

EFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LA FENOLOGÍA, LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO Y SU RELACIÓN CON LA TOLERANCIA VARIETAL A LA SALINIDAD EN TRIGO (*Triticum aestivum* Y *T. durum*)

L. Argente[✉], L. M. González, R. López, I. Fonseca y R. Girón

ABSTRACT. Salinity effect on the phenology, yield and its components was studied in wheat varieties established in the eastern part of the country, which had been obtained or selected in Cuba. Twelve varieties were established in ponds from the experimental area of “J. Dimitrov” Agricultural Research Institute using two experimental variants: a saline treatment with irrigation at an electric conductivity (EC) of 8 dS.m⁻¹ and a control treatment EC=0.02 dS.m⁻¹. Results indicated that salinity susceptibility in wheat appears at flowering and such damages are more notable in *T. durum*. The most affected yield variable by salinity was full grain number per spike; consequently, there were mean yield effects from 13 to 68 %. These results enabled to classify varieties with different tolerance indexes to saline stress.

Key words: *Triticum*, salinity, phenology, salt tolerance, osmotic stress

RESUMEN. Se estudió el efecto de la salinidad en la fenología, el rendimiento y sus componentes en variedades de trigo establecidas en el oriente del país, obtenidas o seleccionadas en Cuba. Doce variedades fueron establecidas en estanques del área experimental del IIA “J. Dimitrov” sometidas a dos variantes experimentales: tratamiento salino con riegos a una conductividad eléctrica (CE)=8 dS.m⁻¹ y tratamiento control CE=0.02 dS.m⁻¹. Los resultados indicaron que en trigo la susceptibilidad a la salinidad aparece a partir de la floración y estos daños son más marcados en la especie *T. durum*. La variable del rendimiento de mayores afectaciones fue el número de granos llenos por espiga y como consecuencia existieron afectaciones medias del rendimiento entre 13 y 68 %. Tales resultados permitieron clasificar variedades con diferentes índices de tolerancia al estrés salino.

Palabras clave: *Triticum*, salinidad, fenología, tolerancia a la sal, estrés osmótico

INTRODUCCIÓN

Entre las condiciones adversas de los sistemas agrícolas del mundo, la salinidad de los suelos es el factor que más ha influido en el establecimiento de las poblaciones humanas. Aproximadamente el 43 % de la superficie terrestre utilizada para el cultivo se encuentra afectado por niveles de salinidad que, en la mayoría, superan la tolerancia de las especies de cultivo tradicionales (1). Este porcentaje va en aumento a una tasa de 0.5 % anual, debido fundamentalmente a bajas precipitaciones, alta superficie de evaporación, irrigación con aguas salinas y por las prácticas tradicionales de cultivo, que favorecen el incremento de la concentración de sales en el complejo absorbente del suelo (2). Cuba, que tiene una superficie agrícola de alrededor de 7.08 millones de hectáreas, presenta cerca de un millón afectada por la salinidad, 1.5 millones ya tienen problemas potenciales de salinización y en

las provincias orientales el 55 % de los suelos cultivables son catalogados como salinizados (3).

Una solución parcial a estos problemas es la implantación de cultivos y variedades más tolerantes a la salinidad, lo que implica conocer dicha tolerancia de forma precisa y consistente.

Existen evidencias de que el trigo es moderadamente tolerante a la salinidad (4), comportamiento que lo convierte en una opción sostenible para el aprovechamiento de las áreas afectadas por este tipo de estrés, a través de la implementación de las variedades de mayor grado de tolerancia. Por lo que el monitoreo de la tolerancia a la salinidad, en el germoplasma de trigo disponible, sobre la base de indicadores fenológicos y agrícolas, permitiría seleccionar el material vegetal con mayores perspectivas en áreas con esta condición estresante, como en el oriente de Cuba, donde las medidas de rehabilitación mediante el lavado y las enmiendas químicas resultan, además de costosas, de difícil ejecución (4). Fue objetivo de esta investigación estudiar el comportamiento de 12 variedades de trigo, obtenidas o seleccionadas en Cuba, basado en la fenología y los componentes del rendimiento en condiciones de salinidad.

Ms.C. L. Argente; Dr.C. R. López; I. Fonseca y R. Girón, Profesores Asistentes, Universidad de Granma; Dr.C. L. M. González, Investigador Titular del IIA “Jorge Dimitrov”, Gaveta Postal 2140, Bayamo, 85100, Granma

✉ largentelm@udg.co.cu

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló con 12 variedades de trigo procedentes de Cuba y México (Tabla I), de las cuales se tomaron semillas que fueron sembradas en estanques de cemento de 1 m² en condiciones semicontroladas en el área experimental del IIA "Jorge Dimitrov", rellenos con suelo vertisol crómico y usando dos variantes experimentales: un tratamiento salino donde los riegos, hasta la capacidad de campo controlando la humedad del suelo por el método gravimétrico, se desarrollaron con agua salinizada a una conductividad eléctrica (C.E) de 8 dS.m⁻¹ y el tratamiento control, donde se regó agua de buena calidad con una C.E de 0.02 dS.m⁻¹. La aplicación de los riegos se realizó siguiendo el Instructivo técnico para el cultivo. La siembra se realizó el 6 de enero del 2008, a chorrillos, logrando una distancia entre hileras de 0.25 m y una densidad de 90 kg. ha⁻¹, siguiendo un arreglo experimental completamente aleatorizado. Las variedades estudiadas, su origen y la especie a que pertenecen se representan a continuación.

Tabla I. Variedades de trigo estudiadas, procedencia y especie

No.	Variedad	Procedencia	Especie
1	CubaC- 204	Cuba	<i>T. aestivum</i>
2	INCA TH 32 W	México	<i>T. aestivum</i>
3	INCA TH 24 N	México	<i>T. aestivum</i>
4	INCA TD 18	México	<i>T. durum</i>
5	INCA TD 16 E	México	<i>T. durum</i>
6	INIFAT RM -30	Cuba	<i>T. aestivum</i>
7	INIFAT RM -26	Cuba	<i>T. aestivum</i>
8	INIFAT RM - 29	Cuba	<i>T. aestivum</i>
9	INIFAT RM - 31	Cuba	<i>T. aestivum</i>
10	INIFAT RM -36	Cuba	<i>T. aestivum</i>
11	INIFAT RM - 32	Cuba	<i>T. aestivum</i>
12	INIFAT RM - 37	Cuba	<i>T. aestivum</i>

El comportamiento fenológico se estudió haciendo uso de la escala decimal de comparación de Zadoks (5), evaluando el tiempo transcurrido para cada fenofase expresado en días, considerando la fenofase cuando más del 50 % de la población mostraban las características afines.

Las variables estudiadas en el comportamiento fenológico fueron las siguientes:

- ⇒ días al inicio del ahijamiento
- ⇒ días a la aparición del primer nudo
- ⇒ días a la aparición del segundo nudo
- ⇒ días al cambio de primordio
- ⇒ días a la floración
- ⇒ días a la madurez fisiológica

El comportamiento agronómico se evaluó en base al m² en función de las siguientes variables:

- ⇒ altura de las plantas (AP) (cm)
- ⇒ longitud de la panícula (LP) (cm)
- ⇒ masa de la panícula (PP)(g)

- ⇒ granos llenos por panícula (GLL/P) (#)
- ⇒ granos vanos por panícula (GV/P) (#)
- ⇒ masa de 1000 granos (PMG) (g)
- ⇒ rendimiento (Rendto.) (t.ha⁻¹).

Utilizando un tamaño de muestra de 30 plantas por estanque, se determinó la media y su error estándar para todos los indicadores evaluados en ambas condiciones, y se establecieron las diferencias entre el tratamiento control y el estrés para cada variedad mediante la prueba de *t-Student*.

Con el propósito de agrupar las variedades por su grado de tolerancia basado en el rendimiento y sus componentes, se realizó un análisis de conglomerado jerárquico de ligamiento completo en una matriz de distancia euclidiana, calculando el índice de tolerancia a la salinidad, según la siguiente fórmula (6).

$$ITR (\%) = 100 (ITS/ITC),$$

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general, las mayores diferencias en el comportamiento fenológico de las plantas se observaron en las etapas de floración y maduración, donde la mayoría de las variedades mostraron un acortamiento de su ciclo en condiciones de salinidad (Tabla II).

La mayoría de las variedades no cumplieron con los parámetros establecidos en la tabla de comparación de Zadoks (5), debido a las afectaciones provocadas por el estrés salino, siendo las variedades de trigo harinero, INIFAT RM-36 y INIFAT RM-26, las de mejor comportamiento fenológico. Tal comportamiento coincide con varios estudios de fenología en otras latitudes (7, 8), llegando a la conclusión de que las plantas de trigo en condiciones de estrés salino acortan su ciclo vegetativo a partir de la floración. Se ha señalado que las diferencias en las fenofases de floración y maduración, cuando las plantas son cultivadas en condiciones de salinidad, son más marcadas a medida que los niveles de salinidad en el agua de riego superan los 9 dS.m⁻¹ (9).

Este resultado no concuerda con los reportados anteriormente (8, 10), sobre la susceptibilidad del cultivo del trigo a la salinidad en el estadio de plántulas más que en la floración.

De acuerdo con este resultado, se ha estudiado que en trigo, la susceptibilidad a la salinidad aparece después de la antesis (10) y se caracteriza por una senescencia temprana y mal llenado de granos, generándose aborto de espiguillas distales, lo que reduce el rendimiento en un 50 % cuando la concentración de sales en el extracto de saturación del suelo supera los 13 dS.m⁻¹. En relación con el rendimiento y sus componentes, se observaron diferencias significativas entre el tratamiento control y el estrés para todas de las variedades estudiadas (Tabla III).

Tabla II. Comportamiento fenológico del cultivo del trigo en condiciones salinas

Variedad	Fenofases (días).											
	ahijamiento		1 ^{er} nudo		2 ^{do} nudo		Preñez		Floración		Maduración	
	s	c	s	c	s	c	s	C	s	c	s	c
CubaC-204	18	18	36	36	41	41	47	47	50	51	78**	90
INCA TH 32 W	19	19	37	38	43	43	49	49	54**	56	82**	86
INCA TH 24 N	19	19	37	37	43	43	49	49	53**	56	83**	88
INCA TD 18	20	19	38**	41	43**	45	49**	52	56**	60	75**	86
INCATD 16 E	20	20	38	40	43	43	49	49	53**	56	78**	85
INIFAT RM-30	18	18	36	36	42	42	48	48	47**	51	83**	88
INIFAT RM-26	18	18	36	36	41	41	47	47	50	51	88	89
INIFAT RM-29	18	18	36	36	41	41	47	47	48**	52	80**	88
INIFAT RM-31	18	18	36	36	41	41	47	47	50	50	88	90
INIFAT RM-36	18	18	35	35	42	42	48	48	52	52	89	90
INIFAT RM-32	18	18	36	36	41	41	47	47	47**	50	86*	89
INIFAT RM-37	18	18	36	36	42	42	48	48	48**	52	80**	90

Tabla III. Componentes del rendimiento en condiciones normales y salinas

Variedad	LP (cm)		GLL/P		GV/P	
	normal	salino	normal	salino	normal	salino
RM-32	6.77±0,02	5.48±0,1**	24.2±0,09	20.3±0,04**	3.3±0,02	5.8±0,11**
INCA TD 16 E	5.58±0,12	4.46±0,04**	32.8±0,1	27.4±0,01**	4.3±0,01	5.8±0,23**
RM-26	7.61±0,03	7.21±0,01	24.3±0,01	23.1±0,05**	1.4±0,07	2.44±0,04*
RM-31	7.33±0,1	7.24±0,3	26.1±0,04	25.8±0,02**	0.32±0,04	0.41±0,05*
RM-30	7.02±0,09	6,9±0,04	28.1±0,05	27.64±0,1**	1.2±0,05	3.24±0,14**
RM-36	6.53±0,21	6.41±0,3	22±0,01	20.7±0,02**	1.4±0,03	2.5±0,31*
RM-37	7.52±0,33	7.42±0,5	26.5±0,09	24.1±0,03**	1.5±0,06	3.52±0,51**
INCA TD 18	5.11±0,04	4.21±0,04**	31.5±0,11	24.5±0,01**	2.2±0,21	3.11±0,06**
INCA TH 32 W	7.81±0,09	6.8±0,05**	24.3±0,03	22.1±0,02**	2.3±0,31	3.24±0,01**
RM-29	6.87±0,05	6.54±0,06*	22.2±0,21	21.6±0,08*	0.64±0,03	0.71±0,12*
Cuba C-204	7.44±0,12	7.31±0,01	21.4±0,1	20.9±0,04*	0.1±0,06	0.3±0,12*
INCA TH 24 N	6.54±0,11	4.71±0,03**	20.5±0,02	17.3±0,01**	4.51±0,05	4.99±0,01**

	PMG (g)		PP (g)		Rendimiento (t.ha ⁻¹)		AP (cm)	
	normal	salino	salino	salino	normal	salino	normal	salino
16,1±0,24	11±0,03**	2.8±0,01	1.08±0,01**	6.2	4.4**	77.3±0,01	72.4±0,05**	
15,7±0,11	10,2±0,01**	3.53±0,09	2.56±0,03**	4.1	2.89**	74.8±0,07	65.4±0,02**	
12,4±0,31	10,7±0,02*	3.04±0,04	2.99±0,01*	7.8	6.42**	79.0±0,06	78.1±0,04*	
10,1±0,09	9,9±0,02*	2.99±0,05	2.84±0,04	3.2	2.16**	72.6±0,08	70.1±0,02*	
13,9±0,08	12,1±0,04*	2,7±0,013	2,64±0,03	3.6	2.6**	73.1±0,04	72.2±0,03*	
11,2±0,03	9,9±0,01**	2.9±0,09	2.79±0,01	7.2	6.1**	67.3±0,05	66.9±0,02*	
10,5±0,07	10,1±0,03	2,83±0,04	2.79±0,04	5.58	4.32**	73.2±0,01	61.4±0,01**	
16,7±0,01	13,5±0,06**	3.68±0,01	2.42±0,03**	2.8	1.89**	83.4±0,03	60.3±0,04**	
11,9±0,07	11,3±0,02	3.12±0,07	2.09±0,04**	4.6	3.56**	70.7±0,05	68±0,01**	
11±0,32	9,9±0,03*	2.96±0,01	2.78±0,07	6.2	4**	70.3±0,02	66.7±0,09**	
17,9±0,01	15,5±0,01**	2.62±0,09	2.54±0,08	7.11	5.98**	79.2±0,01	78.3±0,2	
11±0,20	8,4±0,02**	2.45±0,04	1.64±0,01**	4.31	2.89**	71.7±0,03	64.31±0,1**	

* y ** representan diferencias significativas para p≤0.05 y p≤0.01 respectivamente, según la prueba de *t-Student*

Las afectaciones en la altura de las plantas (AP) oscilaron entre 2 y 17 %, resultando uno de los componentes del rendimiento menos dañado por el estrés salino, posiblemente debido a que a partir de la fenofase de mayores afectaciones en este ensayo (floración), la planta tuvo un crecimiento más lento producto a la utilización de los fotoasimilatos en la formación de espigas y llenado de los granos, por tanto, la salinidad no alteró su crecimiento (5, 8, 11).

La longitud y masa de la panícula se afectaron entre 2 y 21 % y 2 y 34 %, respectivamente. Tal resultado evidencia que las afectaciones en el tamaño de la panícula no son severamente provocadas por la salinidad, no siendo así la masa de la panícula, por la dependencia que esta tiene de otras variables que mostraron afectaciones significativas.

El número de granos llenos por espiga tuvo gran incidencia en el rendimiento obtenido y fue el principal causante de su disminución. Se ha señalado que los mayores efectos del estrés salino en el rendimiento en grano en trigo usualmente están asociados con una reducción en el número de granos (12). Otros han encontrado, además, que en condiciones de estrés salino la disminución de los granos llenos/espiga es causada por un aumento del aborto floral en los extremos de las espigas o la producción de polen no viable.

La disminución en la masa de la panícula (PP) en este ensayo no estuvo directamente relacionada con la masa de los granos (PMG), los cuales fueron afectados por la salinidad entre 2-16 %. Esta disminución en la masa de la panícula pudo haber tenido lugar 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 por el aborto de las espiguillas distales (11, 13). El número de granos llenos por espiga tuvo gran incidencia en el rendimiento y fue el principal causante de su disminución. Se ha señalado que los mayores efectos del estrés salino en el rendimiento en trigo, usualmente están asociados a una reducción en el número de granos efectivos (14, 15).

A diferencia de las restantes variables componentes del rendimiento, la masa de los granos no varió estadísticamente entre el tratamiento salino y el control. Otros investigadores (16, 17) afirman que el estrés salino durante el período de llenado de grano en trigo reduce su masa individual y, por consiguiente, la masa de la panícula en general.

Las afectaciones en el rendimiento, en este ensayo, oscilaron entre 13 y 68 % como resultado de los daños ocurridos en sus componentes, resultando las variedades de trigo harinero INIFAT RM-36 y INIFAT RM-26 y su progenitor también obtenido en Cuba, Cuba-C-204, las de mejor comportamiento agronómico.

Al realizar el agrupamiento de las variedades, en cuanto a sus índices de tolerancia determinados por el rendimiento y sus componentes, se dividieron en cuatro grupos, evidenciando la existencia de variabilidad genética en cuanto a la respuesta de los cultivares obtenidos o seleccionados en Cuba al estrés salino (Figura 1).

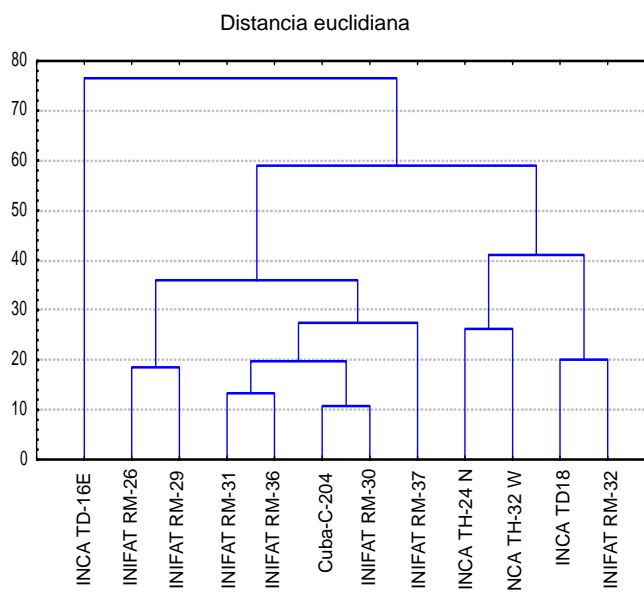


Figura 1. Dendrograma del análisis de conglomerado del rendimiento y sus componentes

El grupo I formado por seis radiomutantes INIFATRM (26), (29), (31), (36), (37), (30) y su progenitor (Cuba-C-204), fue el que mostró mayores valores promedio de los índices de tolerancia para todas las variables evaluadas (Tabla IV). En el grupo II se reunieron las variedades INCA TH 24 N y INCA TH 32 W, también de trigo harinero, que clasifican como moderadamente tolerantes al estrés salino y las restantes que conformaron los grupos III y IV fueron clasificadas como susceptibles al estrés.

Tabla IV. Valores promedio de los índices de tolerancia de las variables del rendimiento

G	Variedad	Valores promedio de los índices de tolerancia de las variables del rendimiento (%)						
		IAP	ILP	IPP	IGLL/P	IGV/P	IPMG	I R
I	INIFAT RM-(26), (29) (31) (36) (37), (30) Cuba-C-204	94.6	95.1	95.3	90	10	93	76.6
II	INCA TH 24 N, INCA TH 32 W	93	82.5	87	88	12	82	70.5
II	INCA TD 18, INIFAT RM-32	92	89	83.5	84.5	15.5	81.5	75
IV	INCA TD 16 E	72	82	66	71	29	81	32

La susceptibilidad mostrada por la variedad de trigo duro INCA TD 16 E coincide con resultados anteriores (8, 18), los cuales han señalado la superioridad en cuanto a la tolerancia a la salinidad en los trigos harineros en los indicadores de campo.

Este resultado permitirá emplear el material de mejor comportamiento fenológico y agrícola, para futuros establecimientos en áreas afectadas por el estrés, con vistas a lograr seguridad en las cosechas y un acercamiento a la rentabilidad de los suelos salinos. Además, en programas de mejora por selección o cruzamiento genético, se podrán emplear los genotipos más distantes para crear una mayor variabilidad genética de este carácter (19).

REFERENCIAS

- Royo, A y Aragües, 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*, 2003, vol.17 no.3, p. 410-421.
- González, L. M y Ramírez, R. Los suelos salinos y su utilización en la producción agrícola. *Alimentaria*, 2002, vol. 339, p. 103-107.
- González, L. M. Efecto de la sequía simulada con PEG-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales*, 2005, vol. 26 no. 4, p. 45-49.
- Cuba. MINAGRI. Informe anual sobre la agricultura. Avances y pérdidas. 2003. Granma, jueves, 25 de diciembre, 2003.
- Zadoks, J. C. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.*, 1974, vol. 14, p. 415-421.
- FAO. Fooding distribution along the world. Roma, 2003, 126, p. 23.
- 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.
- 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.
- González, L. M. y Ramírez, R. Respiración, relaciones hídricas y concentración de pigmentos en plántulas de arroz cultivadas en condiciones salinas. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 12, no. 1, p. 35-37.
- Richard, R. A. y Payboy, R. Variation for yield of grain and biomass in wheat, barley, and triticale in salt affected field. *Field Crops Research*, 1991, vol. 15, p. 277-287.
- Zhu, J. K. Genetic analysis of plant salt tolerance using *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, vol. 124, p. 941-948.
- Royo, A. y Abió, D. Salt tolerance in *T. durum* wheat cultivars. *Japanese Journal of Crop Science*, 2003, vol. 63, no. 2, p. 158-163.
- Yang, S.; Zhang, H. y Luo, D. *HAL1* mediate salt adaptation in *Arabidopsis thaliana*. *Cell Res.*, 2004, vol. 11, p. 142-148.
- Siddique, M. R.; Hanid, A. e Islam, M. S. Drought stress effects on water relations of Wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 2001, vol. 4, no. 1, p. 35-39.
- Yeo, A. R. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany*, 2000, vol. 49, p. 915-929.
- Yeo, A. R. Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia Plantarum*, 2001, vol. 58, p. 214-222.
- Yuen, G.; Luo, Y.; Sun, X. y Tang, D. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in water wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2004, vol. 64, no. 1, p. 29-40.
- Oosterhuis, D. y Cartwright, P. Spike differentiation and floret survival in semidwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. *Crop Science*, 2003, vol. 23, p. 711-717.

Recibido: 16 de abril de 2008

Aceptado: 9 de octubre de 2008