

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A LA SALINIDAD EN ESTADIOS TEMPRANOS Y FINALES DEL DESARROLLO EN TRITICALES (*X Triticum secale*)

L. Argente[✉], R. D. López, L. M. González, R. C. López, E. Gómez e I. Fonseca

ABSTRACT. Salinity tolerance was studied in seven triticale lines at the early and final growing stages. Thus, two experimental trials were performed: a saline treatment with an electric conductivity (EC) of 10 dS.m⁻¹ and a control one with EC= 0.02 dS.m⁻¹. The following variables were evaluated at the first experiment: water uptake, seedling height, root length and fresh and dry biomass accumulation. Yield components were evaluated at the second experiment. All data were expressed in relative values to the control. A characterization based on its relative tolerance degree for both stages was done through a cluster analysis. Consequently, there was a wide variability on stress response over both phenophases. Just a single line (ITSN-14) was tolerant; however, indexes were higher than those previously reported in triticales, so they are recommended to be evaluated by means of other more accurate physiological and biochemical salinity-tolerant indicators.

Key words: triticosecale, tolerance, salinity

RESUMEN. Se estudió la tolerancia a la salinidad de siete líneas de triticales en los estadios tempranos y finales del desarrollo. Para ello se montaron dos variantes experimentales: un tratamiento salino con una conductividad eléctrica (CE) de 10 dS.m⁻¹ y un tratamiento control con CE=0.02 dS.m⁻¹. En el primer ensayo se evaluaron las variables: absorción de agua, altura de las plántulas, longitud de la raíz y acumulación de biomasa fresca y seca. La evaluación en las etapas finales se realizó mediante el estudio de los componentes del rendimiento. Todos los datos se expresaron en valores relativos al control. Mediante un análisis de conglomerados jerárquico se realizó una caracterización en cuanto a su grado de tolerancia relativa para ambos estadios. Como resultado se obtuvo una amplia variabilidad en la respuesta al estrés en las dos fenofases. Solo se observó tolerancia en una línea (ITSN-14); sin embargo, los índices fueron altos en relación con los informes encontrados en esta especie, por lo que se recomienda evaluarlas mediante el uso de otros indicadores fisiológicos y bioquímicos más precisos de tolerancia a la salinidad.

Palabras clave: triticosecale, tolerancia, salinidad

INTRODUCCIÓN

Ante el incremento significativo del porcentaje de salinidad de los suelos del mundo, se impone la necesidad de buscar alternativas sustentables, para el logro de cosechas que contribuyan a atenuar las necesidades alimentarias de la población. En tal sentido, la obtención de nuevas variedades e introgresión de genes que confieran tolerancia a condiciones adversas como estas, entre otros métodos del mejoramiento genético, constituyen una estrategia inigualable para mitigar esta problemática; sin embargo, esta tiene una limitante, ya que involucra una cantidad de recursos y tiempo considerable, por lo que urge ir estableciendo especies y variedades, cuya variabilidad genética sea conocida, para mediante técnicas de mapeo y regionalización lograr producciones aceptables.

Ms.C. L. Argente, Dr.C. R. C. López, E. Gómez y Ms.C. I. Fonseca, Profesores de Matemática y Estadística de la Universidad de Granma; Dr.C. L. M. González, Investigador y Profesor Titular del Instituto de Investigaciones Agropecuarias "Jorge Dimitrov", Bayamo, Cuba; Dr. R. D. López, Profesor e Investigador Titular del Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, México.

✉ largentelm@udg.co.cu

Actualmente, esta es una de las técnicas más viables para acercarse a la rentabilidad de los suelos salinos (1).

Uno de los avances más notables en el mejoramiento genético de los cereales ha sido el desarrollo, en el último medio siglo, de derivados de cruzamientos entre trigos y centenos, dando lugar a los llamados Triticales, que poseen un alto nivel de proteína y lisina del grano, resistencia a varias enfermedades, tolerancia al estrés hídrico y salino, y elevados rendimientos de forrajes verdes, que lo hacen una opción importante para la alimentación del ganado en las áreas afectadas por la salinidad (2).

En la actualidad, la expansión del cultivo de triticales por el mundo se calcula en cerca de seis millones de hectáreas (3), debido a su gran adaptabilidad a las diferentes condiciones edafoclimáticas. En Cuba, los triticales constituyen relativamente una especie de nueva introducción; ya se han obtenido cosechas rentables en condiciones normales de suelo y clima en el occidente y centro del país. En la región oriental, que es la zona más afectada por la salinidad, donde el 55 % de los suelos se catalogan como salinos (4), se han establecido unas 11 ha de triticales en las áreas experimentales de la Universidad de Granma y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIA) "Jorge Dimitrov", y se observa la existencia de una

gran variabilidad genética en los caracteres fenológicos y rendimientos, al ser sometidos a condiciones salinas, por lo que se hace necesario explorar de manera más profunda la capacidad de tolerar este tipo de estrés, para su posterior extensión a los productores.

Este trabajo se realizó con el propósito de explorar dicha variabilidad en siete líneas de triticales de la variedad ITSN frente al estrés salino, basado en las variables fisiológicas y agronómicas en condiciones semicontroladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la casa de cultivo perteneciente al IIA de la provincia de Granma. Para ello, se tomaron semillas de siete líneas de triticales provenientes del cultivar ITSN, suministradas por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), obtenidas mediante fitomejoramiento participativo; estas se embebieron en placas petri con 10 mL de una solución salina (NaCl) ajustada a una conductividad eléctrica (CE) de 10 dS.m^{-1} usando como control agua destilada a una conductividad de 0.02 dS.m^{-1} . Por cada placa se establecieron 25 semillas y se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento, distribuidas mediante un arreglo completamente aleatorizado. La duración de este ensayo fue de 24 h y se determinó la cantidad de agua absorbida por el método gravimétrico expresado en base fresca. También se establecieron estas variedades sometidas a los mismos tratamientos en condiciones de hidroponía, para evaluar las variables del crecimiento a partir de los 15 días de germinadas las semillas.

Paralelamente, se montó otro experimento en macetas plásticas de color negro con una capacidad de 8 kg y se rellenaron con suelo vertisol crómico (5) y una CE inicial de 0.11 dS.m^{-1} .

En este ensayo se establecieron, de igual manera, las dos variantes experimentales y el tratamiento control se mantuvo al mismo nivel de salinidad inicial del suelo empleado, midiéndose diariamente con un conductímetro de campo (CF-2008 CC). Los riegos hasta la capacidad de campo, controlando la humedad del suelo por el método gravimétrico, se desarrollaron con agua salinizada a una CE de 10 dS.m^{-1} y el tratamiento control se regó a una CE de 0.02 dS.m^{-1} . Cada variedad se replicó 10 veces por tratamiento. La siembra se realizó el 9 de octubre de 2008, fecha óptima para el cultivo, estableciendo cuatro semillas por maceta.

Evaluación de las variables del crecimiento. A partir de los 15 días posteriores a la germinación, se evaluaron las variables altura de las plantas (AP), longitud de la raíz (LR), acumulación de materia fresca (MF) y seca (MS), que se determinaron por el método destructivo. A partir de estos datos se calculó la tolerancia relativa a la salinidad, siguiendo la fórmula siguiente (6):

$$\text{ITR (\%)} = 100 (\text{ITS}/\text{ITC})$$

Donde ITS e ITC son los indicadores evaluados en las soluciones salinas y solución control, respectivamente.

Los datos obtenidos siguieron una distribución normal multivariada y partiendo de este supuesto teórico, con el propósito de establecer los indicadores más adecuados para la diferenciación de las líneas, se realizó un agrupamiento mediante un análisis de conglomerados jerárquico y ligamiento completo, basado en una matriz de distancia Euclidiana.

Evaluación del comportamiento agronómico en condiciones de salinidad. Esta evaluación se hizo en función de las variables siguientes:

- ♦ altura de las plantas (cm)
- ♦ longitud de la panícula (cm)
- ♦ peso de la panícula (g)
- ♦ granos llenos por panícula (no.)
- ♦ granos vanos por panícula (no.)
- ♦ peso de 1000 granos (g)
- ♦ rendimiento (t.ha^{-1})

Los datos del rendimiento se convirtieron en índices (6) y, de igual forma, para su agrupamiento se realizó un análisis de conglomerados jerárquico y ligamiento completo, basado en una matriz de distancia Euclidiana.

Se calculó, además, el coeficiente de correlación cofenético, para determinar el grado de distorsión interna de las matrices asociadas al ensayo de los primeros estadios y del rendimiento. Además, se determinó el coeficiente de correlación entre las matrices de similitud del análisis en base al crecimiento de las plántulas, el rendimiento y sus componentes, para evaluar el porcentaje de coincidencia entre las clasificaciones realizadas. En todos estos análisis se hizo uso del paquete estadístico profesional STATISTICA versión 6.0 para Windows 2000.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorción de agua y germinación. Como resultado del análisis de conglomerados, se obtuvo una ubicación de las líneas de triticales en tres grupos (Figura 1), lo que demuestra que existe variabilidad en cuanto a su respuesta frente al estrés salino en las variables evaluadas en los primeros estadios del desarrollo, un aspecto que es importante, dado que la existencia de variabilidad genética es un requisito imprescindible para iniciar cualquier programa de mejora genética en esta dirección (6, 7).

El grupo I formado por la línea ITSN-14 fue el que presentó los mayores índices de tolerancia relativa para todas las variables evaluadas (Tabla I). Un elemento importante en este grupo fue el alto índice de germinación, que se relaciona en gran medida con la absorción de agua cuyo índice también fue alto. Sin embargo, algunos han señalado la no existencia de correlación entre estas variables en condiciones de salinidad, dado que durante la absorción de agua tienen lugar mayormente procesos físico-químicos, tales como la imbibición del epiblasto que es tolerante a la salinidad (8) y, posteriormente, se puede producir la muerte por toxicidad iónica afectándose el índice de germinación (9).

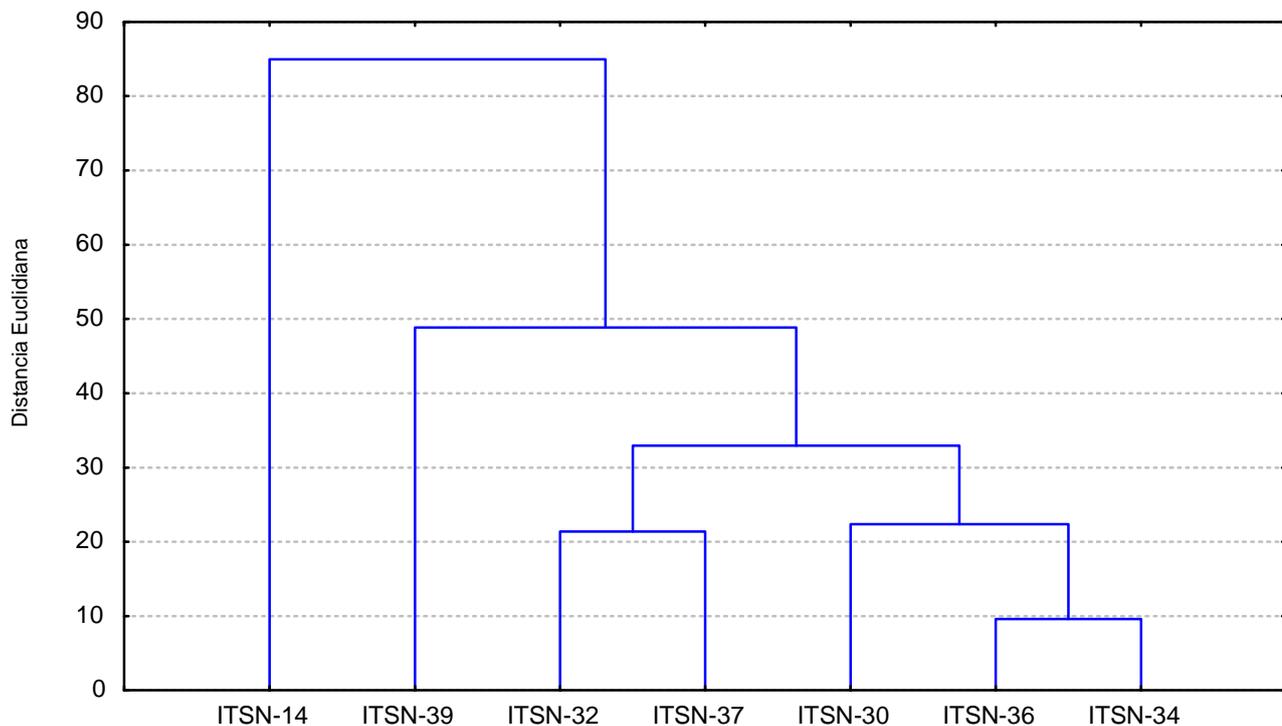


Figura 1. Dendrograma del agrupamiento de las líneas de triticales evaluadas basado en las variables del crecimiento

Tabla I. Valores promedio de los índices de tolerancia relativa de las siete líneas de triticales evaluadas

G	Líneas	Valores promedio de los índices de tolerancia (%)					
		IAA	IAP	ILR	IMF	IMS	IG
1	ITSN-14	93.88	92.28	91.75	90.85	88.85	96.64
2	ITSN-39	84.65	85.77	97.12	81.16	81.33	83.91
3	ITSN-32; ITSN-37, ITSN-30; ITSN-36, ITSN-34	81.91	80.13.	86.04	80.8	71.0	72.23

IAA: índice de absorción de agua; IAP: índice de altura de la planta; ILR: índice de longitud de las raíces; IMF: índice de materia fresca; IMS: índice de materia seca; IG: índice de germinación

Por otra parte, la germinación es un proceso más complejo donde tiene lugar, entre otros procesos bioquímicos, la síntesis de metabolitos y hormonas reguladoras y estimuladoras del crecimiento, cuyas vías de síntesis se afectan por la concentración de sales en el interior de las células (10). Dentro de ellas, la síntesis de ácido giberélico a partir del isopentenil pirofosfato ha sido una de las rutas metabólicas más estudiadas, por el elevado índice de afectación en condiciones salinas durante la germinación de las semillas en varias especies cultivadas y silvestres (11).

El segundo grupo estuvo formado por la línea ITSN-39, que se destacó por tener el más alto índice de tolerancia basado en la longitud de la raíz, variable que en condiciones salinas ha sido muy discutida y empleada para la selección eficiente de variedades tolerantes (12).

Al respecto, se ha estudiado que los triticales acumulan sales en la raíz y el consumo energético en el transporte simplástico de cationes no es significativo respecto a los controles, lo que demuestra que no incluye sales a otros órganos de la planta, evitando efectos fisiológicos negativos como la interferencia en la absorción mineral con fines metabólicos y la toxicidad iónica (13).

Las restantes líneas (ITSN-32, ITSN-37, ITSN-30, ITSN-36, ITSN-34) se ubicaron en el tercer grupo clasificado como susceptible, por tener los más bajos valores medio en las variables estudiadas. Sin embargo, estos valores no son más bajos que los obtenidos en estudios realizados con trigo (14) y cebada (15), lo que induce a estudiar estas líneas sobre la base de otros indicadores de tolerancia o susceptibilidad más efectivos. El trabajo con variedades susceptibles en el área de la genética y biología molecular resulta un patrón importante para la obtención de genotipos tolerantes, mediante la introgresión y combinación de genes que confieran tolerancia al estrés salino (16).

En la política de empleo de áreas afectadas por el estrés, se tiene como premisa el establecimiento de especies que combinan la tolerancia a la salinidad con la sequía y varios cereales tienen esta propiedad (17). Actualmente, se han mejorado cultivares de trigo con doble tolerancia; en el caso de los triticales, se ha logrado también la doble tolerancia pero se han perdido propiedades importantes como la panificación del grano.

Los triticales «hexaploides» son los que resultan de cruzamientos de trigo candeal o fideos (*Triticum turgidum*), que tienen cuatro juegos de siete cromosomas, con centeno (*Secale cereale*), que aporta dos juegos también de siete cromosomas, resultando así una planta con seis juegos de siete cromosomas, una vez que se ha duplicado el número de cromosomas del híbrido directo (18). Los triticales «octoploides» resultan de cruzamientos de trigo-pan (*Triticum aestivum*), que aportan seis juegos de cromosomas, y centeno, que como en el caso anterior contribuye con dos juegos, obteniéndose así un híbrido con ocho juegos cromosómicos (19); estos han demostrado ser más tolerantes a situaciones adversas como la salinidad, sequía y altas temperaturas (20). Además, son muy poco exigentes a suelos bien nutridos y se adaptan a diferentes condiciones climáticas, al igual que los trigos (16). **Rendimiento y sus componentes en condiciones salinas.** La variable altura de las plantas se afectó en un 3 %, siendo uno de los componentes del rendimiento de menor afectación; resultados similares han sido informados en trigos cultivados en Cuba en condiciones salinas (21).

La longitud de la panícula mostró afectaciones medias de un 13 %. Tal comportamiento evidencia que el tamaño de la panícula no es severamente afectado por la salinidad. Algunos plantean que en triticales este componente del rendimiento generalmente no se afecta en más de un 20 % y que las mayores afectaciones se observan en su masa y la masa de los granos (8, 12, 14, 21).

En este ensayo, la masa de la panícula (MP) disminuyó en un 16 %, lo que pudo haber sido tanto por un incremento del porcentaje de polen no viable como por el resultado de diferentes desajustes que se producen en el desarrollo floral, trayendo consigo una disminución del número de granos llenos o el aborto de las espiguillas distales (22, 23).

El número de granos llenos por espiga incidió significativamente en el rendimiento, encontrándose afectaciones del 38 %. Se ha señalado que los mayores efectos del estrés salino en el rendimiento en cereales usualmente están asociados con una reducción en el número de granos (18).

La masa de los granos mostró afectaciones significativas, con valores medio del 36 %. A diferencia de este resultado, algunos autores afirman que el estrés salino durante el período de llenado de grano en triticales reduce su masa individual y, por consiguiente, la masa de la panícula (15, 16).

Como resultado de tales efectos en los componentes del rendimiento, se obtuvo una afectación media de 21.4 %, que para niveles de salinidad de 8 dS.m⁻¹ está acorde con los parámetros de índices de tolerancia propuestos por Van-Henutten y el modelo curvilíneo exponencial modificado de Mums para el cultivo del trigo, la cebada, el centeno y los triticales (24).

Al realizar el agrupamiento de las líneas en cuanto a sus índices de tolerancia determinados en base al rendimiento y sus componentes en el medio salino respecto al control, estas se dividieron en cuatro grupos, lo que evidencia la existencia de variabilidad genética en cuanto a la respuesta agronómica frente al estrés aplicado (Figura 2).

El grupo I formado por la línea ITSN-14 fue el de mayores índices de tolerancia agronómica. La línea ITSN-32, ubicada en el segundo grupo en este ensayo, no coincidió con la clasificación realizada en base a los indicadores de los primeros estadios. Las líneas ITSN-39 e ITSN-36 conformaron el tercer grupo, que clasificaron como susceptibles. Las líneas ITSN-37, ITSN-34 y ITSN-30 conformaron el cuarto grupo y también clasificaron como susceptibles en el estudio agronómico (Tabla II).

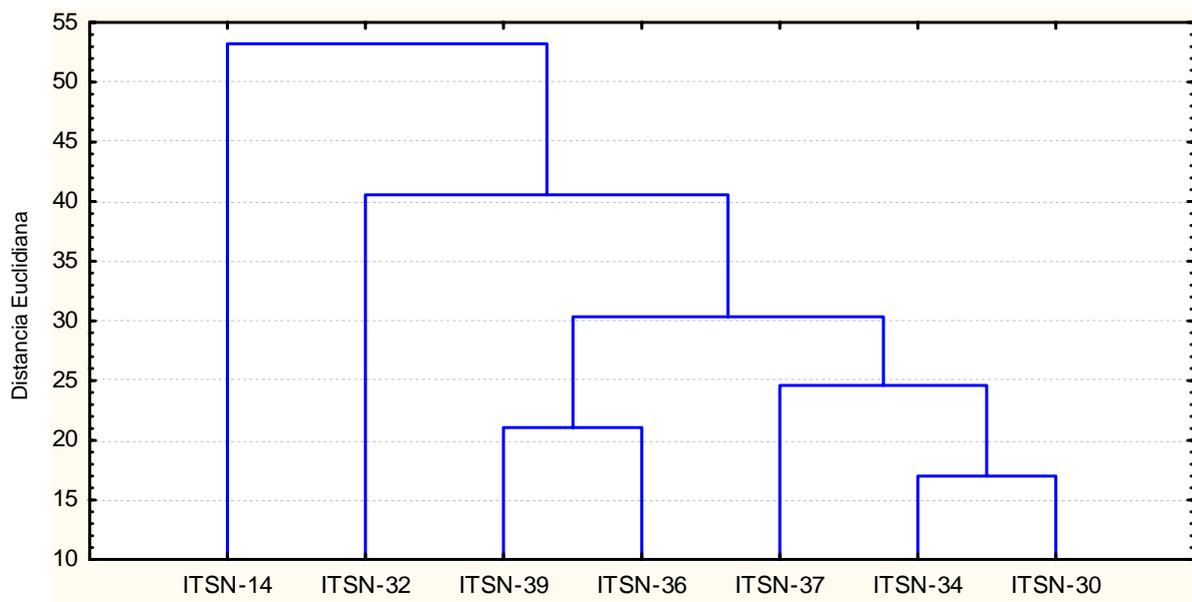


Figura 2. Dendrograma del agrupamiento de las líneas de triticales evaluadas en base al rendimiento y sus componentes

Tabla II. Índices de tolerancia relativa para las variables del rendimiento evaluadas en las siete líneas de triticales

G	Líneas	Índices de tolerancia para variables del rendimiento evaluadas (%)					
		IAP	ILP	IMP	IGLL/P	IPMG	IR
I	ITSN-14	95.18	92.11	81.75	86.03	87.41	88.49
II	ITSN- 32	94.22	87.06	79.02	81.16	81.33	84.56
III	ITSN- 39; ITSN-36	91.91	84.07	76.04	80.8	71.0	80.76
IV	ITSN- 37, ITSN-34, ITSN-30	89.32	80.11	74.32	79.24	70.21	78.64

ILP: índice de longitud de la panícula; IPP: índice de peso de la panícula; IGLL/P: índice de granos llenos por panícula; IPMG: índice de peso de mil granos; IR: índice de rendimiento

Para todos los grupos conformados en el estudio con los componentes del rendimiento, se observó que los índices de tolerancia para las variables evaluadas fueron superiores al 70 %. Este resultado se considera importante, pues se ha planteado que en cereales las afectaciones por la salinidad superiores a un 30 % indican susceptibilidad total, por lo que se deberán establecer variedades o especies más promisorias, para poder asegurar las cosechas y elevar el coeficiente de utilización de los suelos salinos (24).

Al analizar el valor del coeficiente de correlación cofenético, determinado mediante la búsqueda de convergencia espacial de los vectores implícitos en las matrices asociadas a los dendrogramas conformados por los datos obtenidos en los estadios iniciales y finales, se pudo obtener un valor alto y altamente significativo (0.91**), el cual indica que estos dendrogramas muestran una adecuada representación de la matriz de similitud asociada. Por otra parte, el coeficiente de correlación entre las matrices de similitud ($r=0.89^*$) fue significativo, evidenciando que existe un considerable grado de congruencia entre las clasificaciones establecidas, lo que denota la posibilidad de complementar la evaluación de la tolerancia a la salinidad sobre la base de los componentes del rendimiento con datos de la absorción de agua, el crecimiento y la acumulación de biomasa fresca y seca de las plántulas.

Estos resultados constituyen una base importante para profundizar en el estudio de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos involucrados en la tolerancia a la salinidad en triticales, especie que pudiera contribuir a mitigar los problemas del rendimiento de otros cereales en suelos afectados por la salinidad.

REFERENCIA

- Royo, A. y Aragues, R. Establecimiento de nuevos índices de tolerancia de los cultivos a la salinidad: la cebada como caso de estudio. *Investigación Agraria. Producción y Producción Vegetal*, 2002, vol. 17, no. 3, p. 410-421.
- Cuba. MINAGRI. Informe anual sobre la Agricultura. Avances y pérdidas. Periódico Granma, 2003, 25 de diciembre
- González, L. M. y Ramírez, R. Los suelos salinos y su utilización en la producción agrícola. *Alimentaria*, 2002, vol. 339, p. 103-107.
- Mesa, D. Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 2003, vol. 37, no. 3, p. 217-226.
- FAO. Fodding distribution along the world. Paper 23, Roma, 2003, 186 p.
- Isla, R. y Royo, A. Tolerancia a la salinidad en la tribu triticeae. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*, 1997, vol. 12, no. 1, 2 y 3, p. 133-145.
- González, L. M. Reflexiones sobre los mecanismos generales de adaptación de las plantas a la salinidad y a otros tipos de estrés. *Alimentaria*, 2002, vol. 339, p. 99-102.
- Chávez, L.; González, L. M. y Ramírez, R. Efecto de la salinidad sobre la absorción de agua por las semillas de *Vigna unguiculata* (L) y su relación con la tolerancia varietal. *Alimentaria*, 2002, vol. 339, p. 99-102.
- González, L. M y Ramírez, R. La absorción de agua por las semillas de arroz a altas concentraciones salinas, como posible indicador de la tolerancia varietal. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 1, p. 31-34.
- Prazak, R. Salt-tolerance of *Triticum monococum* L., *Triticum dicocum* (s. chank) Schubl., *Triticum durum* Desf and *Triticum eastivum* L. seedlings. *Journal of Applied Genetics*, 2001, vol. 42, no. 3, p. 289-292.
- Maya, P.; Monzón, A. y Ponce, M. Datos sobre la germinación de especies endémicas canarias. *Bot. M.*, 1988, vol. 16, p. 677-680.
- Scott, S.; Jones, J. y Williams, R. A. Review of data analysis. Methods for seed germination. *Crop Science*, 1984, vol. 24, p. 1192-1199.
- Kumar, D. y Yadav, J. S. P. Salt tolerance of mutants from wheat variety HD 1553. *Indian Journal of Agricultural Science*, 1983, vol. 53, no. 12, p. 1009-1015.
- Singh, G.; Kaur, P. y Sharma, R. Effect of CCC on seed germination and early seedling growth in wheat under saline conditions. *Indian Journal of Agricultural Science. Plant Physiology*. 1985, vol. 28, no. 4, p. 310-317.
- Royo, A. y Abió, D. Salt tolerance in durum wheat cultivars. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2003, vol. 1, no. 3, p. 27-35.
- 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. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26, no. 4, p. 49-54.
- Mano, Y. y Takeda, K. Genetic resources of salt-tolerance at germination and the seedling stage in wheat. *Japanese Journal of Crop Science*, 2006, vol. 70, no. 2, p. 215-220.

19. Vega, A. de la. Interacciones genotipo x ambiente y mejoramiento de girasol para las regiones central y norte de Argentina. Tesis de Doctorado en opción al título de Doctor en Ciencias Agropecuarias. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 2008, 291 p.
20. García, A.; Rizzo, R. J.; Bartos, S. L.; Senadhira, D.; Flowers, T. J. y Yeo, A. R. Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanism of sodium:potassium selectivity differs between rice and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 2007, vol. 20, p. 1167-1174.
21. González, L. M.; Zamora, A. y Céspedes, N. Tolerancia a la salinidad en cultivares de *Vigna unguiculata* (L.) Walp durante las etapas iniciales del crecimiento de las plantas. *Alimentaria*, 2000, vol. 314, p. 105-108.
22. Jacovy, B. Mechanism involved in salt tolerance of plants. En: Handbook of plant and crop stress. Second edition. Pessaraki, M. y Dekker, M. (eds.), Inc., Nueva York. EUA. 2004, p. 97-123.
23. Jacovy, B. Production of wheat along the world. En: Pessaraki, M. y Dekker, M. (eds.) Booklet of plant and crop stress, Nueva York, 2006, p. 52-67.
24. Hasegawa, P. M.; Bressan, R. A.; Zhu, J. K. y Bohnert, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity tolerance index for crops. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 2000, vol. 51, p. 463-499.

Recibido: 9 de marzo de 2009

Aceptado: 7 de octubre de 2009

