

TOLERANCIA DE LÍNEAS NATIVAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

A LA SALINIDAD CON NaCl

Felipe Sanjuan Lara, Porfirio Ramírez Vallejo†, Prometeo Sánchez García, Manuel Sandoval Villa, Manuel Livera Muñoz, José Cruz Carrillo Rodríguez y Catarino Perales Segovia

RESUMEN

Las especies de tomate, sean cultivadas o silvestres, son medianamente sensibles a la salinidad; sin embargo, dentro de la especie *Solanum lycopersicum* L. se encuentra variabilidad genética para tolerancia a la salinidad. Esta característica representa una alternativa viable para la generación de portainjertos tolerantes. Para identificar fenotipos tolerantes a la salinidad se desarrolló el presente estudio, cuyo objetivo fue evaluar la respuesta de 48 líneas obtenidas por selección de plantas individuales en una población nativa de tomate y de dos híbridos comerciales empleados como testigos. El experimento fue regado con solución nutritiva Steiner y cinco niveles de conductividad eléctrica (4, 6, 8, 10 y 12dS·m⁻¹) en estado de plántula. Las semillas

fueron sembradas en charolas de polietileno de 200 cavidades, rellenas con turba canadiense (peat moss natural®). Los cinco tratamientos fueron establecidos bajo un diseño en parcelas divididas con cuatro repeticiones. El efecto de la salinidad fue menor en la reducción del número de hojas (12%) y del diámetro del 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.

Introducción

La salinización es responsable del deterioro de tierras cultivables (Tanji, 1990) razón por la que se espera pérdidas a nivel mundial de 30% en los próximos 25 años y hasta 50% en 2050 (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 nutricional (Munns, 2002). La mayor concentración de elementos minerales como NaCl disminuye la absorción de agua y de nutrientes. 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 nutrientes a expensas del desarrollo (Lara, 1999). El estado hídrico de la plantas y su capacidad de asimilación de nutrientes son procesos fisiológicos sensibles a la salinidad, además de ser factores determinantes en el crecimiento de aquellas (Cramer *et al.*, 1994).

Las especies de tomate, cultivadas o silvestres, son medianamente sensibles a la salinidad y presentan un umbral de tolerancia, de 2,5dS·m⁻¹ cuantificado en el extracto de saturación del suelo y expresado en conductividad

eléctrica (CE) (Chinnusamy *et al.*, 2005). Por cada unidad por encima del umbral el rendimiento disminuye 10% y valores menores al umbral limitan el desarrollo óptimo del cultivo (Maas y Hoffman, 1977; Lara, 1999).

Algunas características de importancia agronómica, tales 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. A su vez, esas condiciones reducen la producción de fotoasimilados, área foliar, altura de planta y, tallos, longitud de raíz y acumulación de materia seca por la planta (Lerner, 1985; Abrisqueta

et al., 1991; Al-Karaki, 2000; Yokoi *et al.*, 2002; 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 tomate silvestre que ha proporcionado genes de tolerancia a la salinidad, de manera que las plantas pueden ser irrigadas con una tercera parte de agua de mar (Hoyt, 1992).

Sin embargo, se encuentra poca información relacionada con la tolerancia a la salinidad en poblaciones nativas de *Solanum lycopersicum* L. Sanjuan *et al.* (2010) encontraron diferencias estadísticas

PALABRAS CLAVE / Líneas Nativas / Salinidad / *Solanum lycopersicum* / Tolerancia / Tomate /

Recibido: 29/09/2014. Modificado: 10/09/2015. Aceptado: 12/09/2015.

Felipe Sanjuan Lara. Doctor en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, (COLPOS), México. Profesor Investigador, Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N° 79 (CBTA79), México. Dirección: Camino a San Luis del Pino km. 3.5, CBTA 79, Zinacatepec, Puebla, México. e-mail: felisl15@hotmail.com

Prometeo Sánchez García. Doctor en Nutrición Vegetal y Fertilidad en Suelos, Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos. Profesor Investigador, COLPOS, México.

Porfirio Ramírez Vallejo†. Ph.D. in Plant Breeding and Genetics, Michigan State University, EEUU. Ex-Profesor Investigador, COLPOS, México.

Manuel Sandoval Villa. Doctor en Ciencias en Nutrición

Vegetal, Auburn University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

Manuel Livera Muñoz. Doctor en Ciencias, Universidad de Nebraska University, EEUU. Profesor Investigador, COLPOS, México.

José Cruz Carrillo Rodríguez. Doctor en Ciencias en Desarrollo Rural por el Instituto Tecnológico de Oaxaca en 2003. Profesor investigador,

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México.

Catarino Perales Segovia. Doctor en Ciencias en Entomología y Acarología, COLPOS, México. Profesor Investigador, Instituto Tecnológico el Llano Aguascalientes, México.

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

Felipe Sanjuan Lara, Porfirio Ramírez Vallejo†, Prometeo Sánchez García, Manuel Sandoval Villa, Manuel Livera Muñoz, José Cruz Carrillo Rodríguez and Catarino Perales Segovia

SUMMARY

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. 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. The lines were compared to commercial hybrids, taken as control. Steiner nutritional solution at five electric conductivity levels (4, 6, 8, 10 and 12dS·m⁻¹) was used for plantlet irrigation. Seeds were sowed into 200-cav-

ities polyethylene trays filled with natural peat moss. The five treatments were set 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) 75% of the lines are salt tolerant (STI of 0.2-0.9). The remaining 25% were susceptible (STI of 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.

TOLERÂNCIA DE LINHAS NATIVAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) À SALINIDADE COM NaCl

Felipe Sanjuan Lara, Porfirio Ramírez Vallejo†, Prometeo Sánchez García, Manuel Sandoval Villa, Manuel Livera Muñoz, José Cruz Carrillo Rodríguez e Catarino Perales Segovia

RESUMO

As espécies de tomate, sejam cultivadas ou silvestres, são medianamente sensíveis à salinidade; no entanto, dentro da espécie *Solanum lycopersicum* L. se encontra variabilidade genética para tolerância à salinidade. Esta característica representa uma alternativa viável para a geração de porta-enxertos tolerantes. Para identificar fenótipos tolerantes à salinidade foi desenvolvido o presente estudo, cujo objetivo foi avaliar a resposta de 48 linhas obtidas por seleção de plantas individuais em uma população nativa de tomate e de dois híbridos comerciais empregados como testemunhos. O experimento foi regado com solução nutritiva Steiner e cinco níveis de condutividade elétrica (4, 6, 8, 10 e 12dS·m⁻¹) em estado de plântula. As se-

mentes foram plantadas em bandejas de polietileno de 200 cavidades, recheadas com turfa canadense (peat moss natural®). Os cinco tratamentos foram estabelecidos sob um desenho em parcelas divididas com quatro repetições. O efeito da salinidade foi menor na redução do número de folhas (12%) e do diâmetro do caule (17%); em tanto que a área foliar se reduziu 38% e a altura de planta 40%. Das linhas avaliadas, 75% mostraram tolerância à salinidade baseada no índice de suscetibilidade à salinidade (ISS) 0,2 a 0,9, 25% restante foram suscetíveis (1,0 a 1,6). As linhas sobressalentes baseadas nas características avaliadas foram 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112, e 76; e as mais afetadas foram 99D e 42.

en la morfología de 48 familias de una población nativa de tomate 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. González *et al.* (2012), en diez líneas de tomate obtenidas de una población nativa y 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 de la tolerancia a estrés salino. El presente trabajo tuvo como

objetivo evaluar la respuesta de 48 líneas de tomate nativo y dos testigos comerciales a cinco niveles de conductividad eléctrica, obtenidos con NaCl en solución nutritiva (Steiner, 1984) y la hipótesis de investigación fue que algunas líneas de *Solanum lycopersicum* son tolerantes a salinidad y pueden ser utilizadas como portainjertos.

Materiales y Métodos

Material genético

Se evaluaron 48 líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y dos testigos comerciales (Sun 7705 y Nun 0290), ambos de la empresa nunhems. Las 48 líneas evaluadas se seleccionaron de un total de 140, basándose en atributos de interés agronómico, tales como calificación general, sanidad, 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, México.

Tratamientos evaluados

Las semillas fueron sembradas en charolas de plástico de 200 cavidades. Desde la siembra hasta la germinación, se regó con agua natural, con pH de 8,4 y conductividad eléctrica de 0,5dS·m⁻¹, diariamente, hasta humedecer al 100% el sustrato de cada charola. A partir de este momento se aplicaron cuatro tratamientos de salinidad (4, 6, 8 y 10 dS·m⁻¹) y un testigo (2dS·m⁻¹), todos con la solución nutritiva Steiner (1984) al 50% (Ca(NO₃)₂·4H₂O= 4,5; KNO₃= 3,5; K₂SO₄= 3,5; MgSO₄·7H₂O= 2; KH₂PO₄= 0,5meq·l⁻¹) más NaCl grado reactivo, preparados en 200 litros de agua destilada.

Durante los primeros 20 días se aplicaron los tratamientos 4, 6, 8 y 10dS·m⁻¹, correspondientes a -0.144, -0.216, -0.288, y -0.360Mpa, respectivamente, y el testigo de 2dS·m⁻¹ correspondiente a -0.072Mpa; estos tratamientos se obtuvieron agregando 1,81; 3,09; 4,37; 5,65 y 0,5g·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 12dS·m⁻¹; correspondiente a -0,144; -0,216; -0,288; -0,360 y -0,432Mpa, respectivamente; eliminando la CE de 2dS·m⁻¹ y agregando el tratamiento de 12dS·m⁻¹. Este último se obtuvo agregando 6,93g·l⁻¹ de NaCl. A los 40 días de tratamientos salinos se realizó un muestreo destructivo, tomando cuatro plantas por repetición para determinar materia seca.

Variables evaluadas

Altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar. La altura de planta (cm) se midió desde la base del tallo hasta el meristemo apical con un flexómetro. El diámetro de tallo (mm) se midió con un calibrador vernier 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) con un medidor LICOR (LI-3000) (Astegiano *et al.*, 2001).

Materia seca de raíz, tallo, foliar y total. Se separó la raíz, tallo y hojas de cada plántula. Las muestras vegetales se secaron en una estufa a 70°C durante 48h hasta peso constante. La materia seca de raíz, tallo y foliar se pesaron en una báscula analítica modelo 100A y expresada en g/planta. Con la sumatoria se obtuvo materia seca total.

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

Diseño experimental y análisis estadístico

Las líneas y testigos se evaluaron en base a un diseño de parcelas divididas en fajas, donde 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, 2002); se hizo un análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($P \leq 0,05$).

Resultados y Discusión

Altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar

La disminución en el número de hojas (NH) y área foliar (AF) son respuestas que dependen de la especie, del 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 \times CE presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) en todas las características.

La altura de planta (ALP) disminuyó al incrementar la conductividad (Figura 1a), 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 dS·m⁻¹, en relación con el de 4 dS·m⁻¹; mientras que entre las conductividades 10 y 12 dS·m⁻¹ no se presentaron diferencias estadísticas (Figura 1b).

El número de hojas correspondiente a las CE de 6, 8 y 10 dS·m⁻¹ no presentaron

diferencias estadísticas; esta variable se redujo 6% en comparación con la CE de 4 dS·m⁻¹; en tanto que con la CE de 12 dS·m⁻¹ la reducción fue de 12% (Figura 1c). Estos resultados difieren de los observados en *P. acutifolius* en dosis de 60 y 90 mM de NaCl, donde la reducción en el NH fue de 21 y 37% con la disminución del AF en las especies de *Phaseolus* evaluadas, excepto para *P. filiformis* (Bahena *et al.*, 2008).

El área foliar mostró una reducción lineal al incrementar la

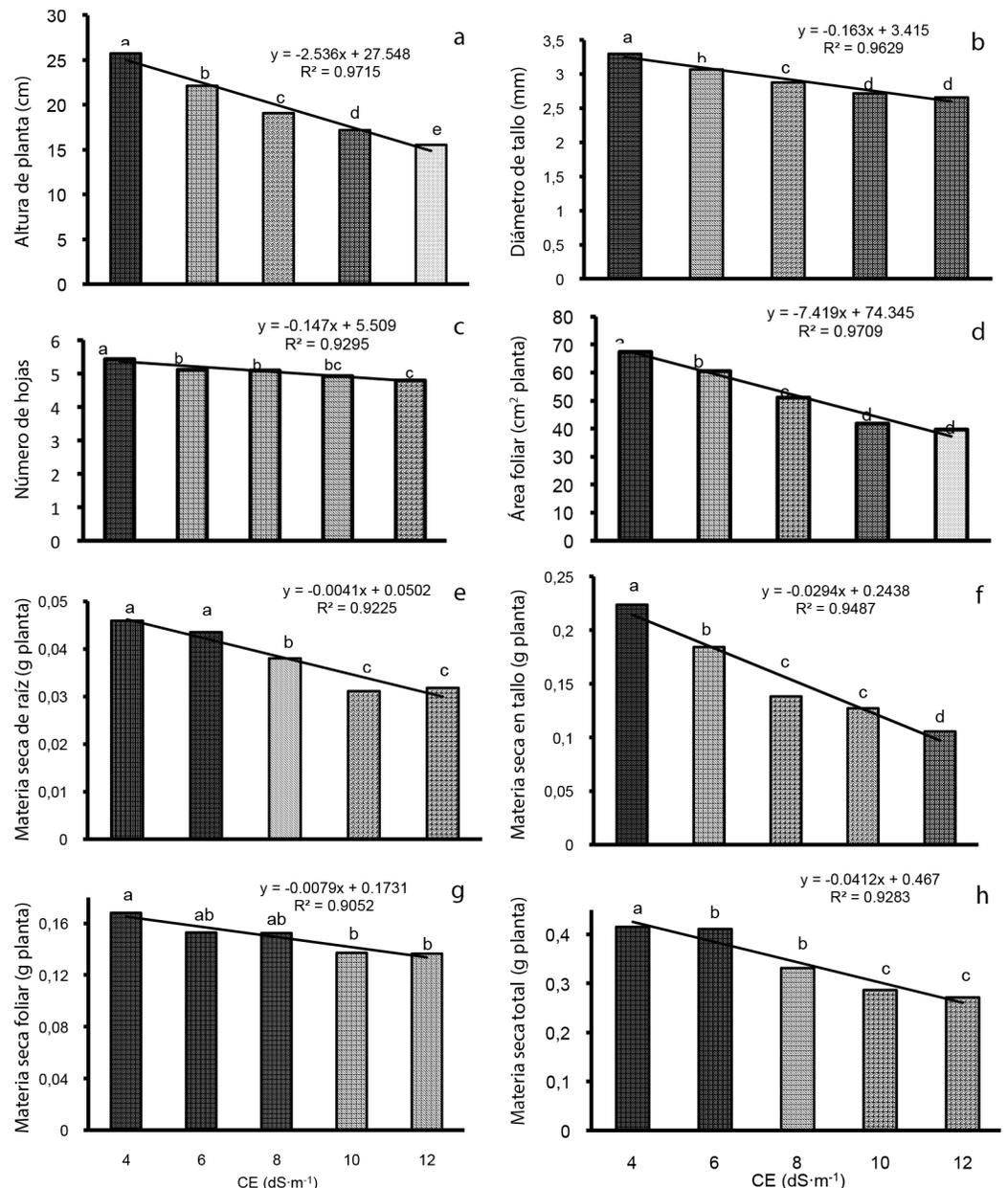


Figura 1. Efecto de la conductividad eléctrica (CE) en solución nutritiva sobre a: altura de planta, b: diámetro de tallo, c: número de hojas, d: área foliar, e: materia seca de raíz, f: tallo, g: foliar, y h: total.

CE ($Y=-7,4x+74,3$; $R^2=0,97$), ya que disminuyó 10 y 24% al pasar de 4 a 6; y $8dS\cdot m^{-1}$ y en 10 y $12dS\cdot m^{-1}$ la disminución fue de 41%; entre estos tratamientos no se observaron diferencias estadísticas. Resultados similares encontró Shannon y Grieve (1999), autores que indicaron que el incremento de la salinidad disminuyó 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 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, NH y AF (Tabla I). En ALP las líneas 36, 77, 35, 124, 113, 82, 112 y 76 fueron las de mayor altura y las de menor altura fueron 99D y 42. Las líneas más sobresalientes en DTA fueron la 36, 82, 124, 112, 76 y 35, con valores de

3,27 a 2,92mm, en tanto que en los testigos comerciales fue de 2,62 y 2,63mm, respectivamente, mientras que los menores diámetros fueron los de las líneas 99D y 42 con 2,17 y 1,96mm, respectivamente. En número de hojas se observaron diferencias estadísticas ($P\leq 0,05$); el intervalo mayor fue de 4,65 a 5,6 por planta, mientras que el menor varió de 3,65 a 4,20 (Tabla I).

Uno de los criterios determinantes de la calidad de plántula es el AF, ya que ésta determina la actividad fotosintética (Klapwijk, 1986). En el presente estudio AF mostró amplia variabilidad ($P\leq 0,05$), ya que las líneas de tomate nativo sobresalientes presentaron valores de 49,28 a 62,48cm²/planta (Tabla I), mientras que el testigo comercial produjo 39,91 cm²/planta y las líneas 99D y 42 fueron las de menor AF con 27,41 y 34,97cm²/planta, respectivamente.

Materia seca total (raíz, tallo y foliar)

El funcionamiento normal de una planta está determinado por la proporción de distintos aniones y cationes en la solución nutritiva; ya que tanto el crecimiento de los órganos 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 (Almasoum, 2000; Al-Karaki, 2000; Goykovic y Saavedra, 2007). En términos globales, la producción de materia seca (MS) de las 48 líneas nativas y de los dos testigos comerciales fueron afectadas negativamente por el incremento en la conductividad eléctrica ($P\leq 0,05$). Por ejemplo, la materia seca de la raíz (MSR) presentó una reducción lineal ($Y=-0,0041x+0,0502$; $R^2=0,92$) en CE de 8, 10 y $12dS\cdot m^{-1}$, con reducciones de 17 y 31% con relación a los tratamientos con 4 y $6dS\cdot m^{-1}$ (Figura 1e). El efecto de las sales en raíces de plantas de tomate siempre resultó en menor desarrollo, fenómeno que afecta el crecimiento general de la planta (Almasoum, 2000). Cultivos como el arroz (*Oryza sativa* L.) también se vieron afectados al reducir 50% la 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 $90mM$ de NaCl (Bahena *et al.*, 2008).

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

En hojas, la MSF no se presentaron diferencias estadísticas ($P\leq 0,05$) entre las conductividades 4, 6 y $8dS\cdot m^{-1}$, como resultado del menor impacto de la conductividad en la producción de MSF, entre 10 y $12dS\cdot m^{-1}$ la reducción fue de 19%, aunque entre estos tratamientos no mostraron diferencias estadísticas (Figura 1g). 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 (MST= MSR+MSTA+MSF) no se

TABLA I
MATERIA SECA (MS) DE RAÍZ (R), TALLO (A), FOLIAR (F) Y TOTAL(T); ALTURA DE PLANTA (ALP), DIÁMETRO DE TALLO (DTA), NÚMERO DE HOJAS (NH) Y ÁREA FOLIAR (AF) EN 10 DE 48 LÍNEAS NATIVAS Y DOS TESTIGOS COMERCIALES DE TOMATE EVALUADOS EN CINCO NIVELES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA STEINER

Línea	MSR	MSTA	MSF	MST	ALP	DTA	NH	AF
					cm	mm		
		g·planta ⁻¹						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
DMS	0,014	0,090	0,077	0,135	4,605	0,396	0,945	14,71

*Valores con diferente letra dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, $P\leq 0,05$); CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

observaron diferencias estadísticas entre 4 y 6dS·m⁻¹; sin embargo, con 8dS·m⁻¹ se redujo en 20%, mientras que entre 10 y 12dS·m⁻¹ la reducción fue de 35% con relación al testigo (Figura 1h). Otros estudios en tomate han encontrado reducciones de materia seca del 78% en dosis de 150mM de NaCl (Lovelli *et al.*, 2011). 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 a las variedades de tomate '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 Testigo 1 (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 (Tabla I). Por ejemplo, la línea 82 superó en 27% al T1 y en 34% al T2 en MST. Los resultados muestran la variabilidad intrapoblacional de la tolerancia a salinidad, expresada como CE. Las líneas nativas de tomate de menor respuesta a la salinidad fueron 99D y 42 (Tabla I).

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 como por la inducción de la senescencia foliar (Albacete *et al.*, 2008). La limitación de la expansión foliar es uno de los procesos más afectados en estas condiciones pues de ella depende la fotosíntesis (Florido y Bao, 2014).

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). A partir de la materia seca total producida se calculó el índice de susceptibilidad a salinidad (ISS). Según Fisher y Maurer (1978) un valor del índice >1 denota a las plantas susceptibles, en tanto que índices <1 identifican fenotipos tolerantes a la salinidad. Los resultados del presente estudio indican que en las líneas de jitomate que presentaron reducción de materia seca <50% tuvieron un ISS <1 y líneas de tomate que presentaron reducción de materia seca >50% tuvieron un ISS >1 (Tabla II). Estos resultados son similares a los reportados por Bayuelo *et al.* (2002), quienes 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, así como 25 % de las líneas nativas de tomate con IIS= 1,0-1,6 (Tabla II). Este comportamiento se podría atribuir a que dentro del género *Lycopersicon* existen especies tolerantes a la salinidad, incluyendo a *Solanum lycopersicum*, y que no solo en especies de tomates 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). Ello pudiera ser una alternativa para generar variedades tolerantes a salinidad, 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 (Sun 7705 y Nun 290, ambos de la empresa Nunhems).

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

REFERENCIAS

- Abrisqueta M, Sáez H, Alarcón J, Lozano Ma. (1991) Root growth dynamics of two tomato genotypes under saline conditions. *Suelo Planta 1*: 351-361.
- Albacete A, Edmond M, Martínez C, Acosta M, Sánchez J, Martínez V, Lutts S, Dodd I, Pérez F

TABLA II
ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD A SALINIDAD DE 48 LÍNEAS NATIVAS Y DOS TESTIGOS COMERCIALES DE TOMATE EVALUADOS EN CINCO NIVELES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Línea	Materia seca total (g/planta)				ISS*	Línea	Materia seca total (g/planta)				ISS*
	NS	SS	PR (%)	MSP			NS	SS	PR (%)	MSP	
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

*ISS: índice de susceptibilidad a salinidad (>1: sensible a salinidad, <1: tolerante a salinidad).

NS: no sometida a estrés, SS: estresada, PR(%): porcentaje de reducción de materia seca total, MSP: materia seca total pérdida, CV: coeficiente de variación.

- (2008) Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *J. Exp. Bot.* 59: 4119-4131.
- Al-Karaki G N (2000) Growth, sodium, and potassium uptake and translocation in salt stressed tomato. *J. Plant Nutr.* 23: 369-379.
- Almasoum AA (2000) Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semisalinity water. *Acta Hort.* 537: 773-778.
- Astegiano ED, Favaro JC, Bouzo CA (2001) Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Invest. Agropec.: Produc. Protec. Veg.* 16: 1-8.
- Bahena BL, Macías RL, López GR, Bayuelo J (2008) Crecimiento y respuestas fisiológicas de *Phaseolus* spp. en condiciones de salinidad. *Fitotec. Mex.* 31: 213-223.
- Bayuelo JJ, Debouk D, Lynch JP (2002) Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. *Crop Sci.* 42: 2184-2192.
- Camejo D, Torres W (2000) La salinidad y su efecto en los estadios del desarrollo de dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Cult. Trop.* 21: 23-26.
- Caniguante S, Pizarro L, Pacheco P, Bastias E (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* 27: 19-18.
- Carrasco G, Izquierdo J (1996) La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante NFT. Universidad de Talca. Chile. pp: 31-40.
- Chinnusamy V, Jagendof A, Zhu JK (2005) Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45: 437-448.
- CopMorales D, Bolarin MdC, Cayuela E (2006) Respuestas de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de diferentes niveles de NaCl crecimiento y relaciones hídricas. *Cult. Trop.* 27: 27-32.
- Cramer GR, Alberico GJ, Schmidt C (1994) Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of 2 maize hybrids. *Austr. J. Plant Physiol.* 21: 675-692.
- Fisher RA, Maurer (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austr. J. Agric. Res.* 29: 897-912.
- Florido M, Bao L (2014) Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cult. Trop.* 35: 70-88.
- González F, Sandoval M, Sánchez P, Ramírez P, Rodríguez MN (2012) Yield of native genotypes of tomato as affected by electrical conductivity of nutrient solution. *Acta Hort.* 947: 69-76.
- Goykovic CV, Saavedra RG (2007) Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas en su manejo. *Idesia* 25: 47-58.
- Hoyt E (1992) *Conservando los Parientes Silvestres de las Plantas Cultivadas*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington, DE, EEUU. 52 pp.
- Klapwijk D (1986) Production of tomato transplants in The Netherlands. *Acta Hort.* 190: 505-510.
- Lara HA (1999) Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra Latinoam.* 17: 221-229.
- Lerner H (1985) Adaptation to salinity at the plant cell level. *Plant Soil* 89: 3-14.
- Lovelli S, Scopa A, Perniola M, Adriano S (2011) Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *J. Plant Physiol.* 169:226-233.
- Maas EV, Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig.* 103: 115-134.
- Marchese MR, Tuttobene R, Restccia A, Longo AMG, Mauromicale G (2008) Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. ceraciforme grow in greenhouse. *Opt. Mediterran.*(84): 311-315.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 28: 239-250.
- Muñoz R, Guzmán J, Castellanos JZ (2004) Salinidad sódica en el desarrollo vegetativo y reproductivo del pimiento. *Terra Latinoam.* 22: 187-196.
- Rick CM (1982) The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In Vasil IK, Scowcroft WR, Frey KJ (Eds.) *Plant Improvement and Somatic Cell Genetics*. Academic Press. Nueva York, EEUU. pp. 1-28.
- Rosca V (2009) Optimization of nitrogen concentration in the fertilization solution for production of seedlings in cell trays. *Acta Hort.* 807: 613-618.
- Sallaku G, Bani A, Balliu A (2009) The effects of N concentration in pretransplant nutrient solution on the N use efficiency and dry mass partitioning of vegetable solanaceae seedlings. *Acta Hort.* 830: 405-412.
- Sanjuan F, Sánchez P, Ramírez P, Livera M, Sandoval M, Carrillo JC (2010) Variedades nativas de jitomate (*Lycopersicon esculenta* Mill.) tolerantes a NaCl. En *Foro Regional de Agricultura Sostenible* "La sostenibilidad como eje fundamental en la producción de alimentos y el desarrollo rural". Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible y Colegio de Postgraduados. Puebla, México. pp. 24-26.
- SAS (2002) *Statistical Analysis System. User's Guide*. SAS Institute, Inc. Cary, NC, EEUU. 550 p.
- Shannon MC, Grieve CM (1999) Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.* 78: 5-38.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. En: *Proc. 6th Int. Congr. Soilless Culture*. pp. 633-649.
- Tanji KK (1990) Nature and extent of agricultural salinity. En Tanji KK (Ed.) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineers. Nueva York, EEUU. pp. 1-17.
- Waldron LJ, Terry N, Nelson JA (1985) Diurnal cycles of leaf extension in salinized *Beta vulgaris*. *Plant Cell Environ.* 8: 207-211.
- Wang W, Vinocur B, Altman A (2003) Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1-14.
- Yágodin BA (1986) *Agroquímica*. Tomo I Mir. Moscú, URSS.
- Yokoi S, Bressan RA, Mike HP (2002) Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Working Report*. pp. 25-33.