

Efecto de la Salinidad por NaCl en Híbridos de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller)

Effect of salinity caused by NaCl on hybrid tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Miller)

Efeito da salinidade por NaCl sobre Híbridos de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller)

Fánor Casierra-Posada¹, Julio A. Arias-Aguirre², César A. Pachón³

¹ Ingeniero Agrónomo, PhD. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC. Grupo de investigación Ecofisiología Vegetal.

² Ingeniero Agrónomo. Ingeniería y Agrociencias Consultores Ltda. San Eduardo Boyacá.

³ Ingeniero Agrónomo, Empresa Zurcas SAS - Boyacá
Email: fanor.casierra@uptc.edu.co

Recibido: agosto 19 de 2011.

Aceptado: mayo 17 de 2013

Resumen

La salinidad en el suelo es uno de los mayores estreses ambientales abióticos que afectan la producción de tomate en todo el mundo. En la región del Alto Ricaurte en Boyacá / Colombia la producción de tomate ha sido afectada por este problema debido a que los fertilizantes se administran mediante fertirrigación con consecuencias negativas a largo plazo, como la acumulación de sales. Para investigar la capacidad comparativa de tolerancia de cuatro híbridos de tomate expuestos a niveles crecientes de salinidad, se realizó un estudio bifactorial bajo condiciones de invernadero en Tunja / Boyacá. Plántulas de tomate de los híbridos Supermagnate, Astona, Marimba y Gloria se sembraron en materas de 3,5 kg de capacidad, que contenían suelo. Se expusieron a 0; 20; 40; 60 ú 80 mmol de NaCl. La conductividad eléctrica de estos tratamientos fue de 1,8; 3,6; 5,2; 7,2 y 8,8 dS m⁻¹, respectivamente. Se determinó el consumo de agua, la eficiencia en el uso del agua (WUE), el peso seco y el área foliar. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre híbridos y entre nivel de salinidad, sin embargo, no hubo diferencias en la interacción híbrido x salinidad. El híbrido Astona mostró el mayor valor de la WUE, área foliar y producción de masa seca, mientras que Marimba presentó el valor más bajo de WUE y masa seca. A partir de 40 mmol de NaCl, el consumo de agua, la WUE, el peso seco total, y el área foliar fueron más severamente afectados por la salinidad. Debido a la respuesta a la salinidad en los híbridos evaluados, los cultivadores en la región deben tomar precauciones para limitarsus efectos cuando cultivan estos híbridos, y también deben evaluar la tolerancia a la salinidad en otros materiales vegetales.

Palabras clave: consumo de agua, área foliar, eficiencia en el uso del agua, estrés osmótico.

Abstract

Soil salinity represents one of the greatest abiotic environmental stresses affecting tomato production around the world. Colombian tomato production has been affected by this problem in the Alto Ricaurte region of the Boyacá department due to fertilisers having been applied via fertigation, leading to long-term negative consequences, particularly salt accumulation.

A bi-factor study was carried out in greenhouse conditions near Tunja, Boyacá, for investigating the comparative tolerance capacity of four tomato hybrids exposed to increasing salinity levels. Supermagnate, Astona, Marimba and Gloria hybrid tomato seedlings were sown in 3.5 kg pots containing soil. They were exposed to 0, 20, 40, 60 and/or 80 mmol NaCl. These treatments' electrical conductivity was 1.8, 3.6, 5.2, 7.2 and 8.8 dS m⁻¹, respectively. Water consumption, water-use efficiency (WUE), dry weight and leaf area were determined. These results revealed statistically significant differences between hybrid and salinity level; however, there were no differences regarding hybrid interaction x salinity. The Astona hybrid had the highest WUE value, leaf area and dry mass production whilst Marimba had the lowest WUE and dry mass value. Water consumption, WUE, total dry weight and leaf area were most severely affected when salinity was above 40 mmol NaCl. The region's tomato growers should take precautions for limiting such effects when growing these hybrids due to the salinity response of the hybrids evaluated here and should also evaluate salinity tolerance in other vegetable materials.

Key words: water consumption, leaf area, water-use efficiency, osmotic stress.

Resumo

A salinidade no solo é um dos principais estresses ambientais abióticos que afetam a produção de tomate no mundo. Na região do Alto Ricaurte em Boyacá /Colômbia a produção de tem sido pr este problema devido a que os fertilizantes são administrados por gotejamento com conseqüências negativas a longo prazo, tais como a acumulação de sais. Para investigar a capacidade comparativa de tolerância de quatro híbridos de tomate expostos a níveis crescentes de salinidade, foi conduzido um estudo bifatorial em condições de casa de vegetação em Tunja / Boyacá. Mudanças de tomate dos híbridos Supermagnate, Astona, Marimba e Gloria foram plantadas em potes de 3,5 kg de capacidade, contendo solo. Foram expostas a 0, 20, 40, 60 ou 80 mmol de NaCl. A condutividade elétrica destes tratamentos foi de 1,8, 3,6, 5,2, 7,2 e 8,8 dS m⁻¹, respectivamente. Foi determinado o consumo de água, a eficiência no uso de água (WUE), o peso seco e área foliar. Os resultados mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os híbridos e entre o nível de salinidade, no entanto, não houve diferenças na interação salinidade x híbrido. O híbrido Astona apresentou o maior valor de WUE, de área foliar e de produção de massa seca, enquanto Marimba apresentou o menor valor de WUE e de massa seca. A partir de 40 mmol de NaCl, o consumo de água, a WUE, o peso seco total e a área foliar foram mais severamente afetados pela salinidade. Devido à resposta à salinidade nos híbridos avaliados, os produtores da região devem tomar precauções para limitar os seus efeitos quando utilizam estes híbridos, e também devem avaliar a tolerância à salinidade em outros materiais vegetais.

Palavras chave: consumo de água, área foliar, eficiência no uso da água, o estresse osmótico.

Introducción

En el segundo semestre de 2012 se sembraron en el país 5.407 ha de tomate, con lo cual este cultivo participó con el 21% del área cultivada, a nivel nacional, en hortalizas diferentes a las de hoja y flor (Corporación Colombia Internacional, 2012). La producción de tomate en Boyacá representa una relevancia tal, que motivó la celebración de un simposio internacional sobre este tema en la zona de impacto del sitio donde se realizó el presente estudio (Fischer *et al.*, 2009). Sin embargo, la zona de estudio se ha visto afectada por condiciones de salinidad, debido a que como mencionan Casierra-Posada *et al.* (2009a), el tomate se desarrolla mejor bajo condiciones de invernadero, sin embargo, este sistema de producción, el riego localizado y la fertilización, inducen problemas de salinización de suelo.

Debido a que las aguas y los suelos salinos son frecuentes de encontrar alrededor del mundo, se ha trabajado mucho en torno a la comprensión de los aspectos fisiológicos implicados en la tolerancia a la salinidad en las plantas, como fundamento para que los fitomejoradores puedan desarrollar genotipos tolerantes a la salinidad. A pesar de lo cual, sólo se han desarro-

llado un reducido número de materiales parcialmente tolerantes a las sales (Cuartero *et al.*, 2006). Se han seleccionado diferentes parámetros para distinguir materiales de tomate tolerantes a la salinidad, como la altura de la planta, el número de hojas, el contenido de clorofila, la fluorescencia de la clorofila, los días a floración, los días fructificación, los días a maduración, el número de flores, el cuajado de frutos del segundo al sexto racimo, del peso del fruto, el diámetro del fruto y la producción total (Ezin *et al.*, 2010); el potencial hídrico (ψ_w) y osmótico (Ψ_{π}) de la hoja, el intercambio gaseoso, la densidad estomática y el contenido de Na⁺ (Romero-Aranda *et al.*, 2001); el consumo de agua y la eficiencia en el uso del agua (water use efficiency - WUE) (Reina-Sánchez *et al.*, 2005), entre otros.

A pesar de la relativa tolerancia a la salinidad en materiales vegetales emparentados con el tomate cultivado, ha resultado difícil enriquecer las líneas élite con genes de especies silvestres que confieran tolerancia a este problema, debido a la gran cantidad de genes implicados en esta característica, la mayoría de ellos con pequeño efecto en comparación con el medio ambiente, y los altos costos de recuperación de la base genética del cultivar receptor (Cuartero *et al.*, 2006).

Debido a los serios problemas que el sistema de producción de tomate ha producido en la región de estudio en relación con la salinidad de los suelos, se han hecho propuestas para ayudar a la solución del problema. Casierra-Posada *et al.* (2009a) adicionaron leonardita al suelo salino, con resultados satisfactorios. En otras regiones se ha propuesto tratamientos salinos a las semillas o se ha expuesto las plántulas a estrés salino o hídrico, se ha incrementado la humedad relativa del lugar de cultivo o se ha utilizado el injerto (Cuartero *et al.*, 2006), sin embargo, dadas las condiciones socioeconómicas de los cultivadores de tomate en la región del Alto Ricaurte en Boyacá, la siembra de materiales tolerantes a la salinidad continua siendo la alternativa más económicamente viable, dada la alta oferta de semillas de diferentes materiales de tomate, por parte de los distribuidores, y el nivel económico de los agricultores pequeños y medianos que representan un alto porcentaje de los cultivadores de tomate en la zona.

Con base en estas premisas, el objetivo del presente estudio fue la evaluación de cuatro híbridos de tomate en cuanto a su tolerancia a las condiciones de salinidad, tomando como parámetros de selección las variables implicadas en las relaciones hídricas de las plantas.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en condiciones de invernadero, en las instalaciones de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en Tunja / Colombia, con temperatura promedio de 15,8 °C y humedad relativa promedio de 72%. Se tomaron plántulas de cuatro semanas de edad, que habían germinado en turba. El material vegetal correspondió a plantas de los híbridos Supermagnate, Marimba, Gloria y Astona, proporcionados por Impulsemillas®, las cuales se sembraron en materas con suelo, con capacidad para 3,5 kg. Se seleccionaron estos materiales debido a que son los más sembrados en el momento en la región del Alto Ricaurte en Boyacá.

Una vez las plantas reiniciaron el crecimiento, se aplicó al suelo de cada matera una mezcla de fertilizante comercial de alta solubilidad, con la siguiente composición en g kg⁻¹: N: 0,4; P₂O₅: 0,03; K₂O: 0,05; Ca O: 0,0005; Mg O: 0,0013; S: 0,00137; B: 0,0002; Cu: 0,00014; Fe: 0,00012; Mn: 0,0013; Mo: 0,00005 y Zn: 0,0002.

Los tratamientos para inducir la salinidad con NaCl fueron 0; 20; 40; 60 y 80 mmol kg⁻¹ de suelo seco al aire, los cuales indujeron valores de conductividad

eléctrica de 1,8; 3,6; 5,2; 7,2 y 8,8 dS m⁻¹, respectivamente. Los tratamientos se aplicaron aproximadamente cuatro semanas después del trasplante. La cantidad total de NaCl se aplicó gradualmente a cada matera a lo largo de un periodo cercano a cuatro semanas. Durante el ensayo, la humedad del suelo de las materas se mantuvo cercana a la capacidad de campo.

El consumo de agua o agua evapotranspirada se registró como la cantidad de agua adicionada a cada matera, para lo cual, se registró el peso de cada matera con el suelo a capacidad de campo y se adicionaba, dos veces por semana, la cantidad de agua que faltara para alcanzar ese nivel de humedad. Para el registro del peso seco, se secaron los tejidos en un horno a 105 °C, hasta alcanzar un peso constante. El área foliar se determinó mediante un analizador Li-cor 3000a (LI-COR Corporation, Nebraska USA). 20 semanas después del trasplante se cosecharon las plantas para los respectivos análisis.

El experimento consistió en un ensayo bifactorial, con cinco niveles de salinidad (0; 20; 40; 60 y 80 mmol de NaCl) y cuatro híbridos (Supermagnate, Marimba, Gloria y Astona), con diseño completamente al azar y diez replicaciones, tomando una planta como unidad experimental. La información, se examinó mediante un análisis de variancia y la prueba de separación de promedios de Tukey (P<0,05) con el programal BM-SPSS statistics versión 19.0.0. (Statistical Product and Service Solutions, IBM Corporation, New York, USA).

Resultados y discusión

Híbridos

Los híbridos evaluados mostraron diferencias altamente significativas en las variables área foliar, masa seca, agua evapotranspirada y eficiencia en el uso del agua. Astona presentó mayor área foliar, mientras que Marimba mostró el menor valor de esta variable. En cuanto a la masa seca total por planta, Marimba y Gloria mostraron 19,94 y 8,65%, respectivamente, menos masa seca que Astona, con diferencias estadísticamente significativas. Supermagnate y Gloria presentaron mayor cantidad de agua evapotranspirada que Astona Marimba, con diferencias significativas (P<0,01). Se encontró diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia en el uso del agua (WUE) entre todos los híbridos evaluados, entre los cuales Astona presentó el mayor valor de este parámetro y Marimba el menor valor (tabla 1).

En concordancia con estos resultados, se puede inferir que los híbridos evaluados pueden ubicarse en cate-

Tabla 1. Variables relacionadas con la transpiración y la producción de masa seca en cuatro híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* (Miller)).

Híbridos	Área foliar (cm ²)		Masa seca (g)		Agua evapotranspirada (L)		Eficiencia en el uso del agua (g L ⁻¹)	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Supermagnate	510,97 b	150,37	17,18 ab	3,63	12,27 a	1,14	1,39 b	0,20
Astona	676,47 a	198,23	17,90 a	4,46	11,49 b	1,21	1,54 a	0,27
Marimba	454,64 b	175,03	14,33 c	4,19	11,78 b	1,18	1,20 c	0,28
Gloria	618,01 a	194,91	16,35 b	4,29	12,32 a	1,06	1,32 b	0,29

Medias seguidas de letras diferentes en la columna, presentan diferencias estadísticas entre sí, según la prueba de Tukey (P<0,05; n=10).

gorías del más tolerante al más sensible a la salinidad, en el siguiente orden: Astona, Supermagnate, Gloria y Marimba. Esta clasificación se propone con base en la eficiencia en el uso del agua, que a su vez es concordante con la cantidad de masa seca producida por las plantas, parámetros que son de gran importancia para los cultivadores, dado que influyen considerablemente sobre la calidad del producto cosechado. Estos parámetros han sido usados en muchas investigaciones como una guía para evaluar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de agua limitante, considerando una oferta ambiental contrastante, como es el caso de la salinidad (Lovelli *et al.*, 2012). El uso de la WUE como medida para identificar materiales de tomate tolerantes a la salinidad ha sido motivo de controversia, puesto que mientras Reina-Sánchez *et al.* (2005) encontraron que la WUE en diferentes materiales de tomate, fue independiente del nivel de salinidad en el suelo, Al-Karaki (2000), reporta lo contrario. Estas diferencias se deben a que mientras Al-Karaki (2000) utilizó de 0,0 a 216 mmol de NaCl, Reina-Sánchez *et al.* (2005) usaron de 0,0 a 75 mmol de la sal; además, en ambos trabajos se utilizaron materiales vegetales diferentes. No obstante, tanto la WUE como la cantidad de masa seca producida siguen siendo referentes importantes para la identificación de materiales vegetales con tolerancia a la baja disponibilidad de agua (Chen *et al.*, 2009), tomando en consideración que la salinidad reduce el potencial osmótico del sustrato y hace que el potencial hídrico del suelo sea más negativo, lo que limita considerablemente la toma de agua por parte de las plantas.

Los materiales evaluados, llamados Tomates Larga Vida, presentan marcadas diferencias tanto fenotípicas como genotípicas que les confieren características propias (Corporación Colombia Internacional, 2007). Sin embargo, las variables evaluadas no habían sido reportadas previamente para estos materiales bajo las

condiciones locales y esta información representa un material base para estudios posteriores.

Cuartero *et al.*, (2006) resaltan que no sólo los caracteres relacionadas con el rendimiento son importantes en los estudios de mejoramiento de plantas tolerantes a la salinidad, debido a que la salinidad afecta a casi todos los aspectos fisiológicos y bioquímicos de la planta, por lo que el incremento de la tolerancia de los cultivos a la salinidad requiere la combinación de algunos o muchos rasgos fisiológicos, y no simplemente aquellos que influyen directamente en el rendimiento, concepto que comparten también Cuartero y Fernández-Muñoz (1999). Por esta razón, en el presente estudio, la selección de características como el área foliar, la producción de masa seca, la evapotranspiración y la WUE, se consideran parámetros suficientes para la discriminación de materiales entorno a su comportamiento tolerante a la salinidad.

Salinidad

En cuanto al área foliar no hubo diferencia significativa entre el control sin adición de NaCl y los tratamientos con 20 y 40 mmol de NaCl, sin embargo, la adición de 60 y 80 mmol de NaCl redujeron respectivamente, 29,85 y 46,35% el área foliar en relación con el tratamiento control, con diferencias significativas. No se encontró diferencia entre el control y el tratamiento con 20 mmol de NaCl para la variable masa seca total por planta, pero sí entre el control y los tratamientos en los que se adicionaron 40; 60 y 80 mmol de NaCl, los cuales indujeron una reducción de esta variable en términos de 12,32; 29,50 y 41,93% en relación con las plantas del tratamiento control.

Con respecto al agua evapotranspirada, hubo diferencia significativa entre el tratamiento control y aquellos tratamientos en los que las plantas se expusieron a 40;

60 y 80 mmol de NaCl, en los que el agua evapotranspirada se redujo 5,96; 11,70 y 15,03% en relación con las plantas control sin adición de sal. En relación con la eficiencia en el uso del agua, no se presentó diferencia entre las plantas control y aquellas a las que se les adicionó 20 ó 40 mmol de NaCl, no así para dosis superiores de la sal, en las que se encontró diferencia significativa con el tratamiento control. La exposición de las plantas de tomate a 60 y 80 mmol de NaCl causó una reducción de la WUE en términos de 20,12 y 31,81%, respectivamente, en relación con las plantas control (tabla 2).

Se reporta que las plantas de tomate son moderadamente sensibles a la salinidad (Katerji *et al.*, 2003) y que el nivel máximo de salinidad tolerado por las plantas, sin que se cause reducción en la producción es 2,5 dS m⁻¹, por sobre el cual, se presenta una reducción del 10% en la producción, por cada unidad que se incrementa en la conductividad eléctrica (Maas y Hoffman, 1977). Cuando se incrementa la salinidad, el potencial osmótico se reduce al igual que la disponibilidad de agua para la planta, lo cual tiene como consecuencia un déficit hídrico para el vegetal, lo que a su vez afecta la conductancia estomática, el crecimiento de las hojas y la fotosíntesis (Katerji *et al.*, 2003), como pudo constatare con los resultados del presente trabajo. Sin embargo, una reducción notable en los valores de las variables presentados en la tabla 2, sucedió a partir de 40 mmol de NaCl, que correspondía a una conductividad eléctrica de 5,2 dSm⁻¹; por tanto, al menos estas variables no se ven tan severamente afectadas por valores de conductividad eléctrica por debajo del valor mencionado, sin embargo, es posible que el rendimiento y la productividad de las plantas sea un factor

más sensible a la salinidad y su efecto negativo se manifieste a valores menores de conductividad eléctrica, como mencionan Maas y Hoffman, (1977).

Los factores genéticos que determinan el crecimiento vegetativo y la toma de iones, así como muchos otros aspectos fisiológicos y otros componentes relacionados con la tolerancia metabólica contra la salinidad, como los solutos compatibles del tipo polioles y moléculas antioxidantes, tienen que ser estudiados con el fin de avanzar en la producción de genotipos tolerantes a la salinidad (Cuartero *et al.*, 2006). Al respecto, Casierra-Posada *et al.* (2009b) mencionan que en los mismos materiales vegetales evaluados en el presente trabajo, la salinidad estimuló el incremento de fibra, proteína y carbohidratos en los frutos, pero redujo su contenido de agua.

Cuartero *et al.* (2006) mencionan que el peso seco de la parte aérea en plantas de tomate, es una característica tomada comúnmente como indicador de crecimiento y productividad, y que presenta baja heredabilidad en comparación con el contenido de iones en los tejidos o con las relaciones hídricas. Estos autores evaluaron la heredabilidad de diferentes caracteres en plantas de *Solanum lycopersicum* x *S. pimpinellifolium* expuestas a condiciones salinas. Se encontró que el área foliar presenta gran heredabilidad y puede considerarse en programas en los que se pretende desarrollar plantas de tomate tolerantes a sales. Esto confirma la selección acertada de los factores a evaluar para la discriminación de los híbridos por su tolerancia a la salinidad. El hecho de que no se encontró diferencia significativa en la interacción híbrido x nivel de salinidad confirma de manera acertada que estos materiales se compor-

Tabla 2. Variables relacionadas con la transpiración y la producción de masa seca en cuatro híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* (Miller)) expuestos a diferentes niveles de salinidad por NaCl.

NaCl (mmol kg ⁻¹)	Área foliar (cm ²)		Masa seca (g)		Agua evapotranspirada (L)		Eficiencia en el uso del agua (g L ⁻¹)	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0	683,74 a	171,66	19,96 a	2,96	12,90 a	0,82	1,54a	0,19
20	663,29 a	175,30	19,09 ab	3,25	12,46 ab	0,82	1,52a	0,22
40	631,68 a	185,12	17,50 b	3,19	12,13 b	1,06	1,44a	0,22
60	479,64 b	135,37	14,07 c	2,89	11,39c	0,82	1,23b	0,23
80	366,77 c	115,77	11,59 d	2,66	10,96c	1,25	1,05c	0,21

Medias seguidas de letras diferentes en la columna, presentan diferencias estadísticas entre sí, según la prueba de Tukey (P<0,05; n=10).

tan de manera similar cuando se exponen a las sales, puesto que los parámetros para evaluar su tolerancia eran los correctos para realizar esta selección.

Por otro lado, Katerji *et al.* (2003) mencionan que la evapotranspiración, aparentemente, no representa un factor lo suficientemente determinante para realizar una discriminación de tolerancia a la salinidad en materiales vegetales, puesto que Stegman (1985) reportó que el coeficiente de la pendiente es sensible a las condiciones climáticas, puesto que la humedad relativa y el índice de área foliar son factores determinantes en el valor de la evapotranspiración. En el presente estudio, los valores de la pendiente de la curva de tendencia de la WUE de los diferentes materiales evaluados en relación con el nivel de salinidad, mostraron valores muy similares, con lo cual se puede inferir su similitud en cuanto a esta variable. Por tanto, es posible utilizar el valor de la WUE y las demás variables evaluadas para comparar los materiales estudiados, dado que todos se desarrollaron bajo las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura.

Sería de esperarse que los materiales evaluados en el presente trabajo, que presentaron mayor área foliar, mostraran de igual modo un mayor valor de la evapotranspiración, sin embargo no fue así en todos los casos, puesto que Astona y Gloria tuvieron mayor área foliar que Supermagnate y Marimba, no obstante, los valores más altos de la evapotranspiración se presentaron en Supermagnate y Gloria (tabla 1). Este resultado pudo ser la consecuencia de diferencias genéticas en los diferentes materiales en relación con la conductancia estomática y en el número y distribución de los estomas en las hojas, factores que, entre otros, determinan la evapotranspiración, como mencionan Miglietta *et al.* (2011) y consecuentemente, tendrían un efecto sobre la WUE.

A pesar de que se encontró diferencia altamente significativa ($P < 0,01$) entre los híbridos evaluados y entre los niveles de salinidad, no hubo diferencias en la interacción híbrido x nivel de salinidad. Es común encontrar diferencias estadísticamente significativas entre concentraciones crecientes de NaCl con respecto a las relaciones hídricas de las plantas. Al igual que en el presente trabajo, Mori *et al.* (2008) reportaron que el incremento en la conductividad eléctrica del sustrato provocaba una reducción en la WUE en plantas del híbrido Tomito F1. Estos autores justifican este resultado con base en que la salinidad ocasiona un incremento en el potencial osmótico de la solución del suelo; además, las plantas pequeñas como resultado de la salinidad, demandan una menor cantidad de agua, como lo mencionan también Maggio *et al.* (2004).

Mori *et al.* (2008) mencionan también que la reducción en la WUE se correlaciona con un incremento en la resistencia estomática resultante de la exposición de las plantas de tomate a la salinidad y a la reducción del área foliar y de la producción de materia seca. Además, estos autores y otros como Cuartero y Fernández-Muñoz (1999) agregan que la alteración en las relaciones hídricas en plantas expuestas a la salinidad se puede atribuir a la reducción en el número de estomas y a una distribución diferente de estos, como respuesta al incremento en la conductividad eléctrica del sustrato.

De manera similar a los hallazgos del presente estudio, Cuartero *et al.* (2006) mencionan que en tomate cv. Daniela, la exposición de las plantas a un nivel de salinidad de 50 mmol de NaCl, se redujo 43,7% el área foliar y 51,5% la toma de agua, mientras que en el presente trabajo, la exposición de las plantas de tomate a 60 mmol de NaCl provocó una reducción de 12,40% en el agua evapotranspirada y de 20,85% en el área foliar, en relación con las plantas control, cifras que difieren ampliamente de los valores encontrados en el cultivar Daniela. Lo cual permite inferir que los diferentes materiales vegetales tienen diversas estrategias para sobrellevar la salinidad, dependientes de la morfología del vegetal y de sus hábitos de crecimiento, como se mencionó para los híbridos evaluados en este trabajo.

Abdel Gawad *et al.* (2005) no encontraron diferencias significativas en cuanto a las variables del rendimiento, entre los híbridos Sunrise y Sunhybrid expuestos diferentes niveles de conductividad eléctrica, pero sí se presentó diferencia entre estos dos híbridos y las variedades locales cultivadas en Siria. También se ha encontrado que no existen diferencias significativas en el efecto de la salinidad por NaCl y la germinación de semillas de diferentes accesiones de tomate (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999). Al igual que en el presente trabajo, el análisis estadístico realizado por estos autores en su trabajo tampoco encontró diferencias en la interacción material vegetal x calidad del agua (con diferencias marcadas en la conductividad eléctrica). Reina-Sánchez *et al.* (2005) mencionan que las plantas de tomate toman sólo una pequeña cantidad del sodio presente en la solución nutritiva, en su estudio se presentaron diferencias en cuanto a la toma de sodio entre los materiales vegetales evaluados, por lo cual mencionan que la capacidad de la planta de tomate para seleccionar los iones es una característica que se debe tomar en consideración cuando se pretende seleccionar genotipos de tomate tolerantes a la salinidad. Por tanto, estos resultados y los encontrados en el presente estudio permiten inferir que la respuesta de

las plantas a la salinidad es altamente dependiente del material vegetal evaluado.

Conclusiones

En el presente trabajo se seleccionaron híbridos que se cultivan con frecuencia en las regiones aledañas a la localidad donde se desarrolló el trabajo, con la intención de recomendar algunos de estos materiales como tolerantes a la salinidad, bajo las condiciones locales. Se encontró que la respuesta de estos híbridos a los niveles de salinidad evaluados fue diferente, en donde Astona fue el más tolerante mientras que Marimba fue el más afectado por la salinidad. Por tanto, los cultivadores de la zona deben tomar las precauciones necesarias para limitar los efectos negativos de la salinidad cuando se cultivan estos materiales y además se debe probar la tolerancia a la salinidad en otros híbridos que hayan mostrado gran adaptabilidad en las condiciones locales del Alto Ricaurte en Boyacá.

Agradecimientos

Este estudio fue desarrollado con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el marco del plan de trabajo del grupo de investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Referencias

- Abdel Gawad G, Arslan A, Gaihbe A, Kadouri F. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999–2002). *Agricultural Water Management*, 2005;78: 39–53.
- Al-Karaki GN. Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *J. Plant Nutr*, 2000; 23:1–8
- Casierra-Posada F, Rodríguez CA, Fischer G. Reducing negative effects of salinity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by adding leonardite to soil. *Acta Hort*, 2009a; 821:133-140.
- Casierra-Posada F, Pachón CA, Niño-Medina RC. Changes in the quality characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits affected by NaCl salinity. *Acta Hort*, 2009b; 821: 235-240.
- Chen ZB, Tang JW, Zhang F. Advances and developing tendency of water use efficiency in plant biology. *Agricultural Sciences in China*, 2009; 8(7): 855-863
- Corporación Colombia Internacional. Tomate larga vida. Plan hortícola nacional. 2007. Pp: 437-461.
- Corporación Colombia Internacional. 2012. Resultado encuesta de decisión de siembras y productividad (eds). Segundo semestre 2012. Disponible en: <http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/4146/1/INFORME%20EDSI%202012B.pdf>. Consultado: 21-06-2013
- Cuartero J, Fernandez-Muñoz R. Tomato and salinity. *Sci Hort*, 1999; 78: 83–125.
- Cuartero J, Bolarín MC, Asíns MJ, Moreno V. Increasing salt tolerance in the tomato. *Journal of Experimental Botany*, 2006; 57(5): 1045–1058.
- Ezin V, Peña RDL, Ahanchede A. Physiological and agronomical criteria for screening tomato genotypes for tolerance to salinity. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 9(10): 1641-1656.
- Fischer G, Magnitskiy S, Nicola S. International symposium on tomato in the tropics. *Acta Hort*, 2009; 821: 256.
- Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Mastrorilli M. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 2003; 62: 37–66.
- Lovelli S, Scopa A, Perniola M, Di Tommaso T, Sofo A. Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *Journal of Plant Physiology*, 2012;169 226-233.
- Maas EV, Hoffman GJ. Crop salt tolerance. Current assessment. *J Irrig Drain Div*, 1977;103 (IR2): 115–134.
- Maggio A, De Pascale S, Angelino G, Ruggiero C, Barbieri G. Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Eur J Agron*, 2004; 21:149-159.
- Miglietta F, Peressotti A, Viola R, Körner C, Amthore JS. Stomatal numbers, leaf and canopy conductance, and the control of transpiration. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011; 108(28). Disponible online en: <http://www.pnas.org/content/108/28/E275.full.pdf>. Consulta: 15-08-2011.
- Mori M, Amato M, Di Mola I, Caputo R, Quaglietta Chiarandà F, Di Tommaso T. Productive behaviour of “cherry”-type tomato irrigated with saline water in relation to nitrogen fertilization. *Europ J Agronomy*, 2008; 29:135-143.
- Reina-Sánchez A, Romero-Aranda R, Cuartero J. Plant water uptake and water use efficiency of greenhouse tomato cultivars irrigated with saline water. *Agricultural Water Management*, 2005;78:54-66.
- Romero-Aranda R, Soria T, Cuartero J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 2001;160:265-272.
- Stegman EC. 1985. Efficient water scheduling regimes to corn production. En: Perrier A, Riou Ch. (Eds.), *Crop Water Requirements*; p.p 635-648.