

EFECTO DE LA SALINIDAD EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DE LAS RAÍCES Y LAS RELACIONES HÍDRICAS EN HOJAS DE DOS ESPECIES DE TOMATE (*L. esculentum* Y *L. chessmanii*)

D. Morales[✉]; P. Rodríguez, J. M. Dell'Amico, María de J. Sánchez-Blanco y A. Torrecillas

ABSTRACT. The present work was conducted with the objective of studying the behavior of the hydraulic conductivity of roots and water relations in leaves from two tomato (*Lycopersicon esculentum* Var. Amalia and *Lycopersicon chessmanii*) species submitted for short periods to different treatments with NaCl in the medium. Plants developed in flowerpots with silica sand put in trays and adding Hoagland's nutritious solution. The hydraulic conductivity of roots was immediately determined to a group of four plants per treatment, introduced in containers with the nutritious solution to which NaCl was added at the rate of 0, 25, 50, 75, 100, 150 and 200 mM and to another group of four plants per treatment, which remained for 24 hours in the nutritious solution with 0, 100 and 200 mM NaCl, besides determining the hydraulic conductivity, leaf water potential, osmotic potential, pressure potential (by estimating the general potential equation) and saturated osmotic potential; the relationship between hydraulic conductivity and leaf water potential was established. The analysis of data indicated a strong reduction of the hydraulic conductivity of roots in both species, as soon as they were exposed to the treatment with saline solution, but conductivity was always higher in the wild species. Also, the other variables evaluated were affected by salinity and it was appraised that osmotic adjustment had not yet taken place 24 hours before applying the treatments.

Key words: tomatoes, *Lycopersicon esculentum*, roots, permeability, plant water relations, salinity

RESUMEN. El presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar el comportamiento de la conductividad hidráulica de las raíces y las relaciones hídricas en hojas de dos especies de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. Amalia y *Lycopersicon chessmanii*) sometidas por períodos cortos a diferentes tratamientos con NaCl en el medio. Las plantas se desarrollaron en macetas con arena sílice introducidas en bandejas en las que se adicionó solución nutritiva de Hoagland. A un grupo de cuatro plantas por tratamiento introducidas en recipientes con la solución nutritiva, a la que se le adicionó NaCl a razón de 0, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 mM, se les determinó inmediatamente la conductividad hidráulica de las raíces y a otro grupo de cuatro plantas por tratamiento que permaneció durante 24 horas en solución nutritiva con 0, 100 y 200 mM de NaCl, se les determinó además de la conductividad hidráulica, el potencial hídrico foliar, el potencial osmótico, el potencial de presión (por estimación utilizando la ecuación general del potencial) y el potencial osmótico saturado; se estableció la relación entre la conductividad hidráulica y el potencial hídrico foliar. El análisis de los datos indicó una fuerte disminución de la conductividad hidráulica de las raíces de ambas especies, tan pronto se expusieron al tratamiento con solución salina, pero siempre la conductividad fue superior en la especie silvestre, así como las demás variables evaluadas se vieron afectadas por la salinidad y se apreció que a las 24 horas de aplicados los tratamientos, aún no se había producido ajuste osmótico.

Palabras clave: tomate, *Lycopersicon esculentum*, raíces, permeabilidad, relaciones planta agua, salinidad

INTRODUCCIÓN

Una observación generalizada es que la salinidad del medio externo afecta negativamente el crecimiento de muchas glicofitas. Esta reducción del crecimiento

manifestada en el tamaño de las hojas, se sabe que es el resultado de un menor tamaño de las células en la planta expuesta a alta salinidad. Los cambios metabólicos que se emplean para explicar la reducción de la expansión celular van desde un descenso en la utilización del carbono para la síntesis de la pared celular (1) hasta la acidificación citoplasmática resultante de la inhibición de la extrusión de protones a la pared en esta situación de estrés (2).

Según se ha indicado, la salinidad afecta tanto el crecimiento vegetativo como el desarrollo reproductivo (3) y se señala que puede reducir el número de flores, incre-

Dr.C. D. Morales y Dr.C. J. M. Dell'Amico, Investigadores Titulares; Dr.C. P. Rodríguez, Investigador del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba; Dr. María de J. Sánchez-Blanco, colaboradora científica y Dr. A. Torrecillas, Profesor de Investigación del Departamento de Riego y Salinidad del Centro de Edafología y Biología del Segura (CEBAS), CSIC, España.

✉ dmorales@inca.edu.cu

mentar la esterilidad y alterar la duración de la floración y la maduración.

Los mecanismos exactos por los que la salinidad inhibe el crecimiento de las plantas, aún no han sido totalmente esclarecidos, pero pudieran incluirse los efectos osmóticos así como la toxicidad causada por determinados iones (4).

En tomate, varios investigadores (5) han estudiado las relaciones hídricas y la capacidad de ajuste osmótico y elástico en diferentes genotipos de tomate en condiciones de estrés salino y han encontrado que el crecimiento de las plantas tratadas con sal a menudo ha sido limitado por la capacidad de las raíces para extraer el agua del suelo y transportarla hasta la parte aérea.

Otros autores (6, 7) han informado daños significativos en el crecimiento de plantas de *Apium graveolens* y *Haynaldoticum sardoum* respectivamente, al ser cultivadas en condiciones salinas.

El comportamiento del sistema radical de las plantas es uno de los aspectos menos estudiados, dado quizás por la complejidad que implica. Sin embargo, este es el órgano que primero entra en contacto con el medio y, por tanto, quien provee a la parte aérea del agua, los nutrientes y reguladores de crecimiento necesarios. A menudo, el crecimiento y la producción de una planta están limitados por la capacidad de las raíces para extraer el agua y los nutrientes del suelo y transportarlos hasta la parte aérea.

La velocidad y cantidad de movimiento del agua desde las raíces a la parte aérea determinan la cantidad y concentración de sustancias que arriban a esta última (8).

También se ha señalado que las raíces son las que imponen la mayor resistencia al flujo del agua en estado líquido (9) en el continuo suelo-planta-atmósfera y que, por tanto, su conductividad hidráulica ha sido objeto de numerosos estudios.

Por otra parte, si bien la conductividad hidráulica de las raíces se ha estudiado en diferentes cultivos, en tomate y en condiciones salinas no son abundantes los resultados informados en la literatura, sobresaliendo en tal sentido el que solo se estudió en *Lycopersicon esculentum* (10); de ahí que el presente trabajo se desarrollara con el objetivo de estudiar el comportamiento de la conductividad hidráulica de las raíces y las relaciones hídricas en hojas en las especies de tomate *Lycopersicon esculentum* y *Lycopersicon cheesmanii* expuestas a estrés salino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del trabajo, se utilizaron semillas de tomate de las especies *L. esculentum* (Var. Amalia) y *L. cheesmanii* (especie silvestre resistente a la salinidad) que fueron germinadas y sembradas en macetas de 10.5 cm en la base superior, 8 cm en la base inferior y 8 cm de alto, con arena de sílice y colocadas en número de 20 en bandejas de 40x60 cm y 12 cm de altura, con solución

nutritiva de Hoagland hasta los 25 días posteriores a la brotación de las plántulas en *L. esculentum* y hasta los 45 días en *L. cheesmanii* (dada su menor precocidad en el crecimiento). Pasado este período se seleccionaron 28 plantas de cada especie y en grupos de cuatro se introdujeron en solución nutritiva con 0, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 mM de NaCl.

Por otra parte, se escogió un grupo de plantas de cada especie y se les sometió a un choque salino durante 24 horas con niveles de 0, 100 y 200 mM de NaCl.

Se contó con una cámara de crecimiento, en la que se implantó un fotoperíodo de 13 horas de luz y 11 de oscuridad, la temperatura varió entre 25/18 gC día/noche, la humedad relativa entre 60/70 % día/noche y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el momento de máxima iluminación fue de 380 mmol.m⁻².s⁻¹.

Al primer grupo de plantas se les determinó la conductividad hidráulica de las raíces inmediatamente después de ser colocadas en la solución salina, mientras que a las del segundo grupo se les determinó después de 24 horas de tratamiento con NaCl. Para ello se utilizó una cámara de presión con la que se aplicó 1 MPa y se determinó la masa de flujo extraído cada tres minutos. Al segundo grupo de plantas, además de la conductividad hidráulica, se les determinó el potencial hídrico foliar (ψ_f) con una cámara de presión, el potencial osmótico (ψ_s) y osmótico saturado ($\psi_{os,s}$) con un osmómetro Wescor 55000 y se estimó el potencial de presión (ψ_p) mediante la ecuación general del potencial hídrico.

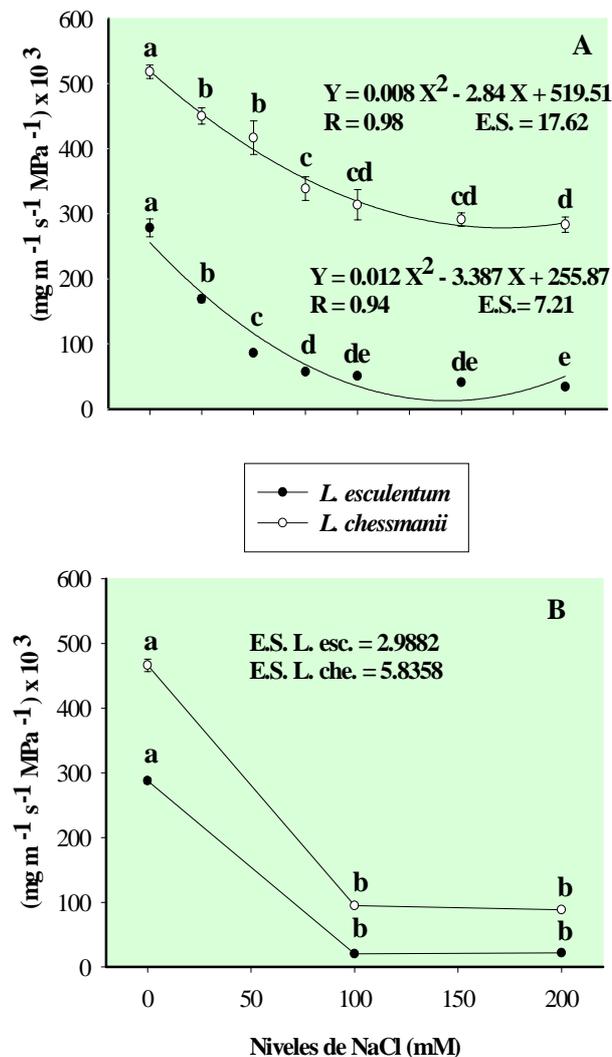
Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó un modelo de Clasificación Simple y las medias se compararon a través de la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La conductividad hidráulica de las raíces, al colocarse las plantas en diferentes concentraciones salinas (Figura 1A), mostró una disminución significativa con el aumento del contenido de NaCl en la solución, con independencia de la especie en cuestión y se apreció, además, que la conductividad disminuyó bruscamente hasta el nivel de 75 mM en *L. esculentum* y hasta 100 mM aproximadamente en *L. cheesmanii*, y que a partir de estas concentraciones los valores se hicieron prácticamente constantes.

Se destaca la especie silvestre como la que presentó los mayores valores de conductividad y, aunque al igual que en la cultivada se produce la disminución antes señalada, se puede apreciar además que la pendiente de la curva es menos pronunciada, lo que parece estar asociado con su carácter de mayor resistencia a la salinidad. Se destacan los altos valores del coeficiente de determinación encontrados para ambas especies, al ajustar los datos a la curva que mejor describió este proceso.

Al analizar el comportamiento de esta variable, después de aplicado un choque salino durante 24 horas (Figura 1B), se encontró igualmente una disminución significativa con el aumento de la concentración salina en el medio, pero en este caso el descenso fue brusco desde el nivel intermedio (100 mM) aplicado y aparentemente se mantuvo constante al incrementarse el contenido de NaCl en el medio. Se evidenció nuevamente cómo los valores de la especie silvestre fueron superiores a los de la cultivada, aún cuando su conductividad se vio ligeramente más afectada.



Letras desiguales indican diferencias significativas entre los tratamientos

Figura 1. Conductividad hidráulica en raíces de plantas de tomate a diferentes concentraciones salinas (A) y a las 24 horas de estrés (B)

Las alteraciones producidas en la conductividad hidráulica representada por la disminución del flujo de agua a través de la raíz, parece más bien estar condicionadas por la resistencia que se origina al crearse un gradiente de potencial entre la raíz en contacto con la solución salina y las restantes partes de la planta, y no a la aparición de cambios estructurales producidos en sus

tejidos, como respuesta a la presencia de los iones en sus células y, sobre todo, si se tiene en cuenta el corto período de tiempo que estuvieron expuestas al NaCl.

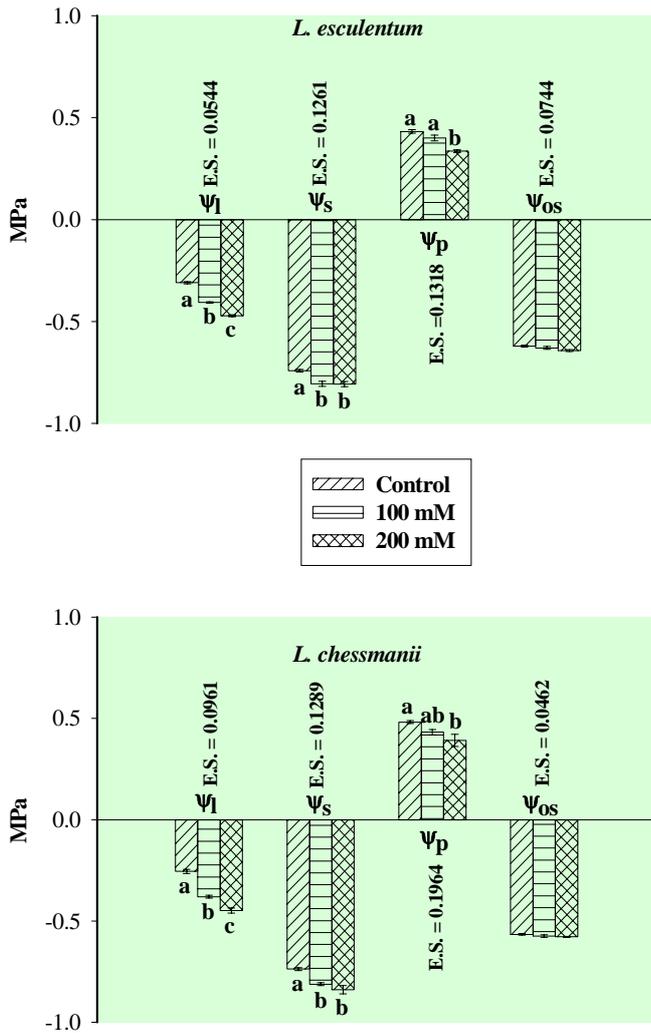
Los resultados encontrados indican que esta variable sufre un descenso brusco tan pronto se incrementa la concentración salina del medio, alcanzando sus valores mínimos con 75 mM; a partir de ese nivel salino ambas especies mantienen valores bajos y estables aún a concentraciones de NaCl muy elevadas, pero se destaca cómo la mayor conductividad se manifiesta en la especie *L. cheesmanii*, lo que reafirma su carácter de tolerancia a este tipo de estrés y este comportamiento se mantiene prácticamente inalterado aún después de 24 horas de exposición a la salinidad, tanto en la especie silvestre como en la cultivada, lo que pudiera indicar que a este nivel se alcanza un gradiente de potencial "umbral", en el que el incremento de la salinidad no produce un mayor gradiente y por tanto el flujo no varía.

Resultados que concuerdan con estos, pero con valores de conductividad hidráulica estabilizados a inferiores concentraciones de NaCl, fueron obtenidos en *Sorghum bicolor* (11), en plantas de otra variedad de *Lycopersicon esculentum* (10) y también han sido informados en *Argyranthemum coronopifolium* (12).

En los diferentes potenciales evaluados (Figura 2), se encontró que en ambas especies tanto el potencial hídrico foliar como el potencial osmótico descendieron significativamente, al someterse las plantas al tratamiento salino; se observó, además, que mientras el potencial hídrico foliar descendió de manera significativa con el incremento del NaCl en el medio, el potencial osmótico se mantuvo inalterado. El potencial de presión, si bien manifestó un decremento con el aumento de la salinidad en el medio, este solo se hizo significativo entre las plantas bajo el tratamiento control y las que contaron con 200 mM de NaCl en la solución, destacándose la especie silvestre al presentar potenciales similares en ambos niveles de salinidad.

Por otra parte, el potencial osmótico a máxima saturación no manifestó variación alguna como consecuencia de la adición de NaCl a la solución nutritiva, lo que sugiere que 24 horas de exposición a la sal resultaron insuficientes para que las plantas realizaran ajuste osmótico, resultados que discrepan de los obtenidos en plantas de remolacha azucarera (13) y en diferentes especies del género *Triticum* (14), y que pudieran explicarse por el menor tiempo de exposición al NaCl que estuvieron sometidas estas plantas.

El potencial hídrico foliar y el potencial osmótico presentaron una rápida disminución con el incremento del contenido salino en la solución, lo que indica la existencia de señales hidráulicas capaces de ser transmitidas con gran rapidez desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas. Sin embargo, el potencial de presión fue solo afectado a niveles elevados de NaCl; en ello influyó la disminución más acentuada que se produjo en el potencial hídrico foliar en los tratamientos salinos en relación con el control.



Letras desiguales indican diferencias significativas entre los tratamientos

Figura 2. Potenciales hídrico foliar, osmótico, de presión y osmótico saturado medidos antes del alba en plantas de tomate a las 24 horas de tratamiento salino

Decrecimientos de los potenciales hídrico foliar y osmótico han sido informados en plantas de *L. esculentum* y *L. pennellii* sometidas a estrés salino (5), así como en *Oryza sativa* (15), *Zea mays* (16), *Spinacia oleracea* (17), *Lycopersicon esculentum* y *Brassica rapa* (18).

En la Figura 3 está representada la relación encontrada entre la conductividad hidráulica de las raíces y el potencial hídrico foliar medidos a las 24 horas de haberse aplicado los tratamientos salinos. Los resultados señalan cierta relación entre dichas variables, correspondiéndole a mayor conductividad los mayores valores de potencial hídrico foliar.

La relación encontrada entre el potencial hídrico foliar y la conductividad hidráulica de las raíces, indica que la respuesta mostrada por la parte foliar de la planta está determinada por el flujo de agua desde la raíz y la condición de estrés a que esté sometida la planta va a influir

decisivamente en el comportamiento de estas variables. Una relación similar también fue encontrada por algunos autores (10), quienes indicaron que la reducción producida en la conductividad hidráulica de las raíces debido al estrés salino, es probablemente la causa de la disminución de la conductancia estomática y del potencial hídrico foliar.

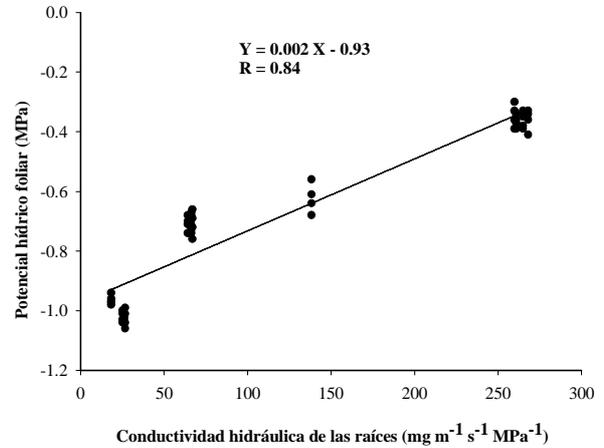


Figura 3. Relación entre la conductividad hidráulica de las raíces y el potencial hídrico foliar

Como conclusión, se puede señalar que la salinidad provoca cambios importantes en la conductividad hidráulica de las raíces que limitan la absorción y el flujo del agua hacia la parte aérea, lo que se pone de manifiesto a través de las alteraciones que se producen en las relaciones hídricas de la planta.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación SENECA de Murcia, por la ayuda financiera para la ejecución del trabajo, al CEBAS y muy especialmente al grupo del Dr. Arturo Torrecillas, por prestar sus instalaciones y recursos materiales así como a M. D. Velasco y M. García, por su contribución en la determinación de algunas de las variables que aquí se exponen.

REFERENCIAS

1. Taiz, L. Plant cell expansion: Regulation of cell wall mechanical properties. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1984, vol. 35, p. 585-657.
2. Van Volkenburgh, E. y Boyer, J. S. Inhibitory effects of water deficit on maize leaf elongation. *Plant Physiol.*, 1985, vol. 77, p. 190-194.
3. Munns, R. y Rawson, H. M. Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1999, vol. 26, p. 459-464.
4. Azaizeh y Steudle. Effects of salinity on water transport of excised maize (*Zea mays* L.) roots. *Plant Physiol.*, 1991, vol. 97, p. 1136-1145.

5. Sánchez-Blanco, M. J.; Bolarín, M. C.; Alarcón, J. J. y Torrecillas, A. Salinity effects on water relations in *Lycopersicon esculentum* and its wild salt-tolerant relative species *L. pennellii*. *Physiologia Plantarum*, 1991, vol. 83, p. 269-274.
6. Pardossi, A.; Malorgio, F.; Oriolo, D.; Gucci, R.; Serra, G. y Tognoni, F. Water relations and osmotic adjustment in *Apium graveolens* during long-term NaCl stress and subsequent relief. *Physiol. Plant.*, 1998, vol. 102, p. 369-376.
7. Zoppo, M. del; Galleschi, L.; Onnis, A.; Pardossi, A. y Saviozzi, F. Effect of salinity on water relations, sodium accumulation, chlorophyll content and proteolytic enzymes in a wild wheat. *Biologia Plantarum*, 1999, vol. 42, no. 1, p. 97-104.
8. Markhart, A. H. III y Smit, B. Measurement of root hydraulic conductance. *HortScience*, 1990, vol. 25; no. 3, p. 282-287.
9. Rieger, M. y Litvin, P. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany*, 1999, vol. 50, no. 331, p. 201-209.
10. Rodríguez, P.; Dell'Amico, J.; Morales, D.; Sánchez-Blanco, M. J. y Alarcón, J. J. Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *Journal of Agricultural Science*, 1997, vol. 128, p. 439-444.
11. Cruz, R. T.; Jordan, W. R. y Drew, M. C. Structural changes and associated reduction of hydraulic conductance in roots of *Sorghum bicolor* L. following exposure to water deficit. *Plant Physiology*, 1992, vol. 99, p. 203-212.
12. De Herralde, F.; Biel, C.; Savé, R.; Morales, M. A.; Torrecillas, A.; Alarcón, J. J. y Sánchez-Blanco, M. J. Effect of water and salt stresses on the growth, gas exchange and water relations in *Argyranthemum coronopifolium* plants. *Plant Science*, 1998, vol. 139, p. 9-17.
13. Katerji, N.; Hoorn, J. W. van; Hamdy, A.; Mastroilli, M. y Mou Karzel, E. Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agricultural Water Management*, 1997, vol. 34, p. 57-69.
14. Morant-Avice, A.; Pradierand, E. y Houchi, R. Osmotic adjustment in triticales grown in presence of NaCl. *Biologia Plantarum*, 1998, vol. 41, no. 2, p. 227-234.
15. Lutts, S.; Kinet, J. M. y Bouharmont, J. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation*, 1996, vol. 19, p. 207-218.
16. González, H.; Justin, K. M. R.; Jordan, W. R. y Drew, M. C. Growth, water relations, and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedlings during salt stress. *Plant Physiol.*, 1997, vol. 113, p. 881-893.
17. Delfine, S.; Alvino, A.; Villani, M. C. y Loreto, F. Restrictions to carbon dioxide Conductance and photosynthesis in spinach leaves recovering from salt stress. *Plant Physiology*, 1999, vol. 119, p. 1101-1106.
18. Mäkelä, P.; Kontturi, M.; Pehu, E. y Somersalo, S. Photosynthetic response of drought-and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycinebetaine. *Physiologia Plantarum*, 1999, vol. 105, p. 45-50.

Recibido: 1 de abril del 2002

Aceptado: 11 de septiembre del 2002

Cursos de Verano

Precio: 200 USD

Brasinoesteroides: nuevos biorreguladores de amplia perspectiva para la agricultura

Coordinador: Dra.C. Miriam de la C. Núñez Vázquez

Duración: 30 horas

Fecha: 8 al 12 de julio

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (64) 6-3773
Fax: (53) (64) 6-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu