

RESPUESTAS ADAPTATIVAS A LA SEQUÍA EN EL TOMATE INDUCIDAS POR OSMOACONDICIONAMIENTO DE PLÁNTULAS

J. M. Dell'Amico[✉], D. Morales, R. Polón y F. Fernández

ABSTRACT. This study was aimed at improving the drought tolerance level of tomato by means of osmoconditioning treatments, inducing its natural capacity to get adapted under adverse conditions and to be considered as an acquired tolerance. Two trials were conducted with Amalia cv. seedlings. The first trial proved the method viability, besides recording crop growth and biomass partitioning in young plants. The second one evaluated the effect of the same adaptative treatments in plant response under hard dryland conditions as well as its agronomic performance. Biomass partitioning of the aerial part and root, stomatal conductance and yield were analyzed. Osmoconditioning treatments in tomato seedlings provoked quantitative changes in a series of adaptative physiological responses along its biological cycle, which were considered agronomical improvements under drought conditions, such as: total biomass increment, higher yield, a greater root/aerial part ratio and better water relations or a higher stomatal conductance. Evidently, results showed the possibility of increasing agronomic yields under drought conditions through inducing adaptative tomato capacity after seed emergence stage.

RESUMEN. El trabajo se realizó con el objetivo de aumentar el nivel de tolerancia a la sequía del tomate mediante tratamientos de osmocondicionamiento, para inducir la capacidad natural de las plantas de adaptarse a condiciones adversas y que pueda ser considerada como una tolerancia adquirida. En el trabajo, se realizaron dos ensayos con plántulas de tomate cv Amalia. En el primero se comprobó la viabilidad del método y se realizaron evaluaciones de crecimiento y reparto de biomasa a nivel de plantas jóvenes. En el segundo ensayo, se evaluó el efecto de los mismos tratamientos adaptativos en la respuesta de las plantas cultivadas en condiciones de sequía severo y su comportamiento agronómico. Se analizaron el reparto de biomasa entre la parte aérea y raíz, la conductancia estomática y el rendimiento. Los tratamientos de osmocondicionamiento en plántulas de tomate indujeron cambios cuantitativos en una serie de respuestas fisiológicas adaptativas a lo largo de su ciclo biológico, que se tradujeron en mejoras agronómicas en condiciones de sequía, como fueron: aumento de la biomasa total de las plantas, mayor rendimiento, incremento de la relación raíz/parte aérea y mejoras de las relaciones hídricas o mayor conductancia estomática. Evidentemente los resultados ponen de manifiesto la posibilidad de incrementar los rendimientos agronómicos del tomate en condiciones de sequía, mediante la inducción de su capacidad adaptativa durante la fase de pos-germinación de la semilla.

Key words: seed treatment, tomatoes, *Lycopersicon esculentum*, drought resistance, arid zones, growth, yield

Palabras clave: tratamiento de semillas, tomate, *Lycopersicon esculentum*, resistencia a la sequía, zona árida

INTRODUCCIÓN

La escasez y sobreutilización del agua dulce plantean una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. A escala global, se observa que la tercera parte de la población del planeta carece de los servicios básicos del agua y dentro de veinte años, las dos terceras partes de la población vivirán en condiciones de insuficiencia de agua moderada

o severa, como señala el programa de medio ambiente de Naciones Unidas. La deficiente gestión de los recursos hídricos y del uso de la tierra pone en peligro la salud y el bienestar humano, la seguridad alimentaria, el desarrollo industrial y los ecosistemas ligados a los recursos hídricos (1).

En la actualidad, la sequía constituye una de las calamidades atmosféricas más graves con las que se enfrenta el agricultor, siendo una de las limitaciones principales para la productividad de los cultivos (2, 3, 4).

En años recientes, las investigaciones científicas dirigidas al estudio de las plantas en condiciones de estrés por sequía, se encaminaron hacia dos vertientes fundamentalmente. Por una parte, aceleraron significativamente las investigaciones a nivel molecular y, por otra, ha existido una ligera tendencia a retomar las investigaciones a nivel de planta y su comportamiento agronómico (5).

Dr.C. J. M. Dell'Amico y Dr.C. D. Morales, Investigadores Titulares del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; Dr.C. R. Polón, Investigador Auxiliar de la Estación Experimental del Arroz "Los Palacios"; Dr.C. F. Fernández, Investigador Auxiliar del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ amico@inca.edu.cu

Sin embargo, existen en la actualidad muchas dificultades para relacionar todo el conocimiento adquirido a nivel molecular con el comportamiento de la planta completa en condiciones de sequía. Estos esfuerzos hasta el momento han dado pocos resultados prácticos (6).

El presente trabajo tiene por objetivo aumentar el nivel de tolerancia al estrés hídrico del tomate mediante el empleo de tratamientos de osmocondicionamiento, para inducir la capacidad natural de las plantas de adaptarse a condiciones adversas y que puede ser considerada como una tolerancia adquirida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo 1 (funcionalidad de los tratamientos). Semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) de la variedad comercial Amalia (7) se germinaron en 10 placas de Petri; en cada cápsula se colocaron 25 semillas y se adicionaron 10 mL de agua desionizada.

Las placas se colocaron en cámara de crecimiento a 28 gC en oscuridad. A las 72 horas, las plantulitas de las diferentes placas se separaron y se formaron cinco grupos de igual número de plántulas.

Con anterioridad, se prepararon cuatro soluciones osmóticas con las siguientes características, que conformaron los tratamientos osmocondicionantes:

1. solución de PEG 6000 con potencial osmótico (-0.5 Mpa)
2. solución de PEG 6000 con potencial osmótico (-0.75 Mpa)
3. solución de PEG 6000 con potencial osmótico (-1.0 Mpa)
4. solución de PEG 6000 con potencial osmótico (-1.0 Mpa) +10 mM de NaCl.

Las concentraciones necesarias se calcularon sobre la base de la ecuación de Michel y Kaufman (8).

Cuatro grupos de plántulas fueron sumergidas totalmente en 300 mL de las soluciones antes mencionadas, por espacio de seis horas y con aireación forzada, en la oscuridad y a 25°C. Un quinto grupo no recibió ningún tratamiento y se consideró como control.

Con posterioridad a los tratamientos de osmocondicionamiento, las plantas se lavaron por espacio de tres minutos en agua desionizada, para eliminar las sustancias estresantes.

Después de enjuagadas las plantulitas, se plantaron en bandejas de poliestireno expandido (cepellones) con un sustrato compuesto por suelo Ferralítico Rojo lixiviado y cachaza, en proporción 1:1 v/v, se cubrieron con una capa fina de este sustrato y se humedecieron con solución nutritiva de Hoagland.

A los 20 días, se trasplantaron a canteros de hormigón (0.60 x 2.00 x 0.40 m) que contenían suelo Ferralítico Rojo lixiviado éutrico y buen abastecimiento hídrico en todos los tratamientos. A los 15 días de trasplantadas se midieron en 10 plantas por tratamiento el número de hojas, la longitud y el diámetro del tallo, la longitud de las raíces, la masa seca de raíz, parte aérea, total y la relación masa seca de raíz/masa seca de la parte aérea.

Ensayo 2 (resultados en campo en seco). Se ensayaron los mismos tratamientos a las plantulitas, con la diferencia de que las posturas fueron trasplantadas a campo en tres parcelas (réplicas) de 21 m² cada una por tratamiento, en condiciones de seco donde solamente se regó cuando se realizó el trasplante.

A partir de los 10 días del trasplante, se realizaron muestreos de humedad del suelo semanalmente en cada una de las parcelas hasta 30 cm, empleando el método gravimétrico. En cada muestreo de la humedad del suelo, se tomaron cinco muestras por tratamiento.

A los 35 días del trasplante, se realizó un muestreo de crecimiento a 10 plantas por tratamiento, donde se evaluó la masa seca de los diferentes órganos. También a los 35 días se realizó una medición de la conductancia estomática adaxial, donde se evaluaron 10 plantas por tratamiento. Esta evaluación se realizó a las 13:00 horas con un porómetro de difusión Delta T Devices, en hojas del tercio superior de las plantas bien expuestas al sol. El rendimiento y sus componentes se evaluaron en 30 plantas por tratamiento. Los datos se analizaron estadísticamente mediante el cálculo de las medias y su intervalo de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1

Variables del crecimiento. En la Figura 1, se encontró que en las variables número de hojas y longitud del tallo, los valores más altos correspondieron a las plantas de los tratamientos control y -0.5 Mpa de PEG; en el diámetro del tallo el valor más bajo correspondió a las plantas del tratamiento con -1.0 MPa de PEG y en los restantes tratamientos el valor de esta variable fue muy similar, y en el caso de la longitud de las raíces, no se encontraron diferencias sustanciales entre las plantas de los diferentes tratamientos. En cuanto a la masa seca (Figura 2) de los diferentes órganos y total, generalmente, los valores mayores correspondieron a las plantas de los tratamientos control y -0.5 MPa de PEG, mientras que la relación masa seca raíz/masa seca de la parte aérea fue mayor en las plantas de los tratamientos -0.75 y -1.0 MPa y -1.0 MPa + 10 mM de NaCl.

En las diferentes variables del crecimiento evaluadas se encontró que, aunque en general la apariencia de las plantas fue buena, en la mayoría de las variables hubo un efecto depresivo de los tratamientos y este estuvo relacionado directamente con el incremento del potencial osmótico de las soluciones empleadas como tratamientos osmocondicionantes. Cabe destacar que el aumento de la relación masa seca raíz/masa seca parte aérea en los tratamientos de mayor potencial osmótico de las soluciones, constituye precisamente una respuesta adaptativa dirigida a restablecer el equilibrio funcional de la planta entre la productividad fotosintética y la absorción de agua y nutrientes, aliviar el estrés y optimizar la velocidad de crecimiento a las nuevas condiciones ambientales (9, 10).

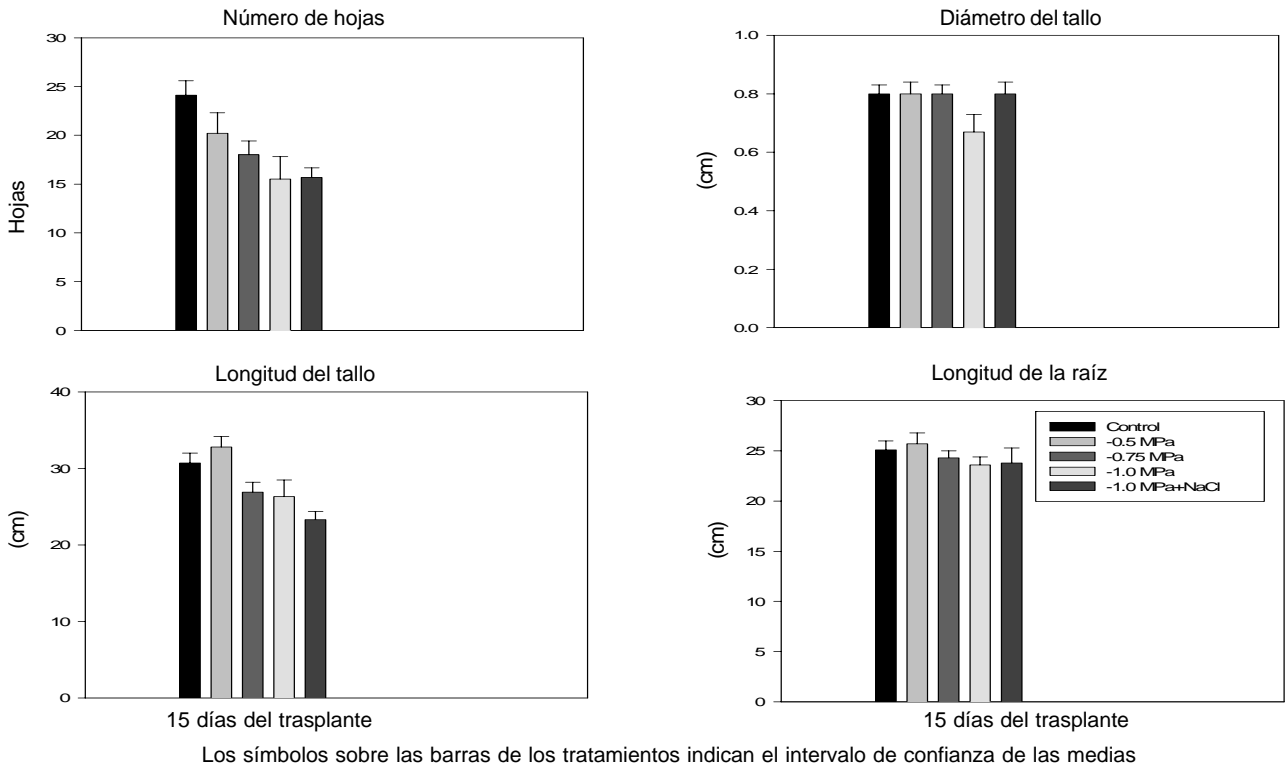


Figura 1. Efecto de los tratamientos de osmocondicionamiento en variables del crecimiento morfológico de plantas jóvenes de tomate

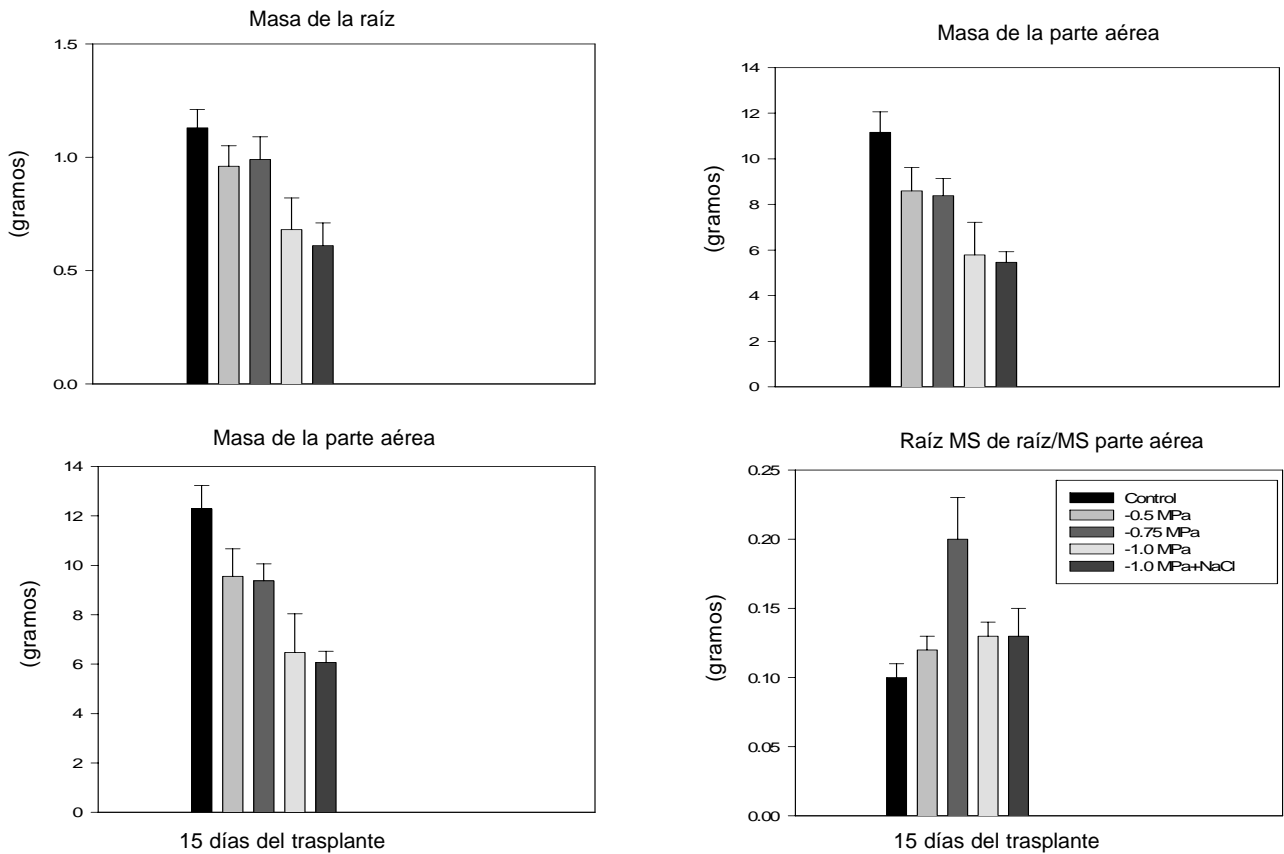
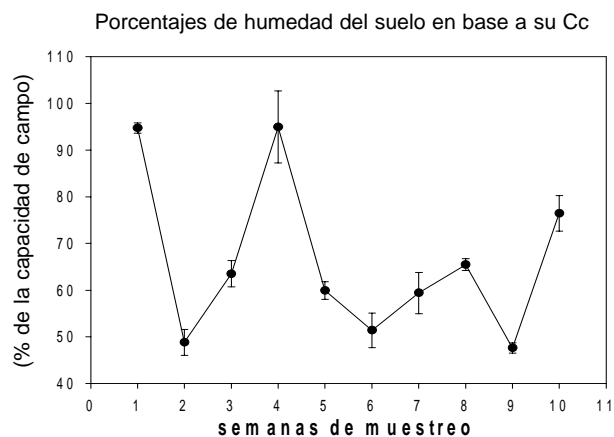


Figura 2. Efecto de los tratamientos de osmocondicionamiento en variables del crecimiento en biomasa seca de plantas jóvenes de tomate

Ensayo 2

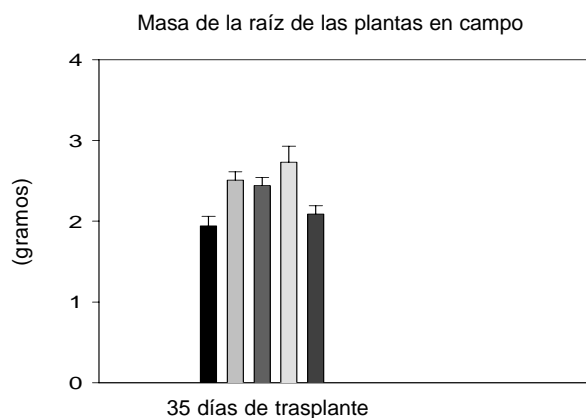
Humedad del suelo. En la Figura 3, se muestra la dinámica de la humedad del suelo en base a su capacidad de campo, donde cabe señalar que en siete de las 10 evaluaciones realizadas, los valores de la humedad del suelo estuvieron muy próximos, igual o inferiores al 60 % de la capacidad de campo, lo que demuestra que las plantas indudablemente estuvieron en condiciones de moderadas a severas de sequía.



Las barras sobre los puntos representan el intervalo de confianza de las medias

Figura 3. Variaciones de la humedad del suelo en el campo, los puntos representan la media de cinco evaluaciones

Variables del crecimiento. La producción de biomasa seca de las raíces y la parte aérea se presenta en la Figura 4, donde se encontró que los valores mayores de estas variables correspondieron a las plantas que fueron adaptadas mediante los tratamientos de osmoacondicionamiento, destacándose en tal sentido las plantas de los tratamientos -1.0 MPa y -0.75 MPa de PEG. El comportamiento de las plantas del tratamiento -1.0 MPa + 10 mM de NaCl fue muy similar al de las plantas control.



Los símbolos sobre las medias de los tratamientos representan su intervalo

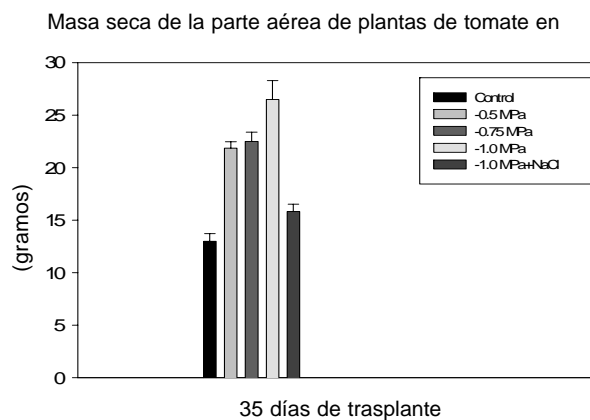


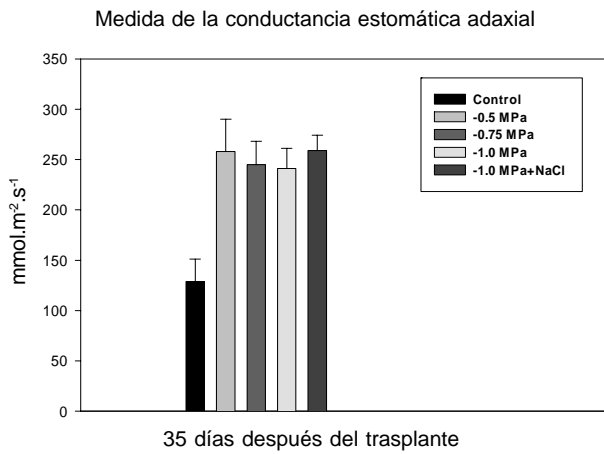
Figura 4. Producción de biomasa seca de las raíces y parte aérea de plantas de tomate cultivadas en campo en condiciones de secano a los 35 días del trasplante

En este sentido, los tratamientos osmoacondicionantes parecen mejorar la capacidad para mantener o inducir el crecimiento de la raíz en condiciones de bajo potencial hídrico. En la actualidad, la inducción del desarrollo radical se considera una de las estrategias más importantes a seguir, para aumentar la tolerancia de los cultivos al estrés hídrico y salino, ya que el restablecimiento del equilibrio funcional u homeostasis de la planta supone aumentar la superficie de absorción de agua y nutrientes, y mejorar la regulación iónica en condiciones de salinidad y/o estrés hídrico (11), aunque en una fase inicial pueda suponer un detrimento del crecimiento de la parte aérea. De hecho, este carácter se ha utilizado con éxito como criterio de selección para aumentar la productividad en otros cultivos como la soya (12) y el frijol (13), en condiciones de sequía.

En trabajos similares realizados en tomate y lechuga (6), se señala que la respuesta adaptativa a estas condiciones subóptimas (sequía y salinidad), comienza por un desarrollo mayor de la raíz antes de que las diferencias sean significativas en la parte aérea.

Indirectamente, también se ha observado que la mayor tolerancia al estrés hídrico o salino de plantas transgénicas sobre-productoras de metabolitos como prolina (14), fructanos (15) y manitol (16) está asociada a un mayor crecimiento de las raíces. Winicov (17) indicó que gracias a estas y otras evidencias empíricas de la importancia del desarrollo del sistema radical en la tolerancia al estrés hídrico y salino, recientemente se están empleando técnicas moleculares de manipulación genética para conseguir este objetivo de forma directa.

Relaciones hídricas. En la Figura 5, se presenta el comportamiento de la conductancia estomática; las plantas adaptadas presentaron una conductancia estomática considerablemente mayor que las control, debido posiblemente a un mayor crecimiento en extensión de sus sistemas de raíces o quizás también debido a la ocurrencia de un proceso de ajuste osmótico más eficiente (18, 19), lo que les permite alcanzar aumentos significativos en la turgencia, la conductancia estomática, el flujo transpiracional, la tasa fotosintética y disminuir la senescencia foliar (20, 21).



Los símbolos sobre las medias de los tratamientos representan su intervalo de confianza

Figura 5. Variaciones de la conductancia estomática de plantas de tomate cultivadas en campo en seco

Variables del rendimiento. En general, se encontró que en las diferentes variables del rendimiento evaluadas (Figura 6), los valores más altos correspondieron a las plantas de los tratamientos -0.75 y -1.0 MPa de PEG, los que representaron en el caso del número de frutos 41 y 2.6 % de incremento con respecto al control, respectivamente; 55.6 y 15 % en el peso de frutos por planta y 55.7 y 15 % en el rendimiento en toneladas por hectárea. Cabe señalar que en la masa promedio de los frutos, el valor

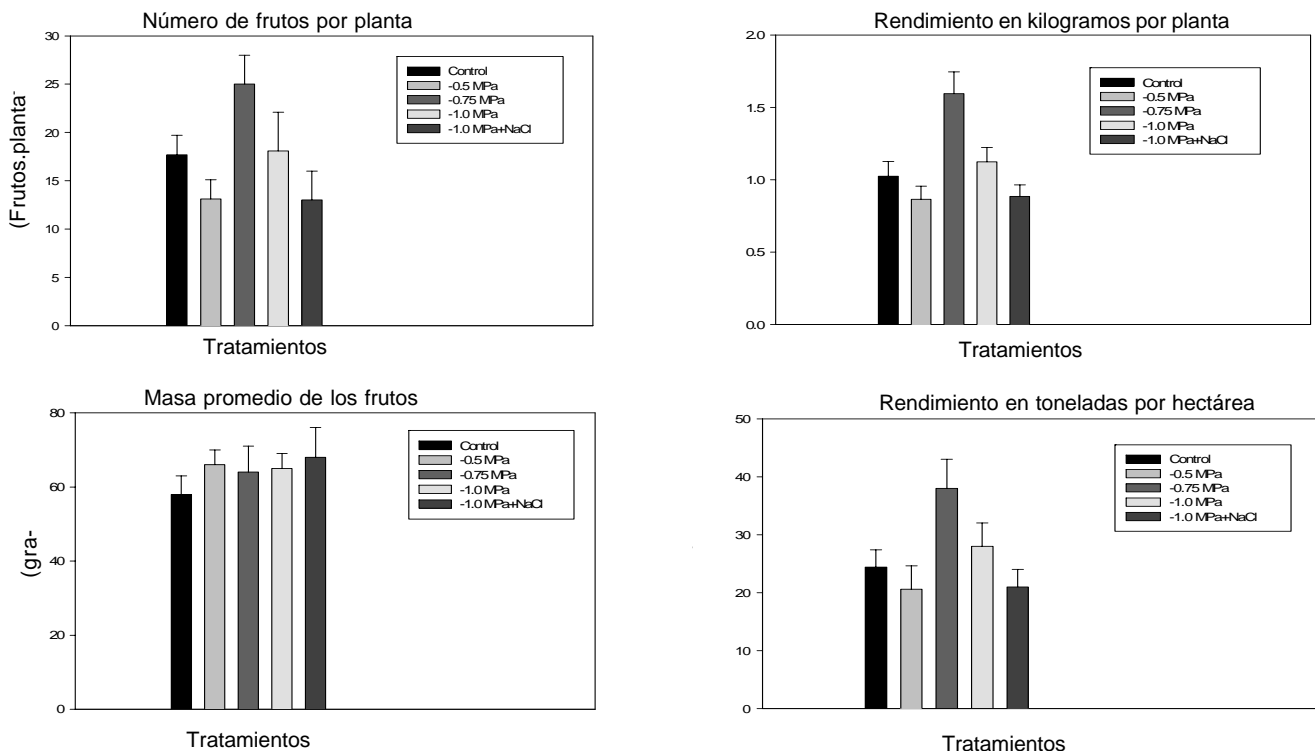
más bajo correspondió a las plantas del tratamiento control.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la posibilidad de incrementar la tolerancia agronómica a la sequía en el cultivo del tomate, mediante la inducción de la capacidad adaptativa durante la fase de posgerminación de la semilla. Posiblemente durante esta fase, la planta se encuentra en un estado de plasticidad genotípica, que le permite orientar la expresión de su genoma en función de la adversidad del ambiente en que se desarrolla (11).

Por otra parte, en otras investigaciones se ha visto que ciertos mecanismos adaptativos pueden mejorar el crecimiento del fruto, aumentando su peso medio (22), aspecto de gran interés si se tiene en cuenta que el rendimiento de un cultivo como el tomate, depende en gran medida del desarrollo individual del fruto y cualquier respuesta que mejore el crecimiento del fruto en condiciones adversas, disminuirá el efecto negativo sobre el rendimiento global del cultivo (23).

REFERENCIAS

1. Albiac, J. Los instrumentos económicos en la gestión del agua en la agricultura. Unión Europea – Fondo Europeo de Orientación de Garantía Agrícola. Madrid, Barcelona. Ediciones Mundi-Prensa, 2003.
2. Araus, J. L.; Slafer, G. A.; Reynolds, M. P. y Royo, C. Plant breeding and drought in C₃ cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, p. 925-940.



Los símbolos sobre las medias de los tratamientos representan su intervalo de confianza

Figura 6. Valores del rendimiento y sus componentes de plantas de tomate cultivadas en condiciones de seco

3. Chaves, M. Water stress in the regulation of photosynthesis in the field. *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, p. 907-916.
4. Ober, E. S. y Luterbacher, M. C. Genotypic variation for drought tolerance in *Beta vulgaris*. *Annals of Botany*, 2002, vol. 89, p. 917-924.
5. Blum, A. A molecular perspective of crop adaptation and production under drought stress. En: Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas (5:2000). p. 17-22.
6. Parra, M. Respuestas adaptativas inducidas por halocondicionamiento en especies hortícolas cultivadas en medio salino. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, España. 2002. p. 236.
7. Alvarez, M.; Moya, C.; Domini, M. E.; Arzuaga, J.; Martínez, B.; Pérez, S. y Cuartero, J. "Amalia": A medium-fruit-size, heat-tolerant tomato cultivar for tropical conditions. *HortScience*, 2004, vol. 39, no. 6, p. 1503-1504.
8. Michel, B. E. y Kaufman, M. R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.*, 1973, vol. 51, p. 914-916.
9. Balibrea, M. E.; Parra, M.; Bolarín, M. C. y Pérez-Alfocea, F. PEG- osmotic treatment in tomato seedlings induce salt-adaptation in adult plants. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1999, vol. 26, p. 781-786.
10. Javot, H. y Maurel, C. The role of aquaporins in root water uptake. *Annals of Botany*, 2002, p. 301-313.
11. Hare, P. D.; Cress, W. A. y Vastaden, J. Disecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environment*, 1998, vol. 21, p. 535-553.
12. Boyer, J. S. Plant productivity and environment. *Science*, 1982, vol. 218, p. 443-448.
13. Chaveco, O. Evaluación de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo dos condiciones de humedad utilizando diferentes criterios de selección. Tesis de Maestría; Universidad de Holguín, 2005.
14. Kavi-Kishor, P. B., Hong, Z., Miao, G., Hu, C. A. y Vema, D. P. S. Overexpression of δ -pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiol.*, 1995, vol. 108, p. 1387-1394.
15. Pilon-Smits, E. A. H., Ebgskamp, M. J. M., Paul, M. J., Jeuken, J. W., Weisbeek, P. J. y Smeekens, C. M. Improvement performance of transgenic fructan-accumulating tobacco under drought stress. *Plant Physiol.*, 1995, vol. 107, p. 125-130.
16. Tarczynski, M. C.; Jensen, R. G. y Bohnert, H. J. Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte mannitol. *Science*, 1993, vol. 259, p. 508-510.
17. Winicov, I. New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Ann. Bot.*, 1998, vol. 82, p. 703-710.
18. Bray, E. A.; Bailey-Serres, J. y Weretilnyk, E. Responses to abiotic stresses. En: *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. Eds: Buchanan, B. B., Gruissem, W. y Jones, R. L. American Society of Plant Physiologists. Rockville, Maryland. 2000. p. 1158-1203.
19. Griffin, J. J.; Ranney, T. G. y Pharr, D. M. Heat and drought influence photosynthesis, water relations and soluble carbohydrates of two ecotypes of redbud (*Cercis canadensis*). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 2004, vol. 129, no. 4, p. 497-502.
20. Amzallag, G. N. y Lerner, H. R. Physiological adaptation of plants to environmental stresses. En: *Handbook of plant and Crop Physiology*. Ed: Pessarakli, M. 1995. p. 557-576.
21. Hsiao, T. C. y Xu, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 2000, vol. 51, no. 350, p. 1595-1616.
22. Balibrea, M. E.; Dell'Amico, J.; Bolarín, M. C. y Pérez-Alfocea, F. Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity. *Physiologia Plantarum*, 2000, vol. 110, p. 503-511.
23. Cuartero, J. y Soria, T. Productividad de tomates cultivados en condiciones salinas. *Actas Hort.*, 1997, vol. 16, p. 214-219.

Recibido: 29 de septiembre de 2005

Aceptado: 25 de octubre de 2006