



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS MONTECILLO

FISIOLOGÍA VEGETAL

**PORTAINJERTOS DE JITOMATE NATIVOS (*Solanum lycopersicum*
L.) TOLERANTES A NIVELES ALTOS DE CONDUCTIVIDAD
ELECTRICA EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**

FELIPE SANJUAN LARA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

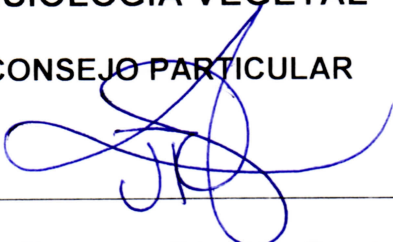
La presente tesis titulada: **PORTAINJERTOS DE JITOMATE NATIVOS (*Solanum lycopersicum* L.) TOLERANTES A NIVELES ALTOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA** realizada por el alumno: **M.C. Felipe Sanjuan Lara**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO _____


PhD. Prometeo Sánchez García

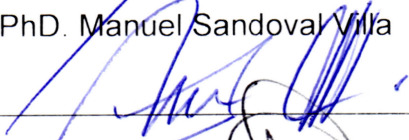
ASESOR _____


PhD. Porfirio Ramírez Vallejo

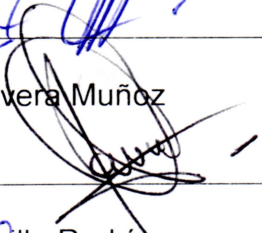
ASESOR _____


PhD. Manuel Sandoval Villa

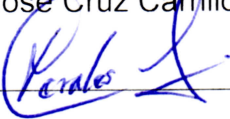
ASESOR _____


PhD. Manuel Livera Muñoz

ASESOR _____


Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez

ASESOR _____


Dr. Catarino Perales Segovia

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2013.

AGRADECIMIENTOS

- A la Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC) por el financiamiento otorgado para la realización de mi estudio Doctoral.
- A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETA) por la beca comisión otorgado para la realización de mis estudios de postgrado.
- Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de continuar con mis estudios y brindarme las facilidades para el desarrollo y conclusión del presente trabajo de investigación.
- A la Coordinación de enlace operativo de la DGETA Puebla por brindarme el permiso para continuar con los estudios de Doctorado.
- Al Dr. Prometeo Sánchez García por su apoyo académico, orientación, confianza, amistad y dirección de la presente tesis doctoral.
- Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo por su orientación, aportación, confianza y amistad en mi estancia en el Colegio de Postgraduados.
- Al Dr. Manuel Sandoval Villa por sus aportaciones acertadas en la presente tesis y su orientación para la culminación del presente estudio.
- Al Dr. Manuel Livera Muñoz por su apoyo y amistad para la realización de la presente tesis Doctoral.
- Al Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez por su apoyo brindado desde hace ya varios años para mi superación personal y para la realización del presente estudio.
- Al Dr. Catarino Perales Segovia por su apoyo brindado desde hace ya varios años para mi superación personal y para la realización del presente estudio.
- Al Dr. Tarsicio Corona Torres por su apoyo brindado en la presente tesis Doctoral.
- Al Proyecto de conservación y aprovechamiento de poblaciones nativas de jitomate Mexicano por financiar parte del presente estudio.
- A la Dra. Martha Patricia Jerez Salas, por su amistad y apoyo para ingresar al Doctorado.
- Al Ing. Héctor Rene Becerril Toral por su apoyo brindado a través de la DGETA Puebla y su amistad.
- A la M.C. Maglleli del Carmen Ramos Pastor por su amistad y apoyo, muchas gracias.
- A mis amigos Juan Carlos Zaragoza, Sra. Ángeles Arenas, Dr. Fernando Utrera, MC. Ramiro Maldonado, Regina Bauchan, Lorena Díaz, MC. David Hernández, Dr. Jairo Aarón, por su amistad en el Colegio de Postgraduados.
- A mis amigos MTC Ramiro Tolentino, Ing. Ismael Rodríguez, Ing. Antonio Zacateco, Ing. Rogelio Hernández, Tec. Rosamaría Reyes por su amistad en el trabajo, gracias.
- Al departamento de servicios académicos del Colegio de Postgraduados, por su atención siempre buena, muchas gracias.
- A todos y cada uno de los que me han apoyado de manera directa e indirectamente el presente estudio, mil gracias.

DEDICATORIA

A mi Madre Celerina Lara Martínez y Padre Felipe Sanjuan Hernández por darme la vida y apoyarme siempre para salir adelante mil gracias.

A mi esposa Patricia Pérez Santiago por apoyarme siempre en los momentos difíciles y por su amor mil gracias.

A mis pequeños hijos Grecia Sanjuan Pérez y Héctor Emanuel Sanjuan Pérez como un modesto ejemplo a seguir.

A mis tíos Catalina Hernández y Francisco Hernández por su orientación para continuar con mis estudios.

A mi tía Josefa por apoyarme y orientación para salir adelante muchas gracias.

A mis hermanos Chano, Roberto, Juan, Alicia, Esther, María, Francisca y Eusebia por su amistad y apoyo.

PROFESORES INTEGRANTES DEL CONSEJO PARTICULAR

PhD. Prometeo Sánchez García



Ingeniero agrónomo, Doctor en nutrición vegetal y fertilidad de suelos, por la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos, 1992. Profesor investigador titular del Colegio de Postgraduados en Nutrición de Cultivos. Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel I.

Líneas de investigación: Diagnóstico nutrimental e hidroponía.

PhD. Porfirio Ramírez Vallejo



Ingeniero Agrónomo, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo, 1972. Maestro en Ciencias en Genética, 1977. PhD in Plant Breeding and Genetics por la Michigan State University (MSU) USA, 1992. Profesor investigador titular, en el Postgrado de Recursos Genéticos–Genética en el Colegio de Postgraduados. Sistema Nacional de Investigadores SNI nivel II.

Líneas de investigación: Conservación y aprovechamiento de la agrobiodiversidad de especies cultivadas y nativas de frijol y jitomate.

PhD. Manuel Sandoval Villa



Ingeniero agrónomo especialista en suelos, egresado de la Universidad Autónoma Chapingo, 1987. Doctor en ciencias en nutrición vegetal por la Universidad de Auburn, Alabama, USA, 1999. Profesor investigador titular del Colegio de Postgraduados. Experto en agricultura protegida e intensiva. Sistema Nacional de Investigadores SNI nivel I.

Líneas de investigación: Hidroponía e interacción nutrimental-fitopatógenos.

PhD. Manuel Livera Muñoz



Ingeniero agrónomo especialista en fitotecnia egresado de la Universidad Autónoma Chapingo, 1975. Maestro en ciencias en genética por el Colegio de Postgraduados, 1979. Doctor en ciencias por la Universidad de Nebraska, USA, 1985. Profesor investigador titular en el Postgrado de Recursos Genéticos–Genética en el Colegio de Postgraduados.

Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez



Ingeniero agrónomo en producción egresado del Instituto Tecnológico de Monterrey en 1982. Maestro en ciencias en productividad agrícola por el Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca en 1989. Doctor en ciencias en Desarrollo Rural por el Instituto Tecnológico de Oaxaca en 2003. Profesor investigador del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Sistema Nacional de Investigadores SNI Nivel I.

Líneas de investigación: Sistemas alternativos de producción agropecuaria. Aprovechamiento y conservación de jitomate Mexicano.

Dr. Catarino Perales Segovia



Ingeniero agrónomo egresado de la Facultad de agronomía de Ciudad Tamaulipas en 1977. Maestro y Doctor en ciencias por el Colegio de Postgraduados en el área de entomología y acarología 1988 y 1995.

Líneas de investigación: Alternativas de bajo impacto ambiental y biotecnología para plantas de zonas áridas y semiáridas.

CONTENIDO	PAG.
RESUMEN	1
ABSTRACT	4
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	6
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Salinidad.....	19
2.2 Bases fisiológicas a la tolerancia a la salinidad.....	21
2.3 Bases genéticas a la tolerancia a la salinidad.....	24
2.4 Bases moleculares y bioquímicas a la tolerancia a la salinidad.....	27
2.5 Injertos en jitomate.....	30
2.5.1 Definición del injerto.....	30
2.5.2 Antecedentes de los injertos.....	30
2.5.3 Objetivo del uso de los injertos.....	32
2.5.4 Técnicas para injertar jitomate.....	33
2.5.5 Formación de la unión del injerto.....	34
2.5.6 Factores que influyen en la unión del injerto.....	36
2.6 Bibliografía.....	37
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS	
3.1 Objetivo general.....	41
3.2 Objetivos específicos.....	41
3.3 Hipótesis.....	41
IV. VARIACIÓN EN CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS AGRONÓMICO DENTRO DE UNA POBLACIÓN NATIVA DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	42
V. TOLERANCIA DE LÍNEAS DE JITOMATE A LA SALINIDAD CON NaCl	61
VI. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS DE JITOMATE EN PORTAINJERTOS NATIVOS TOLERANTES A NaCl	82
VII. DISCUSIÓN GENERAL	111
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	128
IX. ANEXOS	130

LISTA DE CUADROS	PAG.
Cuadro 1. Cultivos importantes susceptibles a la salinidad del suelo.....	8
Cuadro 2. Algunos portainjertos que se comercializan actualmente en el mercado Nacional y Mundial.....	14
Cuadro 3. Características de interés agronómico evaluadas en una población de 120 selecciones individuales nativas de jitomate del estado de Puebla, 2010.....	48
Cuadro 4. Escala de reacción utilizada en la calificación fitopatológica (severidad general) en una población de 120 selecciones nativas de jitomate del estado de Puebla 2010.....	48
Cuadro 5. Escala de calificación para uniformidad general en una población de 120 selecciones nativas de jitomate del estado de Puebla, 2010.....	49
Cuadro 6. Escala de calificación general en una población de 120 selecciones nativas de jitomate del estado de Puebla, 2010.....	50
Cuadro 7. Promedios y coeficientes de variación (CV) de cada variable evaluada en jitomates nativos del estado de Puebla. 2010.....	52
Cuadro 8. Vectores y valores propios del análisis de componentes principales (CP) con las variables de mayor valor descriptivo de la varianza total en jitomates nativos del estado de Puebla.....	53
Cuadro 9. Materia seca de raíz (MSR), tallo (MSTA), foliar (MSF) y total(MST); altura de planta (ALP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas y área foliar (AF) en 16 de 48 líneas nativas y dos testigos comerciales de jitomate evaluados en cinco niveles de conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, estado de México, 2010.....	71
Cuadro 10. Índice de susceptibilidad a salinidad (ISS) de 48 líneas nativas y dos testigos comerciales de jitomate evaluados en cinco niveles de conductividad eléctrica en solución nutritiva. Montecillo, estado de México, 2010.....	75
Cuadro 11. Comparación de medias de rendimiento, sólidos solubles totales (°Brix), color, licopeno, firmeza, pudrición apical del fruto (BER) y tamaño de fruto en jitomate tipo bola injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.....	92

Continuación.....	LISTA DE CUADROS	PAG.
Cuadro 12. Comparación de medias de rendimiento, sólidos solubles totales (°Brix), color, licopeno, firmeza, pudrición apical del fruto (BER) y tamaño de fruto en jitomate tipo saladette injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.....		93
Cuadro 13. Comparación de medias en altura del primer racimo, altura de planta, materia seca de raíz y de hoja en jitomate tipo bola y saladette injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.....		104
..		

LISTA DE FIGURAS	PAG.
Figura 1. Transporte de agua por la vía apoplastica y simplastica en las plantas cultivadas.....	7
Figura 2. Procesos de transporte de Na ¹⁺ influenciando su tolerancia a sodio en plantas superiores.....	11
Figura 3. Representación esquemática de la acumulación vacuolar de sodio en la célula.....	11
Figura 4. Variación en el peso seco de la parte aérea de distintas especies de plantas cultivadas durante tres semanas en presencia de NaCl, respecto al valor de peso seco de plantas cultivadas en ausencia de NaCl.....	25
Figura 5. a) corte biselado (45°); b) colocación del clip para unir el patrón y la variedad que funge como injerto y c) planta recién injertada.....	35
Figura 6. a) Corte en forma de púa; b) inserción de la variedad al portainjerto; c) planta sostenida con clips de silicón y d) planta injertada.....	35
Figura 7. Dispersión de 120 selecciones individuales de jitomate nativo “chino” del estado de Puebla con base en los dos primeros componentes.....	55
Figura 8. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en solución nutritiva en a) altura de planta; b) diámetro de tallo; c) número de hojas; d) área foliar; e) materia seca de raíz; f) tallo; g) foliar y h) total.....	69
Figura 9. Efecto de los portainjertos y conductividad eléctrica (CE) en a) rendimiento; b) número de frutos por planta con podredumbre apical (BER); c) frutos grandes; d) frutos medianos y d) frutos chicos.....	101
Figura 10. Efecto de los portainjertos y conductividad eléctrica (CE) en a) rendimiento; b) número de frutos por planta con podredumbre apical (BER); c) frutos grandes y d) frutos chicos.....	102

**PORTAINJERTOS DE JITOMATE NATIVOS (*Solanum lycopersicum* L.)
TOLERANTES A NIVELES ALTOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN LA
SOLUCIÓN NUTRITIVA**

**Felipe Sanjuan Lara, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2013.**

RESUMEN

La diversidad de poblaciones de jitomate mexicano es una fuente invaluable de recursos fitogenéticos para la búsqueda de mejoramiento a estrés salino e incrementar la productividad en suelos y agua con salinidad. Las variedades (injerto) sensibles a la salinidad sobre portainjertos tolerantes a estrés salino es un método alternativo para producir en ambientes salinos. El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar líneas de jitomate nativo en condiciones de salinidad y con base a resultados de carácter agronómico y morfológico seleccionar portainjertos tolerantes a salinidad en condiciones protegidas. El estudio se dividió en tres fases: Fase I, se colectaron y caracterizaron en casa sombra 120 selecciones individuales de jitomate con un productor cooperante, en el municipio de Zinacatepec, Puebla. Con base en los resultados obtenidos se encontró que la mayor variación intrapoblacional fueron número de racimos con fruto (19.66%), severidad general (27.02%), uniformidad (23.55%) y calificación general (30.34%). Los dos primeros componentes principales (calificación general y diámetro de tallo) explicaron 59.7 % de la variación fenotípica de las 120 selecciones individuales caracterizadas. En el grupo VI se encontraron las selecciones con mayor número de racimos con fruto y sin severidad a enfermedades, uniformes en longitud, buen amarre de fruto y

vigorosas, consideradas como buenas. En el grupo II se ubicó el 84.16 % de las selecciones individuales evaluadas. En los grupos III y IV se integraron las selecciones de regulares a malas. En esta primera fase y por sus características antes mencionadas se seleccionaron 48 líneas para su posterior evaluación. En la Fase II se evaluaron 48 líneas derivadas de la fase anterior, en diferentes conductividades eléctricas 4, 6, 8, 10 y 12 dS m⁻¹ generadas con NaCl en solución nutritiva Steiner. Los resultados mostraron que en materia seca de raíz (MSR), de tallo (MST), foliar (MSF) y total (MST), altura de planta (ALP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas, área foliar (AF) e índice de susceptibilidad a salinidad (ISS), al menos una línea superó a los testigos (T1 y T2) y por sus características agronómicas las líneas de jitomate nativo 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 podrían emplearse como portainjertos tolerantes a NaCl. En la fase III se evaluaron las líneas 76, 82 y 112 como portainjertos nativos, derivados del estudio anterior y Maxifort ® como testigo comercial de la empresa De Ruiter. Las variedades (injerto) fueron Sun 7705 (tipo saladette) y Joya (tipo bola), el primero de la empresa Nunhems. La salinidad se evaluó con tres niveles de conductividad eléctrica (CE); 4, 8 y 12 dS·m⁻¹, que se obtuvieron agregando cloruro de sodio grado técnico, en las cantidades siguientes 1, 088 g m⁻³, 3, 648 g m⁻³ y 6,208 g m⁻³. Las variables medidas fueron, rendimiento, sólidos solubles totales (°Brix), color, licopeno, número de frutos por planta, número de frutos con podredumbre apical (BER), tamaño de frutos, altura del primer racimo (APR), altura de planta (ALP), materia seca de raíz (MSR) y materia seca en hoja (MSH). Los resultados indicaron que las líneas 112 y 82 pudieran ser una alternativa para usarse como portainjertos a estrés salino, ya que presentaron 33.5 y 40 % más rendimiento en comparación con plantas no injertadas en tipo bola y

saladette respectivamente. Las plantas injertadas produjeron menos sólidos solubles totales y licopeno, en contraste con las plantas sin injertar (B y S). Las plantas injertadas produjeron frutos más grandes con respecto a las plantas sin injertar y el (BER) se presentó más en plantas no injertadas en ambos tipos de jitomate. Los resultados globales muestran que el injerto de jitomate sobre patrones tolerantes a NaCl tiene efectos positivos sobre el rendimiento del cultivo, pero la calidad es igual o menor a las plantas no injertadas. Los resultados indican que existe variabilidad intrapoblacional para tolerancia a salinidad en *Solanum lycopersicum* L.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, portainjertos, estrés salino, rendimiento y calidad.

**NATIVE TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) ROOT STOCKS TOLERANT TO
HIGH ELECTRIC CONDUCTIVITY NUTRITIONAL SOLUTION**

**Felipe Sanjuan Lara, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2013.**

ABSTRACT

Mexican tomato populations are an invaluable diversity source in the search of salt stress resistance that improves yield in high salinity soil and water. Grafting salt-susceptible varieties on salt-tolerant root stocks is an alternative method for production in salty environments. This research evaluated native tomato individual selections under salinity conditions. Through evaluation of agronomical and morphological characteristics, salinity-tolerant root stocks were selected under protected conditions. The study was divided into three phases: Phase I, collection and characterization of 120 individual selections in a shade house in cooperation with a producer at Zinacatepec, Puebla. The greatest intra-population variability were numbers of fruiting-raceme (19.66 %), general severity (27.02 %), uniformity (23.55 %) and general score (30.34 %). The first two principal components (general score and shoot diameter) explained 59.7 % of phenotypic variability of the 120 characterized individual selections. Group VI included individual selections with the following characteristics: highest number of fruiting-racemes, low disease susceptibility, uniform fruit length, good fruit setting; these families were considered good. Group II included 84.16 % of the total number of individual selections tested. Groups III and IV included individual selections classified from bad to regular. In this first phase, 48 lines were selected for further testing. Phase II included testing of those lines, under different electric conductivities (4, 6, 8, 10 and 12 dS m⁻¹). Electric conductivity was modified with NaCl in nutritional Steiner solution. Results showed

that at least one lines was better than the controls (T1 and T2) in dry root biomass (DRB), dry shoot biomass (DSB), dry leaf biomass (DLB), dry total biomass (DTB), plant height (PH), shoot diameter (SD), leaf number, leaf area and salinity susceptibility index (SSI). Based on agronomic characteristics, native tomato lines 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 and 76 could be employed as NaCl-tolerant root stocks. During Phase III, lines 76, 82 and 112, selected from the previous phase, were tested as native root stocks. Maxifort was used as a commercial control; this variety is available from De Ruiter. Scions were grafted from varieties Sun 7705 (saladette-type, Nunhems) and Joya (round-type). Performance was evaluated under three electric conductivity (EC) levels, 4, 8 and 12 dS m⁻¹. EC was modified by adding technical-grade sodium chloride at 1088 g, 3648, and 6208 g. Variables evaluated were yield, total soluble solids (°Brix), color, lycopene content, fruits per plant, number of fruits with apical rooting, fruit size, height to the first raceme (HFR), plant height (PH), dry root biomass (DRB), and dry leaf biomass (DLB). Results indicated that lines 112 and 82 could be an alternative as salinity-tolerant root stocks; they yielded 33.5 and 40 % more compared to non-grafted round-type and saladette type varieties, respectively. Grafted plants produced less total soluble solids and lycopene compared to non grafted (B and S) plants. Grafted plants produced bigger fruits in comparison to ungrafted plants. Apical rooting was more frequent in ungrafted plants for both tomato types. Global results show that grafting tomatoes over NaCl-tolerant root stocks positively affects yield, but fruit quality is the same or lower to ungrafted plants. Results show there exists intrapopulation variability for salinity tolerance in *Solanum lycopersicum* L.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L., root stocks, salinity stress, yield, quality.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La salinidad es una condición del suelo que se caracteriza por una alta concentración de sales solubles. Un suelo es salino cuando su solución es de 4 dS m^{-1} (USDA-ARS. 2008) ó 40 mM de NaCl y genera una presión osmótica de 0.2 MPa y este reduce significativamente el rendimiento de los cultivos (Cuadro 1). Los iones que contribuyen a la salinidad son cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio y magnesio (Alemán, 2009), siendo el NaCl la sal más abundante (Szabolcs, 1989). El NaCl disuelto en la solución del suelo afecta de tres formas las plantas cultivadas: a) afectando la osmorregulación, b) teniendo efectos sobre los iones específicos que pueden ser tóxicos y c) disminuyendo las funciones metabólicas (Alacantar y Trejo 2012).

a) Efecto osmótico: El agua es transportada desde el exterior de la planta hacia el sistema vascular por medio de la vía apoplastica y simplastica. La vía simplastica es directamente sensible a elevadas concentraciones salinas en el exterior ya que un estrés hiperosmótico va disminuyendo la diferencia de potencial hídrico entre el medio salino y el citosol hasta que se igualan y cesa la toma neta de agua por esta vía (Figura 1). Mientras que la vía apoplastica no está directamente afectada por el medio salino y probablemente es capaz de continuar funcionando hasta que se pare la transpiración, permitiendo al agua y las sales disueltas entrar a la planta (Figura 1). Sin embargo, en condiciones salinas la planta cierra los estomas para limitar la pérdida de agua. Por lo tanto la entrada de agua por la vía del apoplasto también se ve disminuida. Con las vías de entrada de agua bloqueadas

por la salinidad, las células pierden turgencia, lo que a su vez restringe la expansión celular y disminuye el crecimiento de la planta provocando finalmente el marchitamiento (Alemán, 2009).

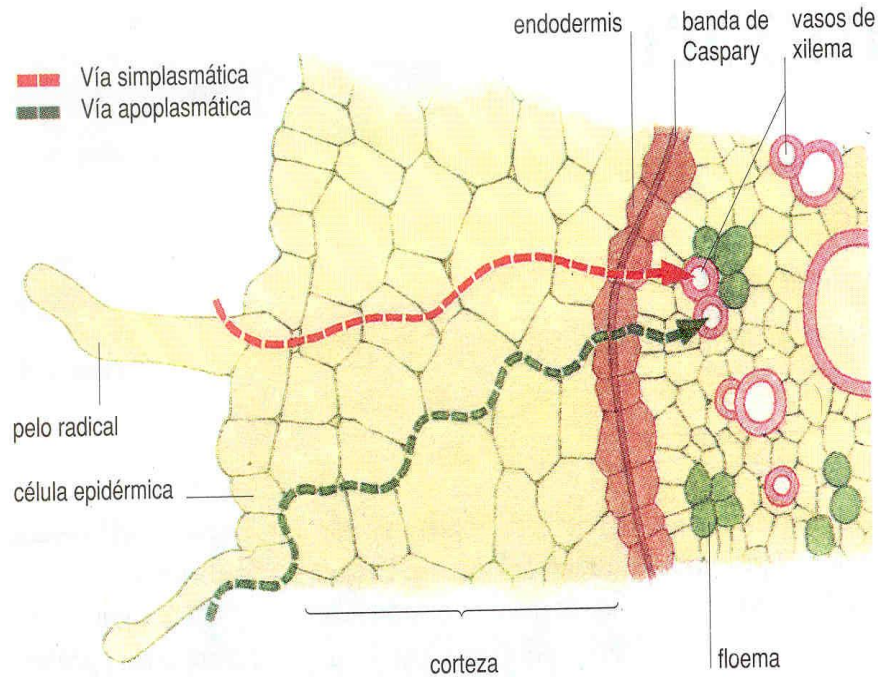


Figura 1. Transporte de agua por la vía apoplástica y simplástica en las plantas cultivadas.

b) Efectos específicos: La mayor parte de las especies cultivadas son sensibles a la acumulación de altas concentraciones de Na^+ (Cuadro 1). La abundancia de los iones de Na^+ dentro del citoplasma de las células vegetales tiene, de manera general, las siguientes consecuencias: 1) interferencia con los procesos de producción de energía en membrana, tales como la cadena de transporte de electrones en cloroplasto y mitocondria; 2) reducción de la actividad de los sistemas

enzimáticos en la glicolisis; y 3) reducción de la absorción de iones esenciales del suelo como NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} (Alcantar y Trejo, 2012).

c) Consecuencias metabólicas: La producción de energía es afectada por altas concentraciones iónicas y, como resultado, las tasas respiratorias y fotosintéticas muestran una disminución, tanto en plantas halófitas como en no halófitas. Consecuentemente las tasas de crecimiento y de producción de biomasa son altamente sensibles a la salinidad (Alcantar y Trejo, 2012).

Cuadro 1. Cultivos importantes susceptibles a la salinidad del suelo (Maas, 1990).

Cultivo	Salinidad (umbral) dS m ⁻¹	Disminución del rendimiento (%)
Haba (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.0	19.0
Berenjena (<i>Solanum melongena</i>)	1.1	6.9
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	1.2	16
Pimiento (<i>Capsicum annum</i> L.)	1.5	14
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	1.7	12
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	1.7	5.9
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	1.7	12.0
Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	1.8	9.7
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)	2.5	9.9
Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	3.0	12
Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	3.2	29
Soja (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	5.0	20
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	6.0	7.1
Remolacha azucarera (<i>Beta vulgaris</i> L.)	7	5.9
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	7.7	5.2
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	8.0	5.0

1.1 Mecanismos de la tolerancia a la salinidad

Los mecanismos de tolerancia a salinidad se clasifican en dos categorías: tolerancia a estrés osmótico y tolerancia a estrés iónico.

a) Tolerancia a estrés osmótico: Uno de los estreses más importantes para la productividad de los cultivos se relaciona con la deshidratación vegetal bajo niveles de alta salinidad, sequía y condiciones de baja temperatura. Cada uno de estos factores genera estrés hiperosmótico, caracterizado por el incremento en la concentración de solutos en la célula como azúcares (sacarosa y fructosa), aminoácidos (prolina y betaína), glicerol, manitol y otros metabolitos de bajo peso molecular (Chen y Murata, 2002). Los solutos compatibles no interfieren con el metabolismo normal de las células; se acumulan en el citoplasma y en la vacuola en altas concentraciones bajo condiciones de estrés osmótico, tienen un papel primario en el mantenimiento de la disminución del potencial osmótico en el citosol y están involucrados en la estabilidad de proteínas y estructuras celulares (Zhu, 2003). La deshidratación de las células induce la biosíntesis, la descompartimentalización y el transporte de las fitohormonas como ácido absicico (ABA), que induce el cierre de los estomas para reducir la transpiración y mantener turgencia en las células (Zhu, 2003; Hasegawa *et al.*, 2000).

1) **Tolerancia a estrés iónico:** Los mecanismos para minimizar el daño causado por la alta salinidad varían entre especies, y algunos de ellos deben operar de manera coordinada para regular las concentraciones celulares de sodio (Figura 2) (Tester y Davenport, 2003). Por ejemplo, activando la exclusión del sodio a través de las raíces o secretar sales desde la superficie de la hoja (gutación) y asegurándose

así que el Na^+ no se acumule a concentraciones tóxicas en las hojas, maximizar la compartimentalización o confinamiento en partes específicas del vástago, como en hojas viejas, o células medulares (Alcantar y Trejo, 2012).

Para mantener bajas concentraciones de Na^+ en el citoplasma la célula puede disminuir su entrada o acumularlo en la vacuola, donde el sodio es menos tóxico (Zhu, 2003). Se ha demostrado que el secuestro del sodio dentro de la vacuola de *M. crystallinum* se debe a la actividad de un intercambiador de sodio/protones (Na^+/H^+) que es activado por la bomba de protones del tonoplasto (V-ATPasa) (Figura 3). La actividad de estos dos transportadores es inducida cuando las plantas o cultivos son desarrollados en presencia de sal (Barkla *et al.*, 1995). Esto, en contraste con lo que sucede en las glicófitas, las cuales dirigen al sodio hacia las partes maduras de la planta en un intento de mantenerlo fuera de las raíces (Barkla *et al.*, 2007).

La exclusión del sodio por las raíces evita que se acumulen concentraciones tóxicas dentro de las hojas. Una falla en la exclusión de Na^+ se manifiesta su efecto tóxico después de días o semanas, dependiendo de la especie y causa la muerte prematura de las hojas más viejas (Munns y Tester, 2008).

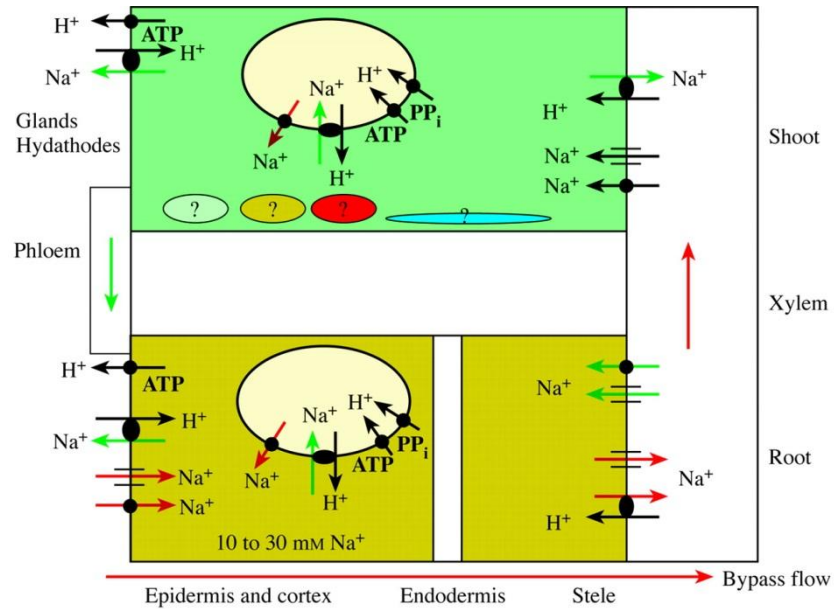


Figura 2. Procesos de transporte de Na^+ influenciando su tolerancia a sodio en plantas superiores. Flechas indican el movimiento del Na^+ , mostrando la minimización de su entrada al xilema, con lo cual podría incrementar la tolerancia; las líneas representan los movimientos del Na^+ , mostrando la maximización de la salida del Na^+ del xilema, lo cual también puede incrementar tolerancia. Las formas coloreadas dentro de la hoja representan cloroplastos (gris), amarillo (mitocondria), rojo (peroxisoma) y azul (retículo endoplásmico). Los procesos de transporte de Na^+ dentro y fuera de estos organelos son desconocidos. La vacuola está representada por el ovalo grande de color crema (Tester y Davenport, 2003).

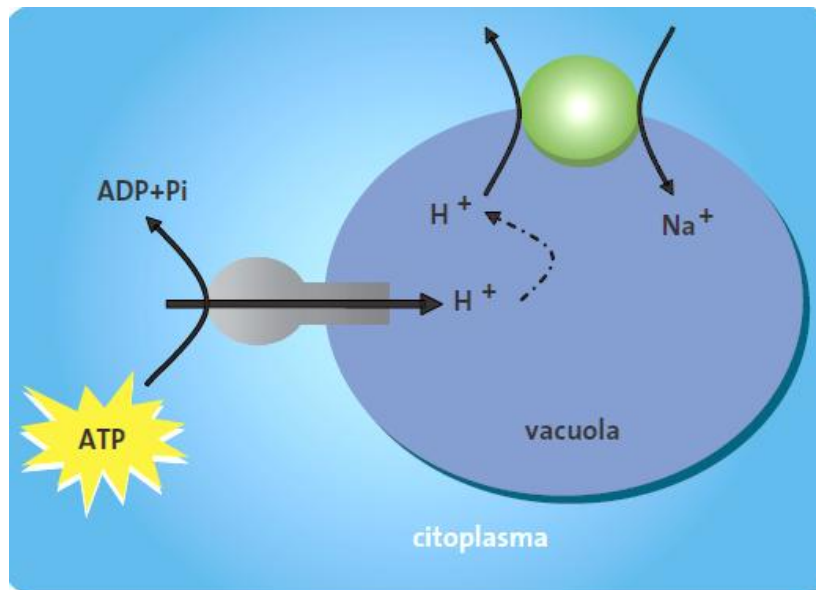


Figura 3. Representación esquemática de la acumulación vacuolar de sodio en la célula.

1.2 El jitomate

El jitomate es la hortaliza más importante cultivada a nivel mundial (Castellanos, 2009) y la más cultivada en condiciones protegidas. En México, se tienen registradas 8, 934 ha de superficie protegida y el 75% es ocupada para producir jitomate, y generan de 50,000 a 80,000 empleos y en 2007-2008 se generaron divisas por sus exportaciones de 598.2 millones de dólares (Castellanos, 2009). La producción de jitomate en campo abierto y en condiciones protegidas presenta problemas de salinidad que disminuyen el rendimiento. En México, 29.3 millones de hectáreas son utilizadas para actividad agrícola, de las cuales 500,000 son improductivas debido a la alta concentración de sales que poseen (Partida *et al.*, 2006); el 64 % se localiza en la parte norte del país (Cerdea *et al.*, 2004), que corresponde a climas áridos y semiáridos donde el problema se agudiza debido a que el agua es limitada y de baja calidad para la agricultura (Zamudio *et al.*, 2004).

El jitomate cuando se cultiva en suelos y agua con problemas de salinidad disminuye el rendimiento ya que es una especie glicofita y por lo tanto medianamente sensible a las sales (Goykovic y Saavedra, 2007) y presenta un umbral de tolerancia de $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Chinnusamy *et al.*, 2005). Mientras que Lara (1999) menciona que el valor óptimo para producir jitomates es de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y por cada $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ por encima de lo mencionado disminuye 10 % el rendimiento.

Una de las alternativas para mediar la salinidad es el uso de la variabilidad genética que existe en especies cultivadas y silvestres de jitomate (Goykovic y Saavedra, 2007), así también como la búsqueda de portainjertos dentro de esta variabilidad genética, ya que los portainjertos han mostrado tener tolerancia a

salinidad, además, estos simplifican y acortan los programas de mejoramiento genético (Oda, 1999).

Un portainjerto es una variedad o híbrido resultado de la selección de germoplasma existente (King *et al.*, 2010) y algunos como resultado de cruces de (*Solanum Lycopersicon* x *Solanum habrochaites* S. Knapp & D.M. Sponer) (Bleck *et al.*, 2003) y (*L. esculentum* x *L. hirsutum*) (Castellanos, 2009) (Cuadro 1). La selección de un portainjerto eficiente debe reunir algunas características como tolerancia al daño causado por patógenos, nematodos y salinidad entre otros factores, así también como vigor y rusticidad, afinidad con el cultivar a injertar y no afectar desfavorablemente la calidad de los frutos. Además, un portainjerto vigoroso hace que la planta injertada también sea vigorosa (Peil, 2003).

Las prácticas agrícolas intensivas y la nula rotación de cultivos llevan a la acumulación y resistencia de patógenos y otros factores nocivos como la salinidad (King *et al.*, 2010). El uso del tomate injertado se está utilizando en todo el mundo debido a los problemas fitosanitarios del suelo que reducen gravemente el rendimiento del cultivo. En varios países Asiáticos, y Europeos del Mediterráneo utilizan esta tecnología para minimizar el efecto de *Fusarium*, *Verticillium*, nematodos y marchitez bacteriana (Lee, 2006), (Cuadro 2) Sin embargo se ha encontrado tolerancia a bajas temperaturas, sequia, mejor absorción de agua, nutrimentos y disminuyen el impacto por salinidad (Edelstein *et al.*, 1999). En el mundo un tercio de las tierras de regadío están afectadas por salinidad y esta técnica podría contribuir en la disminución de las pérdidas de rendimiento ocasionadas por salinidad (Rivero *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Algunos portainjertos que se comercializan actualmente en el mercado nacional y mundial. (Rivard y Louws. 2006).

portainjertos	Resistencia a las enfermedades						Vigor	
	VMT	AR	M. <i>Fusarium</i>		M. V	M. B		Nemat.
			Raza 1	Raza 2	Raza 1			
DRuiter seeds								
Maxifort	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto	Susceptible	Alto	5
Beaufort	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto	Susceptible	Alto	3
Takii seeds								
Anchor	Alto	Susceptible	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	5
Survivor	Alto	Susceptible	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	5
Aegis	Alto	Moderado	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	4
Bruinsma seeds								
Body	Alto	Alto	Suscep.	Alto	Alto	Susceptible	Alto	5
Robusta	Alto	Alto	Suscep.	Alto	Alto	Susceptible	Susceptible	3

VMT: virus del mosaico del tomate; AR: acorchamiento de raíz; M.V: marchitez por *verticillium*; M. B: marchitez bacteriana.

Las plantas injertadas cultivadas en condiciones salinas a menudo exhiben un mejor crecimiento, mayor fotosíntesis y contenido de agua en hoja, mayor acumulación de osmolitos compatibles, ABA en hojas, una mayor capacidad antioxidante en hojas y una menor acumulación de Na⁺ y Cl⁻ en los brotes que las plantas no injertadas o auto injertadas (Colla *et al.*, 2010). Además producen altos rendimientos (Edelstein, 2004) hasta en un 12.8 % más que en plantas no injertadas en el cultivo de jitomate (Khah *et al.*, 2006).

1.3 BIBLIOGRAFÍA

- Alcantar G y Trejo L (2012)** Nutrición de cultivos. Ed. Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados. Montecillo Texcoco Estado de México. 53 p.
- Alemán F G (2009)** Absorción de K⁺ en plantas con diferente tolerancia a la salinidad. Tesis de obtención de grado de Doctor en Nutrición Vegetal. Universidad de Murcia España. 34 y 35p.
- Apel K and H Hirt (2004)** Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* 55: 373-399.
- Barkla B J, L Zingarelli, E Blumwald and A C Smith (1995)** Tonoplast Na⁺/H⁺ antiport activity and its energization by the vacuolar H⁺-ATPase in the halophytic plant *mesembryanthemum crystallinum* L. *Plant Physiology* 109: 549-556.
- Barkla B J, R V Estrella, E Balderas y O Pantoja (2007)** Mecanismos de tolerancia a salinidad. *Biotechnología* 14: 263-272.
- Castellanos J Z (2009)** Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. Intagri, S. C. Celaya Guanajuato México. 6. p.
- Chen T and N Murata (2002)** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Plant Biology* 5: 250-257.
- Chinnusamy V, A Jagendorf and J K Zhu (2005)** Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science* 45: 437-448.
- Colla G, Y Rouphael, C Leonardi, and Z Bie (2010)** Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 127 (2010) 147–155.

- Edelstein M (2004)** Grafting vegetable-crop plants: Pros and cons. *Acta Horticulturae* 659:235-238.
- Edelstein M, R Cohen, Y Burger, S Shriber, S Pivonia y D Shtienberg (1999)** Integrated management of sudden wilt in melons, caused by *Monosporascus cannonballus*, using grafting and reduced rates of methyl bromide. *Plant Disease* 83:1142-1145.
- Goykovic V and G Saavedra (2007)** Some effects of salinity on the tomato cultivars and agronomic practices in its managing. *IDESIA (Chile)* 25 (3): 47:58.
- Greenway H and R Munns (1980)** Mechanisms of salt tolerance *in* Non-Halophytes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 31: 149-190.
- Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, and C Goulas (2006)** Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *Journal of Applied Horticulture* 8(1): 3-7.
- King R S, A R Davis, X Zhang and K crosvy (2010)** Genetics, breeding and selection of rootstocks for solanaceae and cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae* 127: 106-111.
- Kubota C and M. A McClure (2007)** Vegetable Grafting: History, Use, and Current Technology Status in North America Department of Plant Sciences, The University of Arizona, 303 Forbes Building, Tucson, AZ 85721-0036.
- Lara H A (1999)** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoamericana* 17: 221-229.
- Lee J (1994)** Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29:235-239.

- Lynch J y A Lauchli (1984)** Potassium transport in salt-stressed barley roots. *Planta* 161: 295-301.
- Maas E V (1990)** Crop salt tolerance. Chapter 13, p. 262–304. *In* 2000. Stress tolerance in transgenic tobacco seedlings that overexpress glutathione S-transferase/glutathione peroxidase. *Plant Cell ASCE Manuals and Reports on Engineering* No. 71, American Physiol. 41:1229–1234. Society of Civil Engineers, New York.
- Martínez F M, J P Retes, F H Despaigne y M. H Baldaquin (2004)** Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuba. 6 p.
- Munns R and M Tester (2008)** Mechanisms of salinity tolerance. *Plant Biology* 59: 651–81
- Munns R, S Husain, A R Rivelli, R A James, A G Condon, M P Lindsay, E Lagudah, D P Schahtman and R A Hare (2002)** Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant and Soil* 247 (1): 93-105.
- Oda M (1999)** Grafting of vegetables to improve greenhouse production. *Extension Bulletin Food y Fertilizer Technology Center* 480: 1-11.
- Pasternak D (1987)** Salt tolerance and crop production-a comprehensive approach. *Annual review of phytopathology* 25: 271-291.
- Peil R M (2003)** Grafting of vegetable crops. *Ciencia Rural*, Santa María 33(6): 1169-1177.

Rivero R M, J M Ruiz and L Romero (2003) Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food, Agriculture and Environment* 1 (1): 70-74.

Rivero R M, J M Ruíz, and L. Romero (2003) Role of grafting in horticultural plants

Rubalcaba P, A L Velázquez, T-J Acosta, B Angulo y C Eduardo (2006) Extractos vegetales y su efecto en la conductividad eléctrica de dos suelos salinos y de soluciones. *Terra Latinoamericana* 24: 83-89.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2011). Avances de siembras y cosecha 2011. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://infosiap.siap.gob.mx/index.php?idCat=207&idSegCat=1>. Consultado el 27 de febrero de 2011.

Zamudio G B, P L López, G G Alcantar, E D-R González, C J-A Ruiz y J Castellanos (2003) Delimitación de áreas salinas en el distrito de riego de Caborca, Sonora, México. *TERRA Latinoamericana* 22 (1): 91-97.

Zhu J K (2002) Salt and drought signal transduction in plants. *Plant Biology* 53:247–73

Zhu J K (2003) Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*. 6: 441-445.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Salinidad

El concepto de salinidad se refiere a la presencia o contenido de sales solubles en agua y suelo. Reigosa y Nuria (2003), mencionan que los suelos salinos son todos aquellos en los que existe una acumulación de sales elevada que interfiere con el correcto crecimiento de las plantas no especializadas. Un suelo es salino cuando presenta más de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ($40 \text{ mM de NaCl L}^{-1}$) en el extracto de saturación según el US Salinity Laboratory y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor al 15 % (Marschner, 2002).

Es necesario establecer un concepto claro y exacto sobre la tolerancia a la salinidad y las vías para determinarla. En este sentido, para definir el concepto, es necesario establecer dos aspectos fundamentales: uno biológico y otro agronómico.

Desde el punto de vista biológico: La tolerancia a la salinidad en determinada especie o variedad se debe entender como aquel nivel de salinidad hasta el cual las plantas son capaces de completar su ciclo de desarrollo y producir semillas viables (Udovenko, 1977).

Desde el punto de vista agronómico: La tolerancia a la salinidad en determinada especie o variedad se define como la habilidad de las plantas de sobrevivir y producir rendimientos rentables en condiciones de estrés salino y se expresa como la relación entre el rendimiento de una variedad en condiciones salinas con respecto a su rendimiento en condiciones normales. Con diferentes niveles de sales en el suelo esta relación puede variar, por lo que al caracterizar el grado de tolerancia de las variedades se debe indicar el nivel de salinidad del substrato (Udovenko, 1977).

En el mundo se estiman 800 millones de hectáreas afectadas por problemas de salinidad y 434 millones por condiciones asociadas a sodicidad (FAO, 2000). Otros autores han comentado que su extensión crece a razón de 3 ha⁻¹ por minuto y que actualmente se contabilizan alrededor de 953 millones de ha⁻¹ en diferentes regiones del mundo. El aumento de la salinización de las tierras cultivables se espera que tenga efectos devastadores a nivel mundial, en la pérdida de tierras del 30 % en los próximos 25 años y hasta un 50 % en el 2050 (Wang *et al.*, 2003).

Las sales solubles que se acumulan en el suelo son principalmente los iones Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ y CO₃²⁻. El daño de la salinidad se ha atribuido principalmente a un exceso de la acumulación de Cl⁻ y Na⁺ en las hojas de las plantas, que provocan un desequilibrio, pues estos iones reducen la concentración de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ (Zekri y Pearsons; 1990).

Las altas concentraciones de Cl⁻ producen quemaduras en las hojas, disminuyen la fotosíntesis e inhiben la absorción de nitratos (Aslam *et al.*, 1984). La toxicidad metabólica del Na⁺ está asociada con perturbaciones en la membrana celular y con la competencia por los sitios de enlace del potasio (K⁺) esencial para el metabolismo (Cerdea *et al.*, 1995). Una alta concentración de Na⁺ desplaza los iones de calcio (Ca²⁺) de los sitios de enlace de la membrana celular en la raíz y altera su permeabilidad, lo que causa salida de (K⁺) de las células y favorece la entrada de Na⁺ (Alam, 1994). La tolerancia a la salinidad depende de la habilidad de una especie o cultivar para controlar la absorción y el transporte de Na⁺ y K⁺ al tejido fotosintético (Testes y Davenport, 2003). Así, una alta proporción de K⁺:Na⁺ en la hoja se considera un indicador importante de la tolerancia a la salinidad (Cerdea *et al.*, 1995).

El cultivo del jitomate no se encuentra ajeno a estos problemas de salinidad ya que provoca un sinnúmero de efectos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos, tales como disminución de la fotosíntesis, menor peso de los frutos y cambios cuantitativos y cualitativos en la síntesis de proteínas por cambios en la expresión de genes, entre otros (Del Rosario *et al.*, 1990; Singh y Chatrath, 2001).

Al examinar los efectos de las sales en los órganos de las plantas de jitomate, la gran mayoría son adversos, pocos presentan un carácter positivo. Como es el caso de la germinación de las semillas, ya sean silvestres o cultivadas, pues disminuyen el porcentaje de germinación y el tiempo en que este proceso se lleva a cabo. Se han detectado al interior del género *Lycopersicon* varias especies con un grado de tolerancia a salinidad, incluyendo a *Solanum Lycopersicum*, hecho importante que demuestra que no sólo al interior de las especies de jitomates silvestres como: *Lycopersicon chilense*, *L. peruvianum*, *L. pennellii*, *L. cheesmanii* y *L. pimpinellifolium* accesiones con tolerancia a salinidad (Rick, 1982).

Estos resultados dan cuenta de la existencia de variabilidad genética en jitomate y por tanto de germoplasma importante para el mejoramiento genético a estrés salino, de modo que los esfuerzos en identificar germoplasma resistente a este estrés son válidos, especialmente en aquellas especies silvestres que presenten compatibilidad genética con los cultivares comerciales como *L. pimpinellifolium* y *L. pennellii* (Goykovic y Saavedra, 2007).

2.2 Bases fisiológicas a la tolerancia a la salinidad

La respuesta fisiológica de las plantas al estrés salino es multigénica ya que afecta varios procesos vinculados a mecanismos de tolerancia, como la producción

de compuestos osmóticamente activos, la producción de especies reactivas al oxígeno (ROS), mecanismos de defensa antioxidante, el transporte iónico y la compartimentación de iones perjudiciales en las vacuolas (Sairam y Tyagi, 2004). Otros mecanismos que explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el estrés por sales, se encuentran: el ajuste osmótico, la exclusión de iones a nivel radicular, la retención de iones en las vacuolas, la eliminación del exceso de sales a través de glándulas o estructuras especializadas y la pérdida de sales a través de la caída de las hojas y pérdida de los frutos (Reyes *et al.*, 2008).

Las plantas al crecer, en condiciones de salinidad, pueden disminuir su potencial osmótico interno, para compensar el potencial osmótico externo y mantener la actividad enzimática y el transporte de sustancias al floema y de esta manera evitar la deshidratación y la muerte (Gómez, 2001). Los mecanismos de tolerancia están enfocados en tres categorías: la tolerancia al estrés osmótico, la exclusión e inclusión de iones tóxicos en diversos órganos y la tolerancia de los tejidos (Munns y Tester, 2008).

El ajuste osmótico está generalmente ligado a la síntesis de solutos orgánicos, como la betaína, colina, glicina-betaína, prolina y sacarosa y/o a la acumulación de iones inorgánicos. En tal sentido, se ha observado el ajuste osmótico a través del incremento de los niveles de prolina en tallos y raíces de las especies *Trifolium repens* y *Trifolium alexandrinum* (Vasshney, 1988). La acumulación de prolina estabiliza las membranas y los componentes subcelulares, incluyendo el complejo II de la cadena de transporte electrónico mitocondrial (Delauney, 1993). La prolina, betaína, glicina-betaína, carbohidratos y proteínas (osmotina) han sido empleados como patrón importante para la selección de genotipos tolerantes a este tipo de

estrés (Feitosa, 2001). Por lo que su estudio en el germoplasma disponible en condiciones de salinidad puede emplearse, conjuntamente con otros indicadores fisiológicos y bioquímicos, para la identificación de germoplasma tolerante a estrés salino (Argel *et al.*, 2010).

La exclusión de iones a nivel radicular y la retención de iones en las vacuolas de las raíces en crecimiento y en los diferentes órganos, permiten que las plantas toleren concentraciones extracelulares muy elevadas de sales. El antitransportador Na^+/H^+ SOS1 (del inglés salt overly sensitive) es la única proteína, caracterizada hasta el momento, involucrada en el eflujo de Na^+ de la membrana plasmática de células vegetales. Los mutantes de *Arabidopsis thaliana* deficientes de SOS1 son extremadamente sensibles a la sal y tienen defectos combinados en la exclusión de Na^+ y su transporte a larga distancia desde la raíz a los brotes. SOS1 se encuentra expresado en la epidermis de la punta de la raíz y en el parénquima del xilema a lo largo de toda la planta (Shi *et al.*, 2002).

Exclusión del Na^+ de la lámina de hoja. La exclusión del Na^+ por las raíces asegura que no se acumule concentraciones tóxicas en las hojas. Un fallo de la exclusión del Na^+ manifiesta su efecto tóxico después de días o semanas, dependiendo de la especie y causa la muerte prematura de las hojas más viejas (Munns y Tester, 2008).

Tolerancia de los tejidos. La tolerancia requiere compartimentalización de Na^+ y Cl^- a nivel celular e intracelular para evitar concentraciones tóxicas dentro del citoplasma, especialmente en las células del mesófilo de la hoja (Munns y Tester, 2008).

2.3 Bases genéticas a la tolerancia a la salinidad

Las investigaciones encaminadas a conocer la base genética de la tolerancia a la salinidad son aún escasas, se ha logrado definir que es un carácter de origen poligénico, esto significa que es regulado por varios genes localizados en varios locis de diferentes grupos de cromosomas (Gregorio *et al.*, 2002). Al respecto, cabe recordar que la tolerancia a los diferentes agentes estresantes, se encuentra conferida por caracteres expresados en los cuatro niveles de organización: desarrollo, estructural, fisiológico y metabólico (González *et al.*, 2002). De este modo, mientras que algunas plantas presentan gran plasticidad fenotípica, en otras la tolerancia muestra una base genética, que parece depender de varios genes con caracteres aditivo y dominante (Iglesias, 1994). Pese a lo anterior planteado, un punto favorable en el mejoramiento genético para la tolerancia a la salinidad, lo constituye el hecho de que no se ha identificado un antagonismo marcado en el alto rendimiento; varios autores en el mundo han indicado que unas de las formas de vencer los efectos moderados de la salinidad en las plantas lo constituye el uso de especies y variedades a dicho estrés (González, 2000).

La variabilidad en la tolerancia al estrés salino aparece entre grupos de plantas taxonómicamente distintos, pero también entre especies estrechamente relacionadas, e incluso entre variedades de una misma especie y entre individuos de una misma línea varietal (Tester y Davenport, 2003) (Figura 4). La base genética para la tolerancia a la salinidad debe de tomar en cuenta los siguientes aspectos.

Diversidad genética: El mejoramiento genético requiere diversidad alélica o una base genética amplia para explorar rasgos deseables y desarrollar cultivares

nuevos o con características novedosas como la tolerancia a la salinidad (Greenpeace, 2000).

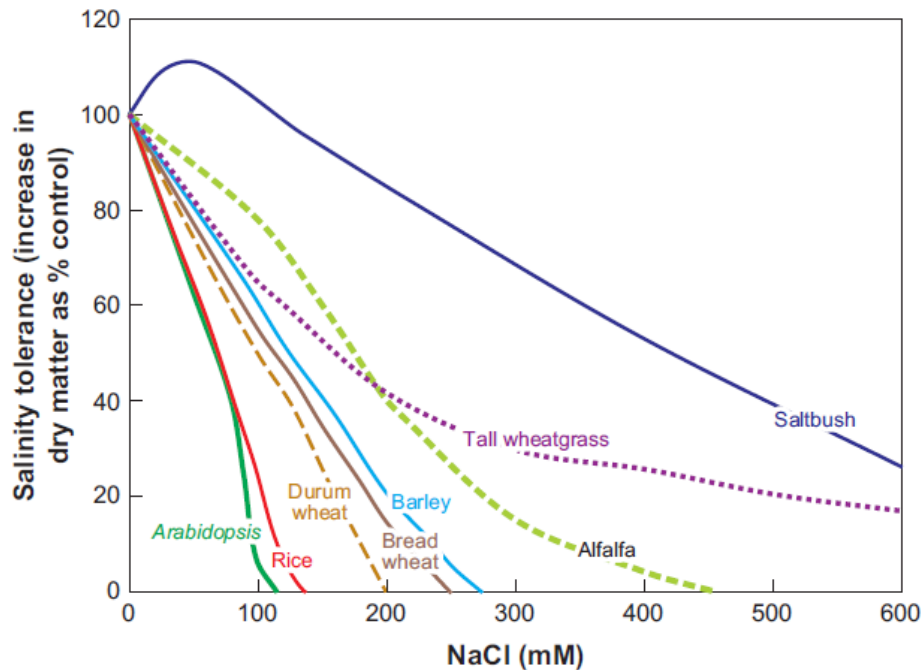


Figura 4. Variación en el peso seco de la parte aérea de distintas especies de plantas cultivadas durante tres semanas en presencia de NaCl, respecto al valor de peso seco de plantas cultivadas en ausencia de NaCl (Munns y Tester, 2008).

El papel de las especies nativas: Las variedades nativas o locales son poblaciones dinámicas muy heterogéneas en comparación con los cultivares modernos y poseen una variabilidad fenotípica (Camacho *et al.*, 2006). La variabilidad contribuye a su adaptación a condiciones estresantes, tanto bióticas como abióticas, ya que las poblaciones nativas dependen de los recursos locales y los sistemas agrícolas en que se cultivan (Mercer y Perales, 2010).

La inducción de mutaciones: Las radiaciones ionizantes y los múgatenos químicos constituyen un instrumento valioso de utilidad en el mejoramiento genético de las especies vegetales, ya que permiten mediante la inducción de mutaciones crear variabilidad genética que no existe en la naturaleza o que existe y no está al alcance del mejorador. Las mutaciones que afectan a caracteres poligenicos, como la tolerancia a la salinidad, se manifiestan fenotípicamente en forma casi imperceptible y algunos autores sostienen que su importancia es grande en los programas de mejora por mutagenesis artificial.

El uso de métodos biotecnológicos: El cultivo de tejidos o células se ha convertido en el eje sobre el cual giran las nuevas tecnologías del mejoramiento genético de las plantas, cuyo uso se ha generalizado gracias a la aparición de mutaciones a partir de la variación somaclonal, que pueden ser muy importantes cuando existe interés en una variación genética adicional, cuando se quieren producir plantas transgénicas portadoras de genes con interés agronómico (Pérez, 1997).

Transgénicos: El mejoramiento de plantas mediante la inserción de un fragmento de ADN usando ingeniería genética representa una oportunidad para desarrollar cultivares o variedades con características económicamente deseables, como conferir ventajas adaptativas al medio ambiente, mejores propiedades nutrimentales y disminución del uso de agroquímicos (Quiroz *et al.*, 2012). Por técnicas de ingeniería genética se ha obtenido plantas transgénicas de tomate tolerantes a salinidad que sobre expresan el gen *AtNHX1* de *Arabidopsis thaliana* que codifica para canales en vacuola Na^+/H^+ ; estas plantas fueron capaces de crecer

y desarrollar frutos en condiciones salinas (NaCl), a pesar que en hojas se detectó una elevada concentración de sodio, los frutos contenían bajas cantidades de sodio. En contraste a lo que se obtiene mediante mejoramiento convencional en donde se integran múltiples caracteres para obtener cultivos tolerantes bajo estas condiciones, usando esta tecnología se logró el objetivo de la adición de un solo carácter (Zhang y Blumwald, 2001).

2.4 Bases moleculares y bioquímicas a la tolerancia a la salinidad

El estrés salino afecta la homeostasis de iones a nivel celular, así como la homeostasis osmótica. El exceso de Na^+ y Cl^- pueden dar lugar a cambios conformacionales en la estructura de proteínas y / o cambios en la membrana del potencial eléctrico de plasma, mientras que el estrés osmótico conduce a la pérdida de turgencia y el cambio de volumen de la célula (Chinnusamy y Kang 2003). La salinidad induce la biosíntesis y la acumulación de hormonas como el ABA y también induce la acumulación de especies reactivas del oxígeno (ROS) y numerosos genes (Jía *et al.*, 2002). Estos se traducen en proteínas y enzimas que contribuyen a la tolerancia al estrés salino (Reyes, 2008).

RuBisCO activasa (RCA): Se ha demostrado que esta enzima aumenta su concentración tanto a las 24 horas como a los siete días de estrés salino (Perker, 2006). Esta enzima pertenece a la familia de proteínas AAA^+ que tienen diversas funciones semejantes a chaperonas. La misión principal de esta enzima es mantener la actividad catalítica de la RuBisCO por eliminación de los azúcares inhibitorios del sitio activo de carboxilación descarboxilación de esta enzima (Portis, 2003). Los niveles incrementados de esta enzima pudieran requerirse para tolerar el estrés

salino a largo plazo, debido a una reducción directa de la conductancia estomática y sus subsiguientes bajos niveles de CO₂, permitiendo la carboxilación en estas condiciones.

Ferritina: La ferritina vegetal es una proteína almacenadora de hierro, que es capaz de acomodar 4500 átomos de hierro en su cavidad central y puede ser utilizada para regular la concentración de sodio y prevenir su toxicidad.

ATP sintasa: La ATP sintasa es un gran complejo proteico de 400 kDa. Consiste en una porción integral de membrana CF₀ y una porción extrínseca CF₁. CF₀ forma un canal transmembrana para la translocación de protones. El incremento de la ATP sintasa pudiera estar asociado con un aumento transitorio de la tasa fotosintética y el incremento de la enzima fosfoglicerato quinasa, que participa en el ciclo de Calvin. El aumento de la síntesis de ATP en plantas de arroz estresadas pudiera estar dado por la necesidad de energía para los mecanismos de transporte secundario. El ATP puede transportarse desde el estroma, para sostener el incremento en la actividad de las H⁺ATPasas requeridas para incrementar la actividad antiporte (NHX1 y SOS1), en la membrana plasmática y en los tonoplastos, durante el estrés salino (Reyes, 2008).

Proteína LEA: Es una proteína sobre expresada en el cultivo de arroz, codificada por los genes HVA1 activada para tolerar déficit hídrico en el tejido vegetal.

Los avances en genética celular y molecular han aportado un conjunto de herramientas que pueden incrementar la eficacia de los métodos de mejoramiento y permitir vías no convencionales (Kush, 1995). Entre las principales ventajas que aportarán se encuentran: el desarrollo de mapas genéticos saturados; el aislamiento,

clonación y secuenciación de genes; el marcado o etiquetado de genes cualitativos, la identificación de rutas bioquímicas completa, la selección asistida por marcadores y la transferencia de genes a través de barreras de cruzabilidad desde especies silvestres (Pérez, 1997).

Sin embargo existen investigaciones donde utilizaron estrategias para localizar mediante marcadores moleculares el poliformismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP), los genes que confieren tolerancia a la salinidad en arroz, que se encuentra determinada por una herencia poligenica dominante (Iglesias, 1994).

Otros investigadores comentan que los primeros avances conducentes a la generación de variedades cultivadas con relativa tolerancia a la salinidad proceden de la genética clásica, asociada más recientemente a las técnicas de biología molecular que han permitido la identificación de QTLs (*Quantitative Trait Loci*) específicos de la tolerancia a salinidad, en jitomate y arroz. Aunque los programas de mejora genética de las especies cultivables sólo han podido lograr variedades moderadamente tolerantes al estrés salino en todos los estados de desarrollo de la planta. De 1993 a 2003, se han publicado estudios realizados en 13 especies, sobre todo arroz, tabaco y *Arabidopsis*, basados en técnicas de transformación con uno o dos genes por especie. Así, se han estudiado aproximadamente 40 genes que presentan una posible implicación en la tolerancia a la salinidad (Bastias, 2008).

2.5 Injerto en jitomate

2.5.1 Definición de injerto

El injerto en plantas es la unión de una porción de tejido vegetal viviente de dos plantas distintas para que se desarrollen como una sola planta (Hartmann *et al.*, 2002).

2.5.2 Antecedentes de los injertos

El injerto se comenzó a practicar en plantas leñosas por los Chinos en los años 1000 A. C. Aristóteles en sus obras hacía mención de los injertos con bastante detalle. El injerto fue muy popular en el Imperio Romano y desde entonces ya se practicaban los diferentes tipos y formas de esta actividad. Inglaterra, desde el siglo XVI ya practicaba como una actividad común al injerto y se conocía desde entonces la importancia de hacer coincidir las capas de cambium, aunque se desconocía la función de este tejido. En el siglo XVII comenzaron los estudios sobre el injerto, Duhamel estudio la unión del injerto leñoso, su trabajo lo continuó Vochting a finales del siglo XIX (Camacho y Fernández, 1999).

La producción de plantas injertadas se inició en Japón y Corea a fines de los años 20 con sandía (*Citrullus lanatus*) injertada sobre patrón de calabaza (Lee, 1994). Posteriormente, en los 50 se injertó berenjena (*Solanum melongena* L.) sobre berenjena (*Solanum integrifolium* Poir.) (Oda, 1993). En 1917 en la Universidad Agrícola de Nara, Tachisi publicó la técnica de injerto de púa y en 1923, Batanabe describió el método de injerto de púa oblicua. El origen del injerto en solanáceas fue a partir de las investigaciones hechas por Bravenboer en 1962 (Louvet, 1974). En América, la técnica del injerto en hortalizas es poco conocida y su investigación no

ha sido abordada consistentemente, a diferencia de países Europeos y Asiáticos, donde se ha utilizado por muchos años (Rojas *et al.*, 1997).

Esta tecnología innovadora ha sido practicada exitosamente en solanáceas y cucurbitáceas tales como berenjena, tomate, pimiento, sandía, pepino y melón, particularmente en Asia (Japón, Corea, China e Israel) y Mediterráneo (España, Italia, Turquía y Moroco) (Lee, 2007 y Oda 2007).

En Estados Unidos de Norte América (Kubota y McClure 2007) y México se injertan en promedio 40 millones de plantas de jitomate. Los tipos de jitomate en los que se practica esta técnica son tipo bola y tipo saladette, para la producción en invernadero y malla sombra y en menor escala en campo abierto (PRODUCTORES de HORTALIZAS, 2008).

En jitomate, el uso de plantas injertadas es útil para diversos fines, con comprobadas respuestas favorables en condiciones adversas (Palada y Wu, 2007). Las plantas injertadas pueden tener tolerancia a estrés por temperaturas, tolerancia a condiciones de sequía del suelo y salinidad (Godoy y Castellanos, 2009). Este último por interacciones estiónicas que modifican la planta para tolerar la salinidad y como resultado mayor tasa de crecimiento, tamaño y calidad de los frutos, a través de su contenido en ácido ascórbico y de sólidos solubles totales (Balliu *et al.*, 2008). Las plantas injertadas incrementan 16 y 38 %, según el portainjerto utilizado y con efectos favorables del injerto sobre la cantidad de sólidos solubles, capacidad antioxidante, contenido de vitamina C, licopeno y β -carotenos (Qaryouti, 2007).

2.5.3 Objetivo del uso de portainjertos

Los portainjertos se utilizan con el objetivo de brindar tolerancia a salinidad, bajas temperaturas (Lee, 2003), patógenos del suelo (González, 1999), nematodos en la raíz, resistencia a excesos de humedad, sequía y mejor absorción de agua y nutrientes, lo que resulta en un crecimiento vigoroso y prolongación del periodo de crecimiento (Nawashiro, 1994 y Ozores, 2010); así también como calidad y uniformidad de producción (Peil y Gálvez, 2004). Por otro lado, el injerto simplifica y acorta los programas de mejoramiento genético (Oda, 1999).

Complemento al mejoramiento genético del tomate: El injerto crea una nueva planta de tomate por el contacto de la unión física de una planta patrón y la variedad (injerto). Esto apunta que el injerto es una tecnología más rápida que el mejoramiento genético al combinar las ventajas de la resistencia a enfermedades y factores abióticos del patrón con las características hortícolas de la variedad a ser injertado. Además, el uso de tomates injertados tiene el potencial de acelerar el proceso de mejoramiento y tomar todas las ventajas del germoplasma del tomate. Se conoce que algunos patrones disponibles comercialmente son híbridos interespecíficos derivados de *Lycopersicon esculentum* y *L. hirsutum* (Oda, 2007). Variedades comerciales con características deseables en la parte aérea de la planta (tales como calidad de fruta y resistencia a enfermedades foliares e insectos) pueden ser injertadas sobre variedades de patrones que poseen características deseables en la raíz (tal como la tolerancia a patógenos del suelo y factores abióticos) (Ozores, 2010).

Como alternativa al bromuro de metilo: En la producción comercial del tomate, la disponibilidad de fumigantes de amplio espectro junto con la disminución

en la rotación de cultivos y disponibilidad de tierra, han creado una dependencia en la mezcla de Bromuro de metilo/Cloropicrin para el control de patógenos y nematodos. Con la prohibición del bromuro y su salida gradual de los Estados Unidos descrito en el protocolo de Montreal, se han intensificado los esfuerzos en el estado de Florida para encontrar alternativas al control químico. Por lo que los injertos han ofrecido un medio efectivo para el control de enfermedades y le han puesto más interés en su uso (María *et al.*, 2010).

2.5.4 Técnicas para injertar jitomate

Existen una gran variedad de técnicas de injerto utilizados en hortalizas. Sin embargo, el injerto de aproximación y el injerto por estaca son las dos técnicas básicas de donde se derivan las demás. Para el éxito del injerto es importante considerar que las plántulas que van a fungir como portainjerto e injerto se encuentren en estado de crecimiento adecuado para cada técnica de injerto. Para el injerto de tomate, la técnica más común es aquella en donde el portainjerto pierde sus hojas y el injerto su sistema radicular, o en el que una planta de las asociadas pierde ya sea su follaje o sus raíces (Rodríguez, 1988).

Injerto por la técnica de empalme o inglés: Es la más adecuada para el injerto en solanáceas y cucurbitáceas (Figura 5). Al realizar el injerto, las plantas que van a fungir como portainjerto e injerto deben de tener la primera hoja verdadera abierta. Es necesario sincronizar la siembra cuando se conoce que existe crecimiento diferenciado entre el portainjerto e injerto, de tal forma que se encuentren en el mismo estado de crecimiento en el momento de la práctica de injerto (Peil, 2003).

Injerto por la técnica de púa: El método de púa, que consiste en hacer un corte horizontal un centímetro debajo de los cotiledones en las plántulas que sirven como portainjertos, y en las plántulas que serán injertadas se hace una incisión en forma de púa (Figura 6) un centímetro arriba de los cotiledones para insertarla en la plántula que servirá como portainjerto. Después de insertar la plántula se colocó un broche de silicón para mantener unidos ambos componentes. Las plántulas ya injertadas se colocan en una cámara de prendimiento, con temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ y humedad relativa de 90 a 95 %, durante 6 días. Posteriormente, las plántulas ya injertadas se colocan en un invernadero con malla sombra al 35 % durante 4 días para su adaptación; finalmente, las plántulas injertadas se llevan al invernadero para su trasplante definitivo.

2.5.5 Formación de la unión del injerto

La formación de la unión de injerto se entiende como la cicatrización de la herida que se origina al realizar el injerto (Hartman y Kester, 2001).

- a) El tejido recién cortado del portainjerto y del injerto al juntarse íntimamente y al entrar en contacto las regiones cambiales de ambos, inicia el crecimiento de estas células, gracias al estímulo de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura y de la humedad relativa.
- b) Posteriormente, las células de la región cambial del portainjerto y del injerto producen células del parénquima, que se entremezclan y entrelazan para dar origen a tejido del callo (*Ibid*).
- c) Algunas células del nuevo callo se diferencian en nuevas células cambiales produciendo nuevo tejido vascular estableciendo de esta forma conexión

vascular entre el portainjerto y el injerto, indispensable para el éxito de la unión del injerto (*Ibid*).

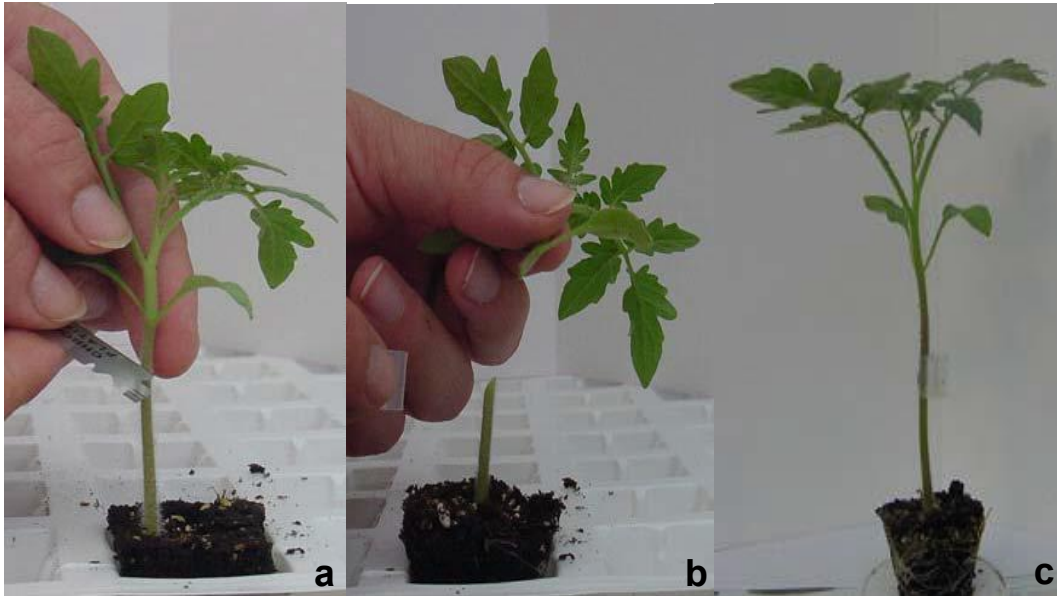


Figura 5. a) corte biselado (45°); b) colocación del clip para unir el patrón y la variedad que funge como injerto y c) planta recién injertada.

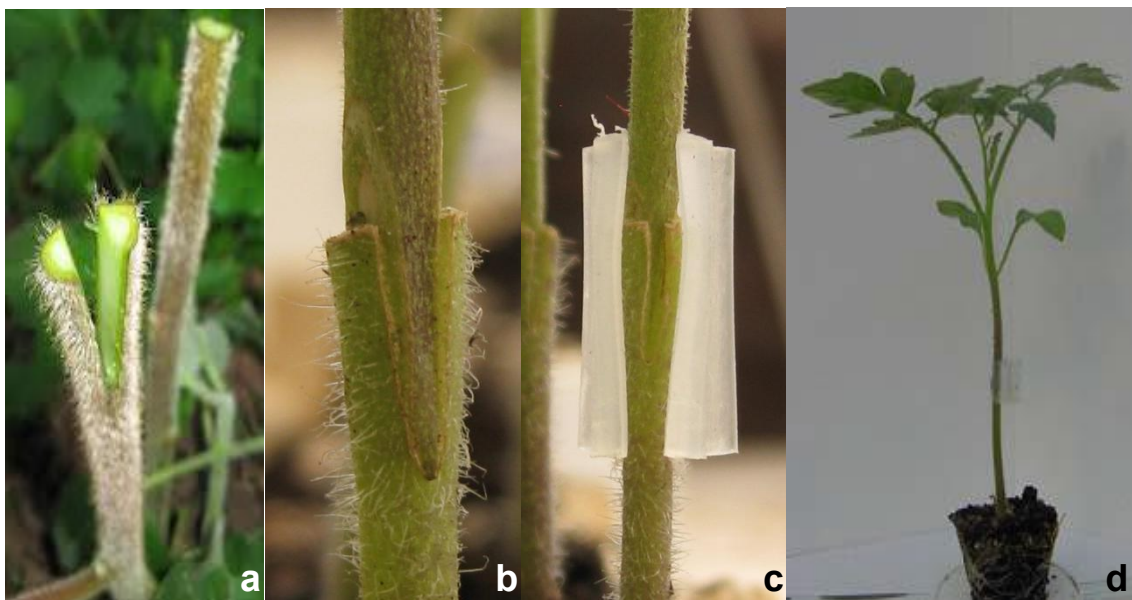


Figura 6. a) corte en forma de púa; b) inserción de la variedad al portainjerto; c) planta sostenida con clips de silicón y d) planta injertada.

En el caso del jitomate, la capacidad de formar la unión de injerto aumenta con el tiempo. La formación de la unión es lenta al inicio y se acelera después de una avanzada fase de injerto. El éxito de la unión de injerto depende de la rápida división celular en los tejidos cercanos a las superficies opuestas de la unión. Durante los primeros 4 días existe una división celular activa y un aumento en el número de traqueidas. En los siguientes 3 días las traqueidas continúan diferenciándose pero no incrementan en número. La resistencia al injerto se basa en la cantidad de polisacáridos depositados en la unión, mientras mayor sea la cantidad de polisacáridos mayor será la resistencia del injerto a las condiciones climáticas. La restauración de la continuidad vascular se forma al final de la primera fase y durante la segunda fase, favorecida por el aumento en número de traqueidas (Camacho, 1999).

2.5.6 Factores que influyen en la unión del injerto

Compatibilidad: En injertos, la unión y continuidad de los vasos del xilema es una de las formas confiables para estimar compatibilidad entre injerto y portainjerto, y conocer así los posibles problemas que pudieran ocurrir en el desarrollo de plantas injertadas (Nieto y Borys, 1999). En plántulas de tomate “Fanny”/AR-9704” a los ocho días después de injertarlas se observó que el xilema y floema en el punto de unión del injerto estaba totalmente fusionados y en plena actividad enzimática del tipo peroxidasa y catalasa, implicadas en la unión del injerto (Fernández *et al.*, 2004).

Temperatura: Tiene un marcado efecto sobre la formación de tejido de callo. En injertos de cucurbitáceas se recomienda mantener la temperatura de 25 a 26 °C

durante la fase de unión del injerto. Mientras que para jitomate es de 20 a 25 °C (Miguel, 1997).

Humedad: Las células del parénquima que constituyen el tejido de callo son de pared delgada y delicada, por lo tanto son sensibles a la deshidratación si se exponen al aire durante mucho tiempo. La presencia de películas de agua sobre la unión del injerto favorece la formación del tejido de callo en mayor abundancia y esto se logra con un porcentaje de humedad del 100 %.

Superficie de contacto: Si se pone en contacto solo una reducida porción de las regiones cambiales del patrón y de la variedad, la unión será deficiente y aunque exista una buena cicatrización y no habrá suficiente movimiento de agua en el sistema vascular y se producirá un colapso de la planta injertada (Miguel, 1997).

Oxígeno: La presencia de oxígeno es importante debido a la demanda que existe en el proceso de respiración para que se lleve a cabo la división y crecimiento de las células.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

Tester M and R Davenport (2003) Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants.

Annals of Botany 91: 503-527.

Hasegawa P M, R A Bressan, J K Zhu and H J Bohnert (2000) Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology 51: 463-499.

Balliu A, G Vuksani, T Nasto, L Haxhinasto, S Kaçiu (2008) Grafting effects on tomato growth rate, yield and fruit quality under saline irrigation water. Acta Horticulture 801:1161-1166.

- Camacho, V T, N Maxted, M Sholten and B L Ford (2006)** Defining and identifying crop landraces. *Plan Genetic Resources* 3: 373-384.
- Chinnusamy V y J Zang (2003)** Plant salt tolerance. *Topics in Current Genetics*. 4:242-270.
- Fernández G N, M Carvajal y E Olmos (2004)** Graft union formation in tomato plantas: peroxidase and catalase involvent. *Annals of Botany* 93: 53-60.
- Godoy, H. H, y J Castellanos (2009)** El injerto en tomate. In: *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Celaya, Guanajuato, México. Ed. Intagri. 458p.
- González L M (2000)** Avances en las investigaciones sobre la tolerancia del arroz (*Oryza sativa* L.) a la salinidad y/o sodicidad en Cuba. *Alimentaria* 314: 119-123.
- Greenpeace (2000)** Centros de diversidad. La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética. Informae de Greenpeace elaborado por Van Aken, J. Greenpeace México, Kinetica buró creative/Elsa Marin. México, D.F. p. 32-34.
- Gregorio G B, D Senadhira, R D Mendoza, N L Manigbas, J P Roxas, y C Q Guerta (2002)** Progress in breeding for salinity tolerance and associated abiotic stresses in rice. *Field Crops Research* 76: 91-101.
- Hartmann H T y D E Kester (2001)** Propagación de plantas: Principios y prácticas. Quinta reimpresión. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. México D. F. 470 p.
- Iglesias L (1994)** Revisión sobre diversos aspectos relacionados con la tolerancia al estrés de calor en plantas. *Cultivos Tropicales* 2: 99-107.

- Jia W, Y Wang, S Zhang and J Zhang (2002)** Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *Journal Experimental Botany* 53: 2201-2206.
- Lee S G (2007)** Production of high quality vegetable seedling grafts. *Acta Horticulturae* 759:169-174.
- María G F, L Gómez, M Rodríguez, M Piñón A Casanova, O Gómez y Y Rodríguez (2010)** Respuesta de genotipos de solanáceas frente a *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood Raza 2 y *M. arenaria* (Neal) Chitwood. *Protección Vegetal* 25 (1): 51-57.
- Mercer K L and H R Perales (2010)** Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications* 3: 480-493.
- Miguel A (1997)** Injerto en hortalizas. Ed. Generalitat valencia. Consejería de agricultura, pesca y alimentación. I.S.B.N.: 84-482-1601-6. Valencia España. 28 p.
- Munns R H and M Tester (2008)** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology* 59:651-681.
- Nieto Á R y M. W Borys (1999)** Relaciones fisiológicas y morfológicas de injertos de frutales sobre tejocote (*Crataegus* spp.) como portainjerto. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 137-150.
- Oda M (2007)** Vegetable seedling grafting in Japan. *Acta Horticulturae* 759:175-180. Researchers look at grafting to solve problems in tomatoes. The vegetable growers news. November 2006: 20, 22.

- Ozores H M, X Zhao y M Ortez (2010)** Introducción a la tecnología de injertos a la industria de tomates en la Florida: Beneficios potenciales y retos. HS1187 Dto. de Horticultural Sciences. University Florida. Pp. 1-7.
- Palada MC and Wu D L (2007)** Increasing off-season tomato production using grafting technology for peri-urban agriculture in Southeast Asia. *Acta Horticulturae* 742:125-131.
- Peil R M y F L Gálvez (2003)** Grafting of vegetable crops. *Ciencia rural* 6: 1169-1177.
- Pérez, de la V (1997)** El uso de marcadores moleculares en genética vegetal y mejora. *Investigación agraria Producción y protección vegetales* 12: 33-60.
- Qaryouti M M, W Qawasmi, H Hamdan and M Edwan (2007)** Tomato fruit yield and quality as affected by grafting and growing system. *Acta Horticulturae* 741:199-206.
- Quiroz C J, G P María y F F-R Quiroz (2012)** Mejoramiento vegetal usando genes con funciones conocidas. *Ra Ximhai* 3: 79-92.
- Reyes Y, L M Mazorra y M Nuñez (2008)** Aspectos fisiológicos y bioquímicos de la tolerancia del arroz al estrés salino y su relación con los brasinosteroides. *Cultivos tropicales* 29 (4): 67-75.
- Shi H, F J Quintero, J M Pardo and J K Zhu (2002)** The putative plasma membrane Na^+/H^+ antiporter SOS_1 controls long-distance Na transport in plants. *Plant Cell* 14: 465-477.
- Zhang, H. X. and E Blumwald (2001)** Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnology* 19: 765-768.

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1 Objetivo general

Evaluar líneas de jitomate nativo para su uso como portainjertos tolerantes a salinidad en condiciones de agricultura protegida.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el grado de variación intrapoblacional en características de interés agronómico en una muestra de 120 selecciones individuales derivadas de una población nativa de jitomate del estado de Puebla.
- Evaluar la respuesta de 48 líneas de jitomate nativo y dos testigos comerciales en cinco niveles de conductividad eléctrica: 4, 6, 8, 10 y 12 dS m⁻¹.
- Evaluar la respuesta de los híbridos Sun 7705 (tipo saladette) y joya (tipo bola) injertados sobre líneas derivadas de una población nativa de jitomate y en la variedad comercial "Maxifort", cultivados en tres conductividades eléctricas: 4, 8 y 12 dS m⁻¹.

3.3 Hipótesis

- Al menos una línea de jitomate nativo es tolerante a salinidad y puede ser útil como portainjerto.
- Líneas nativas de jitomate responden diferencialmente a la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.
- Líneas nativas de jitomate tienen un comportamiento similar o superior al portainjerto comercial en rendimiento y calidad, cuando son cultivados en conductividades eléctricas de la solución nutritiva elevados.

**IV. VARIACIÓN EN CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS
AGRONÓMICO DENTRO DE UNA POBLACIÓN NATIVA DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

**VARIATION IN CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL INTEREST WITHIN A
NATIVE TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) POPULATION**

**Felipe Sanjuan Lara^{1*}, Porfirio Ramírez Vallejo¹, Prometeo Sánchez García¹,
Manuel Livera Muñoz¹, Manuel Sandoval Villa¹, José Cruz Carrillo Rodríguez²,
Catarino Perales Segovia³**

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México. ² Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex hacienda de Nazareno. 68120, Xoxocotlán, Oaxaca. México. Tel. y fax: 01 (951) 70788. ³ Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes 20157. Aguascalientes México.

* Autor para correspondencia (felisl15@hotmail.com)

RESUMEN

México es un país con gran diversificación de poblaciones nativas y variantes silvestres de jitomate, pero poco estudiadas, por lo que se requiere explorar y conocer su potencial genético como fuente para mejorar la productividad, tolerancia a sequía, salinidad y resolver problemas fitosanitarios. Con el objetivo de determinar la variabilidad genética existente en 120 selecciones individuales de jitomate derivadas de una población nativa del estado de Puebla y con base en características de interés agronómico, ésta, se sembró y caracterizó en casa sombra a los 60 días después del trasplante. El análisis de varianza detectó diferencias significativas en

las seis variables evaluadas en las selecciones individuales de jitomate. El análisis de componentes principales mostró que las variables calificación general y diámetro de tallo fueron las de mayor valor para describir el 59.7% de la variabilidad morfológica de las 120 selecciones individuales de jitomate nativo. La representación gráfica de los dos principales componentes de poblaciones se integraron en seis grupos distribuidos en cuatro cuadrantes. Los grupos I y VI concentraron las selecciones individuales sobresalientes en diámetro de tallo, altura de planta, número de racimos con fruto, plantas sanas y uniformes; El grupo II aglutinó el 84% del total de las poblaciones individuales, y los grupos III y IV se caracterizaron por integrar selecciones individuales de regulares a malas.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., componentes principales, población nativa.

SUMMARY

Mexico is a country with a great diversity of native populations and natural variants of tomato, although they have been scarcely studied. Therefore, it is important to explore and learn their genetic potential as a source to improve productivity, tolerance to drought and salinity, and to solve phytosanitary problems. In order to determine the existing genetic variability in 120 tomato individual selections derived from a native population in the state of Puebla, and based on characteristics of agricultural interest, they were planted under shading and characterized 60 days after transplanting. The variance analysis detected significant differences in the six variables evaluated in the tomato individual selections. The analysis of the main components showed that the variables: general grade and stem diameter were the most valuable to describe 59.7% of the morphological variability in the 120 native tomato individual selections. The graphic representation of the two main components integrates the populations into six groups distributed in four quadrants. Groups I and VI concentrated outstanding individual selections with regard to stem diameter, plant height, number of fruit racemes, and healthy and uniform plants. Group II included 84% of the total individual selections, while groups III and IV were characterized for integrating regular to bad individual selections.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., main components, native population.

INTRODUCCIÓN

La diversidad de especies vegetales comestibles se concentra mayormente en centros de diversidad localizados en países en desarrollo (Bastias, 2008). Una de estas especies es el jitomate, hortaliza de importancia económica domesticada en México, de la que existe una gran variabilidad morfológica, además de evidencias lingüísticas, arqueológicas y etnobotánicas (Rick y Fobes, 1975; Rick, 1979). Actualmente esta especie presenta una gran diversificación en forma de poblaciones nativas y silvestres, aunque ésta ha sido escasamente documentada en sus características físicas (Rick, 1978; Rick y Holle, 1990; Jones, 2000; Peralta, 2007; Ramírez, 2010; Méndez *et al.*, 2011); así como en su potencial genético y aprovechamiento directo o como fuente de genes para el mejoramiento (Carrillo y Chávez, 2010).

En la actualidad, es posible encontrar tanto poblaciones nativas cultivadas en diferentes regiones agrícolas del país como poblaciones silvestres, estas últimas ampliamente distribuidas en reservas ecológicas en las que se les encuentra asociadas a cultivos, en los cuales eventualmente se convierten en malezas (Rodríguez *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2009; Ramírez, 2010). Esta distribución ha permitido a las poblaciones desarrollar características especiales de adaptación a factores bióticos y abióticos, que determinan la extensión de la variabilidad biológica de la especie (Ramanatha y Hodgkin, 2002; Álvarez *et al.*, 2009).

Con relación a la variación morfológica en poblaciones nativas, estudios realizados con 49 poblaciones nativas cultivadas del estado de Oaxaca mostraron diferencias significativas en 19 características fenológicas y morfológicas de planta, tallo, hoja, flor y fruto (Carrillo y Chávez, 2010). En tanto que, poblaciones silvestres

del estado de Michoacán no mostraron diferencias en color de fruto (rojo), color de flor (amarillo), margen de foliolos (aserrados) y hábitos de crecimiento (rastrero-trepador) (Álvarez *et al.*, 2009).

La acumulación de materia seca es una característica de importancia agronómica, ya que un incremento proporcional de biomasa garantiza un incremento en el rendimiento, las diferencias entre genotipos se manifiesta aún en estado temprano de plántula. Diferencias estadísticas en la morfología de 48 familias de jitomate nativo dentro de una población, en condiciones de estrés salino y estado de plántula, fueron encontrados por (Sanjuan *et al.*, 2010). En tanto que, en diez líneas de jitomate obtenidas de una población nativa, expuestas a tres concentraciones de solución nutritiva, se encontraron diferencias estadísticas en rendimiento, con niveles similares a los testigos bola y tipo saladette (González *et al.*, 2012).

El conocimiento de la morfología y los aspectos fisiológicos del germoplasma nativo es crítico debido a que la brecha entre germoplasma conservado y caracterizado y evaluado es considerable, esto significa que a nivel mundial se estima que el 80% de las muestras carecen de datos de caracterización y no han sido evaluadas agronómicamente; situación que es preocupante debido a que la colecta y conservación de los recursos filogenéticos está sin información acerca de sus características morfológicas y fisiológicas, lo que convierte a las colecciones en simples depósitos de material biológico sin mayor utilidad (Bastias, 2008). Para contribuir al conocimiento acerca del grado de variación en características de interés agronómico de poblaciones nativas se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue evaluar el grado de variación intrapoblacional en características de interés

agronómico en una muestra de 120 selecciones individuales derivadas de una población nativa de jitomate del estado de Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y evaluación agromorfológica

Se evaluaron selecciones de jitomate (120) obtenidas por selección de plantas individuales sobresalientes en una población nativa. La selección se realizó en bioespacio en el municipio de Zinacatepec, Puebla, cuyas coordenadas geográficas son 18° 17' 30" y 18° 23' 00" de LN, 97° 09' 18" y 97° 15' 54" de LO, y una altitud de 1100 m. Las selecciones individuales se evaluaron en un bioespacio cubierto con malla antiafidos, sistema de riego por goteo, camas de suelo y acolchado plástico. Las 120 selecciones se sembraron en el mes de febrero de 2010 en charolas de unisel de 200 cavidades, con peat moss como sustrato.

Se trasplantaron 20 plántulas de cada selección de forma consecutiva. El riego se hizo diariamente, la nutrición del cultivo se realizó con base en la solución Steiner, modificada de acuerdo a los resultados del análisis químico de agua calculada en meq L⁻¹ con las siguientes concentraciones de aniones y cationes 12NO₃⁻, 1H₂PO₄⁻, 0.5SO₄⁻², 6K⁺, 3Ca⁺², 1Mg⁺². La toma de datos se realizó 60 días después del trasplante, en características de interés agronómico con base en el descriptor para *Solanum spp*, del International Plant Genetic Resources Intitute (IPGRI, 1996). Las características agronómicas evaluadas fueron: diámetro de tallo en la base (cm), altura de planta a los 60 ddt (cm), número de racimos con fruto, severidad general, uniformidad general y calificación agronómica general (Cuadros 3, 4, 5 y 6).

Cuadro 3. Características de interés agronómico evaluadas en una población de 120 selecciones individuales de jitomate nativo del estado de Puebla, 2010.

Variables	Característica	Unidad	Acrónimo
Morfología (Planta)	Diámetro de tallo	cm	DT
Longitud	Longitud de planta (60 ddt)	cm	LG
Componente de rendimiento	No. de racimos con fruto	Numérico	NRC

Cuadro 4. Escala de reacción utilizada en la calificación fitopatológica (severidad general) en una población de 120 selecciones individuales de jitomate nativo del estado de Puebla, 2010.

Calificación	Severidad	Categoría	Descripción
9	0	Sin severidad	Síntomas no visibles o muy leves.
8	10		
7	20		
6	30	Severidad	Síntomas visibles o
5	40	intermedia	conspicuos que solo ocasionan un
4	50		daño limitado.
3	60	Severidad	Síntomas severos a muy severos que
2	70	alta	ocasionan pérdidas de rendimiento
1	80		considerables o la muerte de la
0	90-100		planta.

Cuadro 5. Escala de calificación para uniformidad general en una población de 120 selecciones de jitomate nativo del estado de Puebla, 2010.

Calificación	Categoría	Descripción
0-30	Uniforme	Plantas uniformes en longitud, floración, amarre de fruto y vigorosidad.
31-60	Uniformidad intermedia	Algunas plantas de la familia presentan variación de longitud de planta, floración, amarre de fruto y poco vigorosas.
61-100	Heterogeneidad	Más de la mitad de la familia presenta variación en longitud de planta, floración, amarre de fruto y sin vigor.

Cuadro 6. Escala de calificación general en una población de 120 selecciones de jitomate nativo del estado de Puebla, 2010.

Calificación	Categoría	Descripción
1-2	Buena	Plantas sin severidad, uniformes en longitud, buen amarre de fruto y vigorosas.
2.1-3	Regular	Plantas con síntomas visibles pero daño limitado, variación en longitud, racimos con poco amarre de fruto y poco vigorosas.
3.1-4	Mala	Plantas con severidad que ocasionan pérdida de rendimiento, más de la mitad presentan variación en longitud, amarre de fruto y sin vigor.

Análisis estadístico

Las características se evaluaron con base en un diseño completamente al azar. Con los promedios de cada variable se efectuó un análisis de componentes principales y con este último se determinaron las variables de mayor valor descriptivo de la variación fenotípica (Carrillo y Chávez, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre selecciones en todas las variables evaluadas. Como resultado de la variación fenotípica intrapoblacional los mayores coeficientes de variación se obtuvieron en número de racimos con fruto 19.66%, severidad general 27.02%, uniformidad 23.55% y calificación fenotípica general 30.34% (Cuadro 7), esto indica una variabilidad fenotípica amplia dentro de la población. Resultados similares se obtuvieron en poblaciones de jitomate evaluadas en condiciones de invernadero en el estado de Oaxaca, que mostraron coeficientes de variación de 26% en número de frutos por racimo, diámetro de tallo 11.9%, altura de planta a los 60 días ddt 8.1% (Carrillo y Chávez, 2010; Chávez *et al.*, 2011). La mayor parte de la diversidad y variabilidad de los jitomates cultivados se encuentra en jitomates nativos y silvestres, tanto en calidad como en morfología, como lo demostraron Restrepo *et al.* (2006) al encontrar coeficientes de variación entre 22.88 y 51.89% y desviaciones estándar entre 2.34 y 46.28 en días a inicio de floración, altura de planta al primer racimo, altura de planta en duodécima flor, altura total, diámetro de tallo y frutos por inflorescencia en accesiones silvestres de *Lycopersicon* spp; por su parte Boada *et al.* (2010) encontraron diferencias altamente significativas en sólidos solubles, con valores extremos de 3.8 a 6.3, y rendimientos de 116.6 t ha⁻¹ en treinta accesiones de jitomate silvestre tipo cereza.

Cuadro 7. Promedios y coeficientes de variación (CV) de cada variable evaluada en selecciones de jitomates nativos del estado de Puebla, 2010.

Variablen	Promedio	*DVS	**CV (%)	Intervalos (- a +)
Diámetro de tallo	8.19	0.76	9.29	6.59 – 10.7
Altura de planta	96.74	8.10	8.37	70.25 - 116
Número de racimos con fruto	1.91	0.37	19.66	1 - 3
Severidad general	17.45	4.71	27.02	10 - 35
Uniformidad	17.79	4.19	23.55	10 - 30
Calificación general	1.85	0.56	30.34	1 - 3.5

Significativamente diferente ($P \leq 0.05$). *Desviación estándar; **coeficiente de variación

En el análisis de componentes principales, los dos primeros componentes explicaron 59.7% de la variación fenotípica total en las selecciones individuales de jitomates nativos. Las variables calificación general y diámetro de tallo fueron las características con mayor valor descriptivo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Vectores y valores propios del análisis de componentes principales (CP) con las variables de mayor valor descriptivo de la varianza total en selecciones de jitomates nativos del estado de Puebla, 2010.

Variables agromorfológicas	CP1	CP2	CP3	CP4
Calificación general	0.573	0.157	0.159	-0.115
Diámetro de tallo	-0.152	0.704	0.248	-0.609
Severidad general	0.503	0.297	0.134	0.255
Uniformidad general	0.501	0.076	-0.009	0.220
Altura de planta	-0.371	0.367	0.466	0.674
Número de racimos con fruto	-0.068	0.499	-0.822	0.215
Valores propios	2.310	1.273	0.9380	0.632
Varianza explicada (%)	0.385	0.212	0.1560	0.105
Varianza acumulada (%)	0.385	0.597	0.7530	0.858

Las diferencias entre selecciones evaluadas estuvieron definidas por características morfológicas y tolerancia a enfermedades, asociadas con vigor en tallo y uniformidad en crecimiento, ya que son de hábito indeterminado. Restrepo *et al.* (2006) explicaron con los dos primeros componentes 76.33% de la variación total en características cuantitativas días a inicio de floración, altura de planta a primera flor, altura de planta a décimo segunda flor, altura total, diámetro de tallo y frutos por

inflorescencia en germoplasma silvestre (*Lycopersicon* spp). Durante la evolución de los jitomates silvestres y nativos han desarrollado múltiples características que les han permitido sobrevivir en condiciones extremas; así han desarrollado tolerancia a plagas y enfermedades (Eigenbrode *et al.*, 1993 y Nuez *et al.*, 1995). Entre los parientes silvestres más usados están los del jitomate, pues muchas de las características de los cultivares modernos de jitomate como son, resistencia a plagas y enfermedades han sido derivadas de algunos de sus parientes silvestres (Hoyt, 1992). Ascencio *et al.*, (2008) encontraron resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* en raza 2 y 3 en variedades de jitomate silvestre (*L. esculentum*, *L. peruvianum*, *L. pimpinellifolium*, *L. cheesmanii* f. y *L. chilense*).

Las selecciones individuales de jitomate provenientes del estado de Puebla llamadas localmente “chino” se dispersaron en los cuatro cuadrantes como resultado de la amplia variabilidad intrapoblacional existente en la población original de las 120 selecciones estudiadas, formando seis grupos con base en los dos primeros componentes principales (Calificación general y diámetro de tallo) (Figura 7).

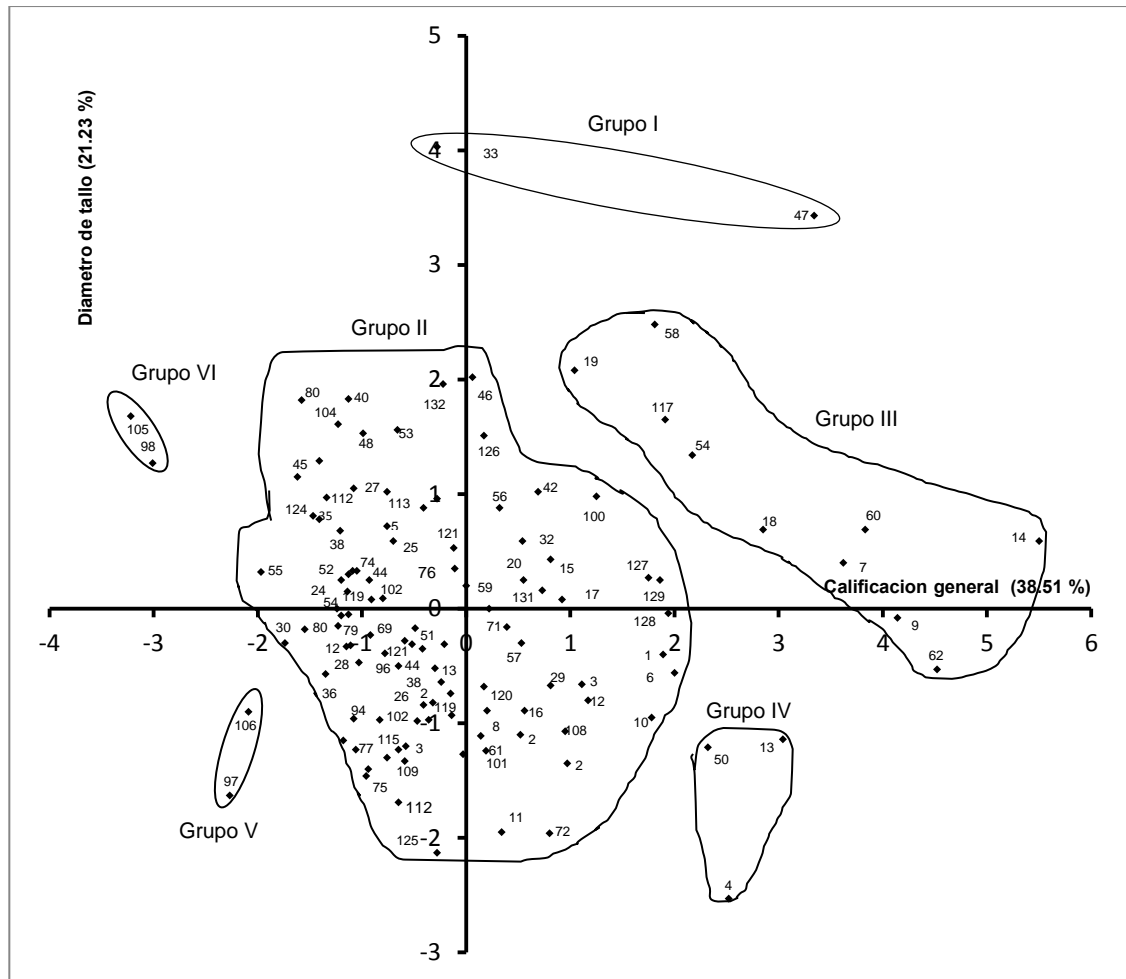


Figura 7. Dispersión de 120 selecciones individuales de jitomate nativo “chino” del estado de Puebla con base en los dos primeros componentes.

El grupo I estuvo formado por las selecciones 33 y 47 que se dispersaron en los cuadrantes I y IV, la familia 33 presentó mayor diámetro de tallo, altura de planta y es considerada como de buen fenotipo, sin embargo, la 47 presentó buen diámetro de tallo y altura de planta, pero se caracterizó como regular.

El Grupo II se conformó por el 84.16% del total de las selecciones evaluadas, que se dispersaron en los cuadrantes I, II, III y IV. En el cuadrante I y IV las selecciones tuvieron en promedio 2.25 racimos con fruto; mientras que, en los

cuadrantes II y III el promedio fue de 1.75 racimos con fruto, y en ambos cuadrantes la calificación general fue de 1.5 a 2, consideradas como plantas buenas. Mientras que, en el grupo III se ubicaron 9 familias (19, 58, 117, 54, 18, 60, 7, 9 y 62) dispersas en los cuadrantes I y II cuyo promedio de racimos con fruto estuvo entre 1.75 y 2, con una calificación general de 3 y 3.5, que las califica como selecciones de regulares a malas.

El grupo IV se ubicó en el cuadrante II y racimos con fruto por debajo de la media (1.91), y se clasificaron como familias sin severidad, plantas pequeñas y poco vigorosas con una calificación general de 3, clasificadas como plantas regulares. En el grupo V se encontraron las selecciones 97 y 106 con el mayor número de racimos y frutos (2.25 y 3) con calificación general de 1 (Plantas sanas, uniformes en altura de planta, buen amarre de fruto, aunque poco vigorosas en diámetro de tallo). En el caso del grupo VI dos familias (98 y 105) se ubicaron en el cuarto cuadrante, fueron caracterizadas como sobresalientes en todos los aspectos medidos y observados en el presente estudio, presentando mayor diámetro de tallo, altura de planta, número de racimos con fruto, sanidad y uniformidad y fueron calificadas de buenas a excelentes.

CONCLUSIONES

Las 120 selecciones individuales provenientes de una población de jitomate domesticado del estado de Puebla presentaron diferencias significativas en las 6 características morfológicas de planta. La mayor variación intrapoblacional se encontró en número de racimos con fruto (19.66%), severidad general (27.02%), uniformidad (23.55%) y calificación general (30.34%). Los dos primeros componentes

(calificación general y diámetro de tallo) explicaron 59.7% de la variación fenotípica de las 120 selecciones individuales caracterizadas. En el grupo VI se encontraron las selecciones con mayor número de racimos con fruto y sin severidad a enfermedades, uniformes en longitud, buen amarre de fruto y vigorosas, consideradas como buenas. En el grupo II se ubicó el 84.16% de las selecciones evaluadas. En los grupos III y IV se integraron las selecciones de regulares a malas.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez H J C, M Cortez, R García (2009)** Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (*Solanaceae*) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28:139-159.
- Ascencio A, A López, F Borrego, S-A Rodríguez (2008)** Marchitez Vascular del Tomate: I. Presencia de Razas de *Fusarium oxysporum* F. sp. *Lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *R.M. de Fitopatología* (26):114-120.
- Bastias M E (2008)** Biodiversidad y recursos filogenéticos en la agricultura. *IDESIA* (Chile) 26 (1): 5-7.
- Boada H M Y, J L Mejía, N Ceballos, F Javier (2010)** Evaluación agronómica de treinta introducciones de tomate silvestre tipo cereza (*Solanun lycopersicum* L.). *Agronomía* 18: 59-67.
- Carrillo R J C, J L Chávez (2010)** Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Fitotecnia Mexicana* 33: 1-6.
- Chávez S J L, J C Carrillo, A M Vera, E Rodríguez, R Lobato (2011)** Utilización actual y potencial del jitomate silvestre mexicano. *Subsistema Nacional de*

Recursos Fitogeneticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, CIIDIR-Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional e Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México. 72 p.

Eigenbrode S D, Trumble J-T, Jones R A (1993) Resistance to beet armyworm (*Spodopteraexigua* [Hubner]), hemipterans, and *Liriomyza* spp. In *Lycopersicum*. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 118: 525-530.

González F, M Sandoval, P Sánchez, P Ramírez, M-N Rodríguez (2012) Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae* 947:69-76.

Hoyt E (1992) Conservando los parientes silvestres de las plantas cultivadas. Addison-Wesley Iberoamericana. Delaware, Estados Unidos de América. Traducción: Enrique Forero. 52 pp.

International plant Genetic Resourcs Institute (IPGRI) (1996) Descriptors for tomato. 44p.

Jones J B, P Jones J, E Stall, T Zitter, (2000) Plagas y enfermedades del tomate. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. Pp. 2-3.

Méndez I I, M Areli, G Vera, J-L Chávez, J-C Carrillo R (2011) Calidad de frutos en variedades nativas Mexicanas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista de la facultad de Química Farmacéutica* 18: 26-32.

Nuez V, A Rodríguez, J Tello, J Cuartero, B Segura (1995) El cultivo del Tomate. Mundi-Prensa. Bilbao, España.

- Peralta I E, D M Spooner (2007)** History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). *In: Genetic Improvement of Solanaceous Crop, 2: Tomato*. M K Razdan, A K Mattoo (eds). Science Publishers. Enfield, New Hampshire, USA. pP: 1-24.
- Ramanatha R V, T Hodgkin (2002)** “Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources”. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 68: 1-19.
- Ramírez V P (2010)** Conservación y aprovechamiento de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate. 6to. Simposio Nacional de Horticultura, Producción de tomate en el norte de México. Memorias. Celebrado del 8 al 10 de noviembre de 2010 en Saltillo, Coahuila, México.
- Restrepo S, E Fernando, C Vallejo, F Alirio, M Lobo (2006)** Evaluación de la resistencia al pasador del fruto *Neoleucinodes elegantis* y caracterización morfoagronómica de germoplasma silvestre de *Lycopersicon* spp. *Acta Agronómica* 55: 1-10.
- Rick C M (1979)** Biosystematic studies in *Lycopersicon* and closely related species of Solanum. *In: Hawkes, J., G. Lester and A. D. Skeldinng (Eds). The biology and taxonomy of the Solanaceae*, Linnean. Society of London, London, U. K. pp: 667-677.
- Rick C M and J Fobes (1975)** Allozyme variation in cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 102: 376-384.
- Rick M C (1978)** El tomate. Investigación y ciencia. Ed. Scientific American. Barcelona, España. 60p.

- Rick M C, M Holle (1990)** Andean (*Lycopersicon esculentum* var. ceraciforme): genetic variation and its evolutionary significance. *Economic Botany* 44: 69-78.
- Rodríguez G E, D Vargas, J-J Sánchez, R Lepiz, A Rodríguez, J A Ruíz, P Puente, R Miranda (2009)** Etnobotánica de *Solanum lycopersicum* var. Ceraciforme en el occidente de México. *Naturaleza y Desarrollo* 7: 45-57.
- Rodríguez G E, J J Sánchez, S Montes, A Ruíz y J L Martínez (2003)** Exploración y colección de especies del género *Lycopersicon* en el occidente de México. *In: Memorias del X Congreso Nacional de Horticultura*. UACH, Chapingo, México. pp. 61.
- Sanjuan F, P Sánchez, P Ramírez, M Livera, M Sandoval, J-C Carrillo (2010)** Variedades nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tolerantes a NaCl. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. y Colegio de Postgraduados Campus Puebla. *In: Libro de resúmenes del Foro Regional de Agricultura Sostenible “La sostenibilidad como eje fundamental en la producción de alimentos y el desarrollo rural”*. 24-26 Pp.
- Steiner A A (1984)** The Universal Nutrient Solution. En Proc 6th Int. Cong. Soilless Culture. Pp. 633-649.
- Vázquez O R, J-C R Carrillo, P Ramírez (2010)** Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8: 49-64.

V. TOLERANCIA DE LÍNEAS NATIVAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) A LA SALINIDAD CON NaCl

**NATIVE TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) LINES
TOLERANCE TO NaCl SALINITY**

**Felipe Sanjuan Lara^{1*}, Prometeo Sánchez García¹, Porfirio Ramírez Vallejo¹,
Manuel Sandoval Villa¹, Manuel Livera Muñoz¹, José Cruz Carrillo Rodríguez²,
Catarino Perales Segovia³**

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, estado de México. ² Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex hacienda de Nazareno. 68120, Xoxocotlán, Oaxaca, México. Tel. y fax: 01 (951) 70788. ³Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes 20157. Aguascalientes México.

* *Autor para correspondencia* (felisl15@hotmail.com).

RESUMEN

Las especies de jitomate, sean cultivadas o silvestres, son medianamente sensibles a la salinidad, sin embargo, dentro de la especie *Solanum lycopersicon* L. se encuentra variabilidad genética para tolerancia a salinidad (Rick, 1982; Goykovic y Saavedra, 2007). Esta característica representa una alternativa viable en generación de portainjertos tolerantes. Para identificar fenotipos tolerantes a la salinidad se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue evaluar la respuesta de 48 líneas obtenidas por selección de plantas individuales en una población nativa de jitomate y de dos híbridos comerciales empleados como testigos. Algunas líneas de *Solanum lycopersicon* son tolerantes a salinidad y pueden ocuparse como portainjertos. El

experimento se regó con solución nutritiva Steiner y cinco niveles de conductividad eléctrica (4, 6, 8, 10 y 12 dS·m⁻¹) en estado de plántula. Las semillas fueron sembradas en charolas de polietileno de 200 cavidades, rellenas con sustrato (Peat moss natural[®]) turba canadiense. Los cinco tratamientos fueron establecidos bajo un diseño en parcelas divididas con cuatro repeticiones. El efecto de la salinidad fue menor en el número de hojas (12 %) y diámetro de tallo (17 %); en tanto que el área foliar se redujo (38 %) y la altura de planta 40 %. De las líneas evaluadas 75 % mostraron tolerancia a la salinidad con base en el índice de susceptibilidad a salinidad (ISS) 0.2 a 0.9, el 25 % restante fueron susceptibles (1.0 a 1.6). Las Líneas sobresalientes con base en las características evaluadas fueron 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112, y 76; y las más afectadas fueron 99D y 42.

Palabras clave: Líneas nativas, *Solanum lycopersicum* L, tolerancia a salinidad.

NATIVE TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) LINES TOLERANCE TO NaCl

SALINITY

ABSTRACT

Tomato species, either sowed or wild-grown, are mildly sensitive to salinity. However, within the *Solanum lycopersicum* L. species, there is genetic variability for salinity tolerance (Rick, 1982; Goykovic and Saavedra, 2007). This variability can be used to find salt-tolerant stocks. Salt-tolerant lines were phenotypically derived from 48 lines descendent of individual plants from a native tomato population. Lines were compared to commercial hybrids, which acted as control. Some *Solanum lycopersicum* L. lines are salt tolerant and can be employed as stock. Steiner nutritional solution at five electric conductivity levels (4, 6, 8, 10 and 12 dS m⁻¹) was

used for plantlet irrigation. Seeds were sowed into 200-cavities polyethylene trays filled with Peat Moss. The five treatments were setup under a split-plot design with four repetitions. Salinity effects were lower in leaf number (12 %) and shoot diameter (17 %). Leaf area and plant height decreased sharply (38 % and 40 %, respectively). Based on salinity tolerance index (STI) from 0.2 to 0.9, 75 % of the lines are salt tolerant. The remaining 25 % were susceptible (STI from 1.0 to 1.6). Outstanding tolerant lines based on characteristics evaluated were 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 and 76. The most affected lines were 99D and 42.

Keywords: Native lines, *Solanum lycopersicum* L., salinity tolerance.

INTRODUCCIÓN

La salinización es responsable del deterioro de las tierras cultivables (Tanjii, 1990) por esta razón se espera la pérdida de 30 % en los próximos 25 años y hasta 50% en 2050 a nivel mundial (Wang *et al.*, 2003). La salinidad afecta el metabolismo de la planta, y reduce su crecimiento y productividad debido a potenciales hídricos reducidos, toxicidad iónica y desbalance nutrimental (Munns, 2002). La mayor concentración de elementos minerales, como NaCl, disminuye la absorción de agua y de nutrimentos. Esta condición afecta el crecimiento del cultivo (Carrasco e Izquierdo, 1996), reduciendo la energía metabólica, ya que las plantas destinan mayor energía en la absorción de agua y nutrimentos a expensas del desarrollo (Lara, 1999). El estado hídrico de la plantas y su capacidad de asimilación de nutrimentos son procesos fisiológicos sensibles a la salinidad, además de ser factores determinantes en el crecimiento de las mismas (Cramer *et al.*, 1994).

Las especies de jitomate, cultivadas o silvestres, son medianamente sensibles a la salinidad y presentan un umbral de tolerancia, de 2.5 dS m^{-1} cuantificado en el extracto de saturación del suelo y expresado en conductividad eléctrica (CE) (Chinnusamy *et al.*, 2005); y por cada unidad superior al umbral el rendimiento disminuye 10% y valores y menores al umbral limitan el desarrollo óptimo del cultivo (Maas y Hoffman, 1977 y Lara, 1999).

Características de importancia agronómica, como el porcentaje de germinación, el número de hojas y la reducción del área foliar por desecación de hojas son afectadas por el estrés salino, condiciones que reducen la producción de fotoasimilados, área foliar, la altura de planta y, tallos, longitud de raíz y la acumulación de materia seca de la planta (Lerner, 1985; Abrisqueta *et al.*, 1991; Al-Karaki, 2000; Yokoi *et al.*, 2002 y Goykovic y Saavedra, 2007). La tolerancia a la salinidad varía en relación al genotipo y el órgano de la planta (Marchese *et al.*, 2008). En las Islas Galápagos se encuentra una especie de jitomate silvestre que ha proporcionado genes a tolerancia a la salinidad, de manera que las plantas pueden ser irrigadas con una tercera parte de agua marina (Hoyt, 1992).

Sin embargo, se encuentra poca información relacionada con la tolerancia a la salinidad en poblaciones nativas de *Solanum lycopersicum*, sobre este aspecto. Sanjuan *et al.* (2010) encontraron diferencias estadísticas en la morfología de 48 familias de una población nativa de jitomate debidas al estrés salino y estado de plántula; además, indicaron que la acumulación de materia seca es una característica de importancia agronómica, ya que un incremento proporcional de biomasa garantiza un buen rendimiento y que las diferencias entre genotipos se manifiestan aún más en estado de plántula. En tanto que, González *et al.* (2012) en

diez líneas de jitomate obtenidas de una población nativa, expuestas a tres concentraciones de solución nutritiva, encontraron diferencias estadísticas en rendimiento, con niveles similares a los testigos bola y tipo saladette. Estas evidencias indican que dentro de la especie *Solanum lycopersicum* L. existe variabilidad genética para mejoramiento a estrés salino. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta de 48 líneas de jitomate nativo y dos testigos comerciales a cinco niveles de conductividad eléctrica, obtenidos con NaCl en solución nutritiva Steiner.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

En estado de plántula se evaluaron 48 líneas de jitomate (*Solanum lycopersicon* L.) y dos testigos comerciales (T1 y T2). Las 48 líneas evaluadas se seleccionaron de un conjunto de 140, con base en atributos de interés agronómico, como sanidad, calificación general, diámetro de tallo y número de racimos con fruto. Las líneas se obtuvieron por selección de plantas individuales de una población nativa del estado de Puebla.

Tratamientos evaluados

Las semillas fueron sembradas en charolas de plástico de 200 cavidades. Desde la siembra hasta la germinación, se regó con agua natural diariamente. A partir de este momento se aplicaron cinco tratamientos de salinidad con la solución nutritiva Steiner (1984) al 100 % ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ = 7.96, KNO_3 = 2.26, K_2SO_4 = 1.95, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ = 3.69, KH_2PO_4 = 1.02 g L⁻¹), preparados con agua destilada y NaCl

grado reactivo. Durante los primeros 20 días se aplicaron los tratamientos de 2, 4, 6, 8 y 10 dS m⁻¹; correspondientes a -0.072, -0.144, -0.216, -0.288 y -0.360 MPa, respectivamente; estos tratamientos se obtuvieron agregando 0, 1.81, 3.09, 4.37, 5.65 g L⁻¹ de NaCl. Debido a que después de este periodo no se observaron respuestas a la salinidad, se ajustaron los tratamientos de CE en la solución nutritiva a 4, 6, 8, 10 y 12 dS·m⁻¹; correspondiente a -0.144, -0.216, -0.288, -0.360 y -0.432 MPa, respectivamente; eliminando la CE de 2 dS·m⁻¹ y agregando el tratamiento de 12 dS·m⁻¹, este último se obtuvo agregando 6.93 g L⁻¹ de NaCl. A los 40 días de los tratamientos salinos se realizó un muestreo destructivo tomando cuatro plantas por repetición para determinar materia seca.

Variables evaluadas

Altura de planta (AP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas y área foliar (AF)

La altura de planta se midió en centímetros cm desde la base del tallo hasta el meristemo apical con un flexómetro. El diámetro de tallo se midió con un vernier graduado en milímetros (mm) en la base del tallo donde se ubican las hojas cotiledóneas, se contó el número total de hojas por plántula y se midió el área foliar total (cm²·planta⁻¹) con un medidor LICOR (LI-3000) (Astegiano *et al.*, 2001).

Materia seca de raíz (MSR), tallo (MST), foliar (MSF) y total (MST)

Se separó la raíz, tallo y hojas de cada plántula. Las muestras vegetales se secaron en una estufa a 70 °C durante 48 horas hasta peso constante. La materia

seca de raíz, tallo y foliar se pesaron en una báscula analítica modelo 100^a expresada en g planta⁻¹, con la sumatoria de las mismas se obtuvo materia seca total.

Índice de susceptibilidad a salinidad (ISS)

Con los promedios de la materia seca total se calculó el índice de intensidad de salinidad promedio con la siguiente ecuación: $IIS = 1 - X_{SS}/X_{NS}$. Dónde: SS = materia seca en plantas estresadas, NS = materia seca en plantas no estresadas y con este se obtuvo el índice de susceptibilidad a la salinidad a través de la ecuación: $ISS = (1 - Y_{SS}/Y_{NS})/IIS$. Dónde: $ISS > 1$ indica susceptibilidad y < 1 indica tolerancia a salinidad (Fisher y Maurer, 1978).

Diseño experimental y análisis estadístico

Las líneas y testigos se evaluaron con base en un diseño de parcelas divididas en fajas, en las que las parcelas grandes fueron las dosis de salinidad y las parcelas chicas las 48 líneas evaluadas y los dos testigos, con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron mediante el programa Statistical Analysis System (SAS, V9, 2002); se hizo un análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta (ALP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas y area foliar (AF)

La disminución en el número de hojas y área foliar son respuestas que dependen de la especie y cultivar y de los niveles de sales a que son expuestas las

plantas (Goykovic y Saavedra, 2007). La CE, las líneas y la interacción línea x CE presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en todas las características.

Se observó que la altura de planta disminuyó al incrementar la conductividad (Figura 8a), en tanto que el diámetro de tallo presentó una reducción lineal a través del incremento de la CE ($Y=-0.16x-3.46$; $R^2=0.96$), que fue del orden de 6.1 y 12.8 % para los tratamientos de 6 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en relación con el de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$; y entre las conductividades 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ no se presentaron diferencias estadísticas.

El número de hojas en conductividades eléctricas de 6, 8 y 10 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ no presentaron diferencias estadísticas; el número se redujo 6 % en comparación con el tratamiento de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$; en tanto que en el tratamiento de 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción fue de 12 % (Figura 8d). Estos resultados difieren de los observados en *P. acutifolius*, en dosis de 60 y 90 mM de NaCl en los que la reducción en el número de hojas fue de 21 y 37 % con la disminución del área foliar las especies de *Phaseolus* evaluadas, con excepción en *P. filiformis* (Bahena *et al.*, 2008).

El área foliar mostró una reducción lineal al incrementar la CE ($Y=-7.4x+74.3$; $R^2=0.97$), ya que disminuyó 10 y 24 % al pasar de 4 a 6; y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y en 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la disminución fue de 41 %, entre estos tratamientos no se observaron diferencias estadísticas. Resultados similares fueron encontrados por Romero *et al.* (2001) y Shannon y Grieve (1999) autores que indicaron que el incremento de la salinidad disminuyó la altura de planta y área foliar, así como en el cultivo de pimiento en el que la disminución fue de 23 y 43 % (Muñoz *et al.*, 2004).

La reducción del crecimiento foliar en sustratos salinos es atribuido a cambios en el estatus del agua en la hoja, como lo indican los resultados de Waldron *et al.* (1985) ya que con la supresión de la salinidad la zona radical, la tasa de expansión

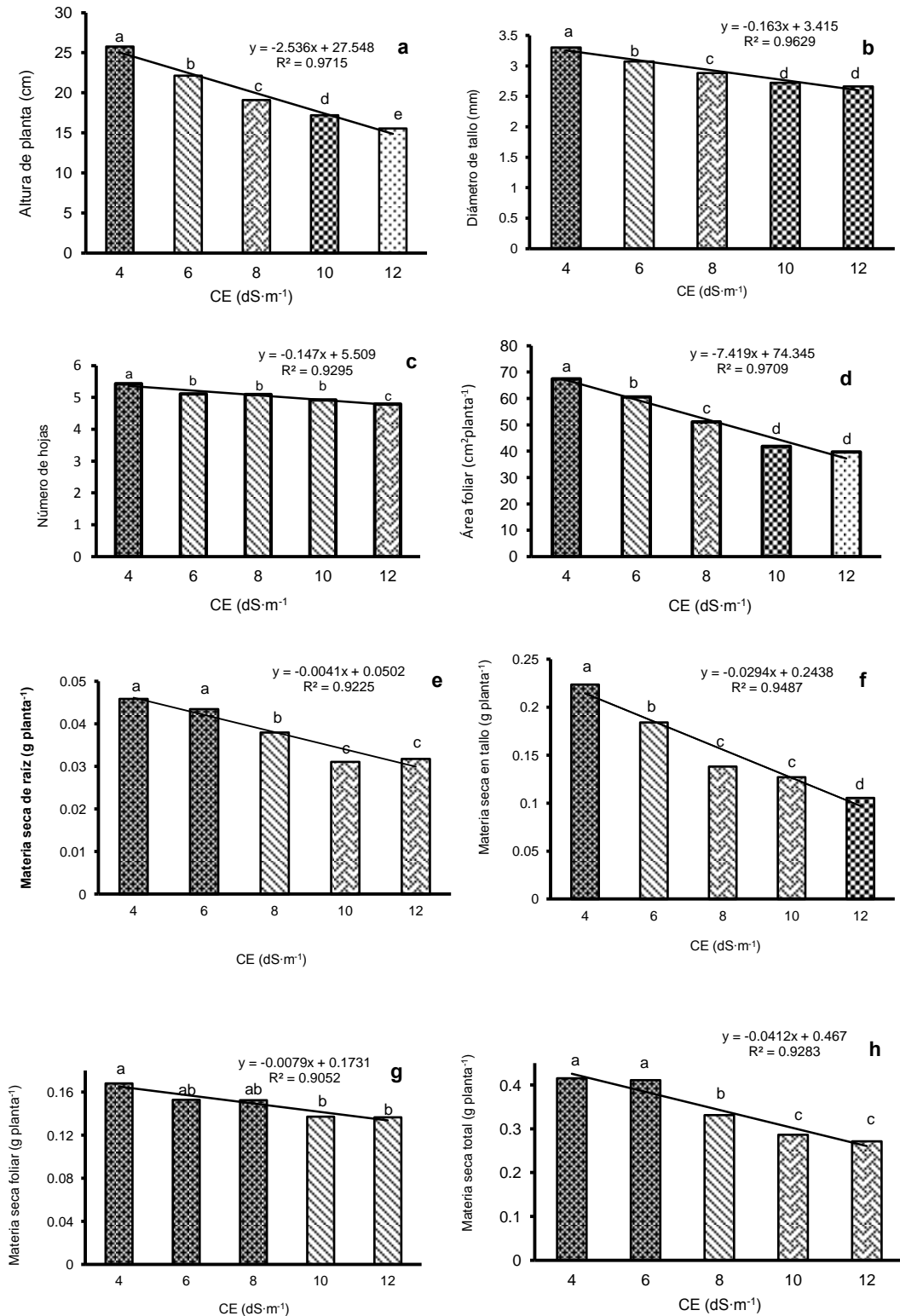


Figura 8. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en solución nutritiva en a) altura de planta; b) diámetro de tallo; c) número de hojas; d) área foliar; e) materia seca de raíz; f) tallo; g) foliar y h) total.

foliar inmediatamente diverge de la presalinización, por lo que el déficit de agua es la razón principal de la reducción del crecimiento foliar debido a la salinidad en el sustrato más que la toxicidad de las sales.

Las 48 líneas mostraron una respuesta diferencial en ALP, DTA, número de hojas y AF (Cuadro 9). En ALP las líneas 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 fueron las de mayor altura y las de menor 99D y 42. Las líneas más sobresalientes en DTA fueron la 36, 82, 124, 112, 76 y 35 con intervalo de 3.27 a 2.92 mm en tanto que los testigos comerciales fue de 2.62 y 2.63 mm respectivamente, y los de menor diámetro fueron la línea 99D y 42 con 2.17 y 1.96 mm, respectivamente. En número de hojas se observaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$), y de ellas las de mayor número de hojas de 5.6 a 4.65 hojas por planta, mientras que las de menor número de hojas presentaron de 4.20 y 3.65 (Cuadro 9).

Uno de los criterios determinantes de la calidad de plántula es el área foliar, ya que esta determina el potencial de la actividad fotosintética (Klapwijk, 1986). En el presente estudio el área foliar mostró amplia variabilidad ($P \leq 0.05$) ya que las líneas de jitomate nativo sobresalientes presentaron un intervalo de 62.48 a 49.28 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, mientras que, el testigo comercial produjo 39.91 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$ y las líneas 99D y 42 fueron las de menor área foliar con 34.97 y 27.41 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 9).

Materia seca total (raíz, tallo y foliar)

El funcionamiento normal de una planta está determinada por la relación de cationes y aniones en la solución nutritiva; ya que tanto el crecimiento de los órganos

Cuadro 9. Materia seca de raíz (MSR), tallo (MSTA), foliar (MSF) y total(MST); altura de planta (ALP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas y área foliar (AF) en 16 de 48 líneas nativas y dos testigos comerciales de jitomate evaluados en cinco niveles de conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner. Montecillo, estado de México, 2010.

Línea	MSR	MSTA	MSF	MST	ALP	DTA	Núm. de hojas	AF
	(g planta ⁻¹)				(cm)	(mm)		(cm ²)
36	0.052 a	0.179 abcd	0.189 a	0.420ab	21.77 a	3.27 a	5.60 a	62.48 ab
77	0.048 ab	0.143 bcde	0.145 abc	0.387 abc	18.92 abc	2.93 abcd	5.45 ab	51.13 abcdef
35	0.043 abcd	0.140 bcde	0.179 ab	0.367 abcd	20.57 abc	2.92 abcde	5.40 ab	52.51 abcdef
124	0.042 abcd	0.184 abc	0.185 a	0.376 abcd	20.17 abc	2.96 abcd	5.35 ab	49.28 abcdefg
113	0.042 abcd	0.174 bcd	0.153 abc	0.346 abcd	20.17 abc	2.93 abcd	5.55 ab	50.41 abcdf
82	0.038 abcde	0.211 ab	0.193 a	0.475 a	21.32 ab	3.11 ab	5.50 ab	60.06 abcd
112	0.034 cde	0.147 bcde	0.136 abc	0.323 bcd	21.05 abc	2.96 abcd	5.25 ab	50.82 abcdf
76	0.033 de	0.139 bcde	0.156 abc	0.348 abcd	20.10 abc	3.20 ab	5.15 abc	54.65 abcd
99D	0.029 de	0.090 de	0.085 c	0.159 ef	15.33 d	2.17 fg	4.20 defg	34.97 gh
42	0.024 e	0.079 e	0.086 c	0.086 f	16.82	1.96 g	3.65 g	27.41 h
T1	0.048 abc	0.135 bcde	0.167 ab	0.348 abcd	20.20 abc	2.62 de	4.65 bcdefg	54.06 abcde
T2	0.029 de	0.135 bcde	0.146 abc	0.315 bcd	20.10 abc	2.63 cde	4.80 abcdef	39.91 fgh
Media	0.038	0.155	0.149	0.343	19.94	2.92	5.07	52.09
CV (%)	29.78	45.86	40.71	31.13	18.21	10.66	14.70	22.26

Valores con diferente letra dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$); CV: coeficiente de variación.

aéreos de las plantas como el desarrollo del sistema radicular dependen del equilibrio fisiológico de la solución nutritiva (Yágodin, 1986). Cuando no existe dicha relación nutrimental debido a efectos osmóticos ocasionados por salinidad, el desarrollo de la planta en general disminuye, y este se acentúa cuando la salinidad se incrementa (Goycovick y Saavedra, 2007; Almasoum, 2000 y Al-Karaki, 2000). En términos globales la producción de materia seca de las 48 líneas nativas y de los dos testigos comerciales fueron afectadas negativamente por la conductividad eléctrica ($P \leq 0.05$). Por ejemplo, la MSR presentó una reducción lineal ($Y = -0.0041x + 0.0502$; $R^2 = 0.92$) en CE de 8, 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con reducciones de 17 y 31 % con relación a los tratamientos 4 y 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 8e). El efecto de las sales en raíces de plantas de jitomate, siempre resulta en su menor desarrollo, fenómeno que puede afectar el crecimiento general de la planta (Almasoum, 2000). Cultivos como el arroz (*Oryza sativa* L.) también se han visto afectados al reducir 50 % de raíz en condiciones elevadas de salinidad (Morales *et al.*, 2006) y en *P. acutifolius* la salinidad redujo de 41 a 62% el sistema radical en concentraciones de 60 y 90 mM de NaCl (Bahena *et al.*, 2008).

El tallo fue uno de los órganos que más fue afectado por la conductividad ocasionada por la adición de NaCl en la solución nutritiva. En las conductividades 8, 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la pérdida de materia fue 43 y 53 % con relación al tratamiento 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que en la conductividad de 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, fue de 18 % respecto al obtenido en 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 8f).

En MSF no se presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre las conductividades 4, 6 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, como resultado del menor impacto de la conductividad en la producción de MSF, entre 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción fue de 19

%, aunque entre estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticas (Figura 8g). Este comportamiento observado en la biomasa seca foliar se debe posiblemente a un incremento en la síntesis de solutos orgánicos (azúcares, prolina, aminoácidos) producidos por la planta para contrarrestar los efectos osmóticos de la salinidad en esta etapa de desarrollo, procesos que pueden estar asociados con mecanismos de tolerancia a salinidad (Camejo y Torres, 2000).

En materia seca total (MSR+MSTA+MSF) no se observaron diferencias estadísticas entre 4 y 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ sin embargo, con 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se redujo 20 %, mientras que entre 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue de 35 % con relación al testigo (Figura 8h). Otros estudios en tomate han encontrado reducciones de materia seca del 78 % en dosis de 150 mM de NaCl (Lovelli *et al.*, 2011), mientras que, Caniguante *et al.* (2009) obtuvieron 8 % de reducción en concentraciones altas de salinidad, resultados que se atribuyeron a la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas “Fartum ®” y no a la tolerancia de las variedades de jitomate “Poncho negro” y Naomi”.

En la comparación de medias de todas las variables evaluadas del presente estudio sobresalieron las líneas 36, 77, 35, 124, 113, 82, 76, mientras que, el Testigo1 (T1) se vio afectado principalmente en el tallo, ya que la plántula fue considerada sin vigor, y el Testigo 2 (T2) en MSR y MSTA (Cuadro 9). Por ejemplo, la línea 82 superó en 27 % al T1 y 34% al T2 en MST. Los resultados muestran la variabilidad intrapoblacional de la tolerancia a salinidad, expresada esta como CE. Las líneas nativas de jitomate de menor respuesta a la salinidad fueron 99D y 42 (Cuadro 9).

Índice de susceptibilidad a salinidad

La tolerancia a la salinidad es un fenómeno complejo que involucra cambios morfológicos y adecuaciones en el desarrollo, que guardan una estrecha relación con los principales procesos fisiológicos y bioquímicos que operan en las plantas. La salinidad tiene un fuerte impacto en el rendimiento de los cultivos, tanto por la reducción de crecimiento de las hojas y como por la inducción de la senescencia foliar (Albacete *et al.*, 2008). Procesos que reducen la actividad fotosintética de la planta, y limita su capacidad de crecimiento y producción de biomasa (Yeo, 2007).

Sallaku *et al.* (2009) consideran que la distribución de productos fotosintéticos en hojas, tallos y raíces son los principales parámetros de calidad en plántulas de hortalizas; de tal manera que a mayor altura de planta y mayor acumulación de materia seca se tendrá una mayor calidad de plántula (Rosca, 2009). Por lo que, a partir de la materia seca total producida se calculó el índice de susceptibilidad a salinidad (ISS). Según Fisher y Maurer (1978) autores que indicaron que un valor en el índice >1 denota a las plantas susceptibles, en tanto que índices menores a 1 identifica fenotipos tolerantes a la salinidad. Los resultados del presente estudio indicaron que en las líneas de jitomate que presentaron reducción de materia seca $< 50\%$ tuvieron un ISS <1 y líneas de jitomate que presentaron reducción de materia seca $> 50\%$ tuvieron un ISS fue >1 (Cuadro 10). Estos resultados son similares con los reportados por Bayuelo *et al.* (2002) ya que encontraron un ISS >1 en porcentajes de reducción de materia seca $>60\%$ en diferentes especies de *Phaseolus*. Con base en lo anterior el 75 % de las líneas evaluadas son tolerantes a salinidad con un intervalo de ISS de 0.2 a 0.9 y, el testigo T1 también fue tolerante, mientras que el T2 fue susceptible y así como 25 % de las líneas nativas de jitomate

Cuadro 10. Índice de susceptibilidad a salinidad (ISS) de 48 líneas nativas y dos testigos comerciales de jitomate evaluados en cinco niveles de conductividad eléctrica en solución nutritiva. Montecillo, estado de México, 2010.

Línea	Materia seca total (g planta ⁻¹)				*ISS	Línea	Materia seca total (g planta ⁻¹)				*ISS
	NS	SS	PR (%)	MSP	*ISS		NS	SS	PR (%)	MSP	*ISS
7	0.45	0.13	71	0.32	1.6	41	0.29	0.23	21	0.06	0.8
99H	0.44	0.21	52	0.23	1.5	99D	0.17	0.15	11	0.02	0.8
5	0.56	0.21	63	0.35	1.3	63	0.38	0.22	42	0.16	0.7
42	0.15	0.07	53	0.08	1.3	T1	0.26	0.22	15	0.04	0.7
45	0.42	0.20	52	0.22	1.2	66	0.39	0.21	46	0.18	0.7
20	0.50	0.20	60	0.30	1.2	105	0.34	0.28	18	0.06	0.7
52	0.50	0.21	58	0.29	1.2	43	0.43	0.25	42	0.18	0.7
44	0.50	0.21	58	0.29	1.2	77	0.41	0.35	15	0.06	0.7
35	0.58	0.27	53	0.31	1.1	36	0.53	0.37	30	0.16	0.6
115	0.39	0.18	54	0.21	1.1	107	0.36	0.24	33	0.12	0.6
114	0.55	0.26	53	0.29	1.0	110	0.27	0.22	19	0.05	0.6
27	0.47	0.22	53	0.25	1.0	95	0.47	0.33	30	0.14	0.6
T2	0.47	0.23	51	0.24	1.0	111	0.39	0.28	28	0.11	0.6
112	0.44	0.24	45	0.20	0.9	82	0.52	0.43	17	0.09	0.6
10	0.54	0.39	28	0.15	0.9	76	0.48	0.25	48	0.23	0.6
124	0.54	0.34	37	0.20	0.9	94	0.40	0.26	35	0.14	0.6
134	0.53	0.34	36	0.19	0.9	102	0.34	0.32	6	0.02	0.5
65	0.38	0.29	24	0.09	0.9	120	0.28	0.23	18	0.05	0.5
25	0.45	0.37	18	0.08	0.9	113	0.33	0.26	21	0.07	0.5
22	0.37	0.24	35	0.13	0.9	33	0.33	0.25	24	0.08	0.5
34	0.49	0.25	49	0.24	0.9	38	0.31	0.25	19	0.06	0.4
74	0.41	0.29	29	0.12	0.9	118	0.31	0.28	10	0.03	0.3
97	0.45	0.34	25	0.11	0.8	55	0.35	0.33	6	0.02	0.3
37	0.38	0.27	29	0.11	0.8	28	0.41	0.40	2	0.01	0.2
72	0.45	0.30	33	0.15	0.8	79	0.29	0.23	21	0.06	0.2
Media							0.40	0.26	34	0.15	0.80
Desviación estándar							0.09	0.06	17	0.09	0.31
CV (%)							22	23	50	60	39

NS: no estresada; SS: estresada; PR (%): porcentaje de reducción de materia seca total; MSP: materia seca total perdida; *ISS= índice de susceptibilidad a salinidad ($ISS = (1 - Y_{ss}/Y_{ns})/SII$), (>1= sensible a salinidad y <1= tolerante a salinidad) y CV: coeficiente de variación.

(IIS= 1.0 a 1.6) (Cuadro 10). Este comportamiento se podría atribuir a que existen dentro del género *Lycopersicum* tolerantes a la salinidad, incluyendo a *Solanum lycopersicum*, y que no solo las especies de jitomates silvestres como: *Lycopersicon chilense*, *L. peruvianum*, *L. pennellii*, *L. cheesmanii* y *L. pimpinellifolium* se encuentra tolerancia a salinidad en algunas de sus accesiones (Rick, 1982; Goykovic y Saavedra, 2007). Lo que pudieran ser una alternativa para generar variedades tolerantes a salinidad o continuar haciendo estudios y generar portainjertos tolerantes a salinidad.

CONCLUSIONES

En materia seca de raíz, de tallo, foliar y total, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar e índice de susceptibilidad a salinidad, al menos una línea superó a los testigos (T1 y T2).

Por sus características agronómicas las líneas de jitomate nativo 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 podrían emplearse como portainjertos tolerantes a NaCl.

BIBLIOGRAFÍA

Abrisqueta M, H Sáez, J Alarcón, Ma. Lozano (1991) Root growth dynamics of two tomato genotypes under saline conditions. Suelo y Planta 1: 351-361.

Albacete A, M E Ghanem, C A Martínez, M Acosta, J B Sánchez, V Martinez

(2008) Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Journal Experimental Botany 59: 19-31.

- Albacete A, M Edmond, C[†] Martínez, M Acosta, J Sánchez, V Martínez, S Lutts, I Dodd, F Pérez (2008)** Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal Experimental Botany* 59: 4119-4131.
- Al-Karaki G N (2000)** Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *Journal Plant Nutrition* 23: 369-379.
- Almasoum A A (2000)** Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semisaline water. *Acta Horticulturae* 537: 773-778.
- Astegiano E D, J C Favaro, C A Bouzo (2001)** Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación agropecuaria: Producción y Protección Vegetal* 16: 1-8.
- Bahena B L, R L Macías, G R López, J Bayuelo (2008)** Crecimiento y respuestas fisiológicas de *Phaseolus* spp en condiciones de salinidad. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 31: 213-223.
- Bayuelo J J, D Debouk, J-P Lynch (2002)** Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Science* 42: 2184-2192.
- Camejo D, W Torres (2000)** La salinidad y su efecto en los estadios del desarrollo de dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales* 21: 23-26.
- Caniguante S, L Pizarro, P Pacheco, E Bastias (2009)** Respuestas de los cvs. de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) "Poncho Negro y Naomi" en diferentes

condiciones de crecimiento y aplicación de un bioestimulante natural Fartum® en condiciones de salinidad. IDESIA (Chile) 27: 19-18.

Carrasco G, J Izquierdo (1996) La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante NFT. Universidad de Talca. Chile. Pp: 31-40.

Casierra P F, R S Yaqueline (2006) Tolerancia de plantas de feijoa (*Acctasellowiana* [Berg] Burret) a la salinidad por NaCl. Agronomía Colombiana 24 (2): 258-265.

Chinnusamy V, A Jagendof, J K Zhu (2005) Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science 45: 437-448.

Cramer G R, G J Alberico, C Schmidt (1994) Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of 2 maize hybrids. Australian Journal Plant Physiology 21: 675-692.

Fisher R A, Maurer (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal Agriculture Research 29: 897-912.

González F, M Sandoval, P Sánchez, P Ramirez, M-N Rodríguez (2012) Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. Acta Horticulturae 947:69-76.

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

Hoyt E (1992) Conservando los parientes silvestres de las plantas cultivadas. Addison-Wesley Iberoamericana. Delaware, Estados Unidos de América. Addison -Wesley Iberoamericana. Delaware, Estados Unidos de América. 52 p.

- Klapwijk D (1986)** Production of tomato transplants *in* The Netherlands. Acta Horticulturae 190: 505-510.
- Lara H A (1999)** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra Latinoamericana 17: 221-229.
- Lerner H (1985)** Adaptation to salinity at the plant cell level. Plant and Soil 89:3-14.
- Lovelli S, A Scopa, M Perniola, S Adriano (2011)** Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. J. Plant Physiology 169:226-233.
- Maas E V, G J Hoffman (1977)** Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrigation Drainage Division, ASCE 103 (2): 115-134.
- Marchese M R, R Tuttobene, A Restccia, A M G Longo, G Mauromicale (2008)** Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. ceraciforme grow in greenhouse. Options Méditerranéennes (84): 311-315.
- Morales D, M del C Bolarin, E Cayuela (2006)** Respuestas de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de diferentes niveles de NaCl crecimiento y relaciones hídricas. Cultivos Tropicales 27 (4): 27-32.
- Morales D, P Rodríguez, M Sánchez, A Torrecillas (2002)** Respuesta a la salinidad de tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 23 (3): 71-76.
- Munns R (2002)** Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ 28:239-250.
- Muñoz R, J Guzmán y J Z Castellanos (2004)** Salinidad sódica en el desarrollo vegetativo y reproductivo del pimiento. Terra Latinoamericana 22: 187-196.

- Rick C M (1982)** The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In Plant improvement and somatic cell genetics, ed. I. K. Vasil, W. R. Scowcroft y K. J. Frey, pp. 1-28. Academic Press, New York.
- Rosca V (2009)** Optimization of nitrogen concentration in the fertilization solution for production of seedlings in cell trays. *Acta Horticulturae* 807: 613-618.
- Sallaku G, A Bani, A Balliu (2009)** The effects of N concentration in pretransplant nutrient solution on the N use efficiency and dry mass partitioning of vegetable solanaceae seedlings. *Acta Horticulturae* 830: 405-412.
- Sanjuan F, P Sánchez, P Ramírez, M Livera, M Sandoval, J-C Carrillo (2010)** Variedades nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentu* Mill.) tolerantes a NaCl. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. y Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Libro de resúmenes del Foro Regional de Agricultura Sostenible “La sostenibilidad como eje fundamental en la producción de alimentos y el desarrollo rural”. 24-26 pp.
- Shannon M C, C M Grieve (1999)** Tolerance of vegetable crops to salinity. *Science Horticulturae* 78: 5-38.
- Steiner A A (1984)** The Universal Nutrient Solution. *In: Proc 6th Int. Congress Soilless Culture* pp. 633-649.
- Tanji K K (1990)** Nature and extent of agricultural salinity. pp 1-17. *In: Tanji, K. K. ed. Agricultural salinity assessment and management.* New York. American Society of Civil Engineers.
- Waldron L J, N Terry, J A Nelson (1985)** Diurnal cycles of leaf extension in un salinized *Beta vulgaris*. *Plant Cell Environ* 8: 207-211.

Wang W, B Vinocur, A Altman (2003) Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance.

Planta. 218: 1-14. Doi 10.1007/s00425-003-1105-5.

Yágodin B A (1986) Agroquímica. Tomo I Mir. Moscú. Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

Yokoi S, R A Bressan, H P Mike (2002) Salt stress tolerance of plants. JIRCAS

Working Report 25 - 33.

VI. RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS DE JITOMATE EN PORTAINJERTOS NATIVOS TOLERANTES A NaCl

TOMATO YIELD AND FRUIT QUALITY ON NaCl TOLERANT NATIVE STOCKS

**Felipe Sanjuan Lara^{1*}, Prometeo Sánchez García¹, Porfirio Ramírez Vallejo¹,
Manuel Sandoval Villa¹, Manuel Livera Muñoz¹, José Cruz Carrillo Rodríguez²,
Catarino Perales Segovia³**

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Km 36.5 carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, estado de México. ²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Ex hacienda de Nazareno. 68120, Xoxocotlán, Oaxaca, México. Tel. y fax: 01 (951) 70788. ³Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes 20157. Aguascalientes México.

* *Autor para correspondencia* (felisl15@hotmail.com).

RESUMEN

El uso de los portainjertos representa una práctica alternativa para minimizar el impacto de la salinidad en la producción de jitomate. Sin embargo, los portainjertos actualmente en el mercado incrementan los costos de producción ya que son caros y se cotizan en dólares. El principal objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento como portainjertos de tres líneas tolerantes a la salinidad obtenidas por selección de una población nativa de jitomate, en contraste con el portainjerto comercial Maxifort®, en tres conductividades eléctricas (4, 8 y 12 dS m⁻¹) en la solución nutritiva Steiner. Los híbridos injertados fueron Sun 7705 (tipo saladette) y Joya (tipo bola). El comportamiento se evaluó en la respuesta de los portainjertos con base en rendimiento, sólidos solubles totales, contenido licopeno (con base en color de fruto), color de fruto, número de frutos con podredumbre apical (BER),

número de frutos por planta y tamaño de fruto, además de altura al primer racimo y de planta, materia seca de raíz y foliar. Los tipos de injerto (Maxifort x B) y (112 x B) produjeron 39 y 33 % más, respectivamente, en comparación con el jitomate tipo bola sin injertar (B); en jitomate saladette los tipos de injerto (Maxifort x S) y (82 x S) produjeron 48 y 40 % más, respectivamente, que el híbrido sin injertar (S). En sólidos solubles totales (°Brix) los híbridos sin injertar (B) y (S) superaron a los injertos con (5.9 y 6.2) °Brix. Los frutos tipo bola de plantas sin injertar fueron más rojos que los frutos de plantas injertadas. En jitomate saladette, los injerto (76 x S) y (112 x S) produjeron frutos de color anaranjado, y los de color rojo moderado fueron (Maxifort x S) y (82 x S) y las plantas sin injertar (S). En licopeno y número de frutos por planta no existió diferencia estadística en ambos tipos de jitomate. La podredumbre apical (BER) en jitomate tipo bola sin injertar (B), saladette (S) y el injerto (76 x S) fueron más afectadas (7.1, 4.9 y 4.8, frutos por planta respectivamente) en comparación con las plantas injertadas. Los tipos de injerto (Maxifort x B) y (112 x B) produjeron más que las plantas sin injertar (39 y 33.5 %, respectivamente), en tanto que (Maxifort x S) y (82 x S) superaron con 48 y 40 %, respectivamente, a las plantas sin injertar (B) y (S). Las líneas de jitomate nativo 82 y 112 representan una alternativa viable y económica para su empleo como portainjertos tolerantes a salinidad.

Palabras clave: Jitomate, rendimiento, calidad, portainjertos nativos y salinidad.

TOMATO YIELD AND FRUIT QUALITY ON NaCl TOLERANT NATIVE STOCKS

ABSTRACT

Root stock selection is an alternative practice that minimizes salinity impact on tomato production. However, root stocks found commercially are expensive and priced in U.S. dollars, thus increasing production costs. Performance of three salinity-tolerant root stocks derived from a native tomato population were compared to commercial root stock "Maxifort" under modified Steiner solution with three different electrical conductivities. Grafted hybrids were Sun 7705 (saladette type) and Joya (round type). Root stock performance was evaluated on yield, total soluble solids, lycopene content (based on fruit color), fruit color, number of fruits showing apical rotting, fruits per plant, fruit size, plant height to the first raceme, total plant height, dry root biomass and leaf biomass. (Maxifort x B) and (112 x B) grafts produced 39 and 33 % more, respectively compared to ungrafted round-type tomato (B). For saladette-type tomato, (Maxifort x S) and (82 x S) grafts produced 48 and 40 % more respectively, compared to the ungrafted hybrid (S). Ungrafted hybrids (B) and (S) had higher total soluble solids ($^{\circ}$ Brix) than grafted ones (5.9 and 6.2 $^{\circ}$ Brix). Round-type ungrafted fruits were redder than those from grafted plants. In saladette-type tomato, grafts (76 x S) and (112 x S) produced orange colored fruits, while (Maxifort x S) and (82 x S) grafts, as well as ungrafted (S) plants were moderately red. No statistical difference was found in lycopene content and fruits per plant for both tomato types. Apical rotting affected more severely ungrafted round-type (B) and saladette-type (S) tomatoes, including graft (76 x S) (7.1, 4.9 and 4.8 fruits per plant, respectively) in comparison to all other

grafted plants. Grafts (Maxifort x B) and (112 x B) produced more than ungrafted plants (39 and 33.5 %, respectively). (Maxifort x S) and (82 x S) grafts surpassed ungrafted (B) and (S) plants by 48 and 40 %, respectively. Thus, native tomato lines 82 and 112 are viable and inexpensive alternatives as salinity-tolerant root stocks.

Keywords: tomato, yield, quality, native root stocks, salinity.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de jitomate es una de las hortalizas de mayor importancia tanto a nivel mundial y como en México. En el país fueron sembradas con esta hortaliza 53,780 ha⁻¹, cuyo valor de producción ascendió a 10, 336 853 miles de pesos en 2011 (SIAP, 2013). En la producción de la hortaliza los invernaderos juegan un papel relevante, ya que 75 % de las 8, 934 ha⁻¹ existentes la producen. Esta actividad agrícola genera entre 50,000 y 80,000 empleos, y en el periodo 2007-2008 generaron divisas por 598 millones de dólares (Castellanos, 2009). La producción de jitomate, tanto en campo abierto como en condiciones protegidas es afectada por factores abióticos limitantes, como la salinidad, fenómeno que afecta 30 % de 5.5 millones de ha⁻¹ irrigadas en el país (Barkla *et al.*, 2007).

Existen practicas agronómicas que ayudan a disminuir el impacto de la salinidad como el lavado de suelo, el mejoramiento de drenaje, la inoculación con micorrizas (Martínez *et al.*, 2004), los métodos de riego de alta frecuencia (Munns *et al.*, 2002), la aplicación de aminoácidos y los mejoradores de suelos con sulfato de calcio (Rivero *et al.*, 2003); sin embargo, estas prácticas son temporales y costosas. En contraste la tolerancia a la salinidad, que es posible se encuentre en especies cultivadas y silvestres de jitomate mexicano, resulta una alternativa práctica y

económica, que ha dado lugar a la búsqueda de genes específicos (Goykovic y Saavedra, 2007). Otra alternativa se encuentra en el uso de portainjertos tolerantes a salinidad (Estañ *et al.*, 2005). Un portainjerto es una planta de mayor sistema radicular, que promueve una mejor exploración del suelo, lo que se traduce en una mayor eficiencia para tomar nutrimentos y agua (Godoy *et al.*, 2008). Estos portainjertos han sido seleccionados para tolerar diversos factores bióticos y abióticos, y simplifican y acortan los programas de mejoramiento genético (Oda, 1999). El injerto ha sido una tecnología útil para reducir las pérdidas en la producción causadas por el estrés salino en variedades de solanáceas (Colla *et al.*, 2010). Aunque en un principio el objetivo fundamental de los injertos fue el control de enfermedades del suelo como *Fusarium*, *Phytophthora* y de nematodos (Kubota y McClure, 2007), también se ha encontrado tolerancia a bajas temperaturas y a sequía, mejor absorción de agua y nutrimentos, y disminución del impacto de la salinidad (Edelstein *et al.*, 1999). El injerto resulta de un proceso de integración, por lo que las plantas injertadas cultivadas en condiciones de estrés exhiben mejor crecimiento, mayor fotosíntesis y contenido de agua en hoja, mayor capacidad antioxidante en hojas, y menor acumulación de Na⁺ y Cl⁻ en los brotes, que las plantas no injertadas o auto injertadas (Colla *et al.*, 2010). Adicionalmente, la interacción del portainjerto con el injerto prolonga el periodo de cosecha sin reducción del tamaño de fruto (King *et al.*, 2010) dando como resultado rendimientos mayores (Edelstein, 2004), del orden de 13 % en el cultivo de jitomate (Khah *et al.*, 2006).

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta de los híbridos Sun 7705 (tipo saladette) y Joya (tipo bola) injertados sobre tres

selecciones derivadas de una población nativa de jitomate y en la variedad comercial “Maxifort” cultivados en tres conductividades eléctricas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Los portainjertos correspondieron a las selecciones individuales experimentales 76, 82 y 112 (Colegio de Postgraduados), con características de interés agronómico superiores derivadas de una población nativa y seleccionadas por su respuesta a la salinidad, además, del portainjerto interespecífico Maxifort (De Ruiter®). Las selecciones fueron obtenidas por el proyecto, “Evaluación integral de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate mexicano”, que se lleva a cabo en el Postgrado de recursos Genéticos y Productividad-Genética, y es financiado por el CONACYT-México. Los injertos correspondieron a plántulas de los híbridos de crecimiento indeterminado (Joya) de tipo bola (B) y Sun 7705 de tipo saladette (S) de la empresa Nunhems®.

Método de injerto y proceso de prendimiento

El método utilizado fue el de púa, que consiste en hacer un corte horizontal un centímetro debajo de los cotiledones en las plántulas que sirvieron como portainjertos, y en las plántulas que fueron injertadas se hizo una incisión en forma de púa un centímetro arriba de los cotiledones para insertarla en la plántula que servirá como portainjerto. Después de insertar la plántula se colocó un broche de silicón para mantener unidos ambos componentes. Las plántulas ya injertadas se colocaron en una cámara de prendimiento, con temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ y humedad

relativa de 90 a 95 %, durante 6 días. Posteriormente, las plántulas ya injertadas se colocaron en un invernadero con malla al 35 % de sombra durante 4 días para su adaptación; finalmente, las plántulas injertadas se llevaron al invernadero para su trasplante definitivo.

Tratamientos evaluados

Los factores principales fueron salinidad y tipo de injerto. La salinidad se evaluó con tres niveles de conductividad eléctrica (CE); 4, 8 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, que se obtuvieron agregando cloruro de sodio grado técnico, en las cantidades siguientes 1, 088 g m^{-3} de agua, 3, 648 g m^{-3} de agua y 6,208 g m^{-3} de agua. Cada nivel de CE se preparó en un depósito con agua de la llave, a la que se agregó la solución nutritiva Steiner ($\text{Ca}^{2+}= 9$, $\text{Mg}^{2+}= 4$, $\text{K}^{+}= 7$, $\text{NO}_3^{-}= 12$, $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}= 1$ y $\text{SO}_4^{2-}= 7 \text{ meq}^{-1}$). Los tipos de injerto fueron ocho (76 x B), (82 x B), (112 x B), (Maxifort x B), (76 x S), (82 x S), (112 x S), y (Maxifort x S), las dos variedades injertadas Joya tipo bola (B), saladette (S), las tres selecciones sin injertar (76, 82 y 112) y el testigo Maxifort sin injertar.

Manejo experimental

Se realizaron ocho riegos diarios. Desde el trasplante hasta el inicio de la floración se aplicaron 0.6 litros de agua por planta por día y de la floración hasta inicio de cosecha se aplicaron 1.5 litros de agua por planta por día y posteriormente se aplicaron 2.5 litros de agua por planta por día. El control de plagas y enfermedades se hizo cada vez que se detectaron y la cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron madurez comercial.

Variables evaluadas

Las características agronómicas evaluadas fueron rendimiento, concentración de sólidos solubles, color de fruto, licopeno, frutos con podredumbre apical (BER), tamaño de fruto, altura del primer racimo (APRMO), altura de planta (AP), materia seca de raíz (MSR) y de hoja (MSH).

El rendimiento se cuantificó en g planta^{-1} durante todo el ciclo de cultivo (4.8 meses). La concentración de sólidos solubles totales (SST) se expresó en grados $^{\circ}\text{Brix}$ y se obtuvo de cuatro frutos de la parte central del tercer racimo, de los que se extrajo una muestra de jugo y se midió con un refractómetro (HANNA HI 96801). El color de fruto se obtuvo con dos lecturas en áreas ecuatoriales opuestas empleando un colorímetro Chroma meter CR-400 (Konica minolta) con el que se obtuvieron los valores de "L" (luminosidad), "a" (tonalidades desde el verde (-a) al rojo (+a)) y "b" (tonalidades desde el amarillo (+b) al azul (-b)); con estos valores se calculó el ángulo hue ($\text{hue} = \tan^{-1} (b/a)$) (López y Gómez 2004) y la pureza del color (croma = $(a^2+b^2)^{1/2}$) (Minolta, 2007). El licopeno se estimó indirectamente mediante los valores del color de fruto; ya que se ha demostrado una estrecha relación ($r= 0.91$) entre la concentración de licopeno y el cociente $(a^*/b^*)^2$ (Carvalho *et al.*, 2005). El número de frutos con podredumbre apical (BER) se cuantificaron por planta durante todo el ciclo del cultivo. El tamaño de fruto se determinó con base en el diámetro ecuatorial y; con base en la Norma Mexicana NMX-FF-009 se clasificaron los frutos en grandes, medianos y chicos.

La altura del primer racimo se midió en centímetros (cm) desde la base del tallo hasta el pedúnculo del primer racimo. La altura de planta se midió en metros (m) desde la base del tallo hasta el meristemo apical con un flexómetro. La materia seca

de raíz se obtuvo al finalizar la cosecha (4.8) meses, extrayendo las raíces y lavándolas con agua de la llave; las muestras vegetales se secaron en una estufa a 70 °C durante 48 horas hasta peso constante y se expresó en gramos por planta (g planta^{-1}). La materia seca foliar se obtuvo de forma acumulativa durante todo el ciclo del cultivo, las muestras se secaron en estufa a 70 °C durante 48 horas hasta peso constante y se expresó en g planta^{-1} .

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se evaluó con base en un diseño bloques al azar, con cuatro repeticiones, con un arreglo factorial 3 x 14 con cuatro plantas como parcela útil. Los datos fueron analizados con el programa (SAS 8.1); se hizo un análisis de varianza, y las medias se compararon con la prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Con el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) por efecto de CE, tipo de injertado e interacción tipo de injertado x CE (Cuadro 11 y 12) (Figura 9a y Figura 10a). El incremento de la CE de 4 a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ redujo el rendimiento en 32 % en jitomate tipo bola y 36 % en tipo saladette, resultados que concuerdan con los de Corsnish, (1992) y Nichols *et al*; (1994) quienes atribuyeron la disminución del rendimiento a la disminución del tamaño de fruto, de la misma manera que Doráis *et al.* 2001 autores que encontraron que el efecto de la salinidad en la producción en jitomate se manifiesta principalmente en la disminución del tamaño de fruto. Fenómeno que podría atribuirse a la reducción de potencial hídrico de los tejidos en general, provocando una restricción en el crecimiento de frutos, dado que la tasa de elongación y división celular dependen directamente del proceso de extensión de la pared celular (Ashraf y Harris, 2004). La división y elongación de los tejidos del pericarpio son determinantes para el crecimiento de los frutos, así también como las células epidérmicas y la expansión celular que incrementan el tamaño del fruto (Bertin, 2005).

Los tipos de injerto (Maxifort x B) y (112 x B) sobresalieron ya que produjeron 39 y 33.5 % más respectivamente, respecto a la planta sin injertar (B); y en jitomate tipo saladette los tipos de injerto más sobresalientes fueron (Maxifort x S) y (82 x S) con rendimientos de 48 y 40 % mayores respecto a la planta sin injertar (S)

Cuadro 11. Comparación de medias de rendimiento, Sólidos solubles totales (°Brix), color, licopeno, firmeza, pudrición apical en fruto (BER) y tamaño de fruto en jitomate tipo bola injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica (dS·m⁻¹) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.

Factores	Rendimiento (Kg·planta ⁻¹)	SST (°Brix)	Color			Licopeno (mg·100 ⁻¹)	Frutos por planta	BER	Tamaño de fruto		
			L	H	C				1	2	3
CE (dS·m⁻¹)											
4	4419 a*	5.9 b	39.5 c	23.5 b	32.0 b	15.5 a	39.6 a	0.1 a	18 a	12.4 a	9.2 b
8	2832 b	7.4 a	41.4 a	27.3 a	33.5 a	16.1 a	30.5 b	2.3 b	4 b	9.3 ab	17.2 a
12	2726 b	7.6 a	40.5 b	22.9 b	32.8 ab	16.6 a	25.6 c	4.2 c	3 b	7.8 b	15.3 a
Tipos de injerto											
76 x S	4174 bc	5.8 c	41.2 b	45.5 a	38.2 a	13.5 b	33.3 abc	4.8 a	10.1ab	12.4 a	10.7 a
82 x S	4785 ab	5.8 c	40.6 bc	43.3 a	37.5 a	14.1 b	36.8 a	2.3 b	11.8 a	12.6 a	12.3 a
112 x S	3687 cd	5.7 c	40.2 bc	44.0 a	37.2 a	13.8 b	36.2 ab	1.9 bc	11.5 a	11.2 a	13.4 a
Max. x S	5458 a	5.5 c	39.2 c	43.2 a	37.4 a	14.4 b	36.5 ab	1.7 bcd	11.8 a	12.7 a	13.4 a
S	2847 de	6.2 bc	40.5 bc	43.5 a	37.0 a	13.9 b	29.8 ab	4.9 a	8.5 ab	8.1 a	14.5 a
76	2413 e	6.6 bc	31.8 e	26.3 c	21.2 c	24.4 a	28.1 abc	1.8 bcd	5.0 b	7.5 a	15.5 a
82	3024 de	7.2 b	34.7 d	31.8 b	27.9 b	25.7 a	27.6 bc	0.3 d	5.1 b	6.7 a	15.5 a
112	2784 e	6.6 bc	32.5 e	25.6 c	21.8 c	24.9 a	26.8 c	1.8 bcd	4.6 b	6.7 a	15.5 a
Max.	0.763 f	13.1a	63.9 a	-82 d	36.9 a	-0.10 c	0.0	0.7 cd	0.00	0.00	0.00
Media	3326	6.95	40.50	24.58	32.80	16.09	31.9	2.23	8.59	9.79	13.90
C.V. (%)	16.85	10.88	3.14	10.42	5.36	8.27	18.8	44.32	46.31	45.62	29.09

SST: sólidos solubles totales; L: Luminocidad; H: hue; C: croma; número de frutos por planta con podredumbre apical (BER): (Blosson End Rot);

C.V: coeficiente de variación; B.= Jitomate tipo de bola; 1= grande; 2= mediano; 3= chico; *Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Cuadro 12. Comparación de medias de rendimiento, sólidos solubles totales (°Brix), color, licopeno, firmeza, pudrición apical del fruto (BER) y tamaño de fruto en jitomate tipo saladette injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica (dS·m⁻¹) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.

Factores	Rendimiento (Kg·planta ¹)	STT (°Brix)	Color			Licopeno (mg·100 ⁻¹)	Frutos por planta	BER	Tamaño de fruto		
			L	H	C				1	2	3
CE (dS·m⁻¹)											
4	5097 a*	5.3 b	40.5 b	25.5 b	32.5 b	14.7 a	29.9 a	0.3 c	11.7 a	7.5 a	8.7 b
8	3476 b	7.2 a	42.3 a	28.7 a	35.0 a	15.3 a	26.9 a	2.7 b	3.1 b	6.9 a	15.5 a
12	2956 b	7.3 a	41.7 a	22.9 c	33.9 ab	15.3 a	22.2 b	5.4 a	2.4 b	7.8 a	14.4 a
Tipos de injerto											
76 X B	5086 ab	5.0 c	42.3 b	47.0 a	37.7 a	12.0 b	24.4 a	4.0 bc	7.1 ab	8.5 a	8.0 c
82 X B	4997 ab	5.0 c	41.5 b	46.1 ab	38.7 ab	12.4 b	25.0 a	3.2 bc	8.2 a	8.0 a	9.4 c
112 X B	5636 a	5.0 c	43.2 b	46.7 a	40.4 ab	12.0 b	23.8 a	2.8 bc	7.3 ab	5.0 a	8.0 c
Max. X B	6136 a	5.2 c	41.6 b	45.9 ab	38.3 ab	11.8 b	26.0 a	4.3 b	8.2 a	8.3 a	10.3 bc
B	3746 bc	5.9 bc	42.0 b	43.8 b	41.5 a	13.1 b	29.1 a	7.1 a	4.4 bc	8.1 a	19.8 a
76	2412 b	6.6 b	31.7 d	26.3 d	21.1 d	24.4 a	28.1 a	1.7 cd	4.0 c	7.5 a	16.2 a
82	3023 c	7.2 b	34.7 c	31.8 c	27.9 c	25.7 a	27.6 a	0.3 d	3.5 c	6.7 a	15.7 a
112	2784 c	6.6 b	32.5 cd	25.5 d	21.8 d	24.9 a	26.8 a	1.7 cd	3.3 c	6.7 a	15.5 ab
Max.	0.763 d	13.0 a	63.9 a	-82.0 e	36.9 b	0.0 c	0.0	0.0 d	0.0	0.0	0.00
Media	3843	6.6	41.5	25.71	33.8	15.1	26.3	2.8	5.7	7.38	12.90
C.V (%)	24.19	12.3	4.0	6.95	7.5	8.2	21.5	53.8	34.4	48.2	27.75

SST: sólidos solubles totales; L: luminosidad; H: hue; C: croma; número de frutos por planta con podredumbre apical (BER): (Blosson End Rot); C.V: coeficiente de variación; B.= Jitomate tipo de bola; 1= grande; 2= mediano; 3= chico. *Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Cuadros 12 y 13). Mitidieri *et al.* (2005) encontraron resultados similares, ya que plantas injertadas produjeron mayor rendimiento que las no injertadas en condiciones de salinidad; y en condiciones de no estrés los rendimientos obtenidos en plantas injertadas han sido de 32.5 % más con respecto a las no injertadas (Khah *et al.*, 2006). Esto pudiera explicarse como que las plantas injertadas tienen mayor capacidad de extracción de nutrimentos, originando el aumento del vigor de la planta y prolongando el periodo de cosecha (Godoy *et al.*, 2009).

Sólidos solubles totales (°Brix)

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) por efecto de la CE, injertos, y la interacción de tipo de injertado x CE. La interacción solo fue significativa en el jitomate saladette injertado (Cuadro 11 y 12). La CE incrementó los sólidos solubles en 27 % en tipo bola y 18 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, entre los dos últimos tratamientos no se observó diferencia estadística en ambos tipos de jitomate (Cuadros 11 y 12). Resultados similares encontraron (Goykovic y Saavedra, 2007 y Dorais *et al.*, 2000). El incremento de los sólidos solubles totales ha sido explicado por un efecto de concentración de azúcares y reducción en el tamaño del fruto (Sakamoto *et al.*, 1999). Dado que el agua representa más de 92 % del peso del fruto, la disminución en el tamaño del fruto puede atribuirse a la disminución en la acumulación de agua en el mismo (Ehret y Ho, 1986). Por otro lado, la invertasa y sacarosa sintetasa han sido las enzimas más estudiadas con el fin de dilucidar los mecanismos de control de la regulación de azúcares en el fruto (Nguyen y Foyer, 2001).

La invertasa en la pared celular tiene una función clave sobre el nivel de azúcar en frutos (Baxter *et al.*, 2005); además, la invertasa citoplasmática se correlaciona positivamente con la hexosa en salinidad (Balibrea *et al.*, 2006). La ADP-glucosa pirofosforilasa (AGPasa, EC 2.7.7.27) regula la biosíntesis de almidón durante las primeras etapas de desarrollo de la fruta, mientras que la enzima AGPasa forma ADP-glucosa a partir de glucosa-1-fosfato (ATP) (Preiss, 1988). En tomate la AGPasa, tiene dos isoformas de la subunidad pequeña y tres isoformas de la subunidad grande (Chen y Janes, 1997). Un gen que codifica la subunidad pequeña (AgpS1) y tres genes que codifican la subunidad grande (AgpL1, L2, y L3) hasta el momento han sido aislados. Cuando el gen AgpL3 se sobre expresa codifica la proteína AGPasa para regular el estrés osmótico y producir azúcares en el fruto (Gen *et al.*, 2010).

Los frutos tipo bola obtenidos de (76 x B), (82 x B), (112 x B) y (Maxifort x B) presentaron menos sólidos solubles totales (5.0 a 5.2 °Brix) respectivamente, en relación a plantas sin injertar (B) que fueron superiores con 5.9 °Brix (Cuadro 10); una tendencia similar se observó en jitomate tipo saladette (Cuadro 12), por lo que la acumulación de sólidos solubles no depende del patrón en que la plántula es injertada. Al respecto Vinkovic *et al.* (2011) concluyeron que el injerto de tomate sobre patrones adecuados tiene efectos positivos en el rendimiento del cultivo, aunque no sobre la calidad de los frutos, en tanto que Khah *et al.* (2008) no encontraron diferencias estadísticas entre plantas injertadas y no injertadas en parámetros de calidad como pH, sólidos solubles totales (°Brix), porcentaje de ácido cítrico, licopeno, firmeza y minerales como Zn, Cu, Mn, Fe y Ca.

Color

La interacción tipo de injertado*CE en los jitomates bola y saladette, fue altamente significativa en luminosidad, Hue y Cromo. La luminosidad refleja el oscurecimiento de los frutos que se relaciona con la degradación de clorofila y la síntesis de licopeno. Nuestros resultados muestran diferencias estadísticas en luminosidad por efecto de la CE en la solución nutritiva, ya que los frutos tipo bola más oscuros se presentaron en 4 dS·m⁻¹, y los menos oscuros se tuvieron en 8 dS·m⁻¹, mientras que en 12 dS m⁻¹ los frutos presentaron valores intermedios.

Los frutos tipo bola de plantas sin injertar fueron más rojos, mientras que los frutos de plantas injertadas fueron de color anaranjado. En jitomate saladette no se encontraron diferencias estadísticas entre plantas injertadas y no injertadas, aunque si hubo diferencias numéricas. Los frutos de color anaranjado se obtuvieron de los tipos de injerto (76 x S) y (112 x S) y los de color rojo moderado fueron los frutos de los tipos de injerto, (82 x S), (Maxifort x S) y de plantas sin injertar (S).

Licopeno

El contenido de licopeno estimado con base en la relación del color de fruto (Carvalho *et al.*, 2005), no presentó diferencias estadísticas en los diferentes niveles de CE en ambos tipos de frutos. Estos resultados son similares a los obtenidos en sólidos solubles totales, en los que las plantas injertadas no superaron estadísticamente a las plantas no injertadas, y concuerdan con los de Vinkovic *et al.* (2011) en la ausencia de diferencias en licopeno en frutos de las plantas injertadas.

Frutos por planta

Entre conductividades eléctricas ($P \leq 0.05$) se observaron diferencias estadísticas. En la CE más alta el número de frutos por planta disminuyó 25.5 % con respecto a los tratamientos de 4 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en jitomate tipo bola. Mientras que, en saladette la disminución del número de frutos fue de 23 y 35 % con respecto al tratamiento de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadros 11 y 12). Entre plantas injertadas y no injertadas (B) y (S) no se encontraron diferencias estadísticas. Estos resultados difieren con los de Turhan *et al.* (2011) y Vinkovic *et al.* (2011), ya que ambos encontraron que las plantas injertadas produjeron más frutos en condiciones de no estrés.

Tamaño de fruto

El tamaño de los frutos se vio afectado por la CE en ambos tipos de jitomate. Por ejemplo la producción de frutos grandes disminuyó 73.5 % en tipo bola y 77 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y a 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En frutos medianos no hubo diferencia estadística en tipo bola, pero si en tipo saladette, los tratamientos 4 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ produjeron 37 % más con respecto al tratamiento de 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadros 11 y 12). La producción de frutos chicos se incrementó a 65.5 % para tipo bola y a 87 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y a 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. La comparación entre la proporción de frutos grandes, medianos y chicos, mostró que el 22 % del total correspondieron a frutos grandes, 28 % a frutos medianos y 49 % a frutos chicos; algo similar ocurrió en tipo saladette, ya que 27 % fueron frutos grandes, 26 % frutos medianos y 47 % frutos chicos.

El efecto de los tratamientos, tipos de injerto y CE, fueron estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en ambos tipos de jitomate (Figura 9c, d y e, y Figura 10 c y d). En el tratamiento de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ los tipos de injerto (76 x B), (82 x B), (112 x B) y (Maxifort x B) produjeron 42 % más de frutos grandes respecto a las plantas sin injertar (B) (Figura 9c). Resultados similares encontraron Vinkovic *et al.* (2011; Turhan *et al.* 2011 y Godoy 2009), con frutos de mayor peso en plantas injertadas. En los tratamientos de 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la producción de frutos grandes en los tipos de injertos (76 x B), (82 x B) y (112 x B) disminuyó 82 % en jitomate bola y en el tipo de injerto (Maxifort x B) el efecto de la salinidad fue menor con 59 %. Mientras que en plantas sin injertar (B) el estrés por salinidad fue mayor con 92 % menos producción de frutos grandes.

En el tratamiento de $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Figura 9d) los tipos de injerto (76 x B), (82 x B), (Maxifort x B) produjeron más frutos medianos en cantidades de 13, 11 y 15 respectivamente, en tanto que el injerto B lo hizo en $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con 11 frutos. Las plantas sin injertar (B) se vieron más afectadas en los tratamientos de 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, con 21 y 26 frutos chicos respectivamente (Figura 9e).

El efecto de los tratamientos en frutos grandes y chicos en tipo saladette fue significativo (Figura 10c y d), mientras que para frutos medianos no hubo diferencia estadística. En el tratamiento de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ los tipos de injerto (112 x S) y (Maxifort x S) produjeron 48 y 43 %, respectivamente, más frutos grandes en comparación con las plantas sin injertar (S), (Figura 10c). En los tratamientos de 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, la producción de frutos grandes disminuyó drásticamente en las plantas no injertadas, en tanto que las menos afectadas fueron los tipos de injerto (Maxifort x S), seguido de (82 x S) (Figura 10d). En el tratamiento de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la producción de frutos chicos fue menor que

en los tratamientos de mayor CE (Figura 10d). En términos globales las plantas sin injertar (S) produjeron 7 % más frutos chicos con respecto a las plantas injertadas.

Frutos con podredumbre apical (BER)

La CE incrementó la podredumbre apical en jitomate tipo bola. En el tratamiento de 4 dS·m⁻¹ se obtuvieron 0.3 frutos por planta, mientras que en el tratamiento de 8 y 12 dS·m⁻¹ se incrementó a 2.7 y 5.4 frutos, respectivamente, en estos dos últimos tratamientos no existió diferencia estadística. En tanto que en el tipo saladette fue de 0.1 frutos en el nivel más bajo de CE y en los tratamientos de 8 y 12 dS·m⁻¹ se incrementó de 2.3 a 4.2 frutos, respectivamente (Cuadros 11 y 12). El calcio es transportado por la planta a través del xilema, junto con el agua, por lo tanto, la absorción del calcio está directamente relacionado con la transpiración (Adams y Ho). Esto significa que los órganos de rápida transpiración como las hojas maduras, acumulan altos contenidos de calcio mientras que los órganos de baja transpiración recibirán poco calcio como es el caso del fruto (Bangerth, 1979). Cuando las plantas son sometidas a estrés salino las plantas disminuyen la transpiración como un mecanismo de tolerancia a dicho estrés, afectando el transporte de agua y calcio a los frutos, ya que estos últimos son órganos de baja transpiración y da como resultado la podredumbre apical (BER), que es una necrosis de la región distal del fruto de tomate y pimiento (Adams y Ho, 1993).

Entre los tipos de injerto (76 x B), (82 x B), (112 x B) y el testigo (Maxifort x B) no existió diferencia estadística con 2.8, 3.2, 4 y 4.3 frutos por planta con podredumbre apical, sin embargo, las plantas sin injertar (B) se vieron más afectadas por el estrés

salino con 7.1 frutos por planta (Cuadros 11 y 12). Esto pudiera deberse a que las plantas injertadas de jitomate tienen mayor capacidad de extracción del Ca respecto a las no injertadas (Godoy, 2009).

Mientras que en jitomate saladette las plantas no injertadas (S) produjeron 4.9 y el tipo de injerto (76 x S) tuvo 4.8 frutos por planta con podredumbre apical. Los tipos de injerto (82 x S), (112 x S) y (Maxifort x S) mostraron menos frutos con podredumbre apical (Cuadro 11 y 12). Estos resultados demuestran que es necesario injertar las plantas de jitomate cuando estas se cultivan en agua con salinidad ocasionada por la concentración de NaCl.

El efecto de los tratamientos (tipos de injerto y CE) fue significativo ($P \leq 0.05$) (Figura 9b y 10b). En el tratamiento de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ los tipos de injerto (112 x B) y (Maxifort x B) no presentaron podredumbre apical en fruto, sin embargo, al incrementarse la CE a 8 y a $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ las plantas sin injertar (B) y el tipo de injerto (76 x B) se vieron más afectadas por el estrés salino. En tanto que los tipos de injerto (112 x B) y (Maxifort x B) fueron las menos afectadas. En jitomate tipo saladette no se encontraron frutos con podredumbre apical en el tratamiento de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, sin embargo, en los tratamientos de 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ las plantas más afectadas fueron (76 x S) y las plantas sin injertar (S) (Figura 10b).

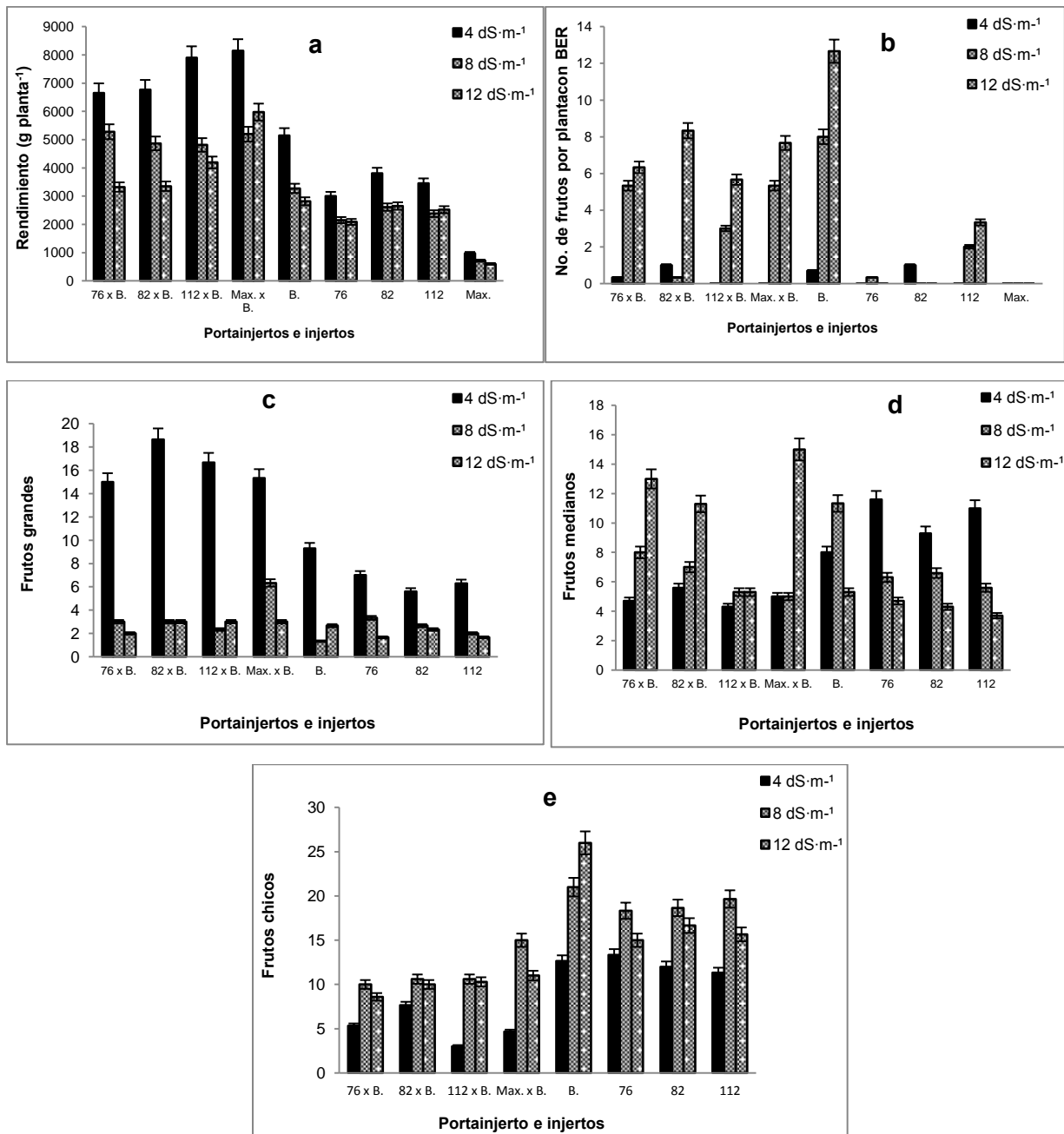


Figura 9. Efecto de los portainjertos y conductividad eléctrica (CE) en a) rendimiento; b) número de frutos por planta con podredumbre apical (BER); c) frutos grandes; d) frutos medianos y d) frutos chicos.

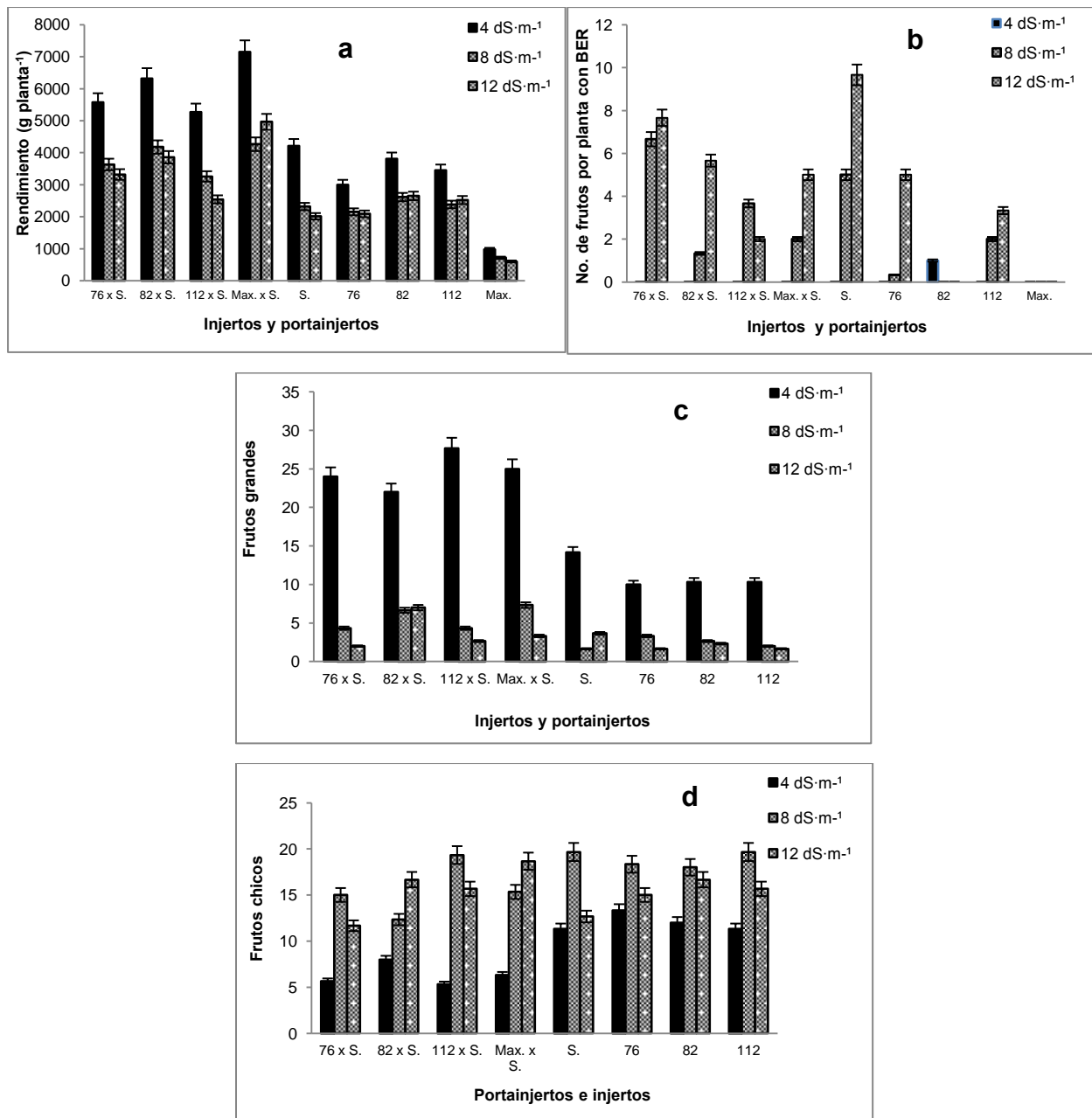


Figura 10. Efecto de los portainjertos y conductividad eléctrica (CE) en a) rendimiento; b) número de frutos por planta con podredumbre apical (BER); c) frutos grandes y d) frutos chico

Morfología de planta

El efecto más común que ocasiona la salinidad es la reducción en el desarrollo de la planta debido a una disminución del potencial osmótico del medio de crecimiento y, en consecuencia, de su potencial hídrico; la toxicidad iónica normalmente es asociada con la absorción excesiva de Na^+ y de Cl^- y un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con la absorción de los nutrientes esenciales que requiere la planta (Martínez *et al.*, 2011). El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) por efecto de la CE en altura de planta (AP) y materia seca de hoja (MSH) en jitomate tipo bola y en tipo saladette en (AP, MSR y MSH) (Cuadro 13). Esto pudiera deberse a la reducción en la capacidad de absorción de agua que se manifiesta en la reducción de la expansión foliar y la pérdida de turgencia, es decir, una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y de turgencia (Leidi y Pardo, 2002).

Los tipos de injerto (76 x B), (Maxifort x B) y plantas sin injertar (B) produjeron mayor materia seca en hoja en comparación con (82 x B) y (112 x B), y en jitomate tipo saladette, las plantas injertadas produjeron mayor MSH ($44.42 \text{ g planta}^{-1}$), en comparación con plantas sin injertar (S) (Cuadro 12). Resultados similares encontraron Godoy *et al.* (2009) ya que las plantas injertadas produjeron 1036 g m^{-2} de materia seca foliar en comparación con las plantas sin injertar con 922 g m^{-2} . La producción de materia seca de plantas injertadas podría estar relacionada con un mejor balance hídrico en las células; así también, como la producción de (osmolitos, citosolutos) son metabolitos hidrofílicos, entre los que se destacan azúcares

Cuadro 13. Comparación de medias en altura del primer racimo, altura de planta, materia seca de raíz y de hoja en jitomate tipo bola y saladette injertado y no injertado, evaluados en tres niveles de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en solución nutritiva Steiner. Montecillo Texcoco estado de México, 2012.

Factores	Jitomate tipo bola				Factores	Jitomate tipo saladette			
	APRMO	AP	MSR (g planta^{-1})	MSH (g planta^{-1})		APRMO	AP	MSR (g planta^{-1})	MSH (g planta^{-1})
CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)					CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)				
4	40.55 a*	3.61 a	44.27 a	83.61 a	4	38.3 a	4.02 a	46.8 a	79.63 a
8	41.33 a	3.49 ab	37.13 a	60.57 b	8	39.1 a	3.75 ab	39.5 b	61.57 b
12	40.07 a	3.22 b	37.94 a	53.87 b	12	39.6 a	3.62 b	40.7 ab	53.54 b
Tipos de injerto					Portainjertos				
76 x B	33.22 b	2.92 c	25.38 b	53.79 cd	76 x S	25.0 b	3.5 b	34.8 b	52.13 cd
82 x B	29.66 b	2.90 c	37.92 b	43.78 d	82 x S	26.3 b	3.2 b	28.7 b	54.41 cd
112 x B	28.33 b	2.88 c	27.78 b	45.00 d	112 x S	31.1 b	3.7 b	40.8 b	52.85 cd
Max. x B	31.00 b	2.98 c	29.50 b	55.62 cd	Max. x S	28.5 b	3.8 b	33.9 b	64.75 bc
B	34.44 b	2.95 c	33.07 b	51.28 cd	S	31.1 b	3.4 b	36.5 b	44.42 d
76	59.44 a	3.74 b	44.22 b	73.61 bc	76	59.4 a	3.7 b	44.2 b	61.51 bcd
82	53.00 a	3.69 b	37.70 b	84.05 b	82	53.0 a	3.6 b	37.7 b	84.05 ab
112	48.00 a	3.48 b	43.04 b	70.25 bc	112	48.7 a	3.4 b	43.0 b	70.25 abc
Maxifort	48.77 a	5.45 a	79.39 a	109.34 a	Maxifort	48.7 a	5.4 a	81.7 a	90.56 a
Media	33.22	2.92	25.38	53.79	Media	39.03	3.80	42.40	63.88
C.V. (%)	29.66	2.90	37.92	25.15	C.V. (%)	27.02	13.88	25.82	24.26

APRMO: altura del primer racimo; AP: altura de planta; MSR: materia seca de raíz; MSF: materia seca foliar; S.: jitomate tipo saladette; C.V.: coeficiente de variación; *Medias con la misma letra, dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

(sacarosa y fructosa), aminoácidos (prolina y betaína), glicerol, manitol, y otros metabolitos de bajo peso molecular que (Chen y Murata, 2002).

CONCLUSIONES

Las líneas 112 y 82 son una alternativa para usarse como portainjertos a estrés salino, ya que presentaron 33.5 y 40 % mayor rendimiento que las no injertadas en tipo bola y saladette respectivamente. Las plantas injertadas produjeron menos sólidos solubles totales y licopeno comparadas con plantas sin injertar (B y S). Los frutos tipo bola obtenidos de plantas sin injertar fueron más rojos que los obtenidos de plantas injertadas, mientras que en el tipo saladette los frutos más rojos fueron los tipos de injerto (82 x S) y (Maxifort[®] x S) y plantas sin injertar (S), en tanto que 76 x S y 82 x S presentaron frutos menos rojos. Las plantas injertadas produjeron frutos más grandes con respecto a las plantas sin injertar y la pudrición apical en frutos (BER) se presentó más en plantas no injertadas en ambos tipos de jitomate.

Los resultados globales muestran que el injerto de jitomate sobre patrones tolerantes a NaCl tiene efectos positivos sobre el rendimiento del cultivo, tamaño de fruto y disminución en número de frutos con pudrición apical (BER) pero la calidad es igual o menor a las plantas no injertadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams P, L-C Ho (1993)** Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and soil* 154: 127-132.
- Ashraf M and C J P Harris (2004)** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166: 3-16.
- Balibrea M, A C Santa, M Bolarín, F A Pérez (1996)** Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science* 118: 47-55.
- Balibrea M, A C Santa, M Bolarín, F A Pérez (1996)** Sucrolytic activities in relation to sink strength and carbohydrate composition in tomato fruit growing under salinity. *Plant Science* 118: 47-55.
- Bangerth F (1979)** Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual review of phytopathology* 17: 97-122.
- Barkla B J, R V Estrella, E Balderas y O Pantoja (2007)** Mecanismos de tolerancia a salinidad. *Biotecnología* 14: 263-272.
- Bertin N, C Borel, B Brunel, C Cheniclet and M Causse (2003)** Do genetic makeup and growth manipulation affect tomato fruit size by cell number, or cell size and DNA endoreduplication? *Annals of Botany* 92: 415-424.
- Carvalho W, M E Fonseca, R H Henoque, L S Boiteux, L B Giordano (2005)** Estimativa indireta de teores de licopeno en frutos de genotipos de tomateiro vía analise colorimétrica. *Horticultura Brasileira* 3: 819-825.

- Castellanos J Z (2009)** Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. Intagri, S. C. Celaya Guanajuato México. 6. p.
- Chen T and N Murata (2002)** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Plant Biology* 5: 250-257.
- Colla G, Y Roupael, C Leonardi and Z Bie (2010)** Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae* 127: 147–155.
- Cornish P S (1992)** Use of high electric conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grow in hydroponic culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 513-520.
- Dorais M, R Dorval, D Demers, D Micevic, G Turcotte, X Hao, A P Papadopoulos, D L Ehret and A Gosselin (2000)** Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *Acta Horticulturae* 511: 185-196.
- Edelstein M (2004)** Grafting vegetable-crop plants: Pros and cons. *Acta Horticulturae* 659: 235-238.
- Edelstein M, R Cohen, Y Burger, S Shriber, S Pivonia and D Shtienberg (1999)** Integrated management of sudden wilt in melons, caused by *Monosporascus cannonballus*, using grafting and reduced rates of methyl bromide. *Plant Disease* 83:1142-1145.
- Ehret D L and L C Ho (1986)** Effects of Osmotic Potential in Nutrient Solution on Diurnal Growth of Tomato Fruit. *Journal of Experimental Botany* 37: 1294-1302.

- Ehret D L y L C Ho (1986)** Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *Journal of Experimental Botany* 37: 1294-1302.
- Estañ M T, R M Martínez, F Pérez-Alfosea, T J Flowers and M C Bolarin (2005)** Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal experimental Botany* 412: 703-712.
- Gen Y Y, Y Kobayashi, A Sanuki, S Kondo, N Fukuda, H Ezura, S Sugaya y C Matsukura (2010)** Salinity induces carbohydrate accumulation and sugar regulated starch biosynthetic genes in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Micro-Tom) fruits in an ABA-and osmotic stress-independent manner. *Journal of Experimental Botany* 61: 563–574.
- Godoy H, H J-Z Castellanos, G Alcantar, M Sandoval y J-J Muñoz (2009)** Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana* 27: 1-11.
- Goykovic V, G Saavedra (2007)** Some effects of salinity on the tomato cultivars and agronomic practices in its managing. *IDESIA (Chile)* 3: 47- 58.
- Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, and C Goulas (2006)** Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. *Journal of Applied Horticulture*. 1: 3-7.
- King R S, A R Davis, X Zhang and K crosvy (2010)** Genetics, breeding and selection of rootstocks for solanaceae and cucurbitaceae. *Scientia Horticulturae* 127: 106-111.
- Kubota C, and M A McClure (2007)** Vegetable grafting: history, use, and current technology status in north America department of plant sciences, the University of Arizona, 303 Forbes Building, Tucson, AZ 85721-0036.

- Lee J M and M Oda (2003)** Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. Horticultural Reviews 28: 61-124.
- Leidi E O y J M Pardo (2002)** Tolerancia de los cultivos al estrés salino. Revista de investigación de la facultad de ciencias agrarias 2: 2-10.
- López C y P A Gómez (2004)** Comparison of color indexes for tomato ripening. Horticultura Brasileira 3: 534-537.
- Martínez F M, J P Reyes, F H Despaigne y M H Baldaquin (2004)** Efecto de los hongos micorrisógenos arbusculares en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate. Universidad de Granma. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuba. 6 p.
- Martínez V N, C S López, M S Basurto y R L Pérez (2011)** Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Medio ambiente y desarrollo sustentable 5: 156-161.
- Minolta K (2007)** Precise color communication. Konica Minolta Sensing. Japan 59 p.
- Mitidierri M, S M Brambilla y M Piris (2005)** El uso de portainjertos resistentes en cultivo de tomate bajo cubierta: resultados sobre la sanidad y el rendimiento del cultivo. INTA. Centro Regional Buenos Aires Norte. Buenos Aires Argentina. 1-8 Pp.
- Munns R, S Husain, A R Rivelli, R A James, A G Tony, M P Lindsay, E S Lagudah, D P Schachtman and R A Hare (2002)** Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. Plant and Soil 247: 93-105.
- Nguyen B ANDA C H Foyer (2000)** A role for “involving invertase and sucrose synthase in sucrose metabolism of tomato fruit. Experimental Botany 52: 881-889.

- Nichols A M, K J Fisher, L S Morgan and A Simon (1994)** Osmotic stress yield and quality of hydroponic tomatoes. *Acta Horticulturae* 361: 302-311.
- Oda M (1999)** Grafting of vegetables to improve greenhouse production. *Ext. Bull. Food y Fert. Tech. Center.* 480: 1-11.
- Preiss J (1988)** Biosynthesis of starch and its regulation. *In: Preiss J, ed. The biochemistry of plants, Vol. 14.* San Diego, CA: Academic Press 181-254.
- Rivero R M, J M Ruíz and L Romero (2003)** Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Food, Agriculture and Environment* 1: 70-74.
- Sakamoto Y, S Watanabe, T Nakashima, K Okano (1999)** Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 690-693.
- SIAP (2013)** Servicio de información agroalimentaria y pesquera de consulta. 2013. *In* <http://www.siap.gob.mx/index.php?option/SIAP>.
- Turhan A, N Ozmen, M S Serbeci and V Seniz (2011)** Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae* 4: 142-149.
- Vinkovic V I, V Samobor, M Bojic, M S Medic, M Vukobratovic, R Erhatic, D Horvat and Z Matotan (2011)** The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agricultural Research* 3: 844-851.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

Caracterización agronómica de selecciones individuales de jitomate nativo

México es considerado uno de los centros de domesticación y diversificación del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Rick y Fobes, 1975) con diversas poblaciones nativas cultivadas y variantes silvestres, pero poco documentadas en términos de sus características físicas, químicas y nutricionales (Méndez *et al.*, 2011). Ramírez (2010) muestra evidencias de que en México existe una gran reserva genética de *Solanum lycopersicum*, tanto silvestre como cultivada, pero poco estudiada. Sin embargo, se reconocen a las costas de Perú y Ecuador como el centro de origen y diversidad de *Solanum lycopersicum* (Robertson y Labate, 2007). La diversidad genética de estos recursos les ha permitido adaptarse a diferentes ambientes y condiciones de crecimiento. La capacidad genética que tiene una variedad de resistir la salinidad, sequía, alta humedad, suelos deficientes en minerales, tolerar plagas y enfermedades, son rasgos que se transmiten naturalmente a través de sus genes y que pudieran ocuparse para hacer mejoramiento en la misma especie (Bastias, 2008).

En México solo en los últimos años se han realizado trabajos de investigación dirigidos al aprovechamiento y caracterización de poblaciones nativas cultivadas y silvestres de jitomate, con el propósito de conocer su potencial agronómico, rendimiento, calidad y características fisiológicas como la tolerancia a la salinidad, tanto en plántula como en planta adulta. Por ejemplo, Carrillo y Chávez (2010) colectaron y caracterizaron 49 poblaciones de jitomate silvestre y semicultivado (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) del estado de Oaxaca; con base en el análisis de componentes principales determinaron que los días al inicio de

floración, fructificación, maduración, número total de frutos al quinto racimo, altura de planta a 30 días del trasplante, número de frutos por racimo y peso medio de frutos, fueron las variables de mayor valor para describir la variabilidad morfológica, concluyendo que en el estado de Oaxaca existe una amplia variación en caracteres fenológicos de planta, tallo, hoja, flores y frutos en las poblaciones de jitomate Méndez *et al.* (2011) encontraron diferencias estadísticas en calidad de fruto en accesiones de jitomate mexicano (GTO-11, OAX-115, PH-102 y PH-96) donde sobresalieron en contenido de licopeno en base húmeda y seca con valores mayores a 20 y 300 mg 100 g⁻¹, respectivamente. Juárez *et al.* (2011) evaluaron siete poblaciones de jitomate provenientes del estado de Puebla y Guerrero, y encontraron que en días a madurez del primer racimo, altura de planta, largo de fruto, diámetro de fruto, número de lóculos, peso de fruto y rendimiento, al menos una de las poblaciones superó al testigo comercial (H-790), además, de que por las características de las poblaciones de jitomate mexicano estas podrían cultivarse como tipo “cherry” y algunos de ellos podrían emplearse como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético de esta especie; Urrieta *et al.* (2012) evaluaron tres selecciones de jitomates de costilla, cultivados en invernadero y en dos potenciales osmóticos, encontrando que la selección Starmex2 incrementó su rendimiento con la solución nutritiva Steiner a potencial osmótico de -0.072 Mpa.

Además de la variación morfológica entre poblaciones, en el Colegio de Postgraduados se han desarrollado trabajos para evaluar la diversidad y variación fenotípica y genética dentro de poblaciones nativas, como el de González *et al.* (2012) quienes encontraron diferencias estadísticas en rendimiento entre diez líneas de jitomate derivadas de una población nativa expuestas a tres concentraciones de

solución nutritiva, en niveles similares a los testigos bola y tipo saladette. La diversidad morfológica y respuestas fisiológicas observadas entre y dentro de poblaciones en los estudios realizados hasta el momento permiten suponer que en características asociadas con la tolerancia a factores bióticos y abióticos, pueden hallarse grados de variación similares. Aunque en este sentido, con particular referencia a la tolerancia a la salinidad, la información relacionada con este tipo de estrés es poca. Entre los pocos estudios sobre el particular destaca el realizado por, Sanjuan *et al.* (2010) quienes encontraron diferencias estadísticas en la morfología en estado de plántula de 48 líneas de una población nativa de jitomate debidas al estrés salino, los autores indican que la acumulación de materia seca es una característica de importancia agronómica, ya que el incremento proporcional de biomasa garantiza el buen rendimiento y que las diferencias entre individuos se manifiestan aún estado de plántula.

En el primer estudio de este trabajo de investigación se evaluó el grado de variación intrapoblacional en características de interés agronómico de 120 selecciones individuales derivadas de una población del estado de Puebla. Esta fase fue el primer paso para la selección de genotipos tolerantes a salinidad con potencial para ser utilizados como portainjertos tolerantes al estrés salino. Los resultados obtenidos, indicaron mayor variación en la calificación general con 30 %, seguido de la calificación general de sanidad con 27 % y de la uniformidad del fenotipo (23 %), estos resultados mostraron la variación fenotípica amplia que se puede encontrar aun dentro de una misma población nativa, desarrollada y mantenida por los agricultores. En este estudio los dos primeros componentes principales explicaron

59.7 % de la variación fenotípica total y las variables de mayor valor descriptivo fueron el diámetro de tallo y la calificación general.

Las diferencias entre las selecciones individuales evaluadas estuvieron definidas por características morfológicas y la tolerancia a enfermedades, asociadas con vigor en tallo y uniformidad en crecimiento, ya que son de hábito indeterminado y son cultivadas aunque en zonas específicas. Las selecciones individuales de jitomate se dispersaron en los cuatro cuadrantes en el plano definido por los dos primeros componentes, como resultado de la amplia variabilidad intra-poblacional existente en la población original de 120 selecciones estudiadas, de tal manera que fue posible definir seis grupos con base en los dos primeros componentes.

El grupo II integró a la mayoría de las selecciones evaluadas 84.16 % y las que se dispersaron en los cuatro cuadrantes. En el grupo III y IV se ubicaron las selecciones de estatura baja y poco vigorosas con calificación general de 3, clasificadas como plantas regulares; mientras que en el grupo VI se ubicaron dos selecciones (98 y 105) que se caracterizaron como sobresalientes en los aspectos medidos en el presente estudio, ya que presentaron mayor diámetro de tallo, altura de planta, número de racimos con fruto, sanidad y uniformidad.

Selección de líneas tolerantes a NaCl

La salinidad del suelo se incrementa año con año en las regiones áridas y semiáridas del mundo como consecuencia de la baja precipitación y el mal manejo de agua de riego y fertilizantes (Villa *et al.*, 2006). El Na y Cl son iones dominantes en suelos y agua salinos (Zhu, 2001), y las plantas activan diversos mecanismos morfológicos, fisiológicos y bioquímicos para contrarrestar el efecto detrimental de

estos elementos (García *et al.*, 2009), debido a que existen diversos factores que determinan la respuesta de tolerancia de los cultivos entre los cuales está el genotipo y la fase de desarrollo en que se presenta el estrés salino (Maas, 1990) las especies no son igualmente afectadas por la salinidad.

El jitomate es una especie glicofita y, por lo tanto, es medianamente sensible a las sales (Goykovic y Saavedra, 2007) con un umbral de tolerancia de $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Chinnusamy *et al.*, 2005), aunque Lara (1999) menciona que es de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, por encima del umbral se disminuye 10 %, debido a que sales afectan el metabolismo de la planta, y que los potenciales hídricos reducidos, toxicidad iónica y desbalance nutrimental reducen el crecimiento y productividad (Munns, 2002). Además, el estado hídrico de las plantas y su capacidad de asimilación de nutrimentos son procesos fisiológicos sensibles a la salinidad, además de ser factores determinantes en el crecimiento de las mismas (Cramer *et al.*, 1994).

Características de importancia agronómica, como el porcentaje de germinación, el número de hojas y la reducción del área foliar por desecación de hojas son afectadas por el estrés salino, condiciones que reducen la producción de fotoasimilados, área foliar, la altura de planta, y tallos, longitud de raíz y la acumulación de materia seca de la planta (Lerner, 1985; Abrisqueta *et al.*, 1991; Al-Karaki, 2000; Yokoi *et al.*, 2002 y Goykovic y Saavedra, 2007). Sin embargo en las Islas Galápagos se encuentran una especie de jitomate silvestre que ha proporcionado genes de tolerancia a la salinidad, de manera que las plantas pueden ser irrigadas con una tercera parte de agua marina (Hoyt, 1992). Rick, (1982) indica que dentro de las especies *Lycopersicon chilense*, *L. peruvianum*, *L. pennellii*, *L.*

cheesmanii y *L. pimpinellifolium* se encuentra cierta tolerancia a la salinidad. Estas evidencias respaldan la hipótesis de que dentro del género *Solanum lycopersicum* se encuentra tolerancia a la salinidad, por lo que se llevó a cabo la siguiente fase de esta investigación con la evaluación de 48 líneas de jitomate nativo en cinco niveles de conductividad eléctrica (CE), con el objetivo de identificar líneas tolerantes a la salinidad susceptibles de ser empleadas como patrones tolerantes a dicho estrés.

Los resultados de esta fase de estudio que mostraron que la altura de planta es afectada por la CE de la solución nutritiva, así como el diámetro de tallo, características que al pasar de 6 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se redujo a 6.1 y 12.8 % respectivamente, y entre las conductividades de 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ no se presentaron diferencias significativas. En el número de hojas el efecto de la CE fue menor ya que en 6, 8 y 10 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se redujo (6 %) en comparación con el tratamiento de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$; en tanto que en el tratamiento de 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción del número de hojas fue de 12 %. La salinidad en solución nutritiva no disminuyó de manera drástica el número de hojas en plántulas de jitomate, aunque el efecto es mayor en tamaño de hoja (área foliar), ya que en el tratamiento de 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción fue del 10 % y al pasar a 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción fue de 24 % en comparación con el tratamiento de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en tanto que en los tratamientos de 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la disminución fue de 41 %. Estas respuestas explicarían la reducción de la acumulación de materia seca y por lo tanto del rendimiento.

Las 48 líneas y los dos testigos comerciales evaluados en estado de plántula mostraron respuestas diferenciales ante el estrés salino en solución nutritiva en altura de planta (ALP), diámetro de tallo (DTA), número de hojas y área foliar. En ALP y DTA las líneas 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 fueron las mayores y las

menores la 99D y 42. En el presente trabajo de investigación el área foliar presentó amplia variabilidad en las líneas evaluadas y las líneas sobresalientes mostraron un intervalo de 62.48 a 49.28 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, mientras que el testigo comercial produjo 39.91 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$ y las líneas 99D y 42 fueron las de menor área foliar con 34.97 y 27.41 $\text{cm}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente.

La producción de materia seca de las 48 líneas evaluadas en cinco niveles de CE en solución nutritiva fue afectada. Por ejemplo, la materia seca de raíz (MSR) en CE de 8, 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ presentó reducciones de 17 y 31 % con relación al obtenido en 4 y 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. El tallo fue uno de los órganos más afectados ya que se acumuló menos materia seca al incrementarse la CE, y en los tratamientos de 8, 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la pérdida fue de 43 y 53 % con relación al tratamiento de 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que, en la CE de 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue de 18 %. La disminución en la acumulación de materia seca en tallo causó que las plantas fueran más delgadas y menos vigorosas. El estrés salino no provocó mayor efecto en materia seca foliar en los tratamientos de 4, 6 y 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Como resultado del menor impacto de la salinidad la materia seca foliar redujo 19 % en los tratamientos de 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

La producción de materia seca total (MST) no se vio afectada en los tratamientos de 4 y 6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, ya que no existió diferencia estadística entre ambos, sin embargo, con 8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se redujo 20 %, mientras que entre 10 y 12 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la reducción fue de 35 %. Las líneas sobresalientes en estas variables fueron 36, 77, 35, 124, 113, 82 y 76, mientras que, el Testigo1 (T1) fue afectado principalmente en el tallo, ya que la plantula fue considerada sin vigor. El Testigo 2 (T2) se vio afectado en materia seca de raíz (MSR) y materia seca de tallo (MSTA). Por ejemplo, la línea

82 superó en 27 % al T1 y 34% al T2 en MSTA. Los resultados muestran la variabilidad intrapoblacional de la tolerancia a salinidad expresada ésta como CE.

Con base en la materia seca producida se calculó el índice de susceptibilidad a salinidad (ISS) y se determinó que 75 % de las líneas evaluadas son tolerantes a salinidad con un intervalo de 0.2 a 0.9, el testigo T1 también fue tolerante; en contraste el T2 así como 25 % de las líneas nativas de jitomate fueron susceptibles (IIS= 1.0 a 1.6). Este comportamiento podría atribuirse a la existencia de tolerancia a la salinidad dentro del género *Solanum lycopersicum*, incluyendo a poblaciones nativas cultivadas y silvestres de *S. lycopersicum*, y que la tolerancia no es exclusiva de otras especies de jitomate como: como: *Lycopersicon chilense*, *L. peruvianum*, *L. pennellii*, *L. cheesmanii* y *L. pimpinellifolium*. Por sus características agronómicas (materia seca de raíz, materia seca de tallo, materia seca foliar, materia seca total, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar) las líneas de jitomate nativo 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 podrían ser evaluadas como portainjertos tolerantes a NaCl.

Portainjertos de jitomate nativos (*Solanum lycopersicum* L.) tolerantes a niveles altos de conductividad eléctrica en la solución nutritiva

El incremento de la conductividad eléctrica (CE) de 4 a 8 dS·m⁻¹ redujo el rendimiento en 32 % en jitomate tipo bola y 36 % en tipo saladette. La respuesta pudiera ser debido a disminución en el número de frutos por planta y a la disminución en el tamaño de fruto, por ejemplo en la CE más alta disminuyó 25.5 % con respecto a las conductividades de 4 y 8 dS·m⁻¹ en jitomate tipo bola. En saladette la disminución de frutos fue de 23 y 35 % respecto al tratamiento de 4 dS·m⁻¹. La

producción de frutos grandes disminuyó 73.5 % en tipo bola y 77 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y 12 dS·m⁻¹. En frutos medianos no hubo diferencias estadísticas en tipo bola pero si en tipo saladette en el que se presentó 37 % más de frutos medianos respecto al tratamiento de 12 dS·m⁻¹. La producción de frutos chicos se incrementó en 65.5 % en el tipo bola y 87 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y 12 dS·m⁻¹. Los resultados encontrados por Cornish (1992) y Nichols *et al.* (1994) coinciden con nuestros resultados en que la reducción del rendimiento se debe a la disminución del tamaño de fruto; en contraste Doráis *et al.* (2001) mencionan que la reducción de rendimiento no es debido a la reducción del número de frutos por planta, este resultado contradice las evidencias obtenidas en el presente estudio.

El presente estudio mostró que las plantas injertadas producen más en ambiente salino que las no injertadas. Los tipos de injerto (Maxifort x B) y (112 x B) en jitomate bola sobresalieron al producir 39 y 33.5 % más respectivamente, respecto a la planta sin injertar (B), y en jitomate saladette los tipos de injertado sobresalientes fueron (Maxifort x S) y (82 x S) con rendimientos de 48 y 40 % más respectivamente, con respecto a la planta sin injertar (S). Estos resultados muestran que al menos dos de las líneas derivadas de la población nativa es equiparable en su respuesta al híbrido comercial Maxifort, como resultado de la amplia variación fenotípica de la población original y capacidad de adaptación de estas poblaciones, que en manos de los agricultores han estado sometidas a múltiples y numerosas etapas de selección natural y artificial durante su proceso de domesticación.

Un aspecto importante necesario de considerar en este tipo de evaluaciones, es la calidad de producción de fruto, principalmente del tamaño en plantas injertadas

y no injertadas. En este estudio se mostró la bondad del proceso de injertado, ya que en niveles bajos de CE ($4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) las plantas injertadas superaron el comportamiento de las no injertadas, como en los tipos de injerto (76 x B), (82 x B), (112 x B) y el testigo (Maxifort x B) que produjeron 42 % más cantidad de frutos grandes que las plantas sin injertar (B). En los tratamientos de 8 y de $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ la producción de frutos grandes en los injertos (76 x B), (82 x B) y (112 x B) disminuyó 82 % en jitomate bola y en el injerto (Maxifort x B) esta reducción fue menor (59 %). En plantas sin injertar (B) el estrés por salinidad fue mayor ya que produjeron 92 % menor cantidad de frutos grandes.

En el caso de saladette en $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ los tipos de injerto (112 x S) y (Maxifort x S) produjeron 48 y 43 % más frutos grandes en comparación con las plantas sin injertar (S). En los tratamientos de 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, la producción de frutos grandes disminuyó drásticamente en las plantas no injertadas, en tanto que, las menos afectadas correspondieron al injerto (Maxifort x S) y (82 x S). Estos resultados coinciden con los mencionados por Vinkovic *et al.* (2011), Turhan *et al.* (2011) y Godoy (2009), en que frutos de mayor peso se encuentran en plantas injertadas, por lo que se incrementa el rendimiento por unidad de superficie. Los resultados en ambos tipos de variedades injertadas resaltan la importancia de utilizar portainjertos tolerantes a salinidad cuando se cultivan en conductividades mayores a 4 dS m^{-1} .

La CE eléctrica de la solución nutritiva tuvo efecto positivo en la concentración de sólidos solubles totales, ya que en jitomate tipo bola se incrementaron en 27 % y 18 % en tipo saladette al pasar de 4 a 8 y $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En contraste los frutos tipo bola de plantas injertadas presentaron menos cantidad de sólidos solubles (5.0 a 5.2)

respecto a las plantas sin injertar (B), tendencias similares ocurrieron en jitomate tipo saladette. En el contenido de licopeno no se encontraron diferencias estadísticas de plantas injertadas y no injertadas. Estos resultados indican que si bien la salinidad tiene un efecto positivo en la calidad interna del fruto pero no ocurre lo mismo como consecuencia del injertado. Algunos autores como Vinkovic *et al.* (2011) encontraron que la calidad de jitomate de plantas injertadas disminuye; en tanto que Khah *et al.* (2008) no encontraron diferencia estadística entre plantas injertadas y no injertadas en parámetros de calidad como pH, sólidos solubles totales (°Brix), porcentaje de ácido cítrico, licopeno, firmeza y algunos minerales como Zn, Cu, Mn, Fe y Ca. Los resultados aquí obtenidos y comparados con los autores antes mencionados permiten asumir que el injertado en las líneas experimentales y en la variedad comercial no mejoran la calidad interna de los frutos, y que ésta calidad depende de la variedad injertada, por lo que es necesario tener conocimiento previo de la calidad de las variedades existentes en el mercado ya que este aspecto puede repercutir en la comercialización de la misma. Aunque en el diseño de plantas injertadas podría buscarse la integración de variedades de alta calidad con patrones tolerantes a la salinidad y que responden positivamente a la misma, incrementando la calidad del fruto.

La luminosidad ésta relacionada con el oscurecimiento de los frutos como consecuencia de la degradación de la clorofila y la síntesis de licopeno. La luminosidad presentó diferencias estadísticas entre las diferentes conductividades eléctricas, ya que los frutos tipo bola fueron más oscuros en $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, en tanto que los menos oscuros se presentaron en $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que en $12 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ se encontraron valores intermedios.

Los frutos tipo bola de plantas sin injertar fueron más rojos, mientras que los frutos de plantas injertadas fueron de color anaranjado. En jitomate saladette no se encontraron diferencias estadísticas entre plantas injertadas y no injertadas, aunque si hubo diferencias numéricas. Los frutos de color anaranjado se obtuvieron en los injertos (76 x S) y (112 x S) y los de color rojo moderado en los injertos (82 x S), (Maxifort x S) y de plantas sin injertar (S).

La pudrición apical de frutos (BER) es uno de los problemas que se presentan cuando se cultiva jitomate en ambientes salinos. En el presente estudio los injertos (76 x B), (82 x B), (112 x B) y (Maxifort x B) no presentaron diferencias estadísticas entre ellos con 2.8, 3.2, 4 y 4.3 frutos con pudrición apical, sin embargo, las plantas sin injertar de la variedad bola (B) se vieron más afectadas por el estrés salino con 7.1 frutos por planta con pudrición apical. Mientras que, en jitomate saladette las plantas no injertadas (S) y el tipo de injerto (76 x S) se vieron más afectadas con 4.9 y 4.8 frutos por planta con pudrición apical (BER), y los tipos de injerto (82 x S), (112 x S) y (Maxifort x S) mostraron menos frutos con pudrición apical. Los resultados muestran que la acción de injertar tiene un efecto positivo sobre la calidad externa de los frutos y en la salinidad derivada de la falta de movilización del calcio, por lo que resulta altamente recomendable emplear plantas de jitomate injertadas, cuando se cultivan con agua salina (4 dS m^{-1} o mayores).

En la morfología de la planta se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) por efecto de la CE en altura de planta (AP) y materia seca de hoja (MSH) en jitomate tipo bola, y en jitomate tipo saladette en altura de planta, materia seca de raíz y materia seca de hoja. Los injertos (76 x B) y (Maxifort x B) y las plantas sin injertar (B) produjeron mayor materia seca en hoja en comparación con (82 x B) y

(112 x B); y en jitomate tipo saladette, las plantas injertadas produjeron mayor materia seca en hoja, en comparación con plantas sin injertar (S) con 44.42 g planta⁻¹

Los aspectos de variación fenotípica intrapoblacional en una población nativa, de variación intrapoblacional en respuesta fisiológicas y las respuestas de líneas experimentales como patrones de variedades comerciales de alto valor comercial pero susceptibles a la salinidad, permitieron identificar a las líneas 112 y 82 como potencialmente útiles para ser usadas como portainjertos tolerantes al estrés salino, ya que presentaron 33.5 y 40 % más rendimiento en comparación con plantas no injertadas en tipo bola y saladette; aunque en sólidos solubles totales y licopeno no superaron las plantas sin injertar (B y S). Estas líneas representan una importante contribución a la agricultura nacional y el método empleado en su obtención una importante contribución tecnológica para el desarrollo de líneas tolerantes a factores abióticos, a partir de poblaciones nativas de México. Además, representan una importante contribución para la producción de germoplasma nacional para la solución de problemas agrícolas de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

Abrisqueta M, H Sáez, J Alarcón, Ma. Lozano (1991) Root growth dynamics of two tomato genotypes under saline conditions. *Suelo y Planta* 1: 351-361.

Al-Karaki G N (2000) Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *Journal Plant Nutrition* 23: 369-379.

Bastias M E (2008) Biodiversidad y recursos filogenéticos en la agricultura. *IDESIA* (Chile) 26 (1): 5-7.

- Carrillo R J-C y J-L Chávez (2010)** Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4): 1-6.
- Cornish P S (1992)** Use of high electric conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32: 513-520.
- Cramer G R, G J Alberico, C Schmidt (1994)** Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of 2 maize hybrids. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 675-692.
- Dorais M, R Dorval, D Demers, D Micevic, G Turcotte, X Hao, A P Papadopoulos, D L Ehret and A Gosselin (2000)** Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *Acta Horticulturae* 511: 185-196.
- García M, E Medina y R Villafañe (2009)** Acumulación de iones y solutos orgánicos en hojas de caña de azúcar en dos tabloneros comerciales afectados por sales. *Bioagro* 21: 87-98.
- Godoy H, H J-Z Castellanos, G Alcantar, M Sandoval y J-J Muñoz (2009)** Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, material seco y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoamericana* 27: 1-11.
- González F, M Sandoval, P Sánchez, P Ramírez, M-N Rodríguez (2012)** Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Horticulturae* 947:69-76.
- Goykovic C V, R G Saavedra (2007)** Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas en su manejo. *IDESIA (Chile)* 25: (47-58).

- Hoyt E (1992)** Conservando los parientes silvestres de las plantas cultivadas. Addison-Wesley Iberoamericana. Delaware, Estados Unidos de América. Addison -Wesley Iberoamericana. Delaware, Estados Unidos de América. 52 p.
- Juárez L P, R Castro, T Colinas, M Sandoval, P Ramírez, D W Reed, L Cisneros y S King (2011)** Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. Serie Horticultura 18 (2): 207-216.
- Khah E M, E Kakava, A Mavromatis, D Chachalis, and C Goulas (2006)** Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. Journal of Applied Horticulture 1: 3-7.
- Lara H A (1999)** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra 17: 221-229.
- Lerner H (1985)** Adaptation to salinity at the plant cell level. Plant and Soil 89:3-14
- Maas E V (1990)** Crop salt tolerance. In: Agricultural salinity assesment and management manual. K. Tanji (ed). ASCE. New York. pp: 262-304.
- Méndez I, A Vera, J-L Chávez y J-C Carrillo (2011)** Quality of fruits in Mexican tomato (*Lycopersicon escuentum* Mill.). Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. 18 (1): 26-32.
- Munns R (2002)** Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environment 28:239-250.
- Nichols A M, K J Fisher, L S Morgan and A Simon (1994)** Osmotic stress yield and quality of hydroponic tomatoes. Acta Horticulturae 361: 302-311.

- Ramírez V P (2010)** Conservación y aprovechamiento de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate. 6to. Simposio Nacional de Horticultura, Producción de tomate en el norte de México. Memorias. Celebrado del 8 al 10 de noviembre de 2010 en Saltillo, Coahuila, México.
- Rick C M (1982)** The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In Plant improvement and somatic cell genetics, ed. I. K. Vasil, W. R. Scowcroft y K. J. Frey, pp. 1-28. Academic Press, New York.
- Rick, C M and J F Fobes (1975)** Allozyme variation in the cultivated tomato and closely related species. Bulletin of the Torrey Botanical Club 102 (6): 376-384.
- Robertson L D and J A Labate (2007)** Genetic resources of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and wild relatives. In: *Genetic Improvement of Solanaceous Crop*, Vol. 2: Tomato. M K Razdan, A K Mattoo (eds.). Science Publishers. Enfield, New Hampshire USA, pp: 25-75.
- Sanjuan F, P Sánchez, P Ramírez, M Livera, M Sandoval, J-C Carrillo (2010)** Variedades nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentu* Mill.) tolerantes a NaCl. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. y Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Libro de Resúmenes del Foro Regional de Agricultura Sostenible “La sostenibilidad como eje fundamental en la producción de alimentos y el desarrollo rural”. 24-26 pp.
- Turhan A, N Ozmen, M S Serbeci and V Seniz (2011)** Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Scientia Horticulturae 4: 142-149.
- Urrieta J-A, M-N Rodríguez, P Ramírez, G-A Baca, L- M Ruiz y J-A Cueto (2012)** Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costila (*Solanum lycopersicum* L.). Serie Horticultura 18 (3): 371-381.

Villa C M, E V Catalan, M-A I Inzunsa y A L Urley (2006) Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (1) 79-88.

Vinkovic V I, V Samobor, M Bojic, M S Medic, M Vukobratovic, R Erhatic, D Horvat and Z Matotan (2011) The effect of grafting on the antioxidant properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Agricultural Research* 3: 844-851.

Yokoi S, R A Bressan, H P Mike (2002) Salt stress tolerance of plants. JIRCAS Working Report 25 - 33.

Zhu J K (2001) Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6: 66-71.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Con base en los objetivos e hipótesis planteados se establecen las siguientes conclusiones:

Las 120 selecciones individuales provenientes de una población nativa de jitomate domesticado del estado de Puebla presentaron diferencias significativas en 6 características morfológicas de planta. La mayor variación intrapoblacional se encontró en número de racimos con fruto (19.66%), severidad general (27.02%), uniformidad (23.55%) y calificación general (30.34%). Los dos primeros componentes (calificación general y diámetro de tallo) explicaron 59.7% de la variación fenotípica de las 120 selecciones individuales caracterizadas.

Por sus características agronómicas sobresalientes (materia seca de raíz, de tallo y foliar, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar e índice de susceptibilidad salinidad) las líneas de jitomate 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 pueden usarse como portainjertos tolerantes a NaCl.

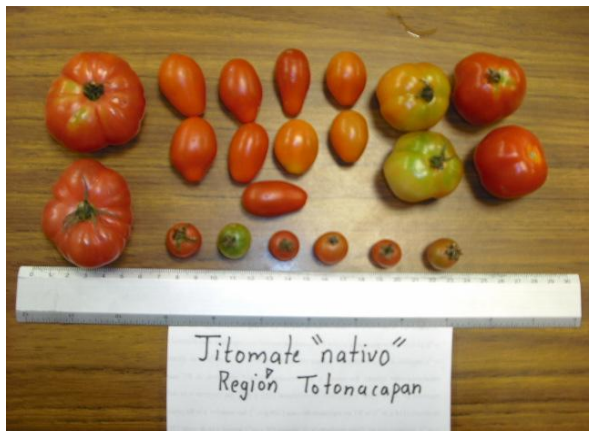
Las líneas 112 y 82 se pueden usar como portainjertos tolerantes a estrés salino, ya que presentaron 33.5 y 40 % más rendimiento en comparación con plantas no injertadas en tipo bola y saladette respectivamente. Las plantas injertadas en portainjertos nativos y el testigo comercial Maxifort[®] no mejoraron la calidad de los frutos (sólidos solubles totales y licopeno), fueron iguales o menores que las plantas no injertadas.

En rendimiento de jitomate tipo bola los portainjertos nativos y el testigo Maxifort[®] no fueron diferentes, y en tipo saladette el portainjerto nativo (82 x S) y el testigo (Maxifort[®] x S) superaron a 112 x S y 76 x S.

La línea (82) fue igual al testigo comercial en las variables medidas en este estudio.

IX. ANEXOS

ANEXO A. Diversidad genética de jitomate como una alternativa a la tolerancia a la salinidad a través de portainjertos. Fotos del (Proyecto de conservación y aprovechamiento de poblaciones nativas de jitomate Mexicano) Colegio de Postgraduados.

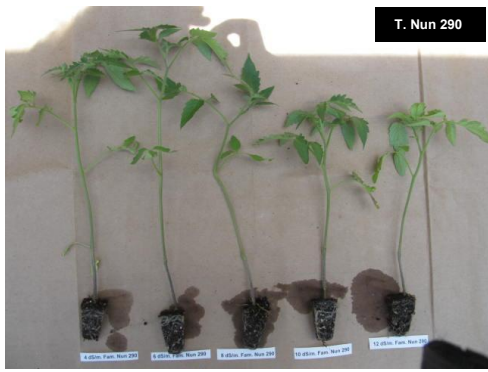


ANEXO B. Experimento I en casa sombra con el productor cooperante en Zinacatepec, Puebla. 2009.



ANEXO C. Tolerancia de líneas nativas de jitomate a la salinidad en estado de plántula.





Anexo D. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner en plantas injertadas en el experimento III.





ANEXO E. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva Steiner en portainjertos 112 y Maxifort en el experimento III.

