



EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LAS VARIABLES HÍDRICAS POTENCIALES HÍDRICO Y OSMÓTICO Y AJUSTE OSMÓTICO EN CULTIVARES CUBANOS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L. Y *T. durum* L.)

Salinity effects on water variables water and osmotic potential and osmotic adjustment in cuban wheat cultivars (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* L.)

Leandris Argente[✉], Luis M. González, Raúl López Aguilar e Idalmis Fonseca

ABSTRACT. The experiment was developed with the objective evaluate salinity effect on water and osmotic potential and osmotic adjustment in twelve wheat cultivars of *Triticum aestivum* and *Triticum durum* species at early stages of development was studied. The plants were settled down in a hothouses under hidropony conditions at a salinity level of 8 dS.m⁻¹, a control treatment with an electric conductivity of 0,36 dS.m⁻¹ was mounted. The evaluations were carried out at 25 days after germination. Results indicated a significant decrease of water potential values in most cultivars in all measured organs and a significant decrease of its values was observed from roots to leaves in order to assure water gradient. The varieties that didn't diminish significantly their water potential showed similar behavior in the three evaluated organs, although the potential gradient was stayed. The osmotic potential diminished significantly in all cultivars and its values were minor to -0,6 MPa. All cultivars carried out the osmotic adjustment, being the most significant value AO = 0,3 MPa in INIFAT RM-36, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37 cultivars. A considerable variability in stress salinity response between cultivars and species for the three evaluated variables was observed.

RESUMEN. El experimento se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de la salinidad en los potenciales hídrico y osmótico y el ajuste osmótico en 12 cultivares de trigo pertenecientes a las especies *Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* L., en etapas iniciales del desarrollo, siguiendo las metodologías para su determinación. Las plantas se establecieron en un invernadero en condiciones de hidroponía aplicando, como primer tratamiento, una solución nutritiva salinizada a base de NaCl a una conductividad eléctrica de 8 dS.m⁻¹. El tratamiento control consistió en la solución nutritiva sin salinidad significativa (0,36 dS.m⁻¹). Las evaluaciones se realizaron a los 25 días posteriores a la germinación. Los resultados mostraron una significativa disminución de los valores del potencial hídrico en la mayoría de los cultivares en todos los órganos medidos y se observó una significativa disminución de sus valores desde las raíces hasta las hojas para asegurar el gradiente hídrico. Los cultivares que no disminuyeron significativamente su potencial hídrico mostraron comportamiento similar en los tres órganos evaluados aunque el gradiente de potenciales se mantuvo. El potencial osmótico disminuyó significativamente en todos los cultivares y sus valores fueron inferiores a -0,6 MPa. Todos los cultivares realizaron el ajuste osmótico, siendo el valor más significativo AO = 0,3 MPa en los cultivares INIFAT RM-36, INIFAT RM-32, INIFAT RM-37. Se observó variabilidad en la respuesta al estrés salino entre los cultivares y especies para las tres variables evaluadas.

Key words: wheat, plant water potential, osmotic potential

Palabras clave: trigo, potencial hídrico de las plantas, potencial osmótico

M.Sc. Leandris Argente; M.Sc. Idalmis Fonseca, Profesores Auxiliares de Matemática y Estadística de la Universidad de Granma; Dr.C. Luis M. González, Investigador y Profesor Titular del Instituto de Investigaciones Agropecuarias «Jorge Dimitrov», Bayamo; Dr.C. Raúl López Aguilar, Profesor e investigador Titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), México.

✉ largentelm@udg.co.cu

INTRODUCCIÓN

Entre los mecanismos que explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el estrés salino existe el ajuste osmótico (1). El ajuste osmótico es el término utilizado para definir la disminución del potencial osmótico celular en las plantas superiores como resultado de la acumulación activa de solutos en respuesta a una situación estresante por déficit hídrico (2) o salino (3).

Cuando se realiza el ajuste osmótico, en la mayoría de las especies vegetales, las plantas aseguran la realización de la fotosíntesis y la respiración (4). Cuando la turgencia celular se mantiene en aquellos genotipos que ajustan osmóticamente en comparación con aquellos que no lo hacen, continúa la elongación celular y teóricamente se obtiene una mayor área foliar, mayor crecimiento de raíces, menor resistencia estomática y mejor rendimiento agrícola (2).

Múltiples especies glicófitas de interés económico han formado parte de las que desarrollan mecanismos de tolerancia para asegurar el funcionamiento normal de las relaciones hídricas (4). Así cultivos como el trigo, especie que está siendo objeto de introducción para condiciones salinas en el oriente de Cuba (5), han podido adaptarse y producir en estas regiones donde más del 55 % de los suelos dedicados a la agricultura están salinizados y una cifra significativa tiene problemas potenciales de salinización, lo que imposibilita el desarrollo y productividad de otras especies de interés económico (6). Recientemente se han publicado varios resultados de tolerancia de esta especie a la salinidad (7, 8, 9) pero con el estudio de las relaciones hídricas se realiza un aporte significativo a la evaluación del grado de tolerancia al estrés salino dado que la capacidad de absorción de agua en suelos, donde las posibilidades hídricas son difíciles debido a la presencia de sales, es la clave para el normal desarrollo y productividad en las plantas (10). Fue objetivo de la presente investigación evaluar las variaciones causadas por la salinidad, en las variables del régimen hídrico (potenciales hídrico y osmótico a pleno turgor y la capacidad de ajuste osmótico) en 12 líneas de

trigo obtenidas y seleccionadas en Cuba para su futura recomendación en áreas afectadas por este tipo de estrés abiótico.

MATERIALES Y MÉTODOS

De un grupo de cultivares de trigo obtenidos en Cuba se tomaron semillas al azar las cuales fueron establecidas en condiciones de hidroponía en un invernadero perteneciente al laboratorio de Fisiología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México, Unidad «Guerrero Negro». Los cultivares empleados se presentan en la Tabla I.

TRATAMIENTOS

Los tratamientos consistieron en la aplicación de una solución salina en condiciones de hidroponía.

T₁: *Tratamiento salino*: solución nutritiva (11) y salinizada con NaCl con una conductividad eléctrica de 8 dS.m⁻¹.

T₂: *Tratamiento control*: solución nutritiva de composición y concentración conocida (11), siguiendo las exigencias nutricionales del cultivo INIFAT (2003) con una conductividad eléctrica de 0,36 dS.m⁻¹.

Las soluciones nutritivas de los dos tratamientos establecidos fueron aplicadas desde el momento de la siembra y fueron ajustadas a un pH de 6.0 empleando un medidor de pH, PH 40S. La conductividad eléctrica fue medida con un conductímetro MQ conductimeter-EC (*lab-field*, S).

El valor de 8 dS.m⁻¹ fue tomado a partir del valor crítico tolerable para la absorción de agua, germinación y el crecimiento de las plantas en los primeros estadios del desarrollo de los 12 cultivares estudiados (7, 8).

MONTAJE DEL EXPERIMENTO

Se conformaron flotadores rectangulares (poliespuma) de 30x20 cm (12, 13) y fueron seccionados en cuatro partes con una superficie de 15x8.5 cm donde se establecieron 20 semillas por cada sesión, las cuales

Tabla I. Cultivares de trigo estudiados. Especie y procedencia

Número	Cultivares	Procedencia	Especie	Denominación
1	Cuba-C-204	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
2	INCA TH 32 W	México	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
3	INCA TH 24 N	México	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
4	INCA TD 18	México	<i>T. durum</i>	Trigo duro
5	INCA TD 16 E	México	<i>T. durum</i>	Trigo duro
6	INIFAT RM -30	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
7	INIFAT RM -26	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
8	INIFAT RM -29	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
9	INIFAT RM -31	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
10	INIFAT RM -36	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
11	INIFAT RM -32	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero
12	INITAT RM -37	Cuba	<i>T. aestivum</i>	Trigo harinero

fueron ubicadas de forma alineada, para un total de 80 semillas por cultivar (cuatro repeticiones).

El fondo de los flotadores se estableció con una malla plástica con orificios de 4 mm². Los flotadores fueron ubicados en bandejas plásticas rectangulares transparentes de 50*39 cm, cubiertas con papel aluminio para evitar la entrada lateral de luz. En cada bandeja se establecieron dos cultivares. La siembra se realizó a las 7:00 am. Se añadió un volumen inicial de cinco litros de cada tratamiento hasta completar un volumen final de 18 litros de las soluciones que conformaron los tratamientos. Los flotadores se mantuvieron plenamente sobre el agua y se emplearon varillas de suspensión para evitar hiperhidricidad en las semillas. La aireación de las soluciones, en cada bandeja, se realizó con bombas aeradoras (fujit-MELLIN-2,8) que distribuían el aire a cada bandeja con mangueras plásticas transparentes de 3 mm de diámetro.

A los 25 días posteriores a la germinación de las semillas se procedió a la evaluación de las relaciones hídricas.

POTENCIAL HÍDRICO

Para la determinación del potencial hídrico se tomaron muestras al azar de cinco plántulas por cultivar en cada repetición de los tratamientos y se realizaron las mediciones con la cámara de presión de *Schollander* (PWP-C04) (14) siguiendo las metodologías descritas al respecto.

De las plántulas tomadas se procedió al corte de la quinta y sexta hojas, en horas de la mañana (10:00 am) y se colocaron rápidamente en tubos de ensayo de boca ancha los que fueron sellados con una película plástica. Posteriormente fueron llevadas a la cámara de presión ubicando la muestra en el soporte de muestra designado para hojas de gramíneas. De la misma forma se procedió para la medición del potencial hídrico de las vainas. Finalmente se determinó el potencial hídrico radicular y para ello se tomaron cinco fragmentos de raíces con una longitud de 5 cm, a las cuales se le cortó la parte terminal.

POTENCIAL OSMÓTICO A PLENA TURGENCIA

Para conocer el potencial de solutos en hojas, la muestra en condición de peso saturado fue congelada en N₂ líquido. Luego se descongeló y se obtuvo una muestra de savia que fue colocada en un disco de papel de filtro en la celda de un psicrómetro (*Wescor*HR33T) y se midió su concentración de solutos. El potencial de solutos se calculó de acuerdo a:

$$\psi_s = -CRT$$

donde:

C es la concentración de solutos expresada como molaridad.

R es la constante de los gases 0.00831 kg MPa.mol⁻¹. K⁻¹.

T es la temperatura absoluta.

AJUSTE OSMÓTICO

Con la información obtenida se estimó el ajuste osmótico (AO) calculándose como la diferencia del potencial osmótico saturado entre plantas del tratamiento control y el salino (DY_s) de cada variedad (14,15).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se determinó la media y su desviación estándar para todas las variables evaluadas en ambas condiciones (tratamiento salino y tratamiento control) y se establecieron las diferencias entre tratamientos mediante la prueba de *t* de *Student* (16) para niveles de significación del 5 % y el 1 %. Para la comparación estadística del ajuste osmótico entre cultivares se realizó un análisis de varianza de clasificación simple, basado en un modelo lineal de efectos fijos (17) y cuando existió diferencias entre las medias se empleó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (18). Se determinaron los estadísticos error estándar de la media y el coeficiente de variación en la figura correspondiente a este tipo de análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

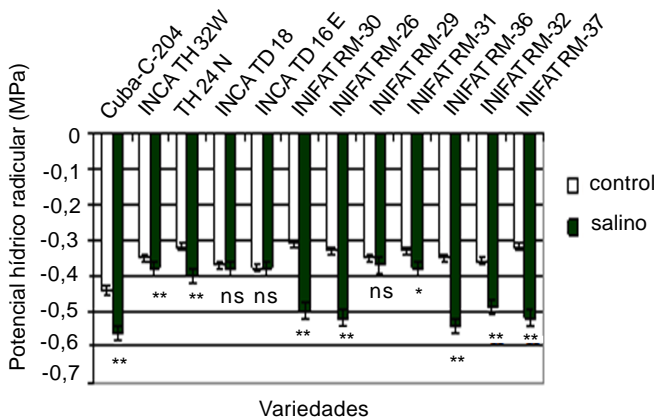
POTENCIAL HÍDRICO

El potencial hídrico radicular y el foliar fueron diferentes significativamente entre el tratamiento control y el salino en la mayoría de los cultivares, excepto para INIFAT RM-29, INCA T D 16 E e INCA TD 18, los cuales no presentaron diferencias significativas. Al mismo tiempo se observó una significativa disminución de este indicador desde la raíz hasta las vainas y el follaje. Tal comportamiento evidenció la existencia de un gradiente de potenciales en los cultivares, para mantener la entrada de agua desde el medio en el cual se establecieron hasta todas las partes aéreas (Figura 1). La disminución del potencial hídrico fue más significativa en los cultivares de trigo harinero que en las de trigo duro.

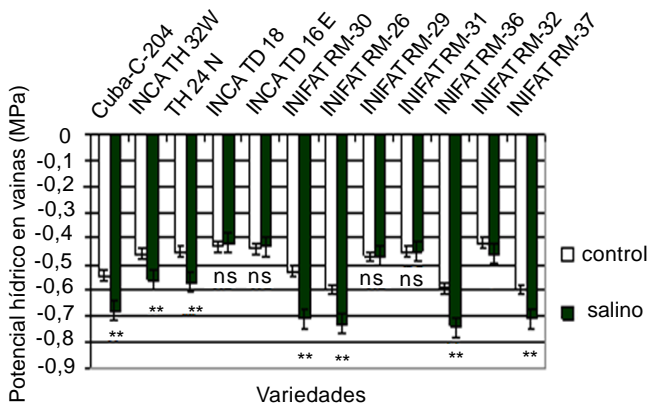
Los cultivares de trigo duro no disminuyeron su potencial hídrico en más de -0,01 MPa respecto al control en ninguno de los órganos medidos y siempre presentaron, en el tratamiento control, un potencial hídrico más alto que los restantes cultivares estudiados. Este resultado permite concluir que tales cultivares requieren disminuir su potencial hídrico para poder absorber agua en condiciones salinas.

Las diferencias entre cultivares en el potencial hídrico desde el punto de vista práctico permiten inferir las posibilidades reales de adaptación a la condición hídrica de suelos que presentan concentraciones elevadas de sales, aspecto que propicia disminuciones considerables en su potencial hídrico (19, 20).

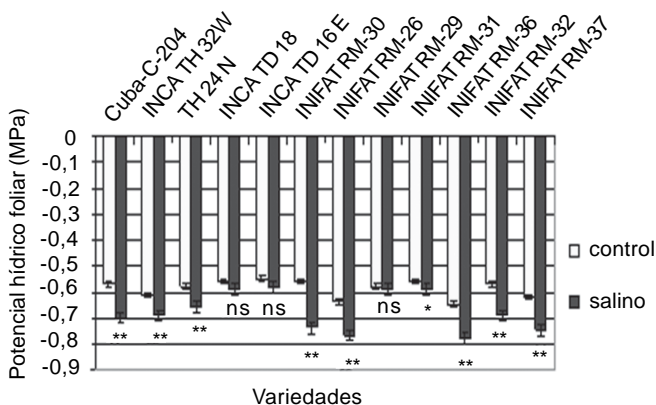
a) Potencial hídrico en las raíces



b) Potencial hídrico en vainas



c) Potencial hídrico en hojas



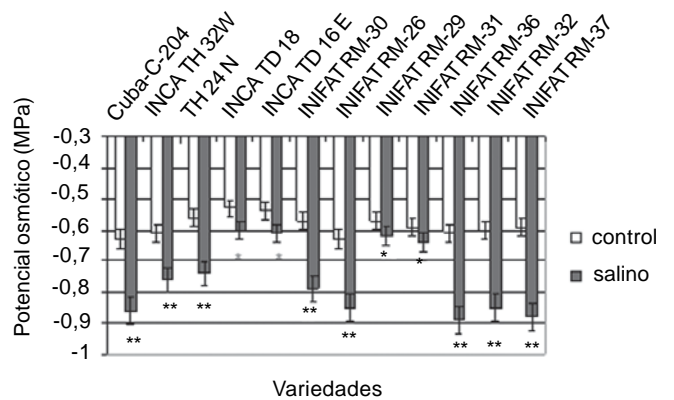
* y ** representan diferencias estadísticas para el 5 y el 1 % respectivamente por la prueba de *t-Student*
 ns: no existió diferencia
 Los valores graficados son el promedio de cinco repeticiones

Figura 1. Valores de los potenciales hídricos de los cultivares

En múltiples especies glicófitas se ha observado una significativa disminución de los valores del potencial hídrico para mantener la entrada de agua y asegurar el funcionamiento normal del metabolismo celular (21).

POTENCIAL OSMÓTICO

El potencial osmótico foliar a pleno turgor presentó diferencias significativas entre el tratamiento control y el estrés en todas los cultivares (Figura 2), quizás por las transformaciones bioquímicas que tuvieron lugar en las células mediante el incremento de la concentración de compuestos osmóticamente activos y de iones procedentes del medio en respuesta a la condición de estrés impuesta en los tratamientos (22, 23).



Los valores graficados son el promedio de cinco repeticiones * y ** representan diferencias significativas para el 5 y el 1 % respectivamente por la prueba de *t-Student*

Figura 2. Potencial osmótico foliar en los cultivares de trigo estudiados en el medio salino y el control

Un resultado importante en el experimento realizado fue que los cultivares de trigo duro (INCA TD 18 e INCA TD 16 E) presentaron potenciales hídrico y osmótico más alto que las de trigo harinero, en el tratamiento control, elemento que quizás sea un indicador de susceptibilidad a la salinidad.

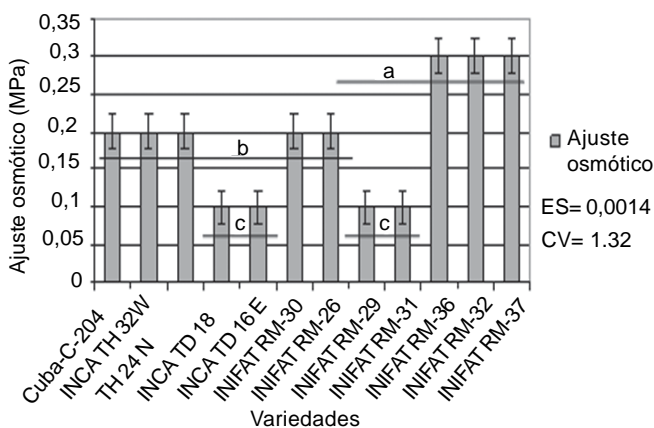
La variabilidad en la respuesta de los potenciales hídrico y osmótico frente al estrés salino entre cultivares de una misma especie y entre las dos especies estudiadas demuestra la heterogeneidad natural existente para la tolerancia a la salinidad en el germoplasma de trigo estudiado. Tales resultados contribuyen a la evaluación de la tolerancia para la futura regionalización de variedades según las condiciones edáficas (niveles de salinidad en el extracto de saturación y su potencial hídrico asociado) donde se pretende establecer este cultivo, aspecto que permitiría elevar las producciones en suelos donde otras especies y cultivares, por efecto de la salinidad, no muestran su potencial genético-productivo por presentar baja tolerancia a este tipo de estrés.

Es conocido que el balance hídrico de las plantas es la clave para el normal desarrollo de los procesos más importantes como la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de proteínas siendo estos procesos los de mayor incidencia en el rendimiento agrícola (24).

Las variaciones del potencial hídrico en condiciones de salinidad de los suelos se ha propuesto como un indicador eficiente para la evaluación de tolerancia a este tipo de estrés, una vez correlacionado con variables del desarrollo y productividad de ahí la importancia del monitoreo de variedades tanto para la selección de variedades como para el mejoramiento genético ya que el grado de tolerancia basado en las variaciones del potencial hídrico es considerado un carácter de fácil herencia en programas de mejoramiento genético (25).

AJUSTE OSMÓTICO

En condiciones de salinidad las plantas de todos los cultivares realizaron el ajuste osmótico quizás producto al incremento de la concentración de solutos osmóticamente activos en el tratamiento salino respecto al control. Los valores más significativos los presentaron los cultivares INIFAT RM- 36, INIFAT RM- 32, INIFAT RM- 37 con 0,3 MPa (Figura 3).



Columnas interceptadas por líneas con letras iguales no difieren significativamente por la prueba de comparación de Tukey para un nivel de significación del 1 %

ES: error estándar CV: coeficiente de variación

Figura 3. Ajuste osmótico a pleno turgor en hojas de los cultivares de trigo estudiados en el medio salino

Otro grupo de cultivares (Cuba-C-204, INCA TH 32W, TH 24 N, INIFAT RM- 26, INIFAT RM- 30) realizó el ajuste osmótico a valores medios de 0,2 MPa y los restantes cultivares solo ajustaron a valores de 0,1 MPa. Este resultado evidencia la existencia de variabilidad en la capacidad de ajuste osmótico para la adaptación a condiciones salinas en el germoplasma estudiado.

A pesar de los avances y los estudios realizados, hay cierta incertidumbre al analizar la función del turgor y del AO en el crecimiento vegetal y su asociación con el rendimiento (26). De todos modos los métodos más prácticos en la actualidad se enmarcan en la evaluación de la tolerancia en el germoplasma en base a indicadores de rendimiento para correlacionarlo con las relaciones hídricas (27, 28).

Los resultados aquí presentados contribuyen a la evaluación de la tolerancia a la salinidad en el germoplasma de trigo cultivado en el oriente de Cuba, donde la presencia de sales en el complejo absorbente del suelo ha propiciado una significativa disminución de su potencial hídrico limitando la absorción de agua y la productividad de las plantas (28). La economía del agua en las plantas en condiciones salinas resulta un indicador eficiente de tolerancia relativa a la salinidad que una vez correlacionado con el rendimiento agrícola en tales condiciones permite su validación frente al estrés salino.

REFERENCIAS

- Munns, R. y Tester, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2008, vol. 59, no. 651-681.
- Munns, R. Why measure osmotic adjustment?. *Aust. J. Plant Physiol.*, 2008, vol. 32, p. 811-821.
- Paellob, F. Water potential, root length, ion uptake and its relationship with salinity tolerance in wheat, rice and prewiff. *Plant Growth Regulation*, 2010, vol. 1, no. 1, p. 46-54.
- Argentel, L. y González, L. M. Efectos de la salinidad en la fenología y los componentes del rendimiento agrícola en variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1, p. 41-47.
- Argentel, L. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en siete líneas de triticales. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1, p. 47-52.
- Otero, L.; Labaut, M.; Francisco, A.; Gálvez, V.; Sánchez, I.; Vento, M.; Morales, R.; Curbelo, R.; Cintra, M. y Montejo, J. L. Implementar nueva metodología para la evaluación de la salinidad en Cuba. Informe final de Proyecto PR: 1136, 2005, p. 62.
- Argentel, L. y González, L. M. Comportamiento de la tolerancia interespecífica a la salinidad en dos especies del género *Triticum*. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 51-52.
- González, L. M. y Argentel, L. Efectos de la salinidad sobre la germinación y el crecimiento de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26 no. 4, p. 49-54.
- González, L. M. y Argentel, L. Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de *Triticum aestivum* (L) sobre la base de caracteres agronómicos, la acumulación de iones y el contenido de proteínas. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 21, no. 1, p. 47-52.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. Fundamentos de fisiología Vegetal. Publicaciones y ediciones de la Universitat de Bracelona. España. 2008.
- Hoagland, D. R. y Arnon D. I. The water-culture for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Circ.*, 1950, p. 347.

12. López, R. D. Sodium content corroboration in spectrophotometric methods with microanalysis. Water experiment. *Biochemical Sciences*, 2007, vol. 23, p. 156-159.
13. Schollander, P. F.; Hammel, H. T.; Bradstreet, E. D. y Hemmingsen, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 1965, vol. 148, p. 339-346.
14. Babu, C. H. R.; Safiullah, P. M.; Blum, A. y Nguyen, H. T. Comparison of measurement method of osmotic adjustment in wheat cultivars. *Crop Sci.*, 1999, vol. 39, p. 150-158.
15. Gosset, E. Another differences calculus based on standar desviation and confidence interval. *Statistical References*, 1917, vol. 26, p. 66-72.
16. Fisher, R. A. The design of experiments. Londres. *Oliver & Boyd*, 1935.
17. Tukey, J. W. «A survey of sampling. Post-hoc comparisons». Contribution to probability and statistics. Essays in honor to Harold Hotelling. Sandford: Sandford University Press. 1960, p. 448-485.
18. El Hafid, R.; Smith, D.; Karrou, M. y Samir, K.. Physiological responses of spring durum wheat cultivars to early-seasons drought in a Mediterranean environment. *Ann. Bot.*, 1998, vol. 81, p. 363-370.
19. Kaldenhoff, R. The tobacco aquaporin NtAQP1 is a membrane CO pore with physiological functions. *Nature*, 2009, vol. 425, no. 734-737.
20. Jacovy, B. Production of wheat along the wold. In: bookclet of plant and crop stress. Edited by Pessarakli M. Ed. Marcel Dekker, Inc., Nueva York. E.U.A. 2008, p. 52-67.
21. Moayedi, A. Study on Osmotic Stress Tolerance in Promising Durum Wheat Genotypes Using Drought Stress Indices. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 2009, vol. 5, no. 5, p. 603-607.
22. López, R. D. Salinity tolerance based on ion uptake. Proceeding workshop on adaptation of plants to crops stresses. *Biochemical Sciences in Agriculture*, 2008, vol. 6, p. 123-129.
23. Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 2009, vol. 25, p. 239-250.
24. López, R. D. Sodium content corroboration in spectrophotometric methods with microanalysis. Water experiment. *Biochemical Sciences*, 2007, vol. 23, p. 156-159.
25. Liu, J. H.; Inoue, H. y Moriguchi, T. Salt stress-mediated changes in free proline and expression of genes responsible its biosynthesis in wheats. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, vol. 62, p. 28-35.
26. Zyalalov, A. Water flows in higher plants: physiology, evolution, and system analysis. *Russian J. Plant Physiol.*, 2009, vol. 51, no. 4, p. 547-555.
27. Trinchant, J. Proline betaine accumulation and metabolism in alfalfa plants under sodium chloride stress. Exploring its compartmentalization in nodules. *Plant Physiol.*, 2008, vol. 135, p. 1583-1594.
28. Zhou, J.; Wang, X.; Jiao I.; Uin I.; Liu, X. y He, K. Global genomic expression analysis of rice in wheat based on water potential response to salinity. *Trends in Plants Sciences*, 2007, vol. 10, p. 407-409.

Recibido: 28 de junio de 2012

Aceptado: 9 de enero de 2013

¿Cómo citar?

Argentel, Leandro; González, Luis M.; López Aguilar, Raúl y Fonseca, Idalmis. Efectos de la salinidad en las variables hídricas potenciales hídrico y osmótico, y ajuste osmótico en cultivares cubanos de trigo (*Triticum aestivum* L. y *T. durum* L.). *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 4, p. 43-48.