

INDUCCIÓN DE RESPUESTAS ADAPTATIVAS EN EL ARROZ (*Oryza sativa* L.) PARA SU CULTIVO EN CONDICIONES DE SALINIDAD MODERADA

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

ABSTRACT. This research work was aimed at improving salt tolerance of rice plants by means of osmo/haloconditioning treatments, inducing its natural capacity to get adapted under adverse conditions and to be considered as an acquired tolerance. Two trials were conducted with J-104 cv. seedlings. The first one proved method viability, besides evaluating crop growth and biomass partitioning in young plants. The second one recorded the effect of the same adaptative treatments on plant response under salinity conditions (soil electrical conductivity $EC=4.8 \text{ m.s.cm}^{-1}$ considered as moderately saline). After 105 days of transplanting, stem length, leaf number as well as biomass partitioning of the aerial part and root were measured in 10 plants per treatment. Yield (panicle number per m^2 , 1000-grain weight and grams per m^2) was evaluated in 20 plants per treatment. Results suggest these treatments are capable of inducing certain homeostatic stability in plants to develop and yield adequately under a moderately saline medium; thus, it would be interesting to prove through studying the physiological crop responses, since the adaptation to saline medium, although by purely osmotic pre-treatments, involves a greater salt ion accumulation in young leaf tissues, which supposes a much more efficient osmotic adjustment and a greater salt tolerance.

Key words: *Oryza sativa*, salinity, osmosis, adaptation, salt tolerance, induced resistance

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los principales estrés abióticos a los que se enfrenta la agricultura en prácticamente todo el mundo es la salinidad del suelo (1, 2), debido fundamentalmente a que este tipo de estrés afecta a casi todas las funciones de la planta (3). Pero es, sobre todo, en las regiones áridas y semiáridas del planeta, donde la

RESUMEN. El trabajo se realizó con el objetivo de aumentar la tolerancia a la salinidad del arroz mediante tratamientos de osmo/halocondicionamiento, para inducir la capacidad natural de las plantas de adaptarse a condiciones adversas y que puede ser considerada como una tolerancia adquirida. Se realizaron dos ensayos con plántulas de arroz de la variedad J-104 de ciclo medio de desarrollo y cierto grado de sensibilidad a la salinidad. En el primero se comprobó la viabilidad del método y se realizaron evaluaciones de crecimiento y partición de biomasa a nivel de plantas jóvenes. En el segundo ensayo se registró el efecto de los tratamientos en la respuesta de las plantas cultivadas en condiciones de salinidad (conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo de $CE=4.8 \text{ m.s.cm}^{-1}$ considerado como moderadamente salino). A los 105 días de trasplantadas se midieron en 10 plantas por tratamiento la longitud del tallo, el número de hojas y la masa seca de la raíz y la parte aérea. El rendimiento (número de panículas por m^2 , peso de 1000 granos y gramos por m^2) se evaluó en 20 plantas por tratamiento. Los resultados sugieren que los tratamientos estudiados son capaces de inducir una cierta estabilidad homeostática en las plantas para desarrollarse y producir adecuadamente en un medio moderadamente salino, lo que sería interesante poder constatar mediante el estudio de las respuestas fisiológicas del cultivo, pues la adaptación al medio salino, aunque sea mediante pretratamientos de naturaleza puramente osmótica, implica una mayor acumulación de los iones salinos en los tejidos de las hojas jóvenes, lo que supone un ajuste osmótico mucho más eficaz y una mayor tolerancia a la sal.

Palabras clave: *Oryza sativa*, salinidad, ósmosis, adaptación, tolerancia a la sal, resistencia inducida

salinidad está considerada como el principal factor ambiental limitante de la productividad vegetal (4).

El aumento de la población mundial, la disminución de las áreas cultivables dedicadas al cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), escasez del agua, evolución de nuevos biotipos de parásitos y enfermedades, y el cambio climático representan desafíos serios a los mejoradores del arroz para aumentar la producción y productividad, con resistencias múltiples a los estrés bióticos y abióticos (5). En tal sentido, se han empleado diferentes estrategias, incluyendo la mejora genética tanto por la vía convencional como por la biotecnológica, inducción de mutaciones (6) sin que se hayan alcanzado resultados de consideración (7).

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", Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ amico@inca.edu.cu

Una alternativa de tipo biológica empleada para minimizar los efectos de la salinidad, ha sido la inducción de la capacidad natural de adaptación de las plantas. Esta se basa fundamentalmente en el hecho de que aparentemente todas las plantas poseen la información genética necesaria para adaptarse al estrés salino, en mayor o menor grado, aunque solo es posible inducirla en un momento determinado del desarrollo de la planta, cuando esta posee una cierta plasticidad genotípica que le permite adaptarse a las condiciones cambiantes de su entorno (8).

El presente trabajo tuvo por objetivo emplear un método de adaptación inducida a la salinidad en plántulas de arroz para su cultivo en condiciones de salinidad moderada, mediante la inmersión completa en soluciones osmótico-salinas, en condiciones controladas de dosis y tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo 1. Funcionalidad de los tratamientos. Semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) de la variedad comercial Jucarito-104 de ciclo medio de desarrollo y con cierto grado de sensibilidad a la salinidad (9), se germinaron en 10 placas de Petri. En cada cápsula se colocaron 25 semillas y se adicionaron 10 mL de agua desionizada; posteriormente fueron tapadas y selladas con Parafilm.

Las placas se colocaron en una cámara de crecimiento a 28°C en oscuridad. A las 72 horas, las plantulitas de las diferentes placas se separaron y se formaron cinco grupos de 40 plántulas cada uno.

Con anterioridad se prepararon cuatro soluciones osmóticas de *Poliétilen Glycol* (PEG) 6000 con las siguientes características, que conformaron los tratamientos osmo/haloacondicionantes:

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

Las concentraciones necesarias se calcularon sobre la base de la ecuación siguiente (10):

$$\Pi = -(1.18 \cdot 10^{-2}) c - (1.18 \cdot 10^{-4}) c^2 + (2.67 \cdot 10^{-4}) c T + (8.39 \cdot 10^{-7}) c^2 T$$

donde: c: Concentración de PEG 6000 (g.kg⁻¹.H₂O) y T: Temperatura (25°C)

Cuatro grupos de plantulitas fueron sumergidas totalmente en 300 mL de las soluciones antes mencionadas por espacio de 12 horas y con aireación forzada, en la oscuridad y a 25°C. Un quinto grupo se trató como control (sumergido en agua solamente).

Con posterioridad a los tratamientos de osmo/haloacondicionamiento, 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 (11) 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 una vez; posteriormente se regaron diariamente con agua desionizada.

A los 20 días de permanecer en esas condiciones se evaluaron en 10 plantas por tratamiento (consideradas como repeticiones) la longitud del tallo, el número de hojas y la masa seca de la raíz y parte aérea. Las evaluaciones se realizaron siguiendo un diseño completamente aleatorizado.

Ensayo 2. Resultados en canaletas con condiciones de salinidad moderada. Se ensayaron los mismos tratamientos a las plantulitas, con la diferencia de que las posturas fueron trasplantadas a los 20 días a canaletas de hormigón de 2.60 m de largo, 0.70 m de ancho y 0.40 m de profundidad, que contenían suelo Hidromórfico Gley Nodular (11), típico de la Estación Experimental Los Palacios en Pinar del Río, con una conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo de CE= 4.8 m.s.cm⁻¹ (considerado como moderadamente salino) y buen abastecimiento hídrico en todos los tratamientos, ya que el riego se realizó por aniego manteniendo una lámina de agua de 5 cm de altura por encima de la superficie del suelo, la que se repuso semanalmente. Las demás labores culturales se realizaron según lo indicado en el instructivo técnico del cultivo (12).

El trasplante se realizó asegurando una densidad de plantación de 30 plantas por m². A los 105 días de trasplantadas (final del experimento) se midieron en 10 plantas por tratamiento (repeticiones) la longitud del tallo, el número de hojas y la masa seca de la raíz y parte aérea. El rendimiento (número de panículas por m², peso de 1000 granos y gramos por m²) se evaluó en 20 plantas por tratamiento. Se empleó un diseño completamente aleatorizado.

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el cálculo de las medias muestrales, su desviación estándar y el intervalo de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo 1. En la Figura 1 se presentan los valores de la altura y el número de hojas emitidas por las plántulas, donde se encontró que en el caso de la altura los valores mayores se alcanzaron en las plántulas tratadas con -0.75 MPa de PEG 6000, mientras que las correspondientes a los restantes tratamientos presentaron valores muy similares. Por otra parte, en el número de hojas los valores más altos correspondieron a las plántulas de los tratamientos -0.75 MPa, -1.0 Mpa+10 mM de NaCl y las del control, mientras que los valores más pequeños se presentaron en las plántulas de los tratamientos -0.5 y -1.0 MPa de PEG 6000.

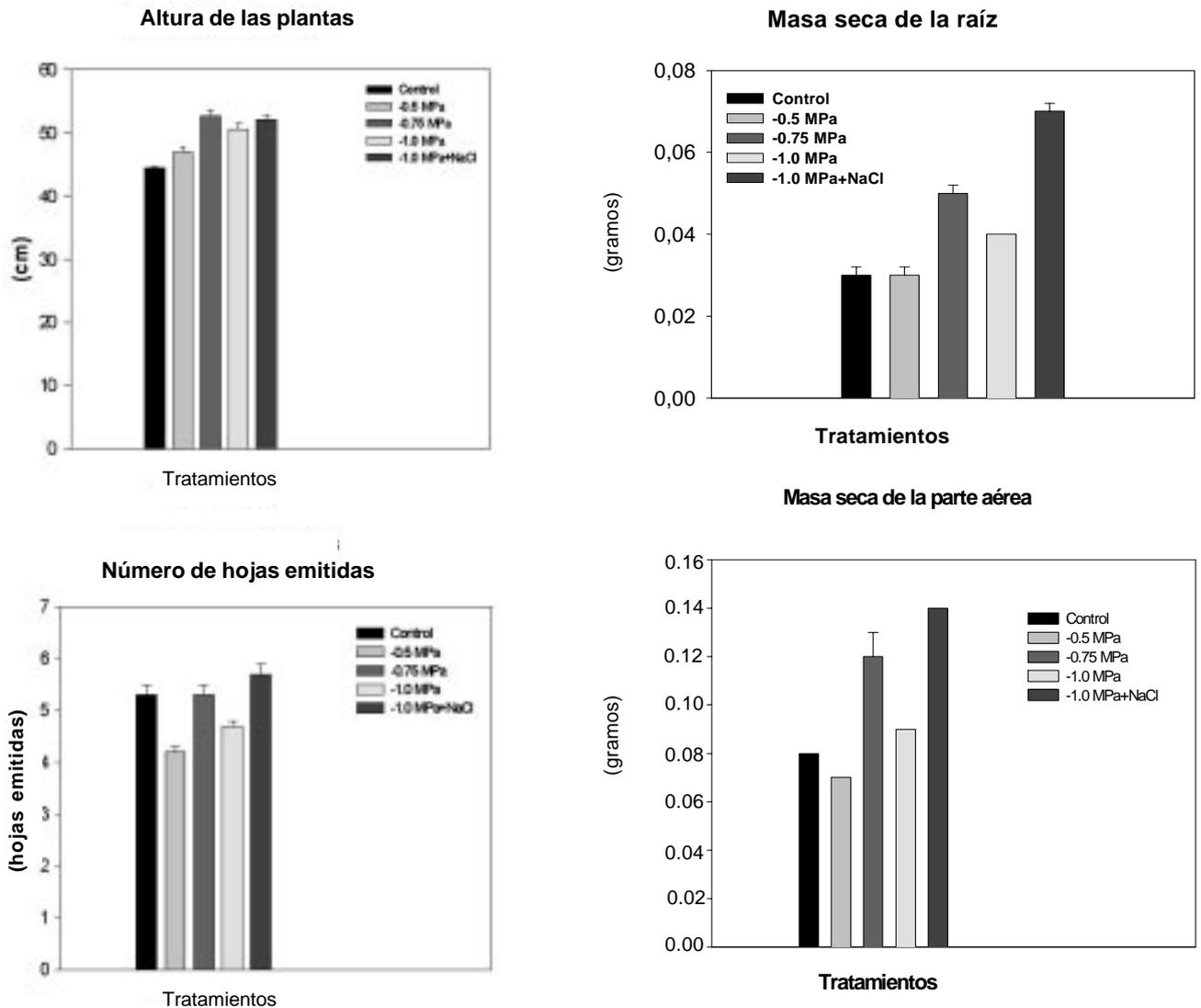


Figura 1. Efecto de los tratamientos osmo/halocondicionantes en las variaciones de la altura y el número de hojas emitidas de plántulas jóvenes de arroz

También al analizar el comportamiento de las variaciones en la producción de biomasa seca de la raíz, la parte aérea y la relación masa seca raíz/parte aérea de las plántulas (Figura 2), se encontró que en general las tratadas con -0.75 MPa de PEG 6000 y -1.0 MPa de PEG 6000+10 mM de NaCl presentaron los mejores resultados.

Es de destacar que en estas variables del crecimiento de las plántulas, prácticamente no se observaron efectos negativos provocados por los tratamientos, a pesar de que las plantulitas permanecieron sumergidas en las soluciones estresantes durante 12 horas y fueron capaces de sobrevivir y seguir creciendo después de haber interrumpido sus funciones fisiológicas básicas (intercambio gaseoso, absorción de nutrientes, fotosíntesis, etc.) en ese espacio de tiempo.

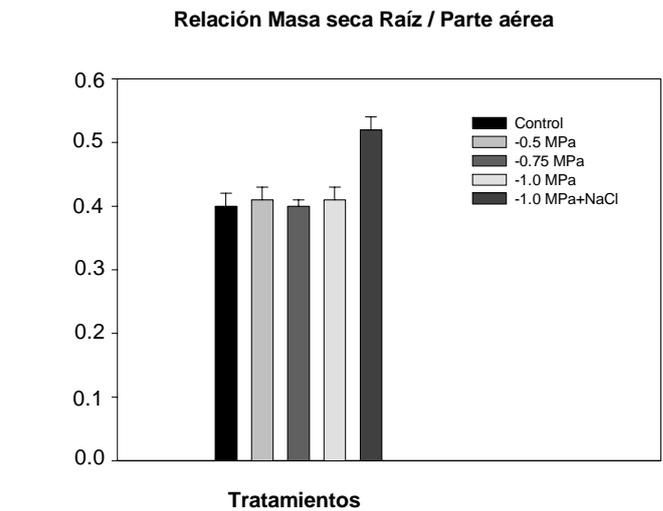


Figura 2. Efecto de los tratamientos osmo/halocondicionantes en la producción de biomasa seca de las raíces, la parte aérea y la relación masa seca de raíz/masa seca de la parte aérea de plántulas de arroz

Estos resultados ponen de manifiesto que algunos tratamientos osmo/haloacondicionantes son capaces de provocar a corto plazo incrementos significativos en el desarrollo de la raíz y parte aérea de las plántulas, lo que pudiera considerarse como respuestas adaptativas, teniendo en cuenta que el crecimiento de ambas partes (raíz y parte aérea) es un proceso coordinado y sus tamaños relativos varían dinámicamente en respuesta a las condiciones ambientales, con el fin de optimizar la utilización de los asimilados y otros recursos (13).

Efectos similares se han informado en cultivos como tomate (14, 15), tomate y lechuga (16), que además han señalado que estos efectos tempranos en el desarrollo de las plántulas osmo/haloacondicionadas deberían finalmente verse reflejados en la producción agronómica de los cultivos.

Ensayo 2. En la Figura 3 se presentan los resultados de la altura de las plantas, masa seca de la raíz y parte aérea y la relación masa seca de la raíz/parte aérea, donde se encontró que en general las plantas que fueron acondicionadas presentaron valores superiores en estas variables con respecto a las plantas control (no acondicionadas). Resulta importante destacar que el efecto de los tratamientos no solo se observó a corto plazo como se había señalado anteriormente, sino que se mantuvo hasta el final del ciclo de vida de las plantas.

Al analizar los valores del rendimiento de las plantas y variables asociadas a este (Figura 4), se pudo observar que tanto en el número de panículas y el rendimiento en gramos por m², los valores más altos correspondieron a las plantas de los tratamientos -0.75 MPa y -1.0 MPa+10 mM de NaCl y en el caso del peso de 1000 granos, hubo también un comportamiento similar.

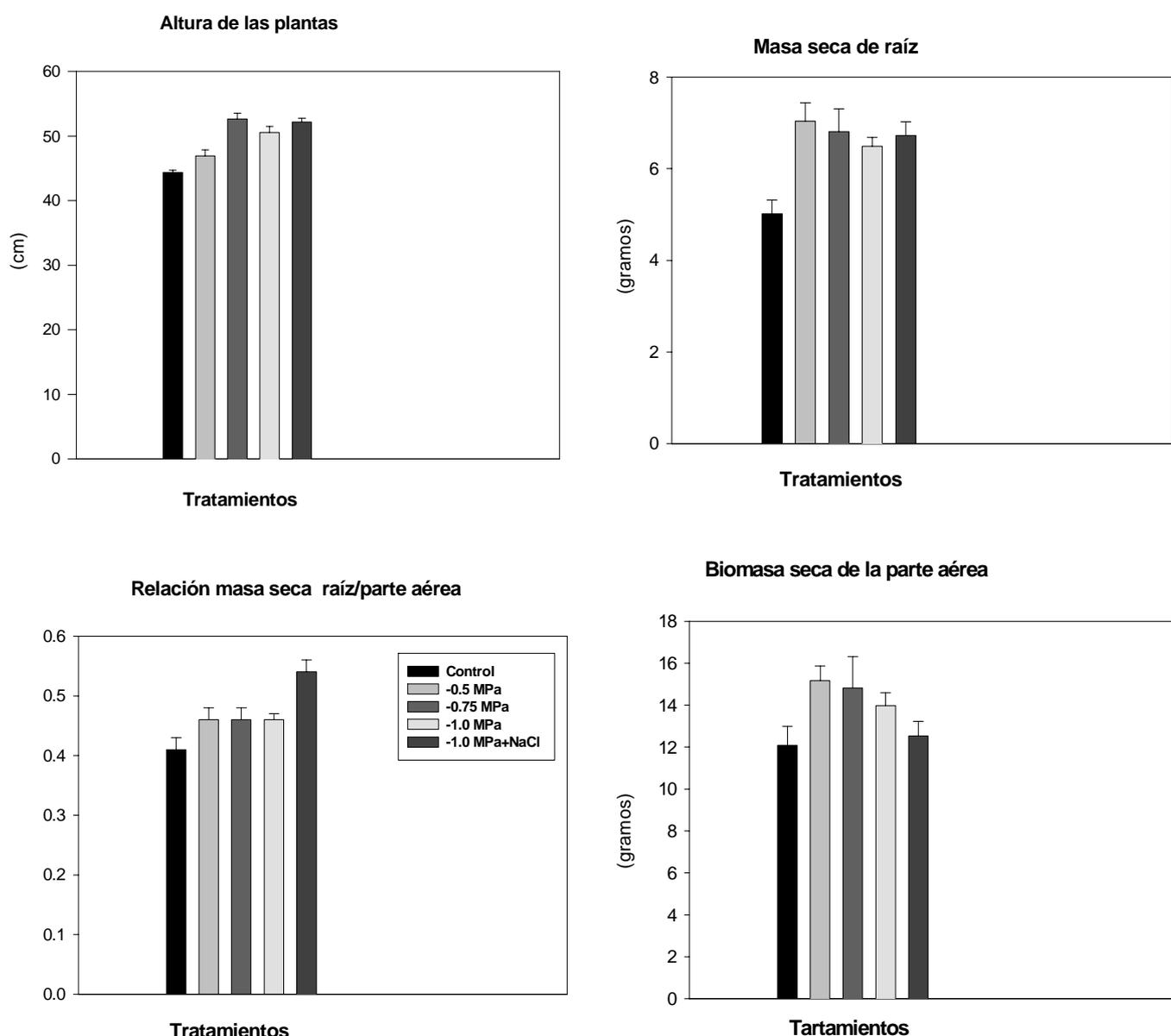


Figura 3. Efecto de los tratamientos osmo/haloacondicionantes en variables del crecimiento de plantas de arroz

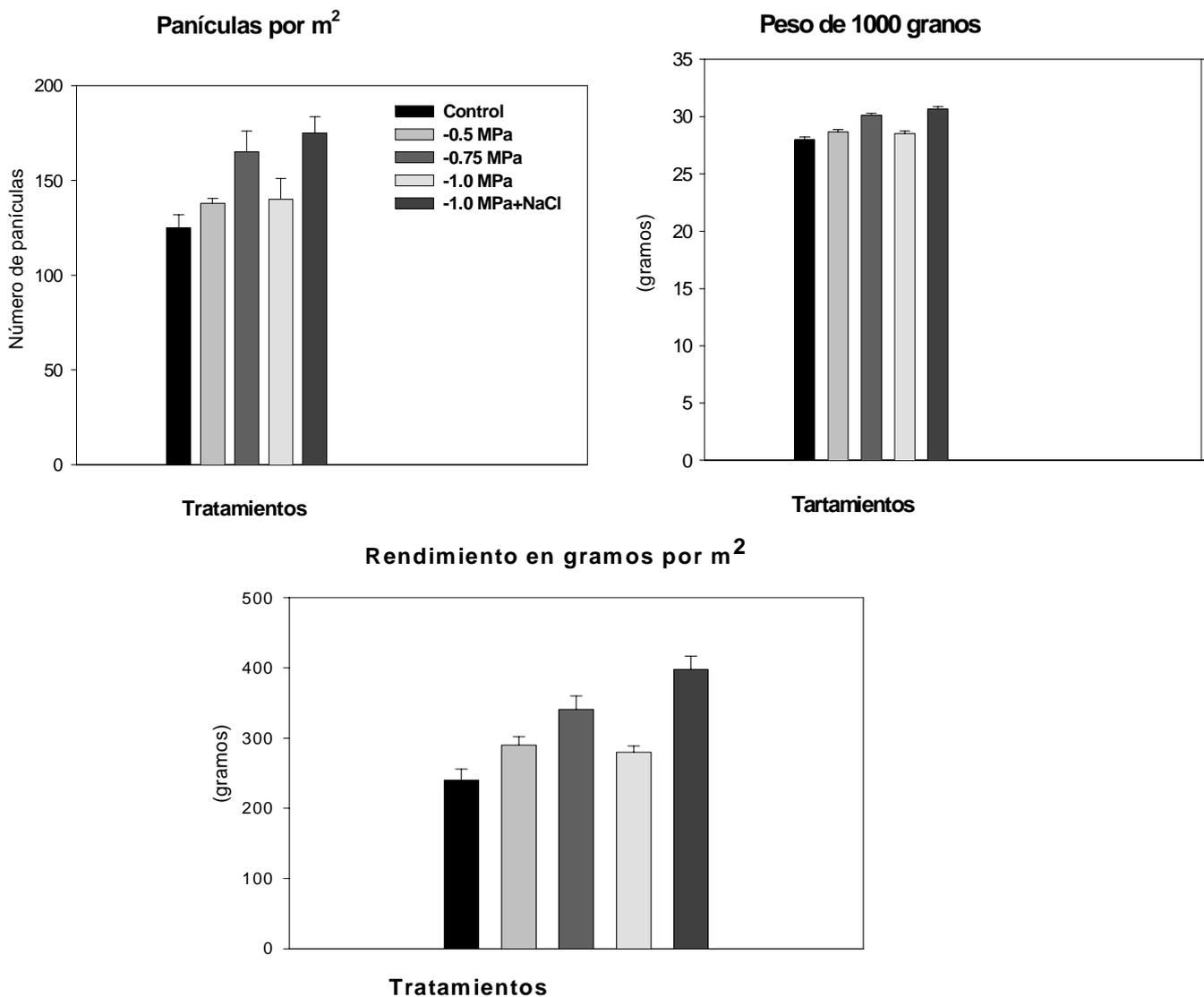


Figura 4. Valores del rendimiento de las plantas expresados por el peso de 1000 granos, número de panículas por m² y peso de los granos por m²

El incremento de los rendimientos obtenidos en las plantas correspondientes a los tratamientos -0.75 MPa y -1.0 MPa+10 mM de NaCl, fueron de 42 y 66 %, respectivamente, en relación con las plantas del tratamiento control. De hecho, en condiciones de salinidad el incremento de la producción de las plantas halocondicionadas se debió, en lo fundamental, a un mejor estado fisiológico de ellas, con mayor número de panículas por m² y mayor peso de los granos.

Estos resultados sugieren que los tratamientos de osmo/halocondicionamiento son capaces de inducir una estabilidad homeostática considerable en las plantas, que le permitieron desarrollarse y producir adecuadamente en un medio moderadamente salino, lo que sería interesante poder constatar mediante el estudio de las respuestas fisiológicas del cultivo, pues la adaptación al medio salino (16), aunque sea mediante pretratamientos de naturaleza puramente osmótica, implica una mayor acumulación de los iones salinos en los tejidos de las hojas jóvenes,

lo que supone un ajuste osmótico mucho más eficaz (17), una mayor tolerancia a la sal y en definitiva una respuesta adaptativa típica de las halofitas. Por otra parte, esta estabilidad homeostática parece influir favorablemente en la estabilidad agronómica de las plantas, ya que existe una relación entre los valores de las variables del crecimiento y el rendimiento. Estas respuestas tienen un valor considerable para el perfeccionamiento de los métodos de aplicación de este tipo de tratamientos a las plántulas (18, 19).

Trabajos donde se aplicaron pretratamientos con soluciones salinas de distinta concentración de NaCl a plántulas de tomate en diferentes estadios de desarrollo (20), se encontró que las plantas tratadas experimentaron respuestas adaptativas a corto plazo, que se manifestaron en mejoras de la biomasa de las plantas y a largo plazo se manifestaron en mejoras del rendimiento en fruto que fueron hasta un 29 % superiores a las plantas control.

En general, se puede concluir que la aplicación de este tipo de tratamientos abre un campo interesante de investigación que merece ser explorado. Los ensayos previos demostraron que el osmo/halocondicionamiento de semilleros de arroz, por inmersión completa de las plántulas en disoluciones con un bajo potencial osmótico, fue viable cuando se aplica en el estado germinativo.

Además de demostrar la viabilidad del método empleado, los resultados de estos ensayos ponen de manifiesto su validez para inducir la capacidad adaptativa de las plantas y aumentar su tolerancia a la salinidad. Por otra parte, la potencialidad del método está dada por los numerosos parámetros que intervienen y que pueden ser optimizados (estado de desarrollo, naturaleza e intensidad del estrés, tiempo y condiciones de aplicación) por las ventajas que de sus características se derivan.

Las principales ventajas que se podrían obtener del método son: 1) aplicación fácil; 2) condiciones controladas y homogéneas para un número alto de plantas; 3) inducción de la capacidad de adaptación en estadios de desarrollo muy jóvenes, cuando probablemente tiene lugar la mayoría de los cambios genéticos que conducen a la diferenciación celular y tisular; 4) todas las células de la plántula se someten a un mismo nivel de estrés; 5) permite ensayar un elevado número de parámetros (agente estresante, duración, luz, temperatura, hormonas, asepsia) que podría facilitar la optimización para otras especies.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Fundación SENECA de Murcia, España, y a la ETSIA de la UPCT por el apoyo recibido en la elaboración de este artículo.

REFERENCIAS

1. Argenteal, L.; González, L. M. y Plana, R. Efecto de altas concentraciones salinas sobre la germinación y el crecimiento del trigo (*Triticum aestivum*) variedad Cuba-C-204. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 3, p. 45-48.
2. Chen, Z.; Shabala, S.; Mendham, N.; Newman, I.; Zhang, G. y Zhou, M. Combining ability of salinity tolerance on the basis of NaCl-induced K⁺ flux from roots of barley. *Crop Sci.*, 2008, vol. 48, p. 1382-1388.
3. Hoque, A.; Akhter, N.; Nakamura, Y.; Shimoishi, Y. y Murata, Y. Proline and glycinebetaine enhance antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems and reduce NaCl-induced damage in cultured tobacco cells. *Journal of Plant Physiology*, 2008, vol. 165, p. 813-824.
4. Tester, M. y Davenport, R. Review: Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 2003, vol. 91, p. 503-527.
5. Jena, K. y Mackill, D. J. Molecular markers and their use in marker-assisted selection in rice. *Crop Sci.*, 2008, vol. 48, p. 1266-1276.
6. Suárez, L. y González, M. C. Evaluación de estadios tempranos de un grupo de mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones salinas, utilizando marcadores morfoagronómicos. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 1, p. 27-31.
7. Cristo, E.; González, M. C.; Cárdenas, R. M. y Pérez, Z. Comportamiento de un grupo de variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en suelos afectados por sales. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 4, p. 65-68.
8. Sultan, S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends Plant Sci.*, 2000, vol. 12, p. 537-542.
9. Alfonso, R.; Ramírez, E. y Rodríguez, S. Respuesta de variedades de arroz a diferentes manejos de agua como alternativa para pequeños y medianos productores. *Revista Cubana del Arroz*, 2000, vol. 2, no. 1, p. 37-43.
10. Michel, B. E. y Kaufman, M. R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.*, 1973, vol. 51, p. 914-916.
11. Cuba-MINAGRI. Instituto de Suelos: Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana:Agroinform. 1999. 64 p.
12. Cuba, MINAGRI: Instructivos técnicos del arroz, 2005, p. 11-14.
13. Theodore, C.; 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.
14. 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.
15. Dell'Amico, J. M.; Morales, D.; Polón, R. y Fernández, F. Respuestas adaptativas a la sequía en el tomate inducidas por osmocondicionamiento de plántulas. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 4, p. 33-38.
16. Parra, M. Respuestas adaptativas inducidas por halocondicionamiento en especies hortícolas cultivadas en medio salino. [Tesis de Doctorado]; Universidad de Murcia, España. 2002.
17. Morales, D.; Bolarín, M. del C. y Cayuela, E. Respuesta de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) a la aplicación de diferentes niveles de NaCl. I Crecimiento y relaciones hídricas. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 1, p. 13-17.
18. Sivritepe, N.; Sivritepe, H. O. y Eris, A. The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Sci Hort.*, 2003, vol. 97, p. 229-237.
19. Sivritepe, H. O.; Sivritepe, N.; Eris, A. y Turhan, E. The effects of NaCl pre-treatment on salt tolerance of melons grown under long-term salinity. *Sci Hort.*, 2005, vol. 106, p. 568-581.
20. Cayuela, E.; Estañ, M. T.; Parra, M.; Caro, M. y Bolarín, M. del C. NaCl pre-treatment at the seedling stage enhances fruit yield of tomato plants irrigated with salt water. *Plant and Soil*, 2001, vol. 230, p. 231-238.

Recibido: 12 de julio de 2007

Aceptado: 6 de noviembre de 2008