-155.
- Estañ, M.T., Martinez-Rodriguez, M.M., Perez-Alfocea, F., Flowers, T.J., and Bolarin, M.C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* 56: 703-712.
- Etehadnia, M., Waterer, D., Jong, H.D., and Tanino, K.K. 2008. Scion and rootstock effects on ABA-mediated plant growth regulation and salt tolerance of acclimated and unacclimated potato genotypes. *J. Plant Growth Regul.* 27: 125-140.
- Fernandez, G. C. J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp: 257–270. *In: Adaptation of food crops to temperature and water stress.* Kuo, C.G., ed.; AVRDC: Shanhu, Taiwan.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 897–912.
- Flowers, T. J. 2004. Improving crop salt tolerance. *J. Exp. Bot.* 55: 307-319.
- Gahoonia, T.S., and Nielsen, N.E. 1997. Variation in root hairs of barley cultivars doubled soil phosphorus uptake. *Euphytica* 98: 177-182.

- Hasegawa, P.M., Bressan, P.A., Zhu, J., and Bohnert, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 463-499.
- He, Y., Zhu, Z.J., Yang, J., Ni, X.L., and Zhu, B. 2009. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. *Environ. Exp. Bot.* 66: 270-278.
- Huang, Y., Zhu, J., Zhen, A., Chen, L., and Bie, Z.L. 2009. Organic and inorganic solutes accumulation in the leaves and roots of grafted and ungrafted cucumber plants in response to NaCl stress. *J. Food Agric. Environ.* 7: 703-708.
- Liu, Z.L., Zhu, Y.L., Wei, G.P., Yang, L.F., Zhang, G.W., and Hu, C.M. 2007. Metabolism of ascorbic acid and glutathione in leaves of grafted eggplant seedlings under NaCl stress. *Acta Bot. Boreal-Occident Sin.* 27: 1795–1800.
- López-Gómez, E., San Juan, M.A., Diaz-Vivancos, P., Mataix Beneyto, J., García-Legaz, M.F., and Hernández, J.A. 2007. Effect of rootstocks grafting and boron on the antioxidant systems and salinity tolerance on loquat plants (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Environ. Exp. Bot.* 60: 151–158.
- Mardeh, A. S., A. Ahmadi, K. Poustini, and V. Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Res.* 98: 222-229.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, San Diego, p. 889.
- Martinez-Rodriguez, M.M., Estañ, M.T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J.O., Flores, F.B., Campos, J.F., Al-Azzawi, M.J., Flowers, T.J., and Bolarín, M.C., 2008. The

- effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environ. Exp. Bot.* 63: 392-401.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drain. Eng.* 103:115–134.
- Munns, R., Hare, R. A., James, R. A., and Rebetzke, G.J. 2000. Genetic variation for improving salt tolerance of durum wheat. *Australian J. Agric. Res.* 51: 69-74.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
- Munns, R., and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21: 943–946.
- Ruiz, J.M., Blasco, B., Rivero, R.M., and Romero, L. 2005. Nicotine-free and salt tolerant tobacco plants obtained by grafting to salinity resistant rootstocks of tomato. *Physiol. Plant.* 124: 465-475.
- Santa-Cruz, A., Martínez-Rodríguez, M.M., Cuartero, J., and Bolarin, M.C., 2001. Response of plant yield and ion contents to salinity in grafted tomato plants. *Acta Hortic.* 559: 413-417.
- Santa-Cruz, M.M., Martinez-Rodriguez, F., Perez-Alfocea, R., Romero-Aranda, R., and Bolarin, M.C. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Sci.* 162: 825-831.

- Serrano, R., Mulet, J.M., Rios, G., Marquez, J.A., de Larriona, I.F., Leube, M.P., Mendizabal, I., Pascual-Ahuir, A., Proft, M., Ros, R., and Montesinos, C. 1999. A glimpse of the mechanisms of ion homeostasis during salt stress. *J. Exp. Bot.* 50: 1023-1036.
- Shannon, M.C. 1984. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. p. 231–283. *In*: R.C. Staples and G.H. Toenniessen (ed.) *Strategies for crop improvement*. John Wiley & Sons, New York.
- Shaterian, J., Georges, F., Hussain, A., Waterer, D., DeJong, H., and Tanino, K.K. 2005. Root to shoot communication and abscisic acid in calreticulin (CR) gene expression and salt-stress tolerance in grafted diploid potato (*Solanum* sp.) clones. *Environ. Exp. Bot.* 53: 323-332.
- Tester, M., and Davenport, R.J. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527.
- Varlagas, H., Savvas, D., Mouzakis, G., Liotsos, C., Karapanos, I., and Sigrimis, N. 2010. Modelling uptake of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> by tomato in closed-cycle cultivation systems as influenced by irrigation water salinity. *Agric. Water Manage.* 97: 1242-1250.
- Wei, G.P., Zhu, Y.L., Liu, Z.L., Yang, L.F., and Zhang, G.W. 2007. Growth and ionic distribution of grafted eggplant seedlings with NaCl stress. *Acta Bot. Boreal-Occident. Sin.* 27: 1172-1178.
- Zhang, H.X., and Blumwald, E. 2001. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nat. Biotechnol.* 19: 765-768.
- Zhu, J.K. 2001. Plant salt stress. *Trends Plant Sci.* 6: 66-71.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Caracterizar los mecanismos que desarrollan los portainjertos de tomates silvestres para tolerar la salinidad, seleccionando los tolerantes y observando su efecto en el injerto de variedades comerciales.

#### **2.1.1. Objetivos específicos**

Seleccionar y caracterizar accesiones de tomate silvestre con base en la respuesta de la plántula a la salinidad, y determinar la magnitud de la variabilidad fenotípica de la tolerancia con base en índices de tolerancia al estrés salino.

Evaluar en injertos de tomate los mecanismos de tolerancia al sodio y su influencia en la concentración de nutrimentos en el tejido vegetal del injerto.

Determinar los cambios morfológicos, fisiológicos y de rendimiento en plantas de tomate injertadas y sometidas a diferentes niveles de salinidad con NaCl.

Evaluar la calidad de los frutos en injertos tolerantes bajo estrés salino.

### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis general**

Los patrones más tolerantes tendrán un mejor mecanismo de adaptación a condiciones salina, haciendo más eficiente el uso del agua y mejor capacidad de absorción nutrimental.

#### **3.2. Hipótesis particulares**

La selección a través de índices proporciona accesiones silvestres tolerantes a la salinidad, además de que la variabilidad es grande.

Los injertos y portainjertos tolerantes tienen una menor concentración de iones tóxicos como Na y Cl, y así sufrirán un menor desbalance nutrimental en condiciones salinas, al tener una mayor selectividad a nivel radical y menor translocación de los iones tóxicos.

Los frutos en portainjertos tolerantes tendrán una mayor cantidad de K y Ca, y así tendrán una mayor vida de anaquel y menor presencia de pudrición apical del fruto.

El uso de injerto es la práctica más eficiente a corto y largo plazo, resultando en mayor producción y calidad de tomate.

## 4. CAPÍTULO I. SELECCIÓN DE POBLACIONES NATIVAS DE TOMATE TOLERANTES A SALINIDAD EN PLÁNTULA

### 4.1. RESUMEN

La selección de cultivares tolerantes a salinidad es uno de los métodos más efectivos para incrementar la productividad en suelos salinos. Se realizó un experimento donde se establecieron 44 accesiones de tomate en diferentes concentraciones de solución salina (0, 100 y 200 mM de NaCl). Se evaluó la biomasa en hoja, tallo, vástago, raíz y total. Con base en la biomasa se calcularon: relación raíz/vástago, porcentaje de reducción (PR), productividad media (PM), tolerancia al estrés salino (TOL), índice de susceptibilidad al estrés salino (ISS), productividad de la media geométrica (PMG) e índice de tolerancia al estrés salino (ITE) y el coeficiente de regresión ( $b_1$ ). La biomasa de raíz y tallo disminuye gradualmente a 100 y 200 mM de NaCl y en hoja la afecta en la misma intensidad con las dos concentraciones. Las accesiones identificadas como más tolerantes con potencial de rendimiento en ambientes estresantes con y sin estrés fueron G483 y P265. Con base en la producción de biomasa y a los índices las accesiones G303, O335 y G308 fueron susceptibles a ambientes estresantes. El efecto de la concentración de NaCl en los índices afecta el porcentaje de reducción, productividad media, tolerancia al estrés salino, productividad de la media geométrica e índice de tolerancia al estrés pero no así al índice de susceptibilidad al estrés salino. Los índices para determinar la selección genotípica con y sin estrés salino son productividad media, tolerancia al estrés y la productividad de la media geométrica.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, índice de tolerancia al estrés, estrés salino

### 4.2. ABSTRACT

The selection of cultivars tolerant to salinity is one of the most effective methods to increase productivity in saline soils. An experiment was conducted where they settled in 44

different tomato accessions saline concentrations (0, 100 and 200 mM NaCl). Biomass was evaluated in leaf, stem, root and total. Based on biomass were calculated: root/shoot ratio, percentage reduction (PR), average productivity (PM), salt stress tolerance (TOL), stress susceptibility index saline (ISS), geometric mean productivity (PMG) and index of tolerance to salt stress (ITE) and the regression coefficient ( $b_1$ ). The root and stem biomass decreases gradually to 100 and 200 mM NaCl and leaf affect the same intensity in the two concentrations. The accessions identified as more tolerant of yield potential in stressful environments with and without stress were G483 and P265. Based on biomass production and accessions indices G303, G308 O335 and were susceptible to stressful environments. The effect of NaCl concentration on the rates of reduction affects the rate, average productivity, salt stress tolerance, the geometric mean productivity and stress tolerance index but not the rate of susceptibility to salt stress. Indexes to determine the genotypic selection with and without salt stress are mean productivity, stress tolerance and productivity of the geometric mean.

Key words: *Solanum lycopersicum*, index stress tolerance, salt stress

### 4.3. INTRODUCCIÓN

La selección de cultivares tolerantes a salinidad es uno de los métodos más efectivos para incrementar la productividad en suelos salinos (Ali *et al.*, 2004). El tomate o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es medianamente tolerante a salinidad y presenta un umbral respecto al contenido de sales, cuantificadas en el extracto de saturación del suelo y expresadas como conductividad eléctrica (CE) de 2 a 5 dS m<sup>-1</sup> (Chinnusamy *et al.*, 2005). Amini y Ehsanpour (2006) encontraron que en plántulas de tomate el incremento en la salinidad disminuyó el porcentaje de germinación y la biomasa en plántula. En muchos cultivos, incluido el tomate, la germinación de la semilla y los estadios tempranos de plántula son los estados más sensibles al estrés ambiental (Jones, 1986). En algunos



cultivos, las especies silvestres han sido identificadas como recursos genéticos estratégicos por su tolerancia al estrés abiótico y biótico (Harlan, 1976). Por ejemplo, las especies silvestres de tomate (*Lycopersicon cheesmanii* [L. Riley] F., *L. peruvianum* [L.] Mill. y *Solanum pennellii* [Correl]) (Tal y Shannon, 1983; Cuartero *et al.*, 2006), exhiben amplia variación en la tolerancia al estrés salino.

La tolerancia a la salinidad es usualmente investigada en términos de crecimiento o rendimiento relativo o absoluto (Maas y Hoffman, 1977; Shannon, 1984). De tal manera que la selección de individuos o poblaciones tolerantes a este factor limitante debe basarse en índices calculados a partir del rendimiento en ambientes con y sin estrés, cuando el mejorador busca cultivares capaces de adaptarse a un intervalo amplio de ambientes (Mardeh *et al.*, 2006). Algunos de estos criterios de selección han sido reportados sobre la bases de la relación vástago/raíz (Munns *et al.*, 2000); Rosielle y Hamblin (1981) definieron la tolerancia al estrés (TOL) y la productividad media (PM). Fischer y Maurer (1978) propusieron el índice de susceptibilidad al estrés (ISS). Estos índices de selección tienen la desventaja de no seleccionar genotipos con alto rendimiento y tolerancia al estrés. Fernández (1993) define un nuevo indicador llamado índice de tolerancia al estrés (ITE), que es estimado sobre la base de la productividad de la media geométrica. El ITE es el criterio más usado para identificar genotipos para condiciones estresantes y no estresantes en comparación con TOL, PM y ISS (Fernández, 1993). El coeficiente de regresión lineal ( $b_1$ ) también ha sido utilizado como índice en diferentes ambientes (Bansal y Sinha, 1991). Generalmente, la selección del índice más apropiado dependerá del objetivo de selección en el área (Akhtar *et al.*, 2000).

De acuerdo con Fernández (1993) los genotipos pueden ser clasificados en cuatro grupos con base en su rendimiento en ambientes con y sin estrés en la forma siguiente: grupo A, genotipos que expresan superioridad uniforme en ambientes con y sin estrés; grupo B,

genotipos que rinden favorablemente sólo en ambientes no estresantes; grupo C, genotipos que rinden relativamente más sólo en ambientes estresante; y grupo D, genotipos que rinden pobremente en ambientes con y sin estrés. Los indicadores de tolerancia al estrés, TOL, PM e ISS, no distinguen claramente a los genotipos del grupo A del resto de los grupos. Por lo anterior, el objetivo de este estudio es seleccionar y caracterizar accesiones de tomate silvestre con base en la respuesta de la plántula a la salinidad, y determinar la magnitud de la variabilidad fenotípica de la tolerancia con base en índices de tolerancia al estrés salino.

#### **4.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en invernadero con luz natural en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Se evaluaron 44 accesiones nativas de tomate provenientes de los estados de Campeche (C3, C4, C5, C30 y C31), Guerrero (G75, G84, G303, G308, G353, G355 y G483), Oaxaca (O154, O171, O174, O233, O234, O317, O324, O332, O334, O335, O341 y O406), Puebla (P101, P265, P345, P348, P361, 371, P373, P37376, P381 y P385 ) y Veracruz (V365, V366, V368, V457, V460, V466, V470, V472 y V478). Las semillas se pusieron a germinar en cajas *petri* en una cámara de germinación durante 2 días a 25 °C, hasta la aparición de la radícula. Posteriormente se pusieron en macetas con capacidad de 1 L. El experimento se condujo por 45 días. Se utilizó la solución universal preparada por el método de Steiner al 25% de su concentración original (Steiner, 1984). El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones. El diseño de tratamientos fue factorial (44x3) y los tratamientos se integraron por la combinación de los factores siguientes: accesión de tomate (44) y concentración de NaCl en solución (0, 100 y 200 mM de NaCl L<sup>-1</sup>). La unidad experimental fue una maceta, conteniendo una planta. Las accesiones de tomate fueron proporcionadas por el Dr. Porfirio Ramírez V, y forman parte del Proyecto Valoración Integral de Poblaciones

Nativas de Jitomate Mexicano que se lleva a cabo en el Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética en el Colegio de Postgraduados. Se utilizó una compresora para airear la solución 5 minutos cada hora. La concentración de la salinidad en el agua se hizo de forma gradual, de los 7 a 25 días se regaron con el 50% de la solución salina (0, 50 y 100 mM L<sup>-1</sup> de NaCl) y durante los últimos 45 días al 100% (0, 100 y 200 mM de NaCl L<sup>-1</sup>).

Se evaluó materia seca en hoja, tallo, vástago, raíz y total. Con base en la biomasa se calcularon: relación raíz/vástago, porcentaje de reducción (PR), productividad media (PM), tolerancia al estrés salino (TOL), índice de susceptibilidad al estrés salino (ISS), productividad de la media geométrica (PMG), índice de tolerancia al estrés salino (ITE) y el coeficiente de regresión ( $b_1$ ). La materia seca se obtuvo separando la planta en raíz, tallo y hoja; posteriormente las muestras se colocaron en la estufa (Presicion Scientific, 130DM) a 70 °C durante 48 h con circulación forzada de aire y posteriormente se pesaron con una balanza analítica (Ohaus, Mod. Explorer  $\pm 0.01$ ).

Con base en la materia seca total se calcularon los índices de la siguiente manera:  $PR = (Y_s - Y_p)/Y_p * 100$ ; donde,  $Y_s$  y  $Y_p$  es la materia seca de un genotipo en estrés salino ( $Y_s$ ) y sin estrés ( $Y_p$ ) respectivamente.  $PM = (Y_s + Y_p)/2$ ;  $TOL = (Y_p - Y_s)$ ;  $ISS = [1 - (Y_s/Y_p)]/[1 - (\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)]$ ; donde  $\bar{Y}_p$  es el promedio del rendimiento potencial de todos los genotipos sin estrés y  $\bar{Y}_s$  el promedio del rendimiento potencial de todos los genotipos con estrés.  $PMG = \sqrt{Y_s * Y_p}$ ;  $ITE = Y_p * Y_s / \bar{Y}_p^2$ ;  $b_1$  es el coeficiente de regresión lineal de la accesión en cada ambiente, considerando el modelo  $Y = b_0 + b_1 X + E_i$ . Los datos de materia seca en hoja, tallo, vástago, raíz, total, relación raíz/vástago, PR, PM, TOL, ISS, PMG e ITE, se analizaron mediante el programa estadístico SAS V 9.3 por comparación entre medias con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## 4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentaron diferencias estadísticas en todos los caracteres evaluados ( $\alpha < 0.05$ ) tanto en materia seca (hoja, tallo, vástago, raíz, total y relación raíz/vástago), como en los indicadores (tolerancia al estrés, porcentaje de reducción, productividad media, tolerancia al estrés salino, índice de susceptibilidad al estrés salino, productividad de la media geométrica e índice de tolerancia al estrés salino), que se discuten a continuación.

### 4.5.1. Biomasa

A mayor concentración salina disminuyó la biomasa de raíz, tallo y total en plántulas de jitomate (Cuadro 1). En las hojas disminuyó con la presencia de esta sal pero no hubo diferencias entre 100 y 200 mM de NaCl, mientras que en tallo y raíz hubo diferencias entre 100 y 200 mM de NaCl. La relación raíz/vástago es menor en ausencia de NaCl y es estadísticamente mayor en 100 y 200 mM de NaCl. Los resultados muestran que el incremento en la salinidad afecta más a la raíz que al vástago.

**Cuadro 1. Biomasa de plántulas y relación raíz/vástago de tomate a 0, 100 y 200 mM de NaCl.**

Concentración (mM de NaCl)	Raíz	Tallo	Hoja	Total	Relación raíz/ vástago
0	0.444 a	0.302 a	0.491 a	1.237 a	0.725 b
100	0.312 b	0.171 b	0.183 b	0.665 b	0.943 a
200	0.256 c	0.130 c	0.163 b	0.549 c	0.978 a
DMS	0.028	0.024	0.041	0.079	0.078

\*Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

#### 4.5.2. Raíces

Las accesiones G75, G303, O335, G308 y P371 tuvieron la mayor producción de biomasa en raíz, mientras C32, C5, C3, G483 y V460 tuvieron la menor, por lo que las primeras tienen mayor tolerancia a la salinidad. Las raíces forman, frecuentemente, una pequeña fracción de la materia seca total de los cultivos desarrollados bajo invernadero (Marcelis y De Koning, 1995). En el caso del tomate, la fracción de materia seca destinada a las raíces varía entre 17 y 20 % en la etapa inicial; y entre uno y 10 % en la etapa generativa (Ehret y Ho, 1986).

**Cuadro 2. Biomasa en plántulas y relación raíz/vástago en 44 accesiones de tomate.**

Accesión	Hoja	Tallo	Raíz	Total	Relación raíz/vástago
C3	0.18 fg	0.11 h-i	0.23 g-j	0.51 f-i	0.96 b-f
C4	0.15 fg	0.13 g-k	0.35 c-i	0.63 d-i	1.91 a
C5	0.15 fg	0.10 i-j	0.20 h-j	0.45 hi	0.84 b-f
C30	0.27 c-g	0.18 d-k	0.31 d-j	0.75 b-i	0.78 b-f
C31	0.47 a-e	0.27 a-h	0.42 a-f	1.15 a-c	0.68 d-f
C32	0.20 fg	0.10 i-j	0.24 f-j	0.54 f-i	1.13 b-e
G75	0.30 b-g	0.33 a-e	0.57 a	1.20 ab	1.01 b-f
G84	0.49 a-d	0.28 a-g	0.43 a-e	1.20 ab	0.59 f
P101	0.21 e-g	0.18 d-k	0.33 c-j	0.72 b-i	0.86 b-f
O154	0.33 b-g	0.26 a-i	0.43 a-e	1.01 a-f	0.85 b-f
O171	0.32 b-g	0.23 a-k	0.35 c-j	0.89 b-h	0.64 d-f
O174	0.15 fg	0.09 k	0.24 f-j	0.47 g-i	1.05 b-f
O233	0.33 b-g	0.29 a-g	0.31 d-j	0.93 a-h	0.79 b-f

O234	0.14 fg	0.15 f-k	0.28 d-j	0.57 e-i	0.99 b-f
P265	0.17 fg	0.14 f-k	0.31 d-j	0.62 d-i	1.03 b-f
G303	0.52 a-c	0.36 ab	0.53 ab	1.42 a	0.69 c-f
G308	0.63 a	0.35 a-c	0.45 a-d	1.44 a	0.59 f
O317	0.28 b-g	0.21 b-k	0.37 c-h	0.86 b-i	0.79 b-f
O324	0.21 e-g	0.21 b-k	0.33 c-j	0.75 b-i	0.82 b-f
O332	0.32 b-g	0.17 e-k	0.33 c-j	0.82 b-i	0.99 b-f
O334	0.21 e-g	0.20 c-k	0.27 d-j	0.68 c-i	0.79 b-f
O335	0.54 ab	0.37 a	0.50 a-c	1.41 a	0.63 ef
O341	0.35 b-g	0.21 b-k	0.39 b-g	0.95 a-h	0.72 c-f
P345	0.40 a-f	0.25 a-i	0.41 a-f	1.07 a-e	0.69 c-f
P348	0.19 fg	0.13 g-k	0.37 c-h	0.69 c-i	1.18 bc
G353	0.37 a-f	0.17 e-k	0.32 c-j	0.86 b-i	0.77 b-f
G355	0.25 d-g	0.19 d-k	0.35 c-j	0.79 b-i	0.90 b-f
P361	0.23 d-g	0.11 h-i	0.32 c-j	0.66 c-i	1.06 b-f
V365	0.30 b-g	0.18 d-k	0.36 c-i	0.84 b-i	0.82 b-f
V366	0.19 fg	0.13 g-k	0.34 c-j	0.66 c-i	1.14 b-d
V368	0.18 fg	0.13 g-k	0.28 d-j	0.60 e-i	0.97 b-f
P371	0.25 d-g	0.33 a-d	0.41 a-f	1.00 a-f	0.72 c-f
P373	0.37 a-f	0.31 a-e	0.33 c-j	1.02 a-f	0.70 c-f
P376	0.26 c-g	0.25 a-i	0.36 c-h	0.88 b-h	0.74 c-f
P381	0.21 e-g	0.20 c-k	0.29 d-j	0.69 b-i	0.73 c-f
P385	0.30 b-g	0.23 a-k	0.35 c-j	0.88 b-h	0.78 b-f
O406	0.17 fg	0.13 g-k	0.31 d-j	0.61 d-i	1.07 b-f
V457	0.33 b-g	0.20 c-k	0.32 d-j	0.85 b-i	1.26 b

V460	0.10 g	0.09 jk	0.17 j	0.36 i	0.86 b-f
V466	0.15 fg	0.12 h-i	0.25 e-j	0.52 f-i	0.92 b-f
V470	0.48 a-d	0.30 a-f	0.34 c-j	1.12 a-d	0.64 d-f
V472	0.19 fg	0.12 h-i	0.26 e-j	0.56 e-i	0.92 b-f
V478	0.34 b-g	0.25 a-j	0.38 b-g	0.98 a-g	0.78 b-f
G483	0.10 g	0.08 k	0.18 ij	0.36 i	1.01 b-f
DMS	0.27	0.16	0.18	0.51	0.50

\*Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

#### 4.5.3. Tallos y hojas

En el tallo las accesiones con mayor biomasa fueron O335, G303, G308, P371 y G75, y las de menor valor fueron G483, O174, V460, C5 y C32. En hojas las accesiones G308, O335, G303, G84 y V470 produjeron más biomasa y las que produjeron menos fueron G483, V460, O234, O174 y C5. En la producción total de biomasa las de mayor rendimiento fueron G308, G303, O335, G84 y G75, mientras que las de menor fueron G483, V460, O174, C5 y C3. Las accesiones que produjeron más biomasa son menos sensibles a la salinidad en estos órganos de la planta. La relación entre el peso de tallos y de hojas en cultivos hortícolas tiene especial importancia en la fase de plantas jóvenes. En dichas plantas la relación tallo/hoja generalmente aumenta (algunas veces, tras un descenso inicial) con la edad y el tamaño de la planta (Harssema, 1977; Horie *et al.*, 1979; Nilwik, 1981).

Suwa *et al.* (2006) encontraron en plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) bajo estrés salino, en concentraciones de 50 y 100 mM de NaCl, que el diámetro del tallo comienza a disminuir alrededor de las 7:00 am y alcanza el mínimo diámetro a las 3:00 pm, además, el estrés salino no cambió los patrones diurnos del diámetro del tallo; estos autores

encontraron que por el estrés salino en el tallo aparece una mayor demanda pocas horas después del tratamiento, mientras que el efecto se observa en el índice fotosintético después de 3 a 4 días de la aplicación de la sal. Esto sugiere que la salinidad deteriora la actividad de la demanda más temprano que la actividad de fuente. Los tratamientos de 50 y 100 mM L<sup>-1</sup> de NaCl disminuyeron la biomasa de la planta después de 11 y 5 días, respectivamente; la disminución fue mayor en hojas y tallos. La biomasa total, que resulta de la suma de raíz, tallo y hoja también fue mayor en las accesiones G303, G308 y O335, mientras que las menos productivas fueron G483, V460 y C5.

#### **4.5.4. Relación raíz/vástago**

En cuanto a la relación raíz/vástago la de mayor valor fue la accesión C4, lo que significa que la salinidad afecta más a la raíz en fenotipos sensibles, y resultó estadísticamente diferente a las de menor valor 308, G84, O335, V470, O171, C31, P345 y G303, las cuales fueron las más tolerantes. Esto significa que hubo una menor afectación en las hojas, y concuerda con Dasgan *et al.* (2002) y Salim (1989) quienes encontraron que las hojas de tomate son más sensibles a la salinidad que las raíces, lo que puede ser debido a los componentes de la pared celular, la estructura de la membrana celular, mecanismos de tolerancia a la salinidad y componentes genéticos. Bernier *et al.* (1995) mencionan que una relación alta vástago/raíz en plántula se traduce en menor cantidad de raíz y, por lo tanto, la plántula puede sufrir estrés por agua.

#### **4.5.5. Índices de tolerancia al estrés**

En los índices PR, PM, TOL, PMG e ITE se presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 3) en 100 y 200 mM de NaCl, lo cual significa que dependiendo de la concentración de NaCl afecta de forma diferencial a los índices, dependiendo de la intensidad del estrés salino, yendo de moderado (100 mM de NaCl) a más estresantes (200 mM de NaCl). El ISS no fue afectado por la concentración salina.



**Cuadro 3. Efecto de la concentración de NaCl en índices de estrés salino obtenidos de 0 a 100 y 0 a 200 mM de NaCl.**

mM de NaCl	PR <sup>+</sup>	PM	TOL	ISS	PMG	ITE
0-100	41.8 b	0.95 a	0.57 b	0.98 a	0.89 a	0.58 a
0-200	50.4 a	0.89 b	0.69 a	0.97 a	0.80 b	0.50 b
DMS	3.7	0.02	0.04	0.08	0.03	0.04

<sup>+</sup>Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

PR = porcentaje de reducción, PM = productividad media, TOL = Tolerancia al estrés, ISS = índice de susceptibilidad al estrés, PMG = Productividad de la media geométrica, e ITE = Índice de tolerancia al estrés.

Hubo diferencias estadísticas entre variedades en los índices PR, PM, TOL, ISS, PMG e ITE (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Índices de estrés salino en plántulas de tomate de 44 accesiones.**

	PR (%)	PM	TOL	ISS	PMG	ITE	$b_1$
C3	71.2 a-c	0.63 n-q	0.69 f-l	1.52 a-c	0.52 n-q	0.29 g-i	-0.0035
C4	37.8 c-i	0.68 m-q	0.32 l-r	0.79 c-h	0.66 k-p	0.62 a-g	-0.0019
C5	41.8 c-i	0.49 qr	0.26 o-r	0.88 b-h	0.47 pq	0.58 a-g	-0.0014
C30	35.3 e-i	0.81 k-n	0.35 j-r	0.76 d-h	0.78 g-n	0.65 a-e	-0.0016
C31	52.9 a-i	1.31 c-e	0.94 d-g	1.10 a-h	1.20 b-d	0.47 a-i	-0.0060
C32	71.8 a-c	0.67 m-q	0.75 e-i	1.53 a-c	0.55 m-q	0.28 g-i	-0.0038
G75	44.7 b-i	1.33 cd	0.77 e-g	0.93 b-h	1.26 a-c	0.55 a-h	-0.0046
G84	43.2 b-i	1.32 cd	0.73 e-j	0.92 b-h	1.25 a-c	0.57 a-h	-0.0037
P101	27.4 f-i	0.76 l-o	0.24 o-r	0.58 e-h	0.75 h-o	0.73 a-d	-0.0012
O154	46.4 b-i	1.13 e-i	0.68 f-l	0.98 b-h	1.07 c-f	0.54 a-h	-0.0038

O171	42.7	b-i	0.98	h-k	0.53	h-p	0.90	b-h	0.94	d-j	0.57	a-h	-0.0031
O174	28.5	f-i	0.50	qr	0.17	p-r	0.62	d-h	0.49	o-q	0.71	a-d	-0.0007
O233	63.5	a-e	1.10	f-i	1.02	b-f	1.33	a-d	0.96	d-j	0.37	e-i	-0.0059
O234	27.2	f-i	0.60	o-q	0.19	p-r	0.59	e-h	0.59	m-q	0.73	a-d	-0.0008
P265	20.2	i	0.64	n-q	0.14	qr	0.43	gh	0.64	l-q	0.80	a	-0.0007
G303	55.5	a-h	1.62	ab	1.25	bc	1.17	a-g	1.48	a	0.44	b-i	-0.0071
G308	71.3	a-c	1.76	a	1.95	a	1.51	a-c	1.46	ab	0.29	g-i	-0.0099
O317	43.3	b-i	0.95	h-l	0.53	h-q	0.91	b-h	0.90	e-l	0.57	a-h	-0.0030
O324	20.2	i	0.78	l-o	0.17	p-r	0.41	h	0.77	g-o	0.80	a	-0.0013
O332	71.6	a-c	1.00	g-j	1.12	b-e	1.51	a-c	0.82	f-m	0.28	g-i	-0.0061
O334	49.3	a-i	0.76	l-o	0.50	h-q	1.03	a-h	0.70	j-p	0.51	a-i	-0.0030
O335	56.0	a-g	1.62	ab	1.26	bc	1.18	a-f	1.48	a	0.44	c-i	-0.0072
O341	47.9	b-i	1.06	f-i	0.67	f-m	1.01	b-h	1.00	c-h	0.52	a-h	-0.0036
P345	46.2	b-i	1.19	d-g	0.71	f-k	0.98	b-h	1.12	c-e	0.54	a-h	-0.0037
P348	31.3	e-i	0.74	m-p	0.27	n-r	0.65	d-h	0.72	i-p	0.69	a-e	-0.0018
G353	63.4	a-e	1.02	g-j	0.94	c-g	1.34	a-d	0.89	e-l	0.37	e-i	-0.0052
G355	36.2	d-i	0.85	j-m	0.38	h-r	0.74	d-h	0.82	f-m	0.64	a-f	-0.0026
P361	38.0	c-i	0.72	m-p	0.34	k-r	0.80	c-h	0.69	j-p	0.62	a-g	-0.0019
V365	51.6	a-i	0.95	i-l	0.66	f-n	1.08	a-h	0.88	e-l	0.48	a-i	-0.0040
V366	36.3	d-i	0.72	m-p	0.32	l-r	0.76	d-h	0.69	j-p	0.64	a-f	-0.0019
V368	48.9	a-i	0.67	m-q	0.43	h-r	1.03	a-h	0.63	l-q	0.51	a-i	-0.0025
P371	20.9	hi	1.04	g-j	0.24	o-r	0.44	f-h	1.03	c-g	0.79	ab	-0.0014
P373	70.9	a-d	1.25	d-f	1.37	b	1.50	a-c	1.03	c-g	0.29	f-i	-0.0074
P376	22.4	g-i	0.95	i-l	0.24	o-r	0.48	f-h	0.93	d-k	0.78	a-c	-0.0011
P381	31.7	e-i	0.74	m-p	0.28	m-r	0.66	d-h	0.71	i-p	0.68	a-e	-0.0016

P385	47.1	b-i	0.98	h-k	0.60	g-o	1.01	b-h	0.92	d-k	0.53	a-h	-0.0029
O406	42.6	b-i	0.67	m-q	0.36	i-r	0.93	b-h	0.63	l-q	0.57	a-h	-0.0014
V457	76.7	a-b	1.07	f-i	1.33	bc	1.61	ab	0.79	g-n	0.23	hi	-0.0078
V460	41.5	c-i	0.40	r	0.21	p-r	0.85	c-h	0.38	q	0.58	a-g	-0.0014
V466	30.3	e-i	0.55	o-r	0.20	p-r	0.65	d-h	0.53	n-q	0.70	a-e	-0.0009
V470	82.8	a	1.46	bc	2.06	a	1.76	a	1.02	c-h	0.17	i	-0.0104
V472	57.5	a-f	0.65	n-q	0.53	h-q	1.23	a-e	0.57	m-q	0.42	d-i	-0.0025
V478	60.9	a-f	1.14	d-h	1.00	b-f	1.29	a-e	0.98	d-i	0.39	d-i	-0.0052
G483	20.5	i	0.37	r	0.09	r	0.43	gh	0.37	q	0.80	a	-0.0005
DMS	34.7		0.19		0.39		0.74		0.28		0.34		-0.0035

\*Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

PR = porcentaje de reducción, PM = productividad media, TOL = Tolerancia al estrés, ISS = índice de susceptibilidad al estrés, PMG = Productividad de la media geométrica, e ITE = Índice de tolerancia al estrés.

#### 4.5.6. Porcentaje de reducción (PR)

Las accesiones V470 y V457 tuvieron mayor porcentaje de reducción respecto a P265, O324 y G483, ya que las últimas tuvieron menor porcentaje de reducción y por lo tanto son las más tolerantes al estrés (Cuadro 4). Bayuelo-Jiménez *et al.* (2002) encontraron una correlación positiva entre PR e ISS, por lo que ambos índices pueden usarse en la selección de fenotipos tolerantes a la salinidad.

#### 4.5.7. Productividad media (PM)

Rosielle y Hamblin (1981) demostraron que, la correlación entre la PM y  $Y_p$  y PM y  $Y_s$  era positiva. La selección con base en PM incrementa el promedio de rendimiento en ambientes con y sin estrés. Las accesiones con menor PM fueron G483, V460 y C5, que

también fueron las menos productivas en la biomasa total, y las de mayor índice fueron G308, G303 y O335, que también tienen mayor producción de biomasa total (Cuadro 2).

Las accesiones con mayor PM se pueden considerar como los más productivos en ambientes no estresantes. Debido a que la PM es el promedio de la producción en ambientes con y sin estrés, este índice no es capaz de diferenciar cultivares del grupo A con los otros (Mardeh *et al.*, 2006). Hohls (2001) describe que la selección por la PM debería aumentar el rendimiento en ambientes estresantes y no estresantes, a menos que la correlación entre el rendimiento en ambientes estresantes es altamente negativa. Por su parte, Hossain *et al.* (1990) usó la PM como un criterio de resistencia para cultivares de trigo en condiciones de estrés moderado. En *Vigna radiata* se encontró que la productividad media y la media geométrica de la productividad fueron criterios muy buenos para seleccionar genotipos que tienen alto rendimiento potencial de semilla a través de un amplio rango de ambientes (Akhtar *et al.*, 2000).

#### **4.5.8. Tolerancia al estrés salino (TOL)**

Un mayor valor de TOL representa, relativamente, más sensibilidad al estrés, por lo que valores pequeños de TOL son favorables (Fernández, 1993). Genotipos con valores altos de TOL son más sensibles al estrés y su selección debe ser basada en los índices más bajos (Hassanzadeh *et al.*, 2009; Hohls, 2001). Ramírez y Kelly (1998) usaron valores bajos de TOL para seleccionar genotipos de frijol resistentes a la sequía.

La comparación de medias mostró que las accesiones G483, P265 y O174 tuvieron menores valores de TOL que las accesiones V470, G308 y P373, las cuales fueron las más altas y, por lo tanto, más sensibles. La accesión G308 se ha mencionado como de alto rendimiento en ambientes sin estrés salino, pero en este caso es una accesión susceptible de acuerdo a este índice, por lo cual se descarta para incluirse en el grupo A.

Bajo la mayoría de las pruebas de rendimiento, la correlación entre TOL y  $Y_p$  serían negativa y la correlación entre TOL y  $Y_s$  sería positiva. Así, TOL no distingue entre los grupos C y A (Fernández, 1993).

#### **4.5.9. Índice de susceptibilidad al estrés salino (ISS)**

Los valores más pequeños de ISS indican mayor tolerancia al estrés. La selección con base en el ISS favorece a los fenotipos con bajo rendimiento potencial y alto rendimiento bajo condiciones de estrés. Por esto, el ISS falla para distinguir el Grupo A del Grupo C (Fernández, 1993). En este caso las accesiones con menor ISS fueron O324, G483 y P265, mientras que las accesiones con mayor valor fueron V470, V457, C32, C3 y G308, que fueron las más susceptibles. G308 es nuevamente clasificada como susceptible. Rameeh *et al.* (2004) mencionan que en el ISS los valores elevados indican mayor severidad de la intensidad del estrés salino en todos los caracteres estudiados, excepto para la longitud de raíz, concentración de Ca y Na.

#### **4.5.10. Productividad de la media geométrica (PMG)**

La PM es basada en una media aritmética y por lo tanto ha tenido un sesgo al alza debido la mayor diferencia, relativamente, entre  $Y_p$  y  $Y_s$  mientras que la media geométrica es menos sensible a valores extremos grandes. Así, la PMG es mejor indicador que PM en la separación del Grupo A de los otros grupos (Fernández, 1993). Por otro lado, Mardeh *et al.* (2006) encontraron que la PMG es capaz de discriminar los cultivares del grupo A, solamente bajo condiciones de estrés moderado. En la PMG las accesiones G483, V460, C5, O174 y C3 fueron las menores estadísticamente y más tolerante. Las de mayor PMG fueron G303, O335, G308, G75 y G84, por lo tanto las más susceptibles al estrés salino.

#### **4.5.11. Índice de tolerancia al estrés (ITE)**

ITE es una estimación basada en la PMG y, por lo tanto, la correlación de rangos entre ITE y la PMG es igual a 1. Los valores mayores de ITE para un fenotipo implican mayor tolerancia al estrés y potencial de rendimiento más alto. El valor de la intensidad del estrés es también incorporado para el ITE. Así ITE distingue el Grupo A del Grupo B y Grupo C (Fernández, 1993). Las accesiones V470, V457, C32, O332 y G308 fueron menores y estadísticamente diferentes a las accesiones P265, O324, G483, P371 y P376, las más altas, y en este caso fueron las más tolerantes pero pertenecientes al grupo A, con alto rendimiento en ambientes con o sin estrés salino. Dehdari *et al.* (2005) encontraron una fuerte relación entre la relación  $K^+/Na^+$ , biomasa e índice de tolerancia al estrés. El ITE tiene una alta correlación con el Yp, YS, Mg y PMG en todas las intensidades del estrés, por lo cual es un buen índice de rendimiento potencial y tolerancia al estrés a través de varios ambientes (Akhtar *et al.*, 2000).

#### **4.5.12. Coeficiente de regresión ( $b_1$ )**

Hols (2001) y Mardeh *et al.* (2006) encontraron que los fenotipos con una mayor tolerancia al estrés tienen menor valor de  $b_1$ , tanto en ambientes estresantes como no estresantes. El rango del coeficiente de regresión en este estudio varió de 0.41 a 2.43. Las accesiones con menor valor de coeficiente de regresión fueron G483, P265, O174, O234 y V466, las cuales coinciden en tolerancia con varios índices anteriores, sobre todo G483 y P265. Las accesiones con mayor coeficiente y por lo tanto con mayor susceptibilidad son V470, G308, V457, P373, O335 y G303. Cuando el estrés es más severo el coeficiente de regresión ( $b_1$ ) y el ISS fueron los más eficientes para discriminar la tolerancia de cultivares, aunque ninguno de los índices puede identificar claramente cultivares con alto rendimiento bajo condiciones con y sin estrés (cultivares del grupo A) (Mardeh *et al.*, 2006).

**Cuadro 5. Correlación entre índices de tolerancia al estrés salino y rendimiento sin estrés ( $Y_p$ ) y rendimiento con estrés ( $Y_s$ ) a una concentración de 100 mM NaCl L<sup>-1</sup>.**

	$Y_p$	$Y_s$	PR	PM	TOL	ISS	PMG
$Y_s$	0.38**						
PR	0.38**	-0.47**					
PM	0.76**	0.75**	0.16*				
TOL	0.68**	-0.08 <sup>ns</sup>	0.82**	0.59**			
ISS	0.38**	-0.47**	1.00**	0.16*	0.82**		
PMG	0.67**	0.88**	-0.03 <sup>ns</sup>	0.97**	0.39**	-0.03 <sup>ns</sup>	
ITE	-0.38**	0.47**	-1.00**	-0.16*	-0.82**	-1.00**	0.03 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> no significativo; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$

PR = porcentaje de reducción, PM = productividad media, TOL = Tolerancia al estrés, ISS = índice de susceptibilidad al estrés, PMG = Productividad de la media geométrica, e ITE = Índice de tolerancia al estrés.

Los coeficientes de correlación entre  $Y_p$  y  $Y_s$  con los índices de tolerancia al estrés salino (Cuadro 5) muestran que  $Y_p$  y  $Y_s$  tienen una correlación significativa y positiva con PM y PMG y; en TOL hubo una correlación significativa y positiva con  $Y_p$ , lo cual concuerda con Hassandeh *et al.* (2009). Rosielle y Hamblin (1981) demostraron que la correlación genética entre  $Y_s$  y  $Y_p$  y la relación de la varianza genética determina el resultado de la selección genotípica basada en los índices PM y TOL. En el caso de PR tuvo una correlación positiva con TOL e ISS y negativa con ITE. A mayor número de pruebas de TOL y ISS se observa una correlación positiva (Fernández, 1993) y Bayuelo-Jiménez *et*

al. (2002) encontraron en diferentes especies de *Phaseolus* una correlación positiva entre ISS y PR, lo cual mostró que cualquiera de los dos índices puede ser usado para seleccionar diferentes genotipos tolerantes a la salinidad. La PM y PMG también correlacionan positivamente. El ISS tuvo una correlación positiva con Yp y negativa con Ys. Akhtar *et al.* (2000) encontraron una correlación negativa alta entre ISS y el rendimiento de semilla seca en ambientes con y sin estrés y Mardeh *et al.* (2006) encontraron una correlación negativa entre el ISS y el rendimiento en trigo bajo estrés. En el presente estudio los índices con mejor resultado para la selección genotípica en ambientes con y sin estrés salino son PM, TOL y PMG.

#### **4.6. CONCLUSIONES**

La biomasa de raíz y tallo disminuye gradualmente de 100 a 200 mM de NaCl y en hoja la afecta en la misma intensidad con las dos concentraciones. Las accesiones identificadas como más tolerantes con potencial de rendimiento en ambientes estresantes con y sin estrés perteneciente al grupo A son la G483 y P265. Con base en la producción de biomasa y los índices evaluados, las accesiones G303, O335 y G308 fueron susceptibles a ambientes estresantes pero no así en ambientes sin estrés, por lo cual pertenecen al grupo B. La concentración de NaCl afecta el porcentaje de reducción, productividad media, tolerancia al estrés salino, productividad de la media geométrica e índice de tolerancia al estrés pero no así al índice de susceptibilidad al estrés salino. Los mejores índices para determinar la selección fenotípica con y sin estrés salino son productividad media, tolerancia al estrés y la productividad de la media geométrica.

#### **4.7. LITERATURA CITADA**

Akhtar, K., M. Ashraf, and A. Rao. 2000. Evaluation of selection indices for identification of productive mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). Pakistan J. Biolog Sci. 3: 1541-1544.



Ali, Y., Z. Aslam, M. Y. Ashraf, and G. R. Tahir. 2004. Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield components of rice genotypes grown under saline environment. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 1: 221-225.

Amini, F., and A. A. Ehsanpour. 2006. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to MS, water agar and salt stress *in vitro* culture. *Pakistan J. Biological Sci.* 9: 170-175.

Bansal, K.C., and S. K. Sinha. 1991. Assessment of drought resistance in 20 accessions of *Triticum aestivum* and related species. Part I: total dry matter and grain yield stability. *Euphytica* 56: 7–14.

Bayuelo-Jiménez, S. J., Debouk, G. D., and Lynch P. J. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Sci.* 42: 2184-2192.

Bernier. P. Y., M. S. Lamhamedi, and D. G. Simpson. 1995. Shoot/root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters' Notes* 46:102-106.

Chinnusamy, V., A. Jagendorf, and Z. Jian-Kang. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45: 437-448.

Cuartero, J., M. C. Bolarín, M. J. Asíns, and V. Moreno. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. *J. Exper. Bot.* 57: 1045–1058

Dasgan, H. Y., H. Aktas, K. Abak, and I. Cakmak. 2002. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Sci.* 163: 695-703.

Dehdari, A., A. Rezai, and S. A. M. Maibody. 2005. Salt tolerance of seedling and adult bread wheat plants bases on ion contents. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 2239-2253.

Ehret, D. J, and Ho, L. C. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hortic. Sci.* 61: 361-367.

Fernandez, G. C. J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp: 257–270. *In: Adaptation of food crops to temperature and water stress.* Kuo, C.G., ed.; AVRDC: Shanhua, Taiwan.

Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 897–912.

Harlan, J.R. 1976. Genetic resources in wild relatives of crops. *Crop Sci.* 16:329–333.

Harssema, H. 1977. Root temperature and growth of young tomato plants. Wageningen. 86p. Tese (doutorado em Horticultura). Wageningen, Agricultural University.

Hassanzadeh, M., A. Asghari, Sh. Jamaati-e-Somarin, M. Saeidi, R. Zabihi-e-Mahmoodabad, and S. Hokmalipour. 2009. Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Moghan Region. *Res. J. Environ. Sci.* 3: 116-121.

Robinson, H. F. (eds). *Statistical genetics and plant breeding.* Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Council, Publication 982, Washington, DC.

Hohls, T..2001. Conditions under which selection for mean productivity, tolerance to environmental stress, or stability should be used to improve yield across a range of contrasting environments. *Euphytica* 120: 235– 245.

Horie, T., C. T. De Wilt, J. Goudriaan, and J. Bensik. 1979. A formal template for the development of cucumber in its vegetative stage. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie voor Wetenschappen* 82: 433-480.

Hossain, A.B.S., Sears, A.G., Cox, T.S., Paulsen, G.M., 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Sci.* 30: 622–627.

Jones, R. A. 1986. High salt-tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica* 35: 576-582.

Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drain. Eng.* 103:115–134.

Marcelis, L. F. M., and De Koning, A. N. M. 1995. Biomass partitioning in plants. Crop growth. *In: J. C. Bakker, G. P. A. Bot, H. Challa. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen Academic Publishers p.84-92. Wageningen, The Netherlands.:*

Mardeh, A. S., A. Ahmadi, K. Poustini, and V. Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Res.* 98: 222-229.

Munns, R., Hare, R. A., James, R. A., and Rebetzke, G.J. 2000. Genetic variation for improving salt tolerance of durum wheat. *Australian J. Agric. Res.* 51: 69–74.

Nilwik, H. J. M. 1981. Growth analysis of sweet pepper (*Capasicum annuum* L.). 1. Influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany* 48: 129-136.

Rameeh, V., A. Rezai, and G. Saeidi, 2004. Study of salinity tolerance in oil seed rape. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 35: 2849-2866.

Ramirez, P., J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.

Rosielle, A. A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21: 943–946.

Salim, M. 1989. Effects of salinity and relative humidity on growth and ionic relation of plants. *New Phytol.* 113: 13-20.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *En Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* pp. 633-649.

Shannon, M.C. 1984. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. p. 231–283. *In: R.C. Staples and G.H. Toenniessen (ed.) Strategies for crop improvement.* John Wiley & Sons, New York.

Suwa, R., N. T. Nguyem, H. Saneoka, R. Moghaieb, and K. Fujita. 2006. Effect of salinity stress on photosynthesis and vegetative sink in tobacco plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 243-250.

Tal, M., and M.C. Shannon. 1983. Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated tomato: Responses of *Lycopersicon esculentum*, *L. cheesmanii*, *L. peruvianum*, *Solanum pennellii* and F<sub>1</sub> hybrids to high salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 10:109–117.

## 5. CAPÍTULO II. CAMBIOS NUTRIMENTALES EN INJERTOS DE TOMATE AFECTADOS POR SALINIDAD

### 5.1. RESUMEN

Las plantas tolerantes a la salinidad difieren en que las sensibles tienen un bajo índice de transporte de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  hacia las hojas. La absorción y acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el tejido de las plantas provoca una toxicidad iónica debido a los intensos cambios en las relaciones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ . El injerto sobre patrones tolerantes a la salinidad es un método eficaz para aumentar la tolerancia de las plantas al estrés salino, además de mejorar las deficiencias nutrimentales y toxicidades. Se realizó un experimento donde se establecieron injertos (CID/483, CID/265, CID/MF y CID) en diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 75 y 100 mM). El incremento de la salinidad disminuyó la producción de biomasa y el contenido relativo de agua en tomate. Al aumentar la concentración de NaCl también aumentó la concentración de K, Ca y Mg en hojas, esto como parte de un mecanismo de respuesta por parte de la planta para compensar la concentración excesiva de Na. El injerto con mayor producción de biomasa total y contenido relativo de agua fue CID/MF, seguido de CID/483 y CID/265, y el menos productivo fue el no injertado (CID). El híbrido CID tuvo las mayores concentraciones de K, Ca, Mg, P, Cl y Na, sin embargo, fue el que tuvo mayores desbalances nutrimentales. El injerto CID/MF tuvo las mayores relaciones K/Na y Ca/Na, lo cual refleja una mayor selectividad de Na. El injerto CID/265 tuvo una mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ , lo cual sugiere que este injerto es capaz de tener una mayor selectividad a  $\text{Cl}^-$ . El injerto CID/MF fue el más productivo, mientras que los injertos 483 y 265, tuvieron la misma respuesta a la salinidad y tuvieron superior productividad que las plantas no injertadas.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, concentración mineral en hojas, estrés salino.

## 5.2. ABSTRACT

The salt tolerant plants differ to sensitive ones in that these have a low rate of transport of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  to the leaves. The absorption and accumulation of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  in plant tissue causes ion toxicity due to intense changes in relations  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ . The grafting onto rootstocks tolerant to salinity is an effective method to increase plant tolerance to salt stress, and improve the nutritional deficiencies and toxicities. We conducted an experiment where the following grafts (CID/483, CID/265, CID/MF and CID) at different NaCl concentrations (0, 50, 75 and 100 mM). Salinity increase decreases biomass production and the relative water content in tomato. Increasing the concentration of NaCl also increased the concentration of K, Ca and Mg, this as part of a feedback mechanism from the plant to compensate for the excessive concentration of Na. The graft with greater total biomass production and CRA was CID/MF, and CID/265 CID/483, and the less productive was the one where it was grafted (CID). CID had the highest concentrations of K, Ca, Mg, P, Cl and Na, however, was the one that had higher nutritional imbalances. The graft CID/MF had the highest relationships K/Na and Ca/Na, reflecting greater selectivity to Na. The graft CID/265  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  had a higher ratio, suggesting that this graft is capable of having a higher selectivity to  $\text{Cl}^-$ . The graft CID/MF was the most productive, while grafts 483 and 265, had the same response to salinity and being superior in terms of production to plants where it was grafted.

Key words: *Solanum lycopersicum*, left ion contents, salinity stress.

## 5.3. INTRODUCCIÓN

Las plantas sufren estrés salino en tres diferentes formas: 1) la disminución en el potencial osmótico en el medio radical; 2) el efecto tóxico de altas concentraciones de  $\text{Na}^+$

y Cl<sup>-</sup>; y 3) desbalance nutrimental. La disminución en el potencial osmótico puede causar desequilibrios hídricos en la planta, reduciendo la turgencia y la fotosíntesis. El efecto de la salinidad en el crecimiento de las plantas es un síndrome complejo que involucra estrés osmótico, toxicidad iónica y deficiencias de nutrientes minerales (Munns, 2002). Las plantas tolerantes a la salinidad difieren de las sensibles por un bajo índice de transporte de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> hacia las hojas, y la capacidad de compartimentar estos iones en las vacuolas para prevenir su acumulación en el citoplasma o paredes de las células y, por lo tanto, evitar la toxicidad por salinidad (Munns, 2002); además la capacidad de las plantas para mantener una relación alta K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> en el citosol probablemente sea uno de los principales determinantes de la tolerancia a la salinidad (Zhu *et al.*, 2008; Maathius y Amtmann, 1999). La absorción y acumulación de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en el tejido de las plantas provoca una toxicidad iónica debido a los intensos cambios en las relaciones Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> y Cl<sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los compartimentos celulares (Amtmann y Maathuis, 1999; Blumwald *et al.*, 2000), además, interacciones de competencia entre los iones tóxicos (Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>) y nutrientes pueden inducir deficiencias nutrimentales (Grattan y Grieve, 1999). El injerto sobre patrones tolerantes a la salinidad es un método eficaz para aumentar la tolerancia de las plantas al estrés salino, además de mejorar las deficiencias nutrimentales y toxicidades (Colla *et al.*, 2010; Savvas *et al.*, 2009). El injerto en tomate mejora la tolerancia a la salinidad del cultivar, al limitar el transporte de sodio y cloro al vástago (Estañ *et al.* 2005; Santa Cruz *et al.*, 2002). Las características del portainjerto capaz de inducir tolerancia a la salinidad del injerto también dependerá del mecanismo de tolerancia a la salinidad del genotipo del portainjerto que controla la acumulación de iones salinos en las hojas (Santa-Cruz *et al.*, 2002). El objetivo de la presente investigación fue evaluar en injertos de tomate los mecanismos de tolerancia al sodio y su influencia en la concentración de nutrimentos en el tejido vegetal del injerto.

#### 5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en invernadero con luz natural en hidroponía en el municipio de Chiconcuac que se localiza al nordeste del Estado, ubicado 19° 31' 10" de latitud N y 98° 52' 11" de longitud W, y un altitud promedio de 2,246 msnm. Su clima es el tipo BS1 kw(w)(i)g; clima seco estepario, semiárido-templado. Se germinaron semillas de dos accesiones silvestres caracterizadas como tolerantes a la salinidad (G483 y P265) provenientes del Programa de Genética del Colegio de Postgraduados, el portainjerto comercial Multifort (MF, De Ruiters Seed®) y el híbrido El Cid F1 (Harris Moran®, que sería el injerto), en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando turba como sustrato. Cuando las plántulas tuvieron entre 10 y 15 cm de altura presentando de 2 a 3 hojas verdaderas y con fenotipo homogéneo, se realizaron los injertos. Una vez que las plántulas se injertaron fueron trasplantadas a bolsas de 40 x 40 cm; con capacidad de 18 L, las cuales contuvieron tezontle tipo sello como sustrato. El experimento se estableció durante 140 días. Se utilizó la solución universal preparada por el método de Steiner (Steiner, 1984). Los riegos se realizaron diariamente con solución nutritiva proporcionándoles de 0.5 L (0 a 15 ddt), 0.75 L (16 a 25 ddt), 1.2 L (26 a 40 ddt), 1.8 L (41 a 120 ddt) y 1.6 L (121 a 140 ddt) por planta. El diseño de experimental fue completamente al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental fue una maceta, conteniendo una planta y estuvo conformado por dos factores: 1) injerto (CID/483, CID/265, CID/MF y CID [sin injertar]) y 2) salinidad (0, 50, 75 y 100 mM NaCl), con un total de 16 tratamientos.

Se evaluaron la biomasa de hojas, raíz y tallo, la composición mineral en hoja (K, Ca, Mg, P, NO<sub>3</sub>, Na y Cl), las relaciones nutrimentales y el contenido relativo de agua (CRA). Para evaluar la biomasa se cortó la planta en tres partes: raíz; tallo; y hojas (éstas se fueron cortando periódicamente debido al manejo del cultivo del cultivo). Para el secado se



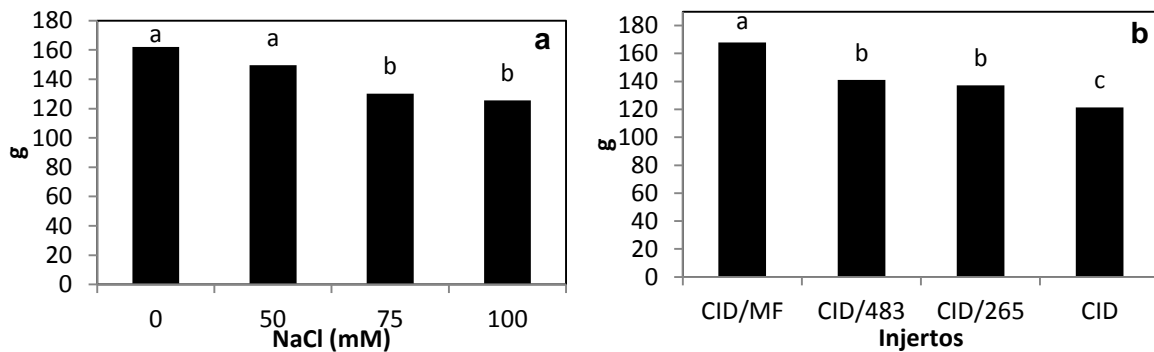
colocaron las muestras en una estufa (Presicion Scientific, 130DM) a 70 °C durante 48 h con circulación forzada de aire y, posteriormente, se pesaron con una balanza (Ohaus, Mod. Explorer). Para la composición mineral se tomaron muestras de hojas limpias, sin daños físicos, químicos o biológicos. Las muestras se colocaron en bolsas de papel perforadas. Cada muestra se lavó y secó a 70 °C durante 48 h en estufa con circulación forzada de aire, antes de ser molida (malla 20) en un molino de acero inoxidable. La digestión del material se realizó con mezcla diácido (4 mL HNO<sub>3</sub>:2 mL HClO<sub>4</sub>) a 203 °C. En el producto de la digestión del material vegetal se determinaron K, Ca, Mg, P, Na, y Cl; la cuantificación para P se hizo mediante el método Vanadato-Molibdato; la determinación de K y Na por flamometría; y el contenido de Cl, Ca y Mg por volumetría. Para nitrato la digestión del material se realizó con una mezcla de ácido salicílico y sulfúrico y se determinó por el método de Micro-Kjeldahl (NOM-021-RECNAT-2000, 2000). Con los resultados del análisis químico se obtuvieron las relaciones nutrimentales (K/Na, Ca/Na, Mg/Na y NO<sub>3</sub>/Cl). El contenido relativo de agua (CRA) se midió en muestras de discos de la hoja con un diámetro de 16 mm, excluyendo los de mayor grosor. Los discos se pesaron inmediatamente después del corte y se pusieron a flotar en agua bidestilada y desionizada en cajas petri. En esta forma las hojas se saturaron con agua por 24 h en la oscuridad a 4 °C. El peso de los discos turgentes de las hojas se obtuvo después de remover el agua excedente superficial. El peso de los discos secos se midió después de secarlos por 48 h a 70 °C. El contenido relativo del agua de los discos se calculó con base en la siguiente fórmula:  $CRA = (f.wt-d.wt)/(t.wt - d.wt.) * 100$ ;

donde, f.wt, d.wt y t.wt son los pesos de los discos frescos, secados y turgentes respectivamente (Jones y Turnes, 1978). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), con el programa estadístico SAS V9.3.

## 5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.5.1. Biomasa

Se encontraron diferencias estadísticas debidas a la concentración de salinidad ( $\alpha \geq 0.05$ ) y por efecto del injerto ( $\alpha \geq 0.05$ ) (Figura 1). La mayor cantidad de biomasa se produjo en las concentraciones de 0 y 50 mM de NaCl sin diferencias estadísticas entre ellas, mientras que en 75 y 100 mM de NaCl se produjo menos biomasa (Figura 1a). Las plantas injertadas produjeron más biomasa y de ellas la injertada sobre Multifort fue la más productora (Figura 1b).



**Figura 1. Biomasa total (g) en 0, 50, 75 y 100 mM NaCl (a) y en injertos de tomate El Cid sobre tres patrones (MF, 483, 265) y uno sin injertar. (b).**

El aumento en la concentración de NaCl en la solución nutritiva afecta negativamente la biomasa del vástago y raíces, y la altura de planta en tomate (Al-Karakib, 2000a). En sandía se encontró una reducción de 41% en el peso seco del vástago en plantas no injertadas, mientras que varió de 22% a 0.8% en plantas injertadas, en las mismas condiciones salinas (Yetisir y Uygur, 2010).

### 5.5.2. Composición mineral en la hoja

La composición mineral de hojas expuestas a diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 75 y 100 mM) y tres injertos (CID/483, CID/265 y CID/MF), así como en una variedad sin injertar (CID) se muestran en el Cuadro 6.

**Potasio.** La concentración de K fue mayor en CID y menor en todas las plantas injertadas, aunque todos los tratamientos se encuentran en el rango de suficiencia nutrimental. Patel (1973) observó en maíz, sorgo y trigo que el contenido de K en el tejido de la planta disminuye progresivamente con el aumento de la salinidad debido a una absorción más alta de sodio. Una acumulación de potasio (K) en el vástago y Na en raíces podrían corresponder a ajustes osmóticos en las plantas salinizadas (Amtmann y Maathuis, 1999). La adición de K resulta en una disminución de la absorción de Na al vástago. La translocación de Na de las raíces es reducida por la presencia K (2 mM) en la solución nutritiva. El suministro, acumulación y regulación de K en el tejido vegetal contribuye a la tolerancia a la salinidad y mejora el crecimiento (Al-Karaki, 2000b).

**Calcio.** La concentración de Ca tuvo un comportamiento muy similar a K. Los injertos sobre accesiones silvestres (CID/483 y CID/265) resultaron con los menores valores de calcio, sin embargo, por los rangos de suficiencia fueron los menos desbalanceados. En plantas de *P. guajava* expuestas a la salinidad por NaCl, se ha encontrado que los niveles del  $\text{Ca}^{2+}$  eran estables en las raíces, pero se reducían en ramas y hojas; la concentración de  $\text{K}^+$  se redujo con niveles crecientes de salinidad, particularmente en hojas (Ali-Dinar *et al.*, 1999).

**Magnesio.** En el caso del magnesio en CID/MF se encontró una menor concentración en hoja y en CID, CID/483 y CID/265 las de mayor valor, además de estar fuera del intervalo de suficiencia. Por efecto de salinidad con NaCl la concentración de Mg en las raíces es mínimamente afectada, pero impacta fuertemente en la de las hojas y tallos al disminuirla

(Netondo, *et al.*, 2004). Godoy *et al.* (2009) encontraron una mayor concentración en plantas de tomate sin injertar que en plantas injertadas. También, se ha encontrado en tomate que la reducción del rendimiento de fruto comercializable correlacionó con concentraciones de salinidad y Mg en el medio de la solución externa con una correlación alta ( $R^2 = 0.83$ ). Este efecto perjudicial se relacionó con la influencia de NaCl y Mg en las relaciones hídricas de las plantas y de la toxicidad o desequilibrios en la nutrición mineral. Así, las concentraciones de Mg en la solución de nutrientes puede ser un factor importante en el cultivo hidropónico de tomate cultivadas bajo condiciones salinas (Carvajal, 1999).

**Fósforo.** Las plantas sin injertar tuvieron mayor concentración de P, pero en este caso todas estuvieron dentro del rango de suficiencia. El estrés que provoca el NaCl se ha ligado con deficiencias de macronutrientes, por ejemplo, altas concentraciones de NaCl han inducido deficiencias de P y K en tomate (Adams, 1988) y pepino (Sonneveld y Kreij, 1999). Cerda y Binham (1978) encontraron un aumento en la producción de tomate debido a la aplicación de P en diferentes niveles de salinidad. Por otra parte, Mohammad *et al.* (1998) en un experimento con diferentes niveles de P y NaCl en la solución nutritiva encontraron disminución en la absorción de P conforme los niveles de la salinidad incrementaron.

**Nitratos.** No hubo diferencias estadísticamente significativas por efecto de injerto en  $\text{NO}_3$ , lo cual coincide con otras investigaciones. Proietti *et al.* (2008) no encontraron diferencias en la concentración de nitratos de la pulpa de la sandía en plantas injertadas y no injertadas (promedio  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  en peso fresco) obtenidas bajo tres regímenes de riego diferentes. De manera similar, Colla *et al.* (2010) mostraron que la concentración de nitrato de melón ya sea injertada sobre 'P360' como portainjerto o no injertado melón cv. 'Proteo' recibiendo tres dosis de fertilización de N (0, 60 o  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no se vio afectado por el injerto con un valor medio de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de peso fresco. No se detectaron

diferencias estadísticas en la concentración de nitrato en frutos de tomate en plantas injertadas y no injertadas (Fernández-García *et al.*, 2004). Estos estudios, indican que los portainjertos no desempeñan un papel importante en la acumulación de nitratos en frutas de vegetales injertados (Rouphael, 2010), como en este estudio.

**Sodio.** Las plantas sin injertar y CID/483 tuvieron las mayores concentraciones de Na, mientras que el injerto sobre MF fueron menores. La exclusión de Na<sup>+</sup> en el portainjertos depende de la retranslocación de Na<sup>+</sup> del xilema por un intercambio de Na<sup>+</sup> por K<sup>+</sup> (Walker, 1986).

**Cuadro 6. Concentración nutrimental de hojas de plantas de tomate con y sin injertar expuestas a NaCl.**

Injerto	K	Ca	Mg	P	NO <sub>3</sub>	Cl	Na
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----mg kg <sup>-1</sup> -----		
CID/265	39.68 bc	49.40 c	7.06 c	4.97 c	15.94 a	9.75 d	18.85 bc
CID/483	39.25 c	49.67 c	7.89 b	5.57 b	12.80 a	11.91 c	19.84 ab
CID/MF	41.06 b	61.11 b	6.47 d	5.16 c	12.45 a	14.64 b	17.46 c
CID	44.12 a	63.83 a	9.06 a	6.81 a	12.72 a	16.81 a	21.26 a
DMS	1.74	1.57	0.28	0.24	5.43	0.83	1.45
Intervalo de suficiencia	40-50	25-30	4.0-7.0	3.5-7.0			

\*Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

**Cloro.** En las hojas de CID se tuvo el valor más alto de la concentración de Cl, en segundo lugar estuvieron las plantas de CID/MF y finalmente CID/483 y CID/265. Rouphael *et al.* (2012) mencionan que el injerto reduce las concentraciones de sodio pero no de cloruro en hojas. En otro estudio se encontró que el mayor rendimiento de pepino

injertado se obtuvo cuando se salinizó con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  que cuando se hizo con  $\text{NaCl}$ ; se atribuyó a la incapacidad del portainjerto para restringir la absorción de  $\text{Cl}^-$  al vástago, así que  $\text{Cl}^-$  continuó pasando a las hojas, siendo el componente tóxico más significativa de la solución salina (Colla *et al.*, 2012).

**Cuadro 7. Relaciones nutrimentales en diferentes plantas de tomate con y sin injertar expuestas a  $\text{NaCl}$ .**

Relación	$\text{K}^+/\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$
CID/265	2.95 a	3.43 b	0.51 a	1.82 a
CID/483	2.41 b	2.85 c	0.51 a	1.21 b
CID/MF	2.90 a	4.38 a	0.45 b	0.94 b
CID	2.52 b	3.70 b	0.54 a	0.81 b
DMS	0.31	0.39	0.05	0.58

\*Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

En el Cuadro 7 se presentan las diferentes relaciones de plantas de tomate expuestas a salinidad. La relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en CID/MF y CID/265 fueron las de mayor valor y por lo tanto más tolerantes a  $\text{Na}^+$ . En la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  también CID/MF fue más alto y en segundo lugar estuvieron CID/265 y en tratamiento sin injertó, siendo la más baja y susceptible CID/483. En la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ , CID/MF fue la de menor valor y el resto superiores y estadísticamente iguales. Santa-Cruz *et al.* (2002) encontraron, en plantas sometidas a diferentes concentración de sal (0, 50 y 100 mM de  $\text{NaCl}$ ), que el portainjerto también indujo importantes cambios fisiológicos en las hojas de estas plantas, con los cambios más importantes en la acumulación de iones salinos y la relación  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . El

desplazamiento del  $\text{Ca}^{2+}$  de las membranas de la raíz por el  $\text{Na}^+$  afecta la selectividad  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (Cramer *et al.*, 1985) en favor del  $\text{Na}^+$ . Las relaciones de  $\text{K}/\text{Na}$ ,  $\text{Ca}/\text{Na}$  y  $\text{Mg}/\text{Na}$  son más bajas en las partes de las plantas estresadas por la salinidad debido a una mayor acumulación de  $\text{Na}$  (Irshad *et al.*, 2009).

En la relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  las de menor valor y, por tanto más susceptibles a  $\text{Cl}^-$ , fueron CID/483, CID/MF y CID, mientras que la más tolerante fue CID/265, lo cual demuestra que este injerto es capaz de tener una selectividad mayor por  $\text{NO}_3^-$  sobre el  $\text{Cl}^-$ . Klobus *et al.* (1988) encontraron que la inhibición de la absorción de  $\text{NO}_3^-$  se detectó rápidamente (dentro de 1 min) en raíces de cebada puestas en una solución de  $\text{NaCl}$  200 mM, acreditando este hecho a un sistema transportador de deterioro N.

En la interacción injerto-concentración mineral, la concentración de  $\text{K}$  aumenta conforme incrementa la concentración de  $\text{NaCl}$  (Cuadro 8). En el injerto CID/263 fue el único caso en el que en 75 mM de  $\text{NaCl}$  se tuvo la mayor concentración de  $\text{K}$ . Calcio siguió la misma tendencia que  $\text{K}$ , ya que al incrementarse la concentración de  $\text{NaCl}$ , el  $\text{Ca}$  fue mayor; en 100 mM de  $\text{NaCl}$  el injerto CID/483 y CID sin injerto tuvieron mayor concentración de  $\text{Ca}$ , mientras que en 0 mM de  $\text{NaCl}$  los menores fueron los injertos CID/483 y CID/265. La concentración de  $\text{Mg}$  fue el mismo caso que  $\text{K}$  y  $\text{Ca}$ , ya que aumentaron proporcionalmente a la concentración de  $\text{NaCl}$ , CID injertado en 483 y no injertado a 100 mM de  $\text{NaCl}$  tuvieron la mayor concentración, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en MF a 50 mM de  $\text{NaCl}$  y en 265 a 0 mM de  $\text{NaCl}$ . En fósforo la tendencia no fue tan clara, ya que las mayores concentraciones fueron encontradas a 50 mM de  $\text{NaCl}$  y las menores a 75 mM de  $\text{NaCl}$ . Las hojas maduras contienen más  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$  que hojas jóvenes. No obstante, bajo estrés salino las concentraciones de  $\text{Ca}$ ,  $\text{K}$  y  $\text{Mg}$  se reducen significativamente causando deficiencia de cationes, lo cual reduce el

crecimiento de la planta. Acumulación de K y Ca en las raíces, tallos y hojas son afectadas fuertemente por la inhibición por salinidad (Netondo *et al.*, 2004).

**Cuadro 8. Composición mineral de hojas de injertos de tomate a diferentes concentraciones de NaCl.**

Injerto	NaCl	K	Ca	Mg	P	NO <sub>3</sub>	Cl	Na
	mM	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-----mg Kg <sup>-1</sup> -----		
CID/265	0	29.6 g	31.1 j	5.0 g	5.7 def	12.3 b	5.9 h	5.1 i
CID/265	50	36.7 ef	46.3 hi	7.0 e	5.4 ef	31.8 a	9.1 fg	14.2 ef
CID/265	75	50.8 a	58.2 efg	5.8 f	4.5 h	9.8 b	10.1 f	25.2 c
CID/265	100	41.6 cd	62.0 de	10.4 a	4.3 h	9.9 b	14.0 e	30.9 b
CID/483	0	30.4 g	30.8 j	6.9 e	6.5 bc	13.5 b	7.2 gh	7.4 hi
CID/483	50	33.3 fg	44.3 i	7.8 d	5.2 fg	13.0 b	9.6 f	16.6 e
CID/483	75	44.2 bc	54.2 g	8.5 c	4.5 h	10.7 b	13.8 e	24.2 cd
CID/483	100	49.2 a	69.4 ab	8.4 cd	6.0 cde	13.9 b	17.0 cd	31.2 b
CID/MF	0	36.9 def	54.6 fg	6.0 f	4.7 gh	13.2 b	8.9 fg	9.2 gh
CID/MF	50	38.2 de	58.7 ef	5.0 g	6.5 bc	13.9 b	15.3 de	11.8 fg
CID/MF	75	41.4 cd	67.1 bc	6.9 e	4.2 h	10.7 b	15.3 de	14.6 ef
CID/MF	100	47.7 ab	64.0 c	8.0 cd	5.2 fg	12.1 b	19.1 bc	34.2 b
CID	0	32.2 fg	49.3 h	7.8 cd	6.3 cd	12.0 b	10.8 f	8.5 ghi
CID	50	43.2 bc	62.3 de	8.3 cd	8.1 a	11.8 b	14.8 de	17.1 e
CID	75	49.3 a	70.7 ab	9.4 b	5.8 def	16.9 b	19.4 b	21.2 d
CID	100	51.7 a	73.0 a	10.8 a	7.0 b	10.2 b	22.2 a	38.3 a
DMS		4.72	4.26	0.75	0.65	14.75	2.26	3.93

<sup>†</sup>Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).



Altas concentraciones de Na inhiben fuertemente la absorción y acumulación de K y Ca y en menor medida el Mg en la raíces. Debido a que el K es un macronutriente involucrado en el control del turgor, la inhibición de la absorción de K podría disminuir el crecimiento (Renault *et al.*, 2001). Altos niveles de Na en el medio externo reducen fuertemente la actividad fisicoquímica de la disolución de Ca (Cramer y Läuchli, 1986) y puede, por lo tanto, desplazar el Ca de la membrana plasmática de las células de la raíz (Cramer *et al.*, 1985). En los nitratos sólo en el injerto CID con 265 a 50 mM de NaCl hubo una mayor concentración. El Na y Cl, al igual que los elementos anteriores, incrementaron conforme se aumentó la concentración de NaCl. Las plantas sin injerto tuvieron mayor concentración de estos dos elementos en 100 mM de NaCl, mientras que cuando no se aplicó NaCl a la solución fueron estadísticamente iguales en todos los casos. Dentro de las plantas injertadas CID/MF y 483 fueron la que acumularon menos Na y Cl en 100 mM de NaCl, mientras que 265 acumuló más estos dos elementos.

Los resultados de las relaciones iónicas de la concentración de NaCl con las plantas con y sin injertar se presentan en el Cuadro 9. En este caso se observa que conforme se incrementó la concentración de NaCl también lo hizo la relación  $K^+/Na^+$ ,  $Ca^{2+}/Na^+$  y  $Mg^{2+}/Na^+$ , lo que significa que las plantas al incrementar la concentración de  $Na^+$  aumentaron también otros cationes, disminuyendo el efecto por competencia de  $Na^+$ . En 100 mM de NaCl todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales. Mientras que en 0 mM de NaCl la relación  $K^+/Na^+$  con el injerto CID/265 fue superior estadísticamente comparado con el resto de injertos en la misma concentración. Lo que se puede interpretar como que este injerto tiene la habilidad de ser más selectivo respecto al  $K^+$  comparado con el  $Na^+$ ; en la relación  $Ca^{2+}/Na^+$  fue el injerto 483 el menos eficiente en la acumulación de  $Ca^{2+}$  respecto al  $Na^+$ . En la relación  $Mg^{2+}/Na^+$  el injerto con MF acumuló menos  $Mg^{2+}$  respecto al  $Na^+$ . El incremento en la concentración de NaCl en solución nutritiva afecta negativamente la concentración de K y la relación K/Na en diferentes

cultivares de tomate (Al-Karakib, 2000b). La toma excesiva de  $\text{Na}^+$  induce una reducción de la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ , en la que el  $\text{K}^+$  se vuelve limitante, pues es un regulador del potencial osmótico para la toma de agua (Clausen *et al.* 1997). En tomate la aplicación de 5 mg de  $\text{Na kg}^{-1}$  suelo y 40 mg de  $\text{K kg}^{-1}$  al suelo produjo el mayor número de frutos, con una relación Na:K de 1:8. Una proporción Na:K de 0.45 hasta 0.60 y 1.44 hasta 1.80 para vástago y raíces, respectivamente, mantuvieron un buen balance agua vástago, resultando en un menor aborto de flores, y un aumento considerable del rendimiento de fruto (Idowu y Aduayi, 2006). La sustitución de Na por K tiene implicaciones importantes para el diagnóstico del estado de K en la planta, si este produce un cambio en la concentración de K en el tejido asociado con un crecimiento óptimo (Ivahupa *et al.*, 2006). La disminución de la fotosíntesis en condiciones de salinidad puede ser el resultado de la reducción en el contenido de clorofilas causado por la deficiencia de Mg (Ali-Dinar *et al.*, 1999), resultante del exceso en la toma de  $\text{Na}^+$ , cuya concentración incrementa la relación Na/Mg en las hojas (Casierra-Posada *et al.*, 2000).

En las relaciones aniónicas se encontró también una tendencia a incrementar la relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  en hoja conforme se incrementa la salinidad, pero el efecto no es tan pronunciado como en otras relaciones. Al igual que en las relaciones de cationes, en la mayor concentración salina (100 mM de NaCl) son estadísticamente similares en todas las plantas con y sin injertar, y sólo la interacción de CID/265 a 50 mM de NaCl tuvo la mayor relación. La concentración de N varía en la planta en el orden siguiente: hoja > tallo > raíz. Una disminución significativa en la concentración de N se observa en plantas sometidas a agua salina en maíz (Ishad *et al.*, 2009). La absorción de nitrato por células de la raíz, es el primer paso de la vía de la asimilación de  $\text{NO}_3^-$ , este es un paso clave en el metabolismo de N. Sin embargo, la absorción de nitrato por la raíz de la planta está limitada por la alta salinidad en el suelo o solución nutritiva. Muchos estudios atribuyen la

reducción de la absorción al antagonismo entre  $\text{Cl}^-$  y  $\text{NO}_3^-$ , mientras que, otros lo atribuyen a efecto de la salinidad por la menor absorción de agua (Abdelgadir *et al.*, 2005).

**Cuadro 9. Relaciones nutrimentales en hoja de diferentes plantas de tomate con y sin injertar expuestas a diferentes concentraciones de NaCl.**

Injerto	NaCl (mM)	$\text{K}^+/\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	$\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$
CID/265	0	5.88 a	6.17 a	1.00 a	2.10 ab
CID/265	50	2.59 def	3.26 efg	0.49 c	3.48 a
CID/265	75	2.02 fgh	2.31 gh	0.23 f	0.98 bc
CID/265	100	1.35 h	2.01 h	0.34 def	0.70 bc
CID/483	0	4.20 b	4.26 cde	0.95 a	1.89 bc
CID/483	50	2.01 fgh	2.68 fgh	0.47 cd	1.35 bc
CID/483	75	1.83 fgh	2.25 gh	0.35 cdef	0.78 bc
CID/483	100	1.58 gh	2.23 gh	0.27 f	0.82 bc
CID/MF	0	4.04 bc	5.97 ab	0.65 b	1.49 bc
CID/MF	50	3.26 cd	5.01 bc	0.42 cde	0.93 bc
CID/MF	75	2.88 de	4.65 cd	0.48 cd	0.70 bc
CID/MF	100	1.40 h	1.88 h	0.23 f	0.63 bc
CID	0	3.80 bc	5.82 ab	0.92 a	1.11 bc
CID	50	2.54 def	3.67 def	0.49 c	0.80 bc
CID	75	2.36 efg	3.39 ef	0.45 c	0.87 bc
CID	100	1.35 h	1.91 h	0.28 ef	0.46 c
DMS		0.85	1.07	0.15	1.57

\*Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Las correlaciones de Na y Cl con los cationes K, Ca y Mg presentaron significancia estadística, observándose una correlación positiva (Cuadro 10). En el caso de P y NO<sub>3</sub> no tuvieron correlación significativa con ningún elemento. Esto concuerda con lo expuesto en el Cuadro 8, los cationes K, Ca y Mg aumentaron con el incremento en la concentración de NaCl.

**Cuadro 10. Correlación entre nutrimentos presentes en hojas de tomate con y sin injertar expuestas al estrés salino.**

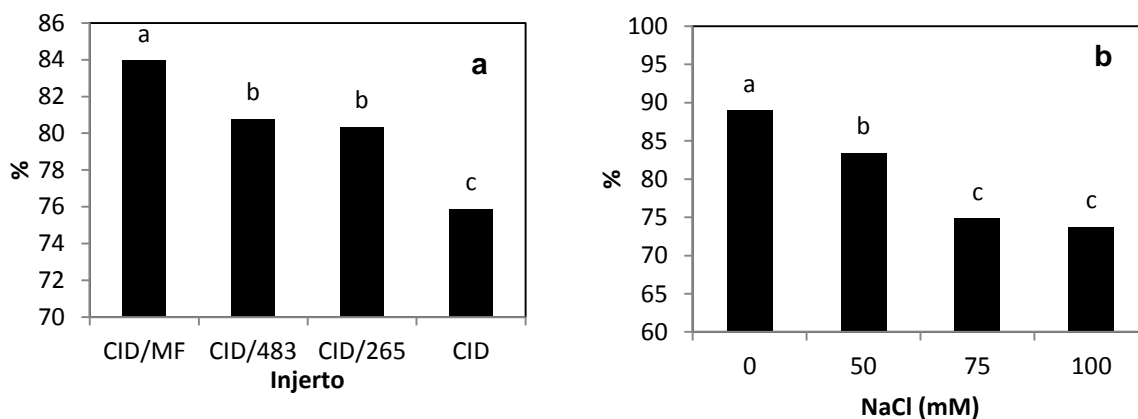
	K	Ca	Mg	P	Na	NO <sub>3</sub>
Ca	0.85**					
Mg	0.49**	0.54**				
P	-0.03 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>			
Na	0.82**	0.71**	0.70**	-0.09 <sup>ns</sup>		
NO <sub>3</sub>	-0.12 <sup>ns</sup>	-0.14 <sup>ns</sup>	-0.09 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	
Cl	0.77**	0.88**	0.64**	0.21 <sup>ns</sup>	0.74**	-0.14 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> no significativo; \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

### 5.5.3. Contenido relativo de agua

Por el efecto del injerto ( $\alpha < 0.05$ ) hubo un mayor porcentaje de CRA en las plantas injertadas (Figura 2a) y dentro de éstas la que se injertó sobre Multifort tuvo el mayor porcentaje, y CID sin injertar tuvo un porcentaje menor, lo que indica un uso más eficiente del agua en plantas injertadas. En la concentración de sal ( $\alpha < 0.05$ ) se encontró que a medida que se incrementaba la concentración de sal disminuyó el CRA; los tratamientos de 75 y 100 mM de NaCl tuvieron menor porcentaje (Figura 2b). Huang *et al.* (2010) encontraron que el CRA fue afectado significativamente por la CE, pero no por el portainjerto ni por la interacción CE x portainjerto. Ferreira-Silva *et al.* (2008) encontraron

en injertos de *Anacardium occidentale* que cuando el genotipo tolerante fue expuesto a la salinidad alta, se presentó menor grado de hidratación hoja, como se indicó para CRA. Además, la aplicación de 10 a 20 mg de Na kg<sup>-1</sup> de suelo y 80 mg K kg<sup>-1</sup> de suelo disminuye el contenido de agua y el rendimiento del fruto en tomate (Idowu y Aduayi, 2006).



**Figura 2. Contenido relativo de agua en diferentes injertos de tomate (a) y concentraciones de NaCl (b).**

## 5.6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales en que fue conducido el experimento se determinó la respuesta diferencial de los parámetros evaluados al efecto de la salinidad y los portainjertos. El incremento de la salinidad disminuyó la producción de biomasa y el contenido relativo de agua (CRA) en tomate. Al aumentar la concentración de NaCl también aumentó la concentración los cationes K, Ca y Mg, como parte de un mecanismo de respuesta de la planta para compensar la concentración excesiva de Na. El injerto con mayor producción de biomasa total y CRA fue CID/MF, seguido de CID/483 y CID/265, y el que resultó menos productivo fue el tratamiento no injertado (CID). El híbrido CID tuvo las mayores concentraciones de K, Ca, Mg, P, Cl y Na, sin embargo, fue el que tuvo mayores desbalances nutrimentales. El injerto CID/MF tuvo las mayores relaciones K/Na y

Ca/Na, debido a una mayor selectividad por el Na. El injerto CID/265 tuvo una mayor relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ , lo cual sugiere que este injerto es capaz de tener una mayor selectividad a  $\text{Cl}^-$ . El injerto CID/MF fue el más productivo, mientras que los injertos sobre las accesiones silvestres 483 y 265 tuvieron la misma respuesta a la salinidad y superaron a las plantas no injertadas. Los injertos reducen los daños por salinidad al regular la concentración nutrimental.

### 5.7. LITERATURA CITADA

- Abdelgadir, E.M., M. Oka, and H. Fujiyama. 2005. Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. *J. Plant Nutr.* 28: 33–46.
- Adams, P. 1988. Some responses of tomatoes grown in nutrient film technique to sodium chloride. *Proc. 7. International Cong. Soilless Culture* 59-70.
- Ali-Dinar, H.M., Ebert, G., and Lüdders. P. 1999. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relations in guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply. *Gartenbauwissenschaft* 64: 54-59.
- Al-Karaki, G. N. 2000a. Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *J. Plant Nutr.* 23:1-8.
- Al-Karaki, G. N. 2000b. Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *J. Plant Nutr.* 23: 369-379.
- Amtmann, A, and F. Maathuis J. M. 1999.  $\text{K}^+$  nutrition and  $\text{Na}^+$  toxicity: The basis of cellular  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  ratios. *Ann. Bot.* 84:123-133.
- Blumwald E, G. Aharon S., and M. Apse M. 2000. Sodium transport in plant cells. *Biochim. Biophys. Acta* 1465:140-151.

- Carvajal, M., V. Martínez, and A. Cerdá. 1999. Influence of magnesium and salinity on tomato plants grown in hydroponic culture. *J. Plant Nutr.* 22: 177-190.
- Casierra-Posada, F., Ebert, G., and Lüdders, P. 2000. Efecto de la salinidad por cloruro de sodio sobre el balance de nutrientes en plantas de lulo (*Solanum quitoense*). *Agron. Colomb.* 17:85-90.
- Cerda, A. and Bingham F. T. 1978. Yield, mineral composition, and salt tolerance of tomato and wheat as affected by NaCl and phosphorus nutrition. *Agrochimica* 22 140-149.
- Clausen, M., Luthen, H., Blatt, M., and Bottger, M. 1997. Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta* 201: 227-234.
- Colla, G., Roupael, Y., Rea, E., and Cardarelli, M. 2012. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Sci. Hortic.* 135: 177–185.
- Colla, G., Suárez, C.M.C., Cardarelli, M., and Roupael, Y. 2010. Improving nitrogen use efficiency in melon by grafting. *HortScience* 45:559-565.
- Cramer, G.R., A. Laüchli, and V.S. Polito. 1985. Displacement of Ca by Na from the plasmalemma of root cells. *Plant Physiol.* 79:207–211.
- Cramer, G.R., and A. Laüchli. 1986. Displacement of Ca by Na from the plasmalemma of root cells. *J. Exp. Bot.* 37:321–330.
- Estañ, M.T., M. Martinez-Rodriguez M., F. Perez-Alfocea, T. Flowers J., and M. Bolarin C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* 56:703-712.

- Fernández-García, N., Martínez, V., Cerda, A., Carvajal, M. 2004. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79: 995–1001.
- Ferreira-Silva, S. L., J. Silveira A. G., E. Voigt L., L. Soares S. P., and R. Viégas A. 2008. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. *Brazilian J. Plant Physiol.* 20: 51-59.
- Godoy, H. H. J., Z. Castellanos R., G. Alcántar G., M. Sandoval V. y J. J. Muñóz R. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana* 27:1-11.
- Grattan, S. R, and C. Grieve M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.* 78:127-157.
- Huang, Y., Bie, Z., He, S., Hua, B., Zhen, A., and Liu, Z. 2010. Improving cucumber tolerance to major nutrients induced salinity by grafting onto *Cucurbita ficifolia*. *Environ. Exper. Bot.* 69: 32-38.
- Idowu, M. K., and E. Aduayi A. 2006. Effects of sodium and potassium application on water content and yield of tomato in Southwestern Nigeria. *J. Plant Nutr.* 29: 2131-2145.
- Irshad, M., A. Eneji E., R. Khattak A., and A. Khan. 2009. Influence of nitrogen and saline water on the growth and partitioning of mineral content in maize. *J. Plant Nutr.* 32: 458-469.
- Ivahupa, S. R., C. Asher J., F. Blamey P. C., and J. O’Sullivan. N. 2006. Effects of sodium on potassium nutrition in three tropical root crop species. *J. Plant Nutr.* 29:1095-1108.



- Jones, M. M., and T. C. Turner. 1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant Physiol.* 61:122–126.
- Klobus, G., M. Ward R., and R. Huffaker C. 1998. Characteristics of injury and recovery of net  $\text{NO}_3^-$  transport of barley seedling from treatments of NaCl. *Plant Physiol.* 87: 878-882.
- Maathius F. J. M., and A. Amtmann. 1999.  $\text{K}^+$  nutrition and  $\text{Na}^+$  toxicity: the basis of cellular  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  ratios. *Ann. Bot.* 84:123-133.
- Mohammad, M., R. Shibli, M. Ajlouni, and L. Nimri. 1998. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21:1667–1680.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239–250.
- Netondo, G. W., J. Onyango C., and E. Beck. 2004. Sorghum and salinity: I. response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. *Crop Sci* 44: 797-805.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana para el muestreo, análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación. Tomo DLXV No. 12. Publicado el 17 de octubre de 2000.
- Patel. P. M. 1973. Salinity-fertility interactions for five different crops in relation to yield and chemical composition. *Diss. Abstr. Intern.* 34: 20-21.
- Proietti, S., Roupheal, Y., Colla, G., Cardarelli, M., De Agazio, M., Zacchini, M., Moscatello, S., Battistelli, A. 2008. Fruit quality of mini-watermelon as affected by grafting and irrigation regimes. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1107–1114.

- Renault, S., C. Croser, J.A. Franklin, and J.J. Zwiazek. 2001. Effect of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera* Michx). *Plant Soil* 233:261–268.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Colla, G. 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto cucurbita hybrid rootstocks. *Photosynthetica* 50: 180-188.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G. 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Sci. Hortic.* 127: 172–179.
- Santa-Cruz, A., Martinez-Rodriguez, M. M., Perez-Alfocea, F., Romero-Aranda, R., and Bolarin, M. C. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Sci.* 162: 825–831.
- Savvas, D., Papastavrou, D. Ntatsi, G., Ropokis, A., Olympios, C., Hartmann, H., and Schwarz, D. 2009. Interactive effects of grafting and Mn-supply level on growth, yield and nutrient uptake by tomato. *HortScience* 44:1978-1982.
- Sonneveld, C., and C. Kreij. 1999. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salt in the root environment. *Plant Soil* 209, 47-56.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *En Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* pp. 633-649.
- Walker, R. R. 1986. Sodium exclusion and potassium-sodium selectivity in salt-treated trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) and Cleopatra mandarin (*Citrus reticulata*) plants. *Australian J. Plant Physiol.*13: 293–303.
- Yetisir, H., Uygur, V., 2010. Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. *J. Plant Nutr.* 33: 315–327.

Zhu, J., Z. Bie, Y. Huang, and X. Han. 2008. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 895–902.

## 6. CAPÍTULO III. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO EN INJERTOS DE TOMATE EXPUESTOS A SALINIDAD

### 6.1. RESUMEN

El tomate es una planta moderadamente sensible a la salinidad y su tolerancia depende del genotipo y tipo de órgano. La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar los cambios morfológicos, fisiológicos y de rendimiento en plantas de tomate injertadas y sometidas a diferentes niveles de salinidad con NaCl. Se realizó un experimento con cuatro tratamientos de injerto (CID/483, CID/265, CID/MF y CID) establecidos en cuatro diferentes niveles de salinidad (0, 50, 75 y 100 mM L<sup>-1</sup> de NaCl). El injerto CID/MF sufrió un efecto menor por salinidad en altura de planta, diámetro de tallo, producción de biomasa, rendimiento y tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, y mayor en sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. Los injertos CID/265 y CID/483 sufrieron un mayor efecto de la salinidad que CID/MF pero menor que CID en diámetro, biomasa total, rendimiento. La luminosidad del fruto fue mayor en el injerto CID/MF y en la concentración de 75 mM de NaCl. El efecto positivo del injerto en el rendimiento fue notable, ya que cualquiera de los injertos de CID fueron más productivos que plantas sin injertar (CID) independientemente del patrón empleado (CID/MF, CID/265 y CID/483). Los injertos en tomate ayudan a reducir los efectos de la salinidad.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, estrés salino, prolina.

### 6.2. ABSTRACT

The tomato plant is moderately sensitive to salinity and tolerance varies in relation to genotype and plant organ. This research was conducted with the objective of providing information of the morphological changes, physiological and performance in grafted tomato plants under different levels of NaCl salinity. We conducted an experiment using different rootstock (commercial and native) and upon these we grafted the CID hybrid

(CID/483, CID/265, CID/MF and CID); these grafts were exposed at different salinities (0, 50, 75 and 100 mM NaCl). The graft CID/MF had lower salinity effect on height, diameter, biomass production, yield, CO<sub>2</sub> assimilation and total soluble solids, titratable acidity and maturity index. The graft CID/483 and CID/265 had greater involvement by salinity than CID/MF but less than CID in diameter, total biomass yield. The luminosity is highest in the graft CID/MF in 75 mM concentration of NaCl is also higher. The positive effect of the graft in performance was remarkable as any CID grafts were more productive than non-grafted plants (CID) independently of the rootstock used (CID/MF, CID/265 and CID/483). Tomato grafts help reduce the effects of salinity.

Key words: *Solanum lycopersicum*, salt stress, proline.

### 6.3. INTRODUCCIÓN

El injerto en hortalizas es una de las técnicas más prometedoras para reducir el efecto de las enfermedades provenientes del suelo, y para mejorar el rendimiento y la calidad de fruto en tomate (Echevarría *et al.*, 2012). El tomate es una planta moderadamente sensible a la salinidad y su tolerancia varía en función del genotipo y el órgano de la planta, además el cultivo por su gran demanda tiene una función significativa en la agricultura (Foolad, 2004, Marchese *et al.*, 2008). El injerto rara vez ha sido usado para incrementar la productividad de hortalizas creciendo en condiciones adversas (Ruiz *et al.*, 2006). El injerto es un proceso recíproco de integración y, debido a que la planta a injertar y el patrón influyen la tolerancia a salinidad de las plantas injertadas (Etehadnia *et al.*, 2008). Chen *et al.* (2003) concluyeron que el genotipo de la planta a injertar juega un papel importante en el crecimiento de plantas de tomate injertadas, independientemente de la salinidad en el medio de cultivo, mientras que el patrón tiene poca influencia. En otros estudio en plantas de tomate sugieren que las características de tolerancia a la salinidad que el portainjerto le confieren al vástago dependerá también de la tolerancia a

la salinidad del genotipo del vástago (Santa-Cruz *et al.*, 2002). Por otro lado algunos estudios demuestran que la tolerancia a la salinidad del vástago depende del sistema de radical del patrón, independientemente del genotipo usado como un vástago, aunque el efecto positivo de los patrones, puede mostrarse en un grado diferencial en función de la mayor o menor capacidad de exclusión del genotipo del vástago (Estañ *et al.*, 2005; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2008). La selección de un portainjerto adecuado puede reducir el efecto tóxico de iones salinos, que son el principal efecto letal en periodos largos (Cuartero *et al.*, 2006). Algunas explicaciones propuestas para la tolerancia inducida a la salinidad del injerto son: (1) mayor acumulación de prolina y el azúcar en las hojas (Ruiz *et al.*, 2006, Chen *et al.*, 2005; Huang *et al.*, 2009), (2) una mayor capacidad antioxidante en las hojas (López-Gómez *et al.*, 2007), (3) menor acumulación de Na<sup>+</sup> y/o Cl<sup>-</sup> en las hojas (Fernández-García *et al.*, 2004; Estañ *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2008). El objetivo de la presente investigación fue determinar los cambios morfológicos, fisiológicos y de rendimiento en plantas de tomate injertadas y sometidas a diferentes niveles de salinidad con NaCl.

#### **6.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este experimento realizó en invernadero con luz natural en hidroponía en el municipio de Chiconcuac que se localiza al nordeste del Estado, ubicado 19° 31' 10" de latitud N y 98° 52' 11" de longitud W, y un altitud promedio de 2,246 msnm. Su clima es el tipo BS1 kw(w)(i)g; clima seco estepario, semiárido-templado. Para lo cual se pusieron a germinar semillas de los tres portainjertos tomate tolerantes [483, 265 y Multifort (MF)] y el híbrido El Cid en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando turba como sustrato. Cuando las plántulas tuvieron entre 10 y 15 cm de altura presentando de 2 a 3 hojas verdaderas y con fenotipo homogéneo, se realizaron los injertos. Una vez que estuvieron listos los injertos de las plántulas se trasplantaron a bolsas de 40 x 40 cm, con capacidad de 18 L, las

cuales contuvieron tezontle tipo sello como sustrato. El experimento se condujo durante 150 días. Se utilizó la solución universal preparada por el método de Steiner (Steiner, 1984). Los riegos se realizaron diariamente con solución nutritiva proporcionándoles de 0.5 L (0 a 15 DDT), 0.75 L (16 a 25 DDT), 1.2 L (26 a 40 DDT), 1.8 L (41 a 120 DDT) y 1.6 L (121 a 150 DDT) por planta. El diseño del experimento fue completamente aleatorizado con 4 repeticiones. Estuvo conformado por dos factores: 1) injerto (CID/483, CID/265, CID/MF y CID) y 2) salinidad (0, 50, 75 y 100 mM NaCl), por lo que fue un factorial 4x4 con 16 tratamientos. La unidad experimental fue una maceta, conteniendo una planta.

Se evaluaron biomasa (hojas, raíz y tallo), concentración de prolina, diámetro de tallo, altura de planta, rendimiento, tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM). Para la evaluación de biomasa se fraccionó la planta en tres raíz, tallo y hojas; estos órganos se fueron cortando periódicamente durante el desarrollo y manejo del cultivo. Las muestras se secaron en una estufa (Presicion Scientific, Mod. 130DM) a 70 °C durante 48 h con circulación forzada de aire, después de lo cual se pesaron con una balanza (Ohaus, Mod. Explorer). La prolina se determinó según el método propuesto por Irygoyen *et al.* (1992); en la forma siguiente, se tomaron 0.5 g de material fresco, se maceraron con 5 mL de etanol al 96%, lavando después con etanol al 70% por dos ocasiones y se centrifugó a 3,720 g durante 10 minutos; del sobrenadante se tomó una alícuota a la que se añadieron 2.5 mL de ninhidrina ácida, 2.5 mL de ácido acético glacial y 5 mL de agua destilada; se incubó durante 40 minutos a 100 °C; posteriormente se introdujo la muestra en un baño frío y se añadieron 5 mL de benceno agitando vigorosamente; transcurrido este tiempo se leyó la absorbancia en 515 nm. El diámetro de tallo se evaluó en el nudo de la hoja inferior al racimo con un vernier a los 41, 61, 83, 98, 119 y 140 ddt. La altura de la planta se determinó con una regla. Para evaluar el rendimiento se dejaron ocho frutos en el primer y

segundo racimo, seis frutos en el tercero y cuarto, y cinco frutos en el quinto y sexto racimo, que se pesaron. Se cosecharon de 95 a 160 ddt, con un grado de madurez 6, cuando más del 90% de la superficie era de color rojo. La medición de fotosíntesis se hizo con el índice de asimilación neta de CO<sub>2</sub> empleando un analizador de gases de infrarrojo (marca LI-COR, modelo LI6250), entre las 9:00 y 12:00 h. Los sólidos solubles totales (SST) se midieron con un refractómetro digital ATAGO PR-100 (Honcho, Itabashi-Ku, Tokyo) con escala de 0 a 32%, colocando tres gotas de jugo en la celda del refractómetro. La acidez titulable (AT) se realizó con ácido cítrico por el método descrito por la AOAC (1990), los datos se presentan en porcentaje. El índice de madurez (IM) se obtuvo del cociente de SST/AT. El color se evaluó con una escala Cielab (L, a, b), mediante un colorímetro (Hunter Lab, Reston, Virginia, USA, modelo D-25). El componente L, es la luminosidad que se define como la proporción de luz transmitida por el objeto y que varía entre 0 (negro) y 100 (blanco); los valores son adimensionales. El índice de color (IC) se calculó con la relación (a/b) considerando que el valor a es buen parámetro para evaluar los cambios en el color rojo y el grado de maduración; en tanto que b es un parámetro de coloración amarilla (Arias *et al.*, 2000).

Los datos se examinaron mediante un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), con el programa estadístico SAS V9.3.

## **6.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.5.1. Altura**

En altura de planta se encontraron diferencias estadísticas debido al efecto del injerto ( $\alpha>0.05$ ) y a la concentración de NaCl ( $\alpha>0.05$ ), pero no en la interacción ( $\alpha>0.12$ ) por lo que la altura se vio afectada por el injerto y por la salinidad de forma aislada pero no mediante su interacción. El tratamiento CID/MF tuvo mayor altura, y el resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares (Cuadro 11). EL incrementó en la



concentración de NaCl disminuyó la altura, en tanto que, en las dosis de 75 y 100 mM de NaCl los efectos fueron similares, estos resultados concuerdan con los de Romero-Aranda *et al.*(2001) quienes encontraron que la altura de las plantas de tomate disminuye con el incremento de la salinidad.

### 6.5.2. Biomasa

La biomasa de raíz no fue afectada por el injerto. En contraste, en la biomasa en tallo, hoja y total hubo diferencias entre injertos ( $\alpha > 0.05$ ). En estas variables el injerto CID/MF acumuló mayor cantidad y el CID tuvo la menor biomasa en hoja y total (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Efecto de la salinidad en la altura, biomasa de raíz, tallo, hoja y total en plantas de tomate con y sin injerto, y diferentes concentraciones de NaCl.**

Injerto	Altura cm	Raíz ----- g planta <sup>-1</sup> -----	Tallo	Hoja	Total
CID/483	176.63 b	18.24 a	46.12 b	76.74 b	141.10 b
CID/265	171.31 b	15.81 a	47.06 b	74.29 b	137.16 b
CID/MF	189.56 a	19.94 a	55.28 a	92.59 a	167.81 a
CID	173.13 b	18.30 a	43.25 b	59.90 c	121.45 c
Concentración de mM NaCl					
0	186.50 a	21.43 a	53.70 a	86.92 a	162.04 a
50	179.94 ab	18.63 ab	49.74 ab	81.33 a	149.70 a
75	172.88 b	16.69 b	44.40 b	69.11 b	130.20 b
100	171.31 b	15.56 b	43.86 b	66.16 b	125.57 b
DMS	11.74	4.57	7.12	9.10	13.83

<sup>+</sup>Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Este resultado muestra la influencia positiva del injerto en la producción de biomasa. Las plantas expuestas a 75 y 100 mM de NaCl fueron las de menor producción de biomasa en raíz, tallo, hoja y total. Estos resultados confirman que la salinidad reduce el número de hojas y el área foliar (Romero-Aranda *et al.*, 2001). Por su parte, Marchese *et al.* (2008) encontraron que los valores de CE de la solución circulante comienza a tener efectos negativos en tomate a partir de 4.5 a 5.0 dS m<sup>-1</sup> para tallos y hojas y de 6.0 dS m<sup>-1</sup> para raíces. En plantas salinizadas de tomate comparadas con no salinizadas se reduce hasta 45% la biomasa (Parra *et al.*, 2007). Por su parte, Godoy *et al.* (2009) informaron que el injerto en tomate aumenta el vigor de las plantas con basen en altura total (6%), área foliar (10%), área foliar específica (5%) y producción de materia seca en hoja (12%), tallo (11%) y total de la parte aérea (9%).

### **6.5.3. Diámetro**

En el Cuadro 12 se muestra el diámetro de tallo en seis fechas de muestreo. El análisis estadístico mostró un efecto significativo debido al injerto y la concentración salina ( $\alpha > 0.05$ ), la interacción injerto\*concentración salina no mostró diferencias estadísticas. El injerto CID/MF tuvo mayor vigor desde la primera evaluación, mientras que el CID (sin injertar) tuvo menor diámetro en todas las evaluaciones excepto en el quinto racimo. Los injertos CID/265 y CID/483 tuvieron un diámetro intermedio, y CID/265 fue superior sólo en el quinto racimo. En concentración salina se obtuvo que en las etapas iniciales no hubo diferencias significativas, pero en la tercera y cuarta evaluación (83 y 98 ddt) el diámetro disminuyó a partir de la dosis de 100 mM de NaCl, y en la quinta y sexta evaluación a partir de las dosis de 75 y 100 mM de NaCl el efecto fue mayor.

**Cuadro 12. Diámetro de tallos de tomate con y sin injerto en diferentes concentraciones de sal (Na Cl).**

Tratamiento de	Diámetro de tallo (mm)						
	Injerto	41 ddt	61 ddt	83 ddt	98 ddt	119 ddt	140 ddt
CID/MF	15.42 a	15.11 a	14.40 a	13.99 a	13.20 a	12.66 a	
CID/265	14.41 b	14.08 b	13.44 b	12.94 ab	12.34 a	11.31 b	
CID/483	14.27 b	13.43 bc	12.82 bc	12.26 bc	11.11 b	10.65 bc	
CID	13.94 b	12.99 c	12.29 c	11.65 c	10.80 b	10.28 c	
DMS	0.85	0.80	0.90	1.11	1.04	1.00	
Concentración de NaCl (mM)							
0	14.89 a	14.25 a	13.77 a	13.41 a	12.93 a	12.24 a	
50	14.48 a	14.04 a	13.33 ab	12.85 ab	12.07 ab	11.52 ab	
75	14.44 a	13.67 a	13.03 ab	12.42 ab	11.28 b	10.66 bc	
100	14.22 a	13.66 a	12.82 b	12.16 b	11.18 b	10.49 c	
DMS	0.85	0.80	0.90	1.11	1.04	1.00	

<sup>+</sup>Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

#### **6.5.4. Asimilación de CO<sub>2</sub>**

La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> disminuyó al aumentar la concentración salina, ya que a 0 y 50 mM de NaCl la tasa de asimilación fue mayor, y disminuyó en gran medida entre las concentraciones de 75 y 100 mM de NaCl. El injerto CID/MF tuvo mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, y las restantes combinaciones fueron estadísticamente similares (Cuadro 3), estos resultados pueden explicarse porque el aumento de la salinidad en el agua de riego provoca cambios morfológicos (reducción de área foliar y la densidad de estomas), y, fisiológicos como la reducción de conductancia estomática, la transpiración y

la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> (Romero-Aranda *et al.*, 2001). Las sin injertar (CID) presentaron la menor asimilación de CO<sub>2</sub> en la concentración de 100 mM de NaCl (Cuadro 3). Los resultados aquí obtenidos concuerdan con los observados en plantas de pepino injertadas y expuestas a salinidad con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, las que fueron capaces de mantener altas tasas de asimilación neta, mejor estado nutricional (mayor K, Ca y Mg y Na inferior) en los tejidos del tallo y mayor selectividad de la membrana en comparación con plantas no injertadas (Colla *et al.*, 2012); y con que el uso de portainjertos tolerantes a la salinidad en *Cucurbita* mejoran la capacidad fotosintética de melón y pepino bajo estrés salino y, por consiguiente, el rendimiento del cultivo (Rouphael *et al.*, 2012).

#### **6.5.5. Prolina**

La acumulación de prolina está correlacionada con la tolerancia de los cultivos a la salinidad (Koca *et al.*, 2007). Asimismo, existe una relación positiva entre la concentración salina con la acumulación de prolina en las hojas (Cuadro 13). En este estudio cuando no se agregó NaCl se presentó la menor concentración de prolina; en contraste, con la adición de 75 y 100 mM NaCl donde se encontró mayor acumulación y las diferencias fueron significativas respecto a 0 mM NaCl. Por lo tanto, se observó que la mayor concentración de NaCl ocasionó mayor acumulación de prolina. En relación con la concentración de este aminoácido por efecto del estrés ambiental, aún existe controversia. Diversos investigadores han encontrado que la prolina reduce el efecto por estrés, debido a que la prolina puede ser una fuente de energía, carbono y nitrógeno; además de actuar como un mediador del ajuste osmótico, y como estabilizador de estructuras subcelulares, eliminador de radicales libres y amortiguador de potencial redox (Hare *et al.*, 1998; Molinari *et al.*, 2004). Ruíz *et al.* (2006) encontraron que cultivares más tolerantes a la salinidad en tabaco, redujeron la absorción y acumulación foliar de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, además de una mayor síntesis de sacarosa y prolina, lo que redujo la peroxidación

lipídica y el daño oxidativo; estas respuestas se reflejan en mayor biomasa foliar que los cultivares sensibles.

**Cuadro 13. Tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y concentración de prolina en plantas de tomate con y sin injerto y en diferentes concentraciones de NaCl.**

Injerto	Concentración de NaCl	Tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> μM CO <sub>2</sub> m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	Prolina μM (g MF) <sup>-1</sup>
CID/265	0	22.3 a	4.4 c
CID/265	50	19.9 abc	5.2 bc
CID/265	75	17.1 bcde	5.4 bc
CID/265	100	12.1 gh	6.1 ab
CID/483	0	23.2 a	4.4 c
CID/483	50	19.3 abc	5.3 bc
CID/483	75	16.5 cdef	6.1 ab
CID/483	100	12.9 efgh	6.3 ab
CID/MF	0	23.0 a	4.3 c
CID/MF	50	19.8 abc	5.7 ab
CID/MF	75	17.3 bcde	6.4 ab
CID/MF	100	14.2 defg	7.0 a
CID	0	21.1 ab	4.4 c
CID	50	17.4 bcd	5.3 bc
CID	75	12.6 fgh	5.4 bc
CID	100	9.0 h	5.5 bc
DMS		4.3	1.3

<sup>†</sup>Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey, α = 0.05).

En arroz los cultivares sensibles a la salinidad tienen mayor nivel de prolina bajo estrés salino que las tolerantes (Demiral y Türkan, 2005; Theerakulpisut *et al.*, 2005). El contenido de prolina en hojas de tomate se incrementa en forma proporcional a la concentración de nutrientes y a la CE, y es inversamente proporcional al contenido relativo de agua en las hojas (Claussen, 2005).

En la mayor concentración salina el injerto CID/MF produjo más prolina y fue estadísticamente similar a CID/265 y CID/483; mientras que el que tuvo menor concentración de prolina fue en CID (la planta sin injertar) y por lo tanto presentó menor tolerancia. Chen *et al.* (2005) reportan que en plantas de tomate injertadas tienen un mayor contenido de azúcar soluble y de prolina que plantas sin injertar en condiciones de estrés salino con NaCl. También en plantas de pepino injertados tienen un mayor contenido de azúcar soluble y prolina, además las plantas injertadas también tienen menor concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las hojas que plantas sin injertar bajo estrés con NaCl, lo que sugiere que el incremento en la tolerancia a la salinidad de las plantas injertadas está relacionada con el cambio en el componente osmótico (Chen y Wang, 2008; Huang *et al.*, 2009).

#### **6.5.6. Calidad interna de los frutos**

El injerto CID/265 tuvo una mayor concentración de SST, AT e IM, en contraste el injerto CID/MF tuvo menor concentración de SST, AT e IM; y el injerto CID/483 y CID sin injertar tuvieron valores intermedios en todos los casos (Cuadro 14). Los parámetros SST, AT e IM se incrementaron proporcionalmente con la concentración de sal, de esta manera a 100 mM de NaCl fueron superiores, estadísticamente, y en las concentraciones de 75 y 50 mM de NaCl fueron estadísticamente similares. Diversas investigaciones han mostrado que el injerto reduce los sólidos solubles, y la intensidad de la reducción depende del portainjerto empleado, y que la acidez del fruto y la materia seca también se reducen por

efecto del injerto (Echavarría, 2012); aunque también se han encontrado incrementos en los SST y AT por la salinidad (Segura *et al.*, 2009). Asimismo, cuando se riegan las plantas de tomate con aguas salobres algunos atributos inherentes de la calidad de los frutos mejora, ya que presentan un mayor contenido de SST (Fernández-García *et al.*, 2004) y AT (Guichard *et al.*, 2001).

**Cuadro 14. Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez (IM), luminosidad e índice de color (IC) en plantas de tomate con y sin injerto y en diferentes concentraciones de NaCl.**

Injerto	SST (°Brix)	AT (%)	IM	Luminosidad	Índice de color (a/b)
CID/265	6.1 a	0.37 a	16.4 a	28.3 ab	0.89 a
CID/483	5.5 b	0.36 b	15.5 b	26.8 b	0.69 a
CID	5.6 b	0.35 b	15.6 ab	28.4 ab	0.79 a
CID/MF	4.8 c	0.34 c	14.1 c	29.4 a	0.91 a
Concentración mM de NaCl					
0	4.5 c	0.32 c	13.9 c	27.2 b	0.84 a
50	5.6 b	0.36 b	15.5 b	27.8 b	0.88 a
75	5.7 b	0.36 ab	15.7 b	30.3 a	0.81 a
100	6.2 a	0.37 a	16.5 a	27.8 b	0.75 a
DMS	0.48	0.1	0.78	2.1	0.31

\*Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

La CE incrementa proporcionalmente la AT (Incerti *et al.*, 2006), y el aumento está asociado con el incremento de ácidos orgánicos. Campos *et al.* (2006) encontraron un incremento de 9.4% de AT por cada  $\text{dS m}^{-1}$  de CE. En híbridos como 'Daniela' y 'Rambo'

los sólidos solubles se incrementan en una tasa de 10.5% por  $\text{dS m}^{-1}$  adicional (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999). Estudios sobre la respuesta de las plantas al estrés osmótico muestran que mayores niveles de estrés mejoran la calidad de los frutos, ya que el índice refractométrico ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) registrado en éstos fue superior a los controles (Goykovic y Saavedra, 2007).

En el caso de la luminosidad el injerto CID/MF y el CID sin injertar tuvieron los mayores valores. A 75 mM de NaCl se obtuvo la mayor luminosidad, y el resto de concentraciones fueron estadísticamente similares. El índice de color, se ha utilizado como indicador del desarrollo de color rojo en jitomate, y como tal ha mostrado alta correlación con el estado de madurez, por lo que es posible tomar este índice como base para determinar la madurez del jitomate (Arias *et al.*, 2000). Sin embargo en este estudio el índice de color no mostró diferencias estadísticas entre injertos ni entre concentraciones salinas.

#### **6.5.7. Rendimiento de fruto**

En el primer racimo no se presentaron diferencias estadísticas por efecto del injerto; no obstante, las diferencias a partir del segundo racimo, de esta forma el CID sin injerto fue el tratamiento menos productivo (Cuadro 15). El injerto CID/MF fue el más productivo a partir del segundo racimo hasta el sexto y en él total. Algunos racimos de los injertos CID/483 y CID/265 fueron superiores en el rendimiento total que CID sin injertar pero menores que CID/MF, estos resultados muestran el efecto fisiológico positivo del injerto. En las concentraciones el primer racimo no mostró efecto por la salinidad, aunque a partir del segundo racimo la concentración de 100 mM de NaCl tuvo menor rendimiento. En el tercer racimo la concentración de 75 mM de NaCl tuvo menos rendimiento en relación con las concentraciones de 0 y 50 mM de NaCl pero es mayor que la de 100 mM de NaCl, una tendencia similar se observó del cuarto al sexto racimo. En el rendimiento total se observó que cuando no se agregó NaCl se tuvo mayor rendimiento, las concentraciones de 50 y



75 mM de NaCl fueron similares estadísticamente y en 100 mM NaCl el rendimiento fue menor.

**Cuadro 15. Rendimiento de fruto por racimo y total en plantas de tomate con y sin injerto en diferentes concentraciones de NaCl.**

	Racimo 1	Racimo 2	Racimo 3	Racimo 4	Racimo 5	Racimo 6	Total
Injerto	-----g planta <sup>-1</sup> -----						
CID/MF	800.6 a	844.8 a	696.9 a	728.3 a	558.4 a	512.9 a	4141.5 a
CID/483	828.7 a	798.2 ab	656.4 ab	561.9 b	457.2 bc	400.1 b	3702.3 b
CID/265	788.8 a	759.8 ab	607.6 bc	568.3 b	480.1 ab	418.4 b	3622.7 b
CID	783.8 a	727.0 b	551.8 c	511.5 b	392.2 c	381.5 b	3347.8 c
Concentración mM de NaCl							
0	814.7 a	839.2 a	712.3 a	714.8 a	566.2 a	524.5 a	4171.4 a
50	806.8 a	801.8 a	652.9 ab	641.6 a	544.1 a	482.3 a	3929.6 a
75	800.6 a	785.9 a	612.6 b	539.0 b	414.6 b	366.3 b	3518.4 b
100	779.8 a	702.8 b	535.1 c	474.6 b	363.0 b	339.8 b	3194.9 c
DMS	59.2	79.0	75.8	98.1	78.3	65.6	273.5

<sup>+</sup>Los valores con la misma letra, dentro de la columna, son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ).

Se ha encontrado que la producción obtenida con Multifort es hasta 22% superior al rendimiento obtenido con las plantas no injertadas y que los frutos de plantas injertadas

fueron más grandes que los de las plantas no injertadas (Echavarría *et al.*, 2012). Del Rosario *et al.* (1990) encontraron que el peso de los frutos también es influenciado por la salinidad, detectándose un menor peso de los frutos en cultivares sensibles expuestos a NaCl. En cambio, en cultivares tolerantes el peso de éstos aumentó significativamente (38,4%) al exponer las plantas a estrés salino.

## **6.6. CONCLUSIONES**

El incremento en la salinidad de la solución nutritiva disminuyó la altura, el diámetro de tallos, la biomasa de hojas, y total de ésta, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, el rendimiento, e incrementó la concentración de prolina en hoja, sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. El incremento de salinidad, en las concentraciones estudiadas, no afectó la biomasa de raíz e índice de color.

El injerto CID/MF tuvo un menor efecto por salinidad en altura, diámetro, producción de biomasa, rendimiento, asimilación de CO<sub>2</sub> y más en sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. Los injertos CID/265 y CID/483 mostraron una mayor afectación por la salinidad que CID/MF pero menor que CID en diámetro, biomasa total y rendimiento de fruto. La luminosidad fue mayor en el injerto CID/MF, al igual que cuando el tomate se sometió a la de 75 mM de NaCl. El efecto positivo del injerto en el rendimiento fue notable, ya que cualquiera de los injertos de CID fueron más productivos que plantas sin injertar (CID) independientemente del patrón empleado (CID/MF, CID/265 y CID/483). Los injertos en tomate ayudan a reducir los efectos de la salinidad.

## **6.7. LITERATURA CITADA**

A.O.A.C. 1990 Asotiation of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Ed. Washington.

Arias, R., T. Lee, L. Logendra, and H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1697-1702.

Campos, B. C.A., P. Fernández D., H. Gheyi R., F. Blanco F., C. Gonçalves B., and S. A. Campos F. 2006. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Sci. Agri.* 63: 146-152.

Chen, G., Fu, X., Lips, S. H., Sagi, M. 2003. Control of plant growth resides in the shoot, and not in the root, in reciprocal grafts of flacca and wild-type tomato (*Lycopersicon esculentum*), in the presence and absence of salinity stress. *Plant Soil* 256: 205-215.

Chen, S. F., Zhu, Y. L., Liu, Y. L., Li, S. J. 2005. Effects of NaCl stress on activities of protective enzymes, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic characteristics in grafted tomato seedlings. *Acta Hortic. Sin.* 32: 609-613.

Chen, S. F., Zhu, Y. L., Zhang, G. W., Liu, Z. L., Wei, G. P. 2008. Effects of NaCl stress on ATPase activities of root plasma and tonoplast membranes in grafted tomato seedlings. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 14: 1098-1103.

Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science* 168: 241-248.

Colla, G., Y. Rouphael, C. Leonardi, and Z. Bie. 2010. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Sci. Hortic.* 127: 147-155.

Colla, G., Y. Rouphael, E. Rea, and M. Cardarelli. 2012. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Sci. Hortic.* 135: 177-185.

Cuartero, J., and R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Sci. Hortic.* 78: 83- 125.

Cuartero, J., M. Bolarín C., M. Asíns J., and V. Moreno. 2006. Increasing salt tolerance in the tomato. *J. Exp. Bot.* 57: 1045–58.

Del Rosario, D. A., A. Sumague C., V. Roxas. P., and T. Bautista. S. 1990. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to salt stress. *The Philippine Agriculturist* 73:193-198.

Demiral, T., and İ .Türkan. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.* 53:247–257.

Echevarría, P. H., G. Martínez R., and B. Rodríguez G. 2012. Influence of grafting on the yield and quality of tomato cultivars grown in greenhouse in central Spain. *Acta Hortic.* 927: 449–454.

Estañ, M.T., M. Martinez-Rodriguez M., F. Perez-Alfocea, T. Flowers J., and M. Bolarin C. 2005. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *J. Exp. Bot.* 56:703-712.

Etehadnia, M.,Waterer, D., Jong, H.D., Tanino, K.K., 2008. Scion and rootstock effects on ABA-mediated plant growth regulation and salt tolerance of acclimated and un acclimated potato genotypes. *J. Plant Growth Regul.* 27: 125-140.

Fernández-García, N., V. Martínez, A. Cerda, and M. Carvajal. 2004. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 79: 995-1001.

Foolad, M.R., 2004. Recent advances in genetics of salt tolerance and cold tolerance in tomato. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 76: 101-119.

Godoy, H. H., J. Z. Castellanos R., G. Alcántar G., M. Sandoval V. y J. J. Muñoz R. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana* 27:1-11.

Goykovic, V. C., y G. Saavedra R. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)* 25: 47-58.

Guichard, S., N. Bertin, L. Cherubino, and C. Gary. 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie* 21: 385-392.

Hare, P. D., W. Cress A., and J Van Staden. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell. Environ.* 21: 535–553.

Huang, Y., Zhu, J., Zhen, A., Chen, L., Bie, Z.L. 2009. Organic and inorganic solutes accumulation in the leaves and roots of grafted and ungrafted cucumber plants in response to NaCl stress. *J. Food Agric. Environ.* 7: 703–708.

Incerti, A., F. Navari-Izzo, A. Pardossi, A. Mensuali, and R. Izzo. 2006. Effect of sea water on biochemical properties of fruit on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) genotypes differing for ethylene production. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2528-2537.

Irygoyen, J. J., D. Emirich W., Sánchez-Díaz. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiol. Plant.* 84:55-60.

Koca, H., M. Bor, F. Özdemir, and İ Türkan. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Envir. Exper. Bot.* 60: 344-351.

López-Gómez, E., San Juan, M. A., Diaz-Vivancos, P., Mataix-Beneyto, J., García-Legaz, M. F., Hernández, J. A. 2007. Effect of rootstocks grafting and boron on the antiox- idant

systems and salinity tolerance on loquat plants (*Eriobotrya japonica* Lindl.). *Environ. Exp. Bot.* 60: 151-158.

Marchese, M., R. Tuttobene, A. Restuccia, A.M.G. Longo, G. Mauromicale, and G. Restuccia. 2008. Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* grown in greenhouse. *Options Méditerranéennes* 84:311-315.

Martinez-Rodriguez, M. M., Estañ, M. T., Moyano, E., Garcia-Abellan, J. O., Flores, F. B., Campos, J. F., Al-Azzawi, M. J., Flowers, T. J., Bolarín, M. C. 2008. The effectiveness of grafting to improve salt tolerance in tomato when an 'excluder' genotype is used as scion. *Environ. Exp. Bot.* 63: 392-401.

Parra, M., A. Albacete, C. Martínez-Andújar, and F. Pérez-Alfocea. 2007. Increasing plant vigour and tomato fruit yield under salinity by inducing plant adaptation at the earliest seedling stage. *Environ. Exp. Bot.* 60: 77-85.

Romero-Aranda, R., T. Soria, and J. Cuartero. 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science* 160: 265-272.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., and Colla, G. 2012. Improving melon and cucumber photosynthetic activity, mineral composition, and growth performance under salinity stress by grafting onto *Cucurbita* hybrid rootstocks. *Photosynthetica* 50: 180-188.

Ruiz, J. M., J. Ríos J., M. A. Rosales, R. M. Rivero, and L. Romero. 2006. Grafting between tobacco plants to enhance salinity tolerance. *J. Plant Physiol.* 163: 1229-1237.

Sanchez, D. H., M. Siahpoosh R., U. Roessner, M. Udvardi, and J. Kopka. 2008. Plant metabolomics reveals conserved and divergent metabolic responses to salinity. *Physiol. Plant.* 132:209-219.

Santa-Cruz, M. M., Martinez-Rodriguez, F., Perez-Alfocea, R., Romero-Aranda, R., Bolarin, M.C. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. *Plant Sci.* 162: 825-831.

Segura, M. L., J. Contreras I., R. Salinas, and M. Lao T. 2009. Influence of salinity and fertilization level on greenhouse tomato yield and quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 485-497.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. En *Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* pp. 633-649.

Theerakulpisut, P., S. Bunnag, and K. Kongngern. 2005. Genetic diversity, salinity tolerance and physiology responses to NaCl of Six rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Asian J. Plant Sci.* 4: 562-573.

Molinari, H. B. C., C. Marur J., J. Bessalho C., A. Kobayashi K., M. Pileggi, F. Pereira P.P., and L. G. Vieira E. 2004. Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstocks Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline, *Plant Sci.* 167: 1375-1381.

## 7. DISCUSIÓN GENERAL

En el primer estudio de donde se realizó una selección de materiales silvestres se encontró que a mayor concentración salina disminuyó la biomasa de raíz, tallo y total en plántulas de jitomate, por lo que el incremento en la salinidad afecta más a la raíz que al vástago. En la biomasa de raíz las accesiones G75, G303, O335, G308 y P371 tuvieron la mayor producción de biomasa en raíz, mientras C32, C5, C3, G483 y V460 tuvieron la menor, por lo que las primeras tienen mayor tolerancia a la salinidad. En el tallo las accesiones con mayor biomasa fueron O335, G303, G308, P371 y G75, y las de menor valor fueron G483, O174, V460, C5 y C32. En hojas las accesiones G308, O335, G303, G84 y V470 produjeron más biomasa y las que produjeron menos fueron G483, V460, O234, O174 y C5. Las accesiones que produjeron más biomasa son menos sensibles a la salinidad en estos órganos de la planta. La biomasa total, que resulta de la suma de raíz, tallo y hoja también fue mayor en las accesiones G303, G308 y O335, mientras que las menos productivas fueron G483, V460 y C5. En cuanto a la relación raíz/vástago la de mayor valor fue la accesión C4, lo que significa que la salinidad afecta más a la raíz en fenotipos sensibles, y resultó estadísticamente diferente a las de menor valor 308, G84, O335, V470, O171, C31, P345 y G303, las cuales fueron las más tolerantes.

En los índices porcentaje de reducción (PR), productividad media (PM), tolerancia al estrés salino (TOL), productividad de la media geométrica (PMG) e índice de tolerancia al estrés (ITE) se presentaron diferencias estadísticas en 100 y 200 mM de NaCl, lo cual significa que dependiendo de la concentración de NaCl afecta de forma diferencial a los índices, dependiendo de la intensidad del estrés salino, yendo de moderado (100 mM de NaCl) a más estresantes (200 mM de NaCl). El índice de tolerancia al estrés (ISS) no fue afectado por la concentración salina.



En los índices se encontró que las accesiones V470 y V457 tuvieron mayor porcentaje de reducción respecto a P265, O324 y G483, y por lo tanto son las más tolerantes al estrés. La selección con base en PM incrementa el promedio de rendimiento en ambientes con y sin estrés. Las accesiones con menor PM fueron G483, V460 y C5, que también fueron las menos productivas en la biomasa total, y las de mayor índice fueron G308, G303 y O335, que también tienen mayor producción de biomasa total. Genotipos con valores altos de TOL son más sensibles al estrés y su selección debe ser basada en los índices más bajos. La comparación de medias mostró que las accesiones G483, P265 y O174 tuvieron menores valores de TOL que las accesiones V470, G308 y P373, las cuales fueron las más altas y, por lo tanto, más sensibles. La accesión G308 se ha mencionado como de alto rendimiento en ambientes sin estrés salino, pero en este caso es una accesión susceptible de acuerdo a este índice, por lo cual se descarta para incluirse en el grupo A. En este caso las accesiones con menor ISS fueron O324, G483 y P265, mientras que las accesiones con mayor valor fueron V470, V457, C32, C3 y G308, que fueron las más susceptibles. G308 es nuevamente clasificada como susceptible.

En la PMG las accesiones G483, V460, C5, O174 y C3 fueron las menores y más tolerante. Las de mayor PMG fueron G303, O335, G308, G75 y G84, por lo tanto las más susceptibles al estrés salino. Los valores mayores de ITE para un fenotipo implican mayor tolerancia al estrés y potencial de rendimiento más alto. Las accesiones V470, V457, C32, O332 y G308 fueron menores y estadísticamente diferentes a las accesiones P265, O324, G483, P371 y P376, las más altas, y en este caso fueron las más tolerantes pero pertenecientes al grupo A, con alto rendimiento en ambientes con o sin estrés salino. Los fenotipos con una mayor tolerancia al estrés tienen menor valor de  $b_1$ , tanto en ambientes estresantes como no estresantes. El rango del coeficiente de regresión en este estudio varió de 0.41 a 2.43. Las accesiones con menor valor de coeficiente de regresión fueron

G483, P265, O174, O234 y V466, las cuales coinciden en tolerancia con varios índices anteriores, sobre todo G483 y P265. Las accesiones con mayor coeficiente y por lo tanto con mayor susceptibilidad son V470, G308, V457, P373, O335 y G303. Cuando el estrés es más severo el coeficiente regresión ( $b_1$ ) y el ISS fueron los más eficientes para discriminar la tolerancia de cultivares, aunque ninguno de los índices puede identificar claramente cultivares con alto rendimiento bajo condiciones con y sin estrés (cultivares del grupo A).

En el segundo estudio donde se analizó la composición mineral se encontró que la concentración de K fue mayor en CID y menor en todas las plantas injertadas, aunque todos los tratamientos se encuentran en el rango de suficiencia nutrimental. La concentración de Ca tuvo un comportamiento muy similar a K. Los injertos sobre accesiones silvestres (CID/483 y CID/265) resultaron con los menores valores de calcio, sin embargo, por los rangos de suficiencia fueron los menos desbalanceados. En el caso del Mg en CID/MF se encontró una menor concentración en hoja y en CID, CID/483 y CID/265 las de mayor valor, además de estar fuera del intervalo de suficiencia. Las plantas sin injertar tuvieron mayor concentración de P, pero en este caso todas estuvieron dentro del rango de suficiencia. No hubo diferencias estadísticamente significativas por efecto de injerto en  $\text{NO}_3$ , lo cual coincide con otras investigaciones. Las plantas sin injertar CID y CID/483 tuvieron los mayores valores de Na, mientras que el injerto sobre MF tuvo los menores valores. En las hojas de CID se tuvo la mayor concentración de Cl, en segundo lugar estuvieron las plantas de CID/MF y finalmente CID/483 y CID/265. En las relaciones iónicas se encontró que la relación  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  en CID/MF y CID/265 fueron las de mayor valor y por lo tanto más tolerantes a  $\text{Na}^+$ . En la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  también CID/MF fue más alto y en segundo lugar estuvieron CID/265 y en tratamiento sin injertó, siendo la más baja y susceptible CID/483. En la relación  $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ , CID/MF fue la de menor valor y

el resto superiores y estadísticamente iguales. En la relación  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$  las de menor valor y, por tanto más susceptibles a  $\text{Cl}^-$ , fueron CID/483, CID/MF y CID, mientras que la más tolerante fue CID/265, lo cual demuestra que este injerto es capaz de tener una selectividad mayor por  $\text{NO}_3^-$  sobre el  $\text{Cl}^-$ .

En la interacción injerto-concentración mineral, donde la concentración de K aumenta conforme incrementa la concentración de NaCl. En el injerto CID/263 fue el único caso en el que en 75 mM de NaCl se tuvo la mayor concentración de K. Calcio siguió la misma tendencia que K, ya que al incrementarse la concentración de NaCl, el Ca fue mayor; en 100 mM de NaCl el injerto CID/483 y CID sin injerto tuvieron mayor concentración de Ca, mientras que en 0 mM de NaCl los menores fueron los injertos CID/483 y CID/265. La concentración de Mg fue el mismo caso que K y Ca, ya que aumentaron proporcionalmente a la concentración de NaCl, CID injertado en 483 y no injertado a 100 mM de NaCl tuvieron la mayor concentración, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en CID/MF a 50 mM de NaCl y en 265 a 0 mM de NaCl. En P la tendencia no fue tan clara, ya que las mayores concentraciones fueron encontradas a 50 mM de NaCl y las menores a 75 mM de NaCl. En los nitratos sólo en el injerto CID con 265 a 50 mM de NaCl hubo una mayor concentración. El Na y Cl, al igual que los elementos anteriores, incrementaron conforme se aumentó la concentración de NaCl. Las plantas sin injerto tuvieron mayor concentración de estos dos elementos en 100 mM de NaCl, mientras que cuando no se aplicó NaCl a la solución fueron estadísticamente iguales en todos los casos. Dentro de las plantas injertadas MF y 483 fueron la que acumularon menos Na y Cl en 100 mM de NaCl, mientras que 265 acumuló más estos dos elementos.

En los resultados de las relaciones iónicas de la interacción de la concentración de NaCl con las plantas con y sin injertar se observó que conforme se incrementó la concentración

de NaCl también lo hizo la relación  $K^+/Na^+$ ,  $Ca^{2+}/Na^+$  y  $Mg^{2+}/Na^+$ , lo que significa que las plantas al incrementar la concentración de  $Na^+$  aumentaron también otros cationes, disminuyendo el efecto por competencia de  $Na^+$ . En 100 mM de NaCl todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales. Mientras que en 0 mM de NaCl la relación  $K^+/Na^+$  con el injerto CID/265 fue superior estadísticamente comparado con el resto de injertos en la misma concentración. Lo que se puede interpretar como que este injerto tiene la habilidad de ser más selectivo respecto al  $K^+$  comparado con el  $Na^+$ ; en la relación  $Ca^{2+}/Na^+$  fue el injerto 483 el menos eficiente en la acumulación de  $Ca^{2+}$  respecto al  $Na^+$ . En la relación  $Mg^{2+}/Na^+$  el injerto con MF acumuló menos  $Mg^{2+}$  respecto al  $Na^+$ . Por lo que la concentración de los cationes se ve afectada de forma positiva al incrementarse la salinidad.

En las relaciones aniónicas se encontró también una tendencia a incrementar la relación  $NO_3^-/Cl^-$  en hoja conforme se incrementa la salinidad, pero el efecto no es tan pronunciado como en otras relaciones. Al igual que en las relaciones de cationes, en la mayor concentración salina (100 mM NaCl) son estadísticamente similares en todas las plantas con y sin injertar, y sólo la interacción de CID/265 a 50 mM de NaCl tuvo la mayor relación. Las correlaciones de Na y Cl con los cationes K, Ca y Mg presentaron significancia estadística, observándose una correlación positiva. En el caso de P y  $NO_3^-$  no tuvieron correlación significativa con ningún elemento. Esto concuerda con lo expuesto anteriormente, donde los cationes K, Ca y Mg aumentaron con el incremento en la concentración de NaCl.

Por el efecto del injerto hubo un mayor porcentaje de CRA en las plantas injertadas y dentro de éstas la que se injertó sobre Multifort tuvo el mayor porcentaje, y CID sin injertar tuvo un porcentaje menor, lo que indica un uso más eficiente del agua en plantas injertadas. En la concentración de sal se encontró que a medida que se incrementaba la

concentración de sal disminuyó el CRA; los tratamientos de 75 y 100 mM de NaCl tuvieron menor porcentaje.

En el tercer y último estudio se encontró que en altura de planta se encontraron diferencias estadísticas. El tratamiento CID/MF tuvo mayor altura, y el resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares. EL incrementó en la concentración de NaCl disminuyó la altura, en tanto que, en las dosis de 75 y 100 mM de NaCl los afectos fueron similares. Los injertos CID/265 y CID/483 tuvieron un diámetro intermedio, y CID/265 fue superior sólo en el quinto racimo. En concentración salina se obtuvo que en las etapas iniciales no hubo diferencias significativas, pero en la tercera y cuarta evaluación (83 y 98 ddt) el diámetro disminuyó a partir de la dosis de 100 mM de NaCl, y en la quinta y sexta evaluación a partir de las dosis de 75 y 100 mM de NaCl el efecto fue mayor.

La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> disminuyó al aumentar la concentración salina, ya que a 0 y 50 mM de NaCl la tasa de asimilación fue mayor, y disminuyó en gran medida entre las concentraciones de 75 y 100 mM de NaCl. El injerto CID/MF tuvo mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, y las restantes combinaciones fueron estadísticamente similares. Las plantas sin injertar (CID) presentaron la menor asimilación de CO<sub>2</sub> en la concentración de 100 mM de NaCl, siendo esta interacción donde hubo una mayor afectación. La acumulación de prolina está correlacionada con la tolerancia de los cultivos a la salinidad. Asimismo, existe una relación positiva entre la concentración salina con la acumulación de prolina en las hojas. En este estudio cuando no se agregó NaCl se presentó la menor concentración de prolina; en contraste, con la adición de 75 y 100 mM NaCl donde se encontró mayor acumulación y las diferencias fueron significativas respecto a 0 mM NaCl. Por lo tanto, se observó que la mayor concentración de NaCl ocasionó mayor acumulación de prolina. En la mayor concentración salina el injerto CID/MF produjo más

prolina y fue estadísticamente similar a CID/265 y CID/483; mientras que el que tuvo menor concentración de prolina fue en CID (la planta sin injertar) y por lo tanto presentó menor tolerancia

El injerto CID/265 tuvo una mayor concentración de SST, AT e IM, en contraste el injerto CID/MF tuvo menor concentración de SST, AT e IM; y el injerto CID/483 y CID sin injertar tuvieron valores intermedios en todos los casos. Los parámetros SST, AT e IM se incrementaron proporcionalmente con la concentración de sal, de esta manera a 100 mM de NaCl fueron superiores, estadísticamente, y en las concentraciones de 75 y 50 mM de NaCl fueron estadísticamente similares. En el rendimiento de fruto el primer racimo no se presentaron diferencias estadísticas por efecto del injerto; no obstante, las diferencias a partir del segundo racimo, de esta forma el CID sin injerto fue el tratamiento menos productivo. El injerto CID/MF fue el más productivo a partir del segundo racimo hasta el sexto y en él total. Algunos racimos de los injertos CID/483 y CID/265 fueron superiores en el rendimiento total que CID sin injertar pero menores que CID/MF, estos resultados muestran el efecto fisiológico positivo del injerto. En las concentraciones el primer racimo no mostró efecto por la salinidad, aunque a partir del segundo racimo la concentración de 100 mM de NaCl tuvo menor rendimiento. En el tercer racimo la concentración de 75 mM de NaCl tuvo menor rendimiento en relación con las concentraciones de 0 y 50 mM de NaCl pero es mayor que la de 100 mM de NaCl, una tendencia similar se observó del cuarto al sexto racimo. En el rendimiento total se observó que cuando no se agregó NaCl se tuvo mayor rendimiento, las concentraciones de 50 y 75 mM de NaCl fueron similares estadísticamente y en 100 mM NaCl el rendimiento fue menor.

## 8. CONCLUSIONES GENERALES

1. Las accesiones identificadas como más tolerantes con potencial de rendimiento en ambientes estresantes con y sin estrés (perteneciente al grupo A) son la G483 y P265. Los índices para determinar la selección fenotípica con y sin estrés salino son productividad media, tolerancia al estrés y la productividad de la media geométrica.
2. Al aumentar la concentración de NaCl también aumentó la concentración de los cationes K, Ca y Mg, como parte de un mecanismo de respuesta de la planta para compensar la concentración excesiva de Na. El injerto CID/MF fue el más productivo, mientras que los injertos sobre las accesiones silvestres 483 y 265 tuvieron la misma respuesta a la salinidad y superaron a las plantas no injertadas. Los injertos reducen los daños por salinidad al regular la concentración nutrimental.
3. El injerto CID/MF tuvo un menor efecto por salinidad en altura, diámetro, producción de biomasa, rendimiento, asimilación de CO<sub>2</sub> y más en sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. Los injertos CID/265 y CID/483 mostraron una mayor afectación de la salinidad que CID/MF pero menor que CID en diámetro, biomasa total, rendimiento. Los tres injertos (CID/MF, CID/265 y CID/483) son más productivos en fruto que plantas sin injertar (CID). Los injertos en tomate ayudan a reducir los efectos de la salinidad.