

Comportamiento fisiológico de líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) generación F3 cultivadas en condiciones de salinidad y exceso de boro

Physiological behavior of tomato lines (Solanum lycopersicum L.) generation F3 grown under conditions of salinity and boron excess

Wladimir Esteban¹, Richard Bustos¹, Elvis Hurtado¹, Elizabeth Badillo¹,
Giannina Corro¹, Yeny Angel¹, Elizabeth Bastías¹

RESUMEN

La diversidad productiva del valle de Lluta, ubicado al norte de Chile, se encuentra condicionada por la alta salinidad y exceso de boro presentes en el suelo y agua de riego que pueden afectar el comportamiento fisiológico de los cultivos siendo necesario el uso de híbridos tolerantes o de variedades locales adaptadas a esta condición. Para aprovechar el potencial de los germoplasmas locales, respecto a su tolerancia al estrés salino, se ha realizado un trabajo de fitomejoramiento participativo a partir del parental local "Poncho Negro" (TP₁) y dos híbridos comerciales de tomate (TP₂ y TP₃), generándose nuevas líneas que podrían ser potenciales alternativas al uso de híbridos comerciales por su mayor tolerancia al estrés presente en este valle. En este trabajo, se evaluó el comportamiento de estas líneas de tomate (generación F3) y sus parentales, en las condiciones de suelo y agua del valle de Lluta, confirmando la alta tolerancia del parental TP₁ a este tipo de estrés abiótico. De acuerdo a los parámetros evaluados, T₇ sería una de las líneas que podría desarrollarse de mejor manera en este valle, manteniendo las características de tolerancia a la salinidad de su parental TP₁, transformándose en una alternativa para este valle salino.

Palabras clave: Parentales, tolerancia, estrés.

ABSTRACT

The productive diversity of the Lluta valley, located in the north of Chile, is conditioned by the high salinity and excess of boron present in the soil and irrigation water that can affect the physiological behavior of crops, requiring the use of tolerant hybrids or of local varieties adapted to this condition. To take advantage of the potential of local germplasms, regarding their tolerance to salt stress, a participatory plant breeding work has been carried out using the local parent "Poncho Negro" (TP₁) and two commercial tomato hybrids (TP₂ and TP₃), generating new lines that could be potential alternatives to the use of commercial hybrids due to their greater tolerance to the stress present in this valley. In this work, the behavior of these tomato lines (generation F3) and their parents was evaluated in the soil and water conditions of the Lluta valley, confirming the high tolerance of the TP₁ parent to this type of abiotic stress. According to the evaluated parameters, T₇ would be one of the lines that could best develop in this valley, maintaining the salinity tolerance characteristics of its parent TP₁, becoming an alternative for this saline valley.

Keywords: Parental, tolerance, stress.

Introducción

La salinidad es uno de los factores más limitantes en el desarrollo y la productividad de los cultivos (Allakhverdiev *et al.*, 2000) debido al efecto osmótico, la reducción de la tasa fotosintética (Kurban *et al.*, 1999) y el estrés por concentraciones de iones en niveles tóxicos (Rajput *et al.*, 2016) causado en las plantas. Esta situación deben

enfrentar los cultivos desarrollados en el valle de Lluta, donde la alta salinidad y el exceso de boro (B) presentes en el suelo y agua de riego hacen necesario el uso de variedades locales adaptadas o de híbridos comerciales tolerantes. Con el fin de buscar alternativas productivas para este valle, se realizó un trabajo multidisciplinario de fitomejoramiento tradicional participativo, con la generación de 8 líneas de tomate que conservan el

¹ Departamento de Producción Agrícola, Universidad de Tarapacá. Arica, Chile.

* Autor por correspondencia: ebastias@uta.cl

sabor y color de su parental local “Poncho Negro”, y la firmeza de su parental híbrido. Para evaluar la respuesta fisiológica y bioquímica de estas líneas y sus parentales, a las condiciones de estrés salino y exceso de B de este valle, se realizó la presente investigación, existiendo la posibilidad de que alguna de estas nuevas líneas haya adquirido la tolerancia a la salinidad de su parental “Poncho Negro”, siendo un carácter heredable (Maroto, 2002) que podría generar una nueva alternativa productiva para el desarrollo de cultivos en zonas con suelos y agua de riego salina.

Materiales y métodos

El ensayo fue realizado en condiciones de invernadero (malla antiáfido) en el km 19, sector Rosario del valle de Lluta, Región de Arica y Parinacota (18°24'41''S; 70°07'20''O). Se utilizaron semillas de tomate de la variedad local “Poncho Negro”, dos híbridos comerciales y 8 líneas generadas del mejoramiento tradicional participativo (“Poncho Negro” x híbridos comerciales, F3). La germinación se realizó en almacigueras de 135 celdas, con sustrato consistente en una mezcla de perlita y vermiculita (1:1 (v/v)). Alcanzados los 15 cm de altura las plántulas fueron trasplantadas a condiciones de

campo, en camellón previamente preparado, a una distancia de 0,2 x 0,7 m. El riego se aplicó diariamente, incorporando solución nutritiva ajustada a los requerimientos del cultivo y teniendo en consideración los aportes del suelo (Tabla 1) y agua de riego.

Para el ensayo se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 11 tratamientos y tres repeticiones. Tres de los tratamientos correspondieron a los parentales (“Poncho Negro” (TP₁) y dos híbridos comerciales (TP₂ y TP₃)), y ocho a las líneas provenientes del mejoramiento tradicional de TP₁ con TP₂ y con TP₃.

Todas las evaluaciones se realizaron a los 128 días después del trasplante (DDT), 9° racimo productivo.

A asimilación de CO₂ y relaciones hídricas

Se evaluó el Contenido Relativo de Agua (CRA), registrando el Peso Fresco (PF) de 10 círculos foliares de cada planta en una balanza analítica AND (modelo GR-200). Para el registro del Peso Turgente (PT) los círculos se mantuvieron por 12 horas en agua destilada. Luego de secarlos por 72 horas a 80 °C en estufa (Memmert Modelo 600), se obtuvo el peso seco (PS) por pesada del material. Para el cálculo del CRA, se aplicó la fórmula de Jones y Turner (1978).

Tabla 1. Características químicas de suelo, invernadero sector Rosario, km 19, valle de Lluta.

Parámetro	Unidad	Método	Resultado
Ce (Extracto Sat.)	mS cm ⁻¹	Conductimetría	17,27
pH (Agua) (Maff 1:2,5)	–	Potenciométrico	6,40
N-NO ₃ Disponible	mg Kg ⁻¹	Fenoldisulfónico	14,74
P-Disponible	mg Kg ⁻¹	Olsen	16,40
K-Disponible	mg Kg ⁻¹	Acetato amonio	962,50
Materia Orgánica	%	Dicromato sodio	1,92
Calcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	1756,20
Magnesio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	285,00
Potasio (K ⁺)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	239,00
Sodio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	1535,00
Cloruros (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	3698,16
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	2760,00
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	26,80
Bicarbonato(HCO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	97,60
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	ND
Boro (B)	mg L ⁻¹	Extracto Sat.	12,06

*ND: No detectable.

Fuente: Laboratorio de suelo y agua, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Tarapacá.

Para determinar la tasa de asimilación neta de CO₂ (A), tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) se utilizó el equipo portable LI-6400 (Licor Inc., Lincoln, NE, USA). Se seleccionaron las hojas jóvenes y totalmente expandidas de las plantas, realizando lecturas entre las 10:00 y 13:00 horas. La eficiencia del uso del agua (E.U.A) a escala foliar, en cuanto a la transpiración (Medrano, 2007), se obtuvo de la relación entre la tasa de transpiración (E) y la asimilación neta de CO₂ (A).

El potencial hídrico (ψ_w) foliar se midió con una cámara de presión modelo 600, según lo indicado por Scholander (1965).

Se evaluó el potencial osmótico (ψ_s) depositando pequeños trozos de hojas en tubos eppendorf de 0,5 mL (contenido en un tubo eppendorf de 2,0 mL) para su almacenaje en freezer (Thermo Fisher Scientific, modelo ULT1386-5-V41) a -80 °C por 4 horas. Posterior, al proceso de congelación y descongelación, las muestras fueron centrifugadas (en equipo HermLe Z300K) a 15.000 rpm durante 10 minutos, continuando con la medición del ψ_s con osmómetro (Osmometer Roebing, 5R).

Para el cálculo del ψ_s , se utilizó la ecuación de Van't Hoff:

$$\psi_s = -nRT$$

Donde:

n = mOsmol kg⁻¹.

R = Constante universal de los gases (0.083 kg MPa mol⁻¹ K⁻¹).

T = Temperatura absoluta, en grados Kelvin (°K).

Biomasa

Se separaron hojas, tallo y raíz de plantas (95 días después de trasplante (DDT)) para ser pesadas (Peso Fresco) en balanza semi-analítica (DENVER). Cada estructura fue colocada en bolsas de papel kraft para el secado en estufa (Memmert Modelo 600) a 80 °C durante 72 horas. Transcurrido este tiempo el material fue pesado para obtener el registro de la Materia Seca (MS).

Análisis bioquímico de los tejidos vegetales

Los azúcares solubles se extrajeron con etanol al 80% a partir de 20 mg de muestra foliar. La determinación colorimétrica se realizó con espectrofotómetro (Spectronic Genesys 2) a

625 nm utilizando el método de la antrona (Irigoyen *et al.*, 1992).

Para evaluar el contenido de prolina en las variedades y líneas de tomate, se utilizó el método de Bates *et al.* (1973).

Análisis de datos

Se aplicó el estadístico T de Student para las diferencias de medias de los parámetros evaluados, y la prueba de Tukey con nivel de significancia de $P < 0,05$.

Resultados y discusión

El CRA, es uno de los parámetros más utilizados para conocer el estado hídrico de las hojas de las plantas (Argentel, 2006) y su potencial de adaptación al estrés hídrico (Zgallai, 2005). Los parentales y la mayoría de las líneas mostraron valores similares, excepto las líneas T₇ y T₂ (que comparten los mismos parentales) donde se presentaron mayores contenidos de agua en sus tejidos (Tabla 2), pudiendo tener mejor tolerancia al déficit hídrico existente en el valle de Lluta. Si bien este parámetro fue levemente inferior al nivel considerado “bajo” por Tezara (1999) en tomates híbridos y cercano al óptimo (70%) para el caso del parental TP₁ (Díaz, 2011) no se observaron efectos de la salinidad y del déficit hídrico en los tejidos de las hojas existiendo solo una línea (T₁) que alcanzó valores críticos de este parámetro.

La A del TP₁, tuvo un comportamiento similar al reportado por Bastías (2017) en un cultivo al aire libre de este parental, que corresponde al tomate local “Poncho Negro”, donde se incorporó 6% de materia orgánica al suelo. Tendencia similar fue observada en las otras líneas de tomate. Los valores promedio de E (5,81 mmol agua m⁻² s⁻¹) y la g_s (0,31 mol aire m⁻² s⁻¹) fueron los apropiados para las condiciones de estrés (Tabla 2), no habiendo diferencias estadísticas en las líneas de tomate ni un mayor efecto en la A.

Los valores promedio de E.U.A, de todas las líneas y parentales de tomate (2,21 μmol CO₂ mmol⁻¹ H₂O), mostraron un aumento del 50% respecto de un cultivo al aire libre (Bastías, 2017), concordando con lo indicado por Stanghellini (1993) en cuanto al ahorro de agua de cultivos desarrollados bajo invernadero.

El contenido de MS del parental TP₃ (Tabla 3) fue significativamente menor al resto de parentales y líneas, posiblemente por una mayor sensibilidad

Tabla 2. Relaciones hídricas en parentales y líneas de tomate desarrollados en condiciones de salinidad y exceso de boro (B): **CRA** (contenido relativo de agua); **A** (asimilación neta de CO₂); **E** (tasa de transpiración); **gs** (conductancia estomática) y **E.U.A** (uso eficiente del agua).

Tratamientos		CRA (%)	A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol agua m ⁻² s ⁻¹)	gs (mol aire m ⁻² s ⁻¹)	E.U.A (μmol CO ₂ mmol ⁻¹ H ₂ O)
Parentales	TP ₁	61,94 abc	11,53 a	5,20 a	0,28 a	2,37 abcd
	TP ₂	66,72 bc	9,75 a	5,87 a	0,31 a	1,79 abc
	TP ₃	64,84 bc	10,51 a	6,02 a	0,35 a	1,59 a
Líneas	T ₁	56,36 a	12,99 a	5,75 a	0,28 a	2,41 abcd
	T ₂	69,28 c	15,30 a	5,33 a	0,30 a	2,87 d
	T ₃	59,63 ab	14,26 a	6,74 a	0,35 a	2,12 abcd
	T ₄	62,72 abc	11,43 a	5,72 a	0,28 a	1,99 abc
	T ₅	60,17 ab	14,98 a	5,86 a	0,33 a	2,56 d
	T ₆	64,17 bc	11,26 a	6,47 a	0,39 a	1,74 abcd
	T ₇	68,45 c	11,34 a	5,05 a	0,25 a	2,25 abc
	T ₈	65,45 bc	15,00 a	5,89 a	0,29 a	2,60 cd

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 3. Acumulación de materia seca por estructura (hoja, tallo y raíz) y total de parentales y líneas evaluadas.

Tratamientos		Hoja MS (g)	Tallo MS (g)	Raíz MS (g)	MS Total (g)
Parentales	TP ₁	58,81 ab	43,53 ab	26,60 a	128,93 ab
	TP ₂	60,68 ab	21,09 a	20,98 a	102,87 ab
	TP ₃	37,30 a	18,93 a	19,78 a	76,01 a
Líneas	T ₁	53,63 ab	31,19 a	21,07 a	105,89 ab
	T ₂	78,34 ab	32,77 a	28,46 a	139,57 b
	T ₃	49,33 ab	44,02 ab	25,02 a	118,37 ab
	T ₄	64,24 ab	34,59 a	24,04 a	122,87 ab
	T ₅	77,16 ab	33,96 a	26,67 a	137,79 b
	T ₆	83,04 b	73,53 c	53,55 b	210,11 c
	T ₇	61,25 ab	31,33 a	22,45 a	115,03 ab
	T ₈	140,21 c	70,52 bc	27,82 a	238,55 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

a las condiciones de alta salinidad de este parental híbrido. Esto coincide con lo mencionado por Abdulrahman (2019), respecto a la reducción de la MS en plantas de tomate por efecto de la salinidad, siendo una respuesta fisiológica que ha sido sugerida como un indicador agronómico de tolerancia al estrés (Sairam, 2002). En las líneas de tomate, se destaca notoriamente T₆ y T₈, con los mayores valores promedios de la MS en hoja y tallo.

El ψ_w mostró el mismo comportamiento en la mayoría de los parentales y líneas (Figura 1). En el TP₁, los valores promedio de ψ_w coinciden con los reportados por Bastías (2011) en un cultivo hidropónico de este parental. Los valores muestran que tanto en los parentales como en las líneas no se alcanzaron

valores promedios muy negativos, indicador de estrés hídrico, destacando T₇, con valores óptimos de ψ_w . Respecto al ψ_s , no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Figura 2), sin embargo, los valores fueron significativamente más negativos que el ψ_w indicando un posible movimiento de agua a través de gradientes osmóticos.

La síntesis de solutos compatibles en condiciones de estrés abióticos, como los azúcares solubles y prolina (Roy, 2014), es uno de los mecanismos más importantes de adaptación de las plantas al estrés siendo sus principales funciones la osmoprotección, osmoregulación, el ajuste osmótico y el almacenamiento de carbono (Parida y Das, 2005). La mayor acumulación de azúcares solubles en hoja (Figura 3) se presentó en

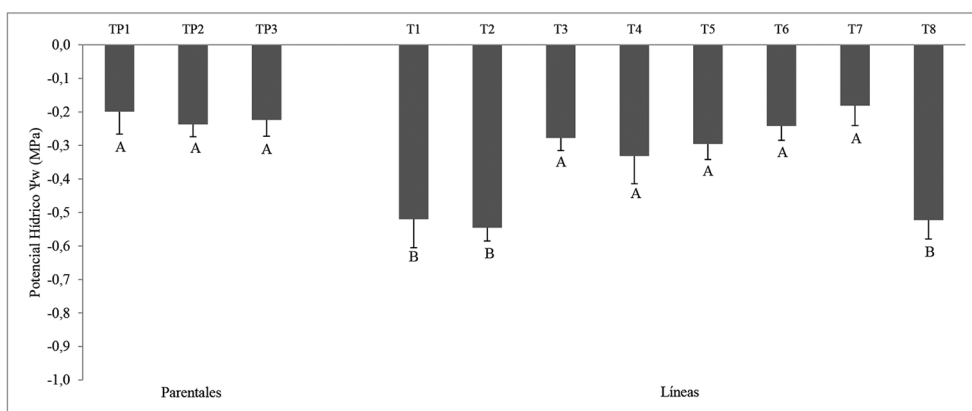


Figura 1. Potencial hídrico (Ψ_w) foliar de parentales y líneas evaluadas en las condiciones de salinidad del valle de Lluta.

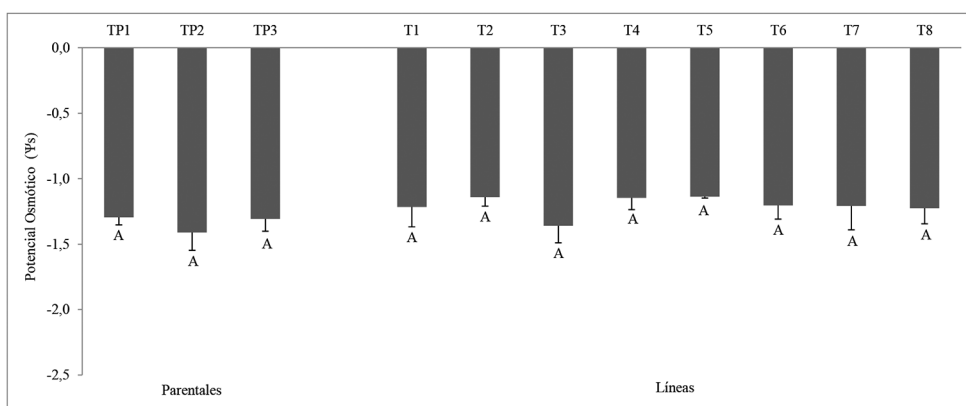


Figura 2. Potencial osmótico (Ψ_s) foliar de parentales y líneas evaluadas en condiciones de salinidad en el valle de Lluta.

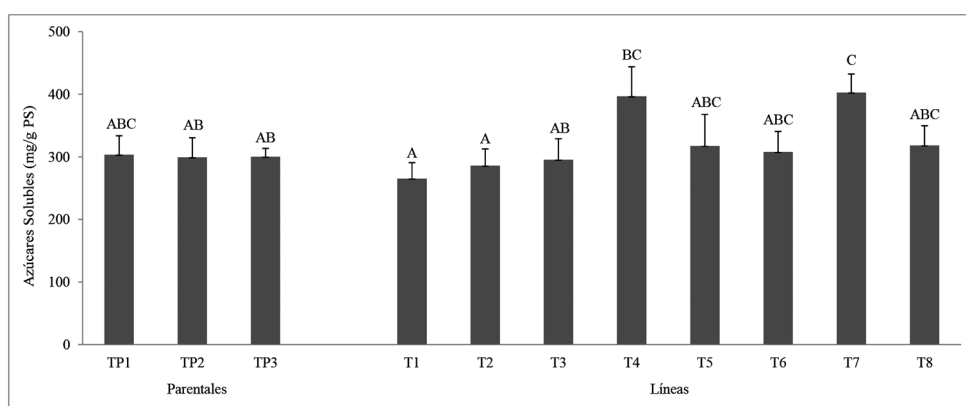


Figura 3. Contenido de azúcares solubles (mg/g PS) en hojas en parentales y líneas de tomate desarrolladas en el valle de Lluta.

las líneas T₇ y T₄ cuyos promedios fueron cercanos a 400 mg g⁻¹ PS, valores notoriamente elevados, sugiriendo que tanto los parentales como las líneas podrían utilizar este soluto como osmoregulador para

mantener niveles hídricos óptimos en las plantas. La síntesis de prolina (Figura 4), un osmolito que facilita la absorción de agua en condiciones de salinidad, se incrementó significativamente en el TP₁ y en la línea

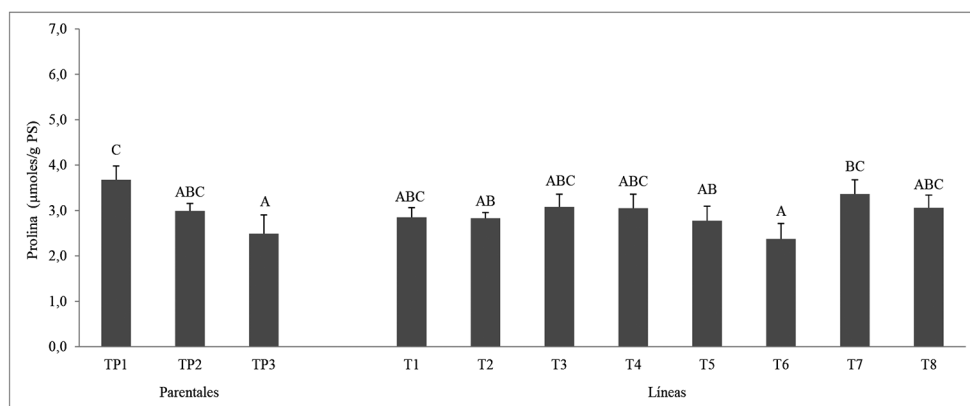


Figura 4. Contenido de prolina (µmoles/g PS) en parentales y líneas de tomate desarrolladas en el valle de Lluta.

T₇, dando cuenta de la buena respuesta a la salinidad de este parental, respecto del resto de líneas evaluadas. Gharsallah (2016) menciona el incremento de la síntesis de prolina en genotipos de tomates tolerantes, en respuesta al estrés salino, con importancia en la mantención del potencial osmótico (Liang, 2018), como se muestra en la Figura 2, ajuste que se atribuiría además a la alta absorción de Na⁺ y K⁺ por las plantas (Morales, 2002), respuesta evidenciada en el tomate local “Poncho Negro” (TP₁).

Conclusión

Las líneas de tomate evaluadas, y en especial T₇, presentan respuestas fisiológicas que les permitirían

desarrollarse satisfactoriamente en un medio altamente salino y con exceso de B, como es el valle de Lluta, mostrando un comportamiento similar a su parental local “Poncho Negro”, señalado como un cultivo tolerante a los estreses mencionados, transformándolas así en posibles alternativas productivas para este valle salado.

Agradecimientos

Proyecto Convenio de Desempeño UTA 1795. Fortalecimiento de la investigación interdisciplinaria en los recursos genéticos agrícolas ancestrales y aumento de su valorización en los custodios de la Región de Arica y Parinacota.

Proyecto UTA MAYOR 2020. Código 9728-20.

Literatura citada

- Abdulrahman, S.; Kamal, H.; Omar, S. 2019. Growth and anatomy of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) cultivars Marmande and Oria under salinity stress. *Pak. J. Bot.* 51(4): 1199-1207.
- Allakhverdiev, S.; Sakamoto, A.; Nishiyama, Y.; Inaba, M.; Murata, N. 2000. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp. *Plant Physiology* 123: 1047-1056.
- Argentel, L.; González, C.; Ávila, C.; Aguilera, R. 2006. Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. *Cultivos Tropicales* 27(3): 49-53.
- Bastías, E.; Angel, Y.; Pacheco, P.; Esteban, W. 2017. Efecto de la incorporación de materia orgánica en la respuesta fisiológica y química de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en condiciones de salinidad y exceso de boro. *Idesia* 35(2): 1-7.
- Bastías, E.; Carvajal, M.; Martínez-Ballesta, M.; Pacheco, C.; Montoya, A.; Contreras, C. 2011. The effects of the combination of salinity and excess boron on the water relations of tolerant tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Poncho Negro, in relation to aquaporin functionality. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(2): 494-503.
- Bates, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Díaz, M.; Bastías, E.; Pacheco, P.; Tapia, L.; Martínez-Ballesta, M.C.; Carvajal, M. 2011. Characterization of the physiological response of the highly tolerant tomato cv. Poncho Negro to salinity and excess boron. *Journal of Plant Nutrition* 34(9): 1254-1267.
- Gharsallah, C.; Fakhfakh, H.; Grubb, D.; Gorsane, F. Effect of salt stress on ion concentration, proline content, antioxidant enzyme activities and gene expression in tomato cultivars. *AoB PLANTS* 8: 1-21.

- Irigoyen, J.; Einerich, D.W.; Sánchez-Díaz, M.
1992. Alfalfa leaf senescence induced by drought stress: Photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. *Physiologia Plantarum* 84: 67-72.
- Jones, M.; Turner, T.
1978. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficit. *Plant Physiology* 61: 122-126.
- Kurban, H.; Saneoka, H.; Nehira, K.; Adilla, R.; Premachandra, G.; Fujita, K.
1999. Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). *Soil Sci. Plant. Nutr.* 45(4): 851-862.
- Liang, W.; Xiaoli, M.; Peng, W.; Lianyin, L.
2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 495: 286-291.
- Maroto, J.
002. Horticultura Herbácea Especial. Ed. Mundi-Prensa (5ª Edición). Madrid, España. 702 p.
- Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbó, M.; Gulías, J.
2007. Eficiencia en el uso de agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Morales, D.; Rodríguez, P.; Sánchez, M.; Torrecillas, A.
2002. Respuesta a la salinidad de tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Cultivos Tropicales* 23 (3): 71-76.
- Parida, A.K.; Das, A.B.
2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
- Rajput, V.D.; Minkina, T.; Yaning, C.; Sushkova, S.; Chaplgin, V.; Mandzhieva, S.
2016. A review on salinity adaptation mechanism and characteristics of *Populus euphratica*, a boon for arid ecosystems. *Acta Ecológica Sinica* 36: 497-503.
- Roy, S.; Negrão, S.; Tester, M.
2014. Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology* 26: 115-124.
- Sairam, R.; Rao, K.; Srivastava, G.
2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1046.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A.
1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346.
- Stangellini, C.
1993. Evapotranspiration in greenhouses with special reference to mediterranean conditions. *Acta Horticulturae*, 335: 295-304.
- Tezara, W.; Mitchell, V.; Driscoll, S.; Lawlor, D.
1999. Water stress inhibits plants photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature* 401: 914-917.
- Zgallai, H.; Steppe, K.; Lemeur, R.
2005. Photosynthetic, physiological and biochemical responses of tomato plants to polyethylene glycol-induced water deficit. *Journal of Integrative Plant Biology* 47(12): 1470-1478.

