

# EFFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE DIVERSOS CARACTERES MORFO-FISIOLOGICOS Y SOBRE EL RENDIMIENTO EN GRANO DE LA CEBADA

A. ROYO  
R. ARAGÜES

Unidad de Suelos y Riegos. Servicio de Investigación Agraria (DGA)  
Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente CSIC-DGA  
Apdo. 727. 50080 Zaragoza

## RESUMEN

La tolerancia a la salinidad de los caracteres agronómicos y componentes de la producción de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) no está establecida de forma consistente, a pesar de que dicho conocimiento es importante para la mejora genética y para el diseño de prácticas agronómicas tendientes a rentabilizar el uso de los suelos afectados por sales.

En este trabajo se presenta la respuesta a la salinidad del rendimiento en grano y de once caracteres agronómicos de la cebada obtenida en experimentos realizados en condiciones controladas de campo durante cinco años y con un total de 114 cultivares.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la longitud de la espiga, el número de flores y de granos por espiga y el peso específico del grano son los caracteres más tolerantes, en tanto que el calibre del grano, el rendimiento en grano y el peso de grano por espiga son los caracteres más sensibles.

Las implicaciones de estos resultados se discuten desde el punto de vista de la mejora genética y de las prácticas agronómicas.

**PALABRAS CLAVE:** Salinidad  
Cebada  
*Hordeum vulgare*  
Rendimiento en grano  
Componentes de producción  
Caracteres agronómicos

## INTRODUCCION

El aprovechamiento de los suelos afectados por salinidad requiere la utilización de especies y cultivares tolerantes, «per se» o mejorados genéticamente, a este estrés y el empleo de técnicas agronómicas especialmente diseñadas para estas condiciones.

---

Recibido: 23-9-94

Aceptado para su publicación: 9-1-95

Redactor asociado: Joaquín Berengena

Desde el punto de vista de la mejora genética es importante profundizar en el conocimiento de la respuesta a la salinidad de los componentes de la producción y de otros caracteres con repercusión económica, para determinar los caracteres sobre los que incidir en el programa de mejora. Además, ese conocimiento permitiría la aplicación de técnicas agronómicas que pueden mejorar el rendimiento de los cultivos en condiciones salinas, tales como el aumento de la densidad de siembra, la utilización de aguas de mejor calidad coincidiendo con fases del desarrollo del cultivo más sensibles, etc.

La respuesta a la salinidad de la producción de grano de los cereales está bien documentada (Francois, Maas, 1994); no ocurre lo mismo con la respuesta de los distintos componentes de la producción, pues la información es escasa y, a veces, contradictoria. Así, Bole y Wells (1978) encontraron diferente respuesta a la salinidad en cebadas de dos y de seis carreras, pareciendo más tolerantes las de seis carreras, cuyo número de espigas por unidad de superficie era menos afectado que el de las de dos carreras. Dutt (1988), trabajando en cebada, concluyó que el descenso en el rendimiento se debía principalmente a un menor peso individual de grano (medido por el «peso de mil granos»), mientras que el número de granos por espiga era un componente de menor importancia. En trigo blando, Francois *et al.* (1986) concluyeron que el componente de producción más afectado era el peso de grano por espiga, en tanto que el número de espigas por unidad de superficie era mucho menos afectado por la salinidad. Sin embargo, en triticale, François *et al.* (1988) muestran resultados diferentes, pues el número de espigas fue el carácter más sensible, en tanto que el peso de grano por espiga y el peso de mil granos se veían mucho más tolerantes. Finalmente, en trigo blando, Kelman y Qualset (1991) establecieron el siguiente orden de mayor a menor tolerancia relativa a la salinidad: índice de cosecha, peso de mil granos, rendimiento en grano, altura, número de plantas por unidad de superficie y biomasa aérea.

Estos resultados indican que la respuesta de los componentes de producción en cereales no ha sido establecida de forma consistente, lo que puede deberse a las distintas condiciones experimentales, especialmente climáticas y edáficas, a los diferentes niveles salinos empleados, así como al escaso número de tratamientos salinos impuestos, lo que limita la precisión de las estimas de la tolerancia.

En trabajos anteriores, Aragües *et al.*, (1992) mostraron la utilidad del sistema de la Triple Línea de Aspersión (TLA) para efectuar estudios de respuesta de los cultivos a la salinidad si: 1) se alcanzaban fracciones de lavado apropiadas; 2) la absorción de sales a través de las hojas era poco importante, y 3) el viento no distorsionaba los gradientes de salinidad impuestos experimentalmente. Asimismo Royo y Aragües (1993) comprobaron que las funciones de respuesta eran repetibles en el espacio, independientes del tamaño de las mini-parcelas experimentales y similares en los distintos años en los que se efectuaron dichos análisis.

En este trabajo se han establecido las funciones de respuesta a la salinidad de diferentes caracteres agronómicos en cultivares de cebada. Dichas funciones se han ajustado con los resultados obtenidos en diez tratamientos salinos establecidos con la TLA. Este elevado número de tratamientos permite estimar de forma precisa la  $CE_{50}$ , o conductividad eléctrica para la que se produce un descenso del 50 p.100 en la variable estudiada, que es el parámetro de tolerancia más

consistente (Royo *et al.*, 1991b), y la relación TS/TC de los tres tratamientos más salinos (TS) sobre los tres tratamientos menos salinos o tratamientos control (TC). A partir de estos valores de  $CE_{50}$  y de TS/TC, se ha establecido el orden relativo de tolerancia a la salinidad de los caracteres agronómicos evaluados, que es el objetivo último de este trabajo.

## MATERIAL Y METODOS

Los experimentos fueron realizados en la finca del Servicio de Investigación Agraria de la Diputación General de Aragón (Montañana, Zaragoza) en los años 1986, 1987, 1989, 1990 y 1991. El gradiente de salinidad en el agua de riego se estableció por medio de una triple fuente lineal de aspersión (TLA) (Royo *et al.*, 1991a) instalada en un suelo (Torrifluvent típico, mezclado, méxico) de textura franca. La sal acumulada estacionalmente en el suelo fue lavada con riegos de agua dulce después de la cosecha de cada uno de los años.

En síntesis, la TLA consiste en tres líneas de aspersión, paralelas y separadas entre sí una distancia de 15 m, que es el alcance de los aspersores. Las tres líneas aplican la misma cantidad de agua, siendo salina la de la línea central al inyectar en su tubería una solución salina de  $ClNa$  y  $Cl_2Ca \cdot 2H_2O$  en relación 1:1 en peso, y dulce ( $CE < 2$  dS/m) la de las dos líneas laterales. El solapamiento de las tres líneas resulta en un gradiente de salinidad del agua aplicada que es máximo en la línea central y disminuye linealmente hacia las dos líneas laterales. En la Tabla 1 se resumen las características principales de los experimentos efectuados con la TLA.

TABLA 1

### CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS EXPERIMENTOS EFECTUADOS EN LA TRIPLE LINEA DE ASPERSION (TLA)

*Main characteristics of the experiments performed in the Triple Line Source (TLA)*

	1986	1987	1989	1990	1991
Fecha de siembra	25-11-85	11-12-86	22-12-88	20-01-90	19-11-90
Fecha de recolección	27-06-86	26-06-87	29-06-89	28-06-90	01-07-91
Primer riego salino	13-02-86	03-02-87	06-02-89	23-02-90	31-01-91
Último riego salino	09-06-86	02-06-87	02-06-89	04-06-90	07-06-91
Número de riegos	30	34	34	29	31
Duración riegos (min)	23	22	30	36	33
Riego estacional (mm)	318	297	400	417	406
Lluvia estacional (mm)	128	72	151	102	127
CEa mínima (dS/m) <sup>a</sup>	1,9	2,1	2,5	2,5	1,6
CEa máxima (dS/m) <sup>a</sup>	13,4	16,7	16,3	17,2	14,7

<sup>a</sup> CEa = media ponderada con el tiempo de la CE del agua aplicada (riego + lluvia)

Al finalizar cada uno de los riegos se aplicaron tres minutos de agua dulce para lavar las hojas. Asimismo, en los años 1990 y 1991 se dio un riego inicial de agua dulce de tres minutos de duración antes de aplicar el riego salino. Con estos riegos de agua dulce, antes y después del riego salino, se trató de disminuir la absorción de sales a través de las hojas (Aragües *et al.*, 1994).

El control de la distribución del agua de riego y del gradiente de salinidad del agua aplicada y del suelo han sido descritos previamente (Royo *et al.*, 1991a; Royo, Aragües, 1991). En síntesis, una fracción del agua aplicada se recogió en un conjunto de pluviómetros, procediéndose a medir el volumen y la CE del agua. La salinidad del suelo se midió quincenalmente en diferentes puntos de la parcela con un sensor electromagnético (Modelo EM-38 de Geonics Co., Canadá). Asimismo, se realizaron muestreos periódicos del suelo sobre los que se determinó la CE en el extracto saturado (CE<sub>e</sub>) y en el extracto 1:5 (CE<sub>1,5</sub>). Dadas las elevadas correlaciones (significativas a  $p < 0,001$  en todos los años) establecidas entre la salinidad del suelo y la del agua de riego (Royo, Aragües, 1991), se ha utilizado esta última como variable de salinidad en el cálculo de las funciones de respuesta.

Entre la línea de aspersores central y cada lateral de la TLA se establecieron, paralelamente a las mismas, diez parcelas o tratamientos salinos. En 1986 las parcelas fueron de seis surcos de 5 m de longitud, mientras que en 1990 y 1991 fueron de dos surcos de 1,2 m. En 1987 y 1989 se utilizaron parcelas en golpes o «hill-plots», sembrando un golpe de 20 semillas en el centro de un cuadrado de 0,3 m de lado.

En la Tabla 2 figuran los caracteres agronómicos estudiados cada año experimental. La altura de planta se determinó en la madurez midiendo las plantas desde el suelo hasta el ápice de la espiga, sin contar las aristas. El peso de biomasa aérea y el índice de cosecha (relación rendimiento en grano/peso de biomasa aérea) se determinaron, en el año 1986, en el conjunto de plantas segadas a mano en una superficie de 1 m<sup>2</sup> utilizando los surcos centrales de cada tratamiento, mientras que en 1987 y 1989 los hill-plots segados a ras de suelo sirvieron de base para la determinación de esos dos caracteres. El calibre del grano se determinó haciendo pasar el total del grano cosechado en cada tratamiento salino por una máquina calibradora, pesando los granos con calibre superior a 2,5 mm y expresando este peso como porcentaje del peso total cosechado en cada tratamiento. El número de espigas por metro se determinó en 1986 contando el total de espigas en un metro lineal sobre un surco, en tanto que en 1989 se contaron el total de espigas de cada hill-plot. Del fajo segado para la medida de la biomasa se tomaron 20 espigas (5 en los hill-plots) para determinar el número de flores y de granos por espiga, así como el peso de grano por espiga. Asimismo, sobre esas espigas se determinó la longitud de espiga. El rendimiento en grano, peso específico y peso de mil granos se determinaron a partir del conjunto de grano recogido en cada parcela. El peso específico se midió con un medidor portátil del peso del hectólitro.

TABLA 2

**NUMERO DE CULTIVARES EVALUADOS EN CADA AÑO  
EXPERIMENTAL, CARACTERES AGRONOMICOS ANALIZADOS Y  
NUMERO DE CULTIVARES CON ESTIMAS DE  $CE_{50}$  SIGNIFICATIVAS  
( $P<0,05$ ) PARA CADA CARACTER AGRONOMICO Y AÑO  
EXPERIMENTAL**

*Number of cultivars evaluated in each experimental year, agronomic characters analyzed and number of cultivars with significant ( $P<0.05$ )  $CE_{50}$  estimates for each agronomic character and experimental year*

	1986	1987	1989	1990	1991
Número de cultivares evaluados	9	32	3	40	30
<i>Número de cultivares con estimas de <math>CE_{50}</math> significativas para el carácter:</i>					
Altura planta	9	18	3	28	18
Biomasa aérea	9	31	3	—	—
Calibre	—	29	—	—	—
Espigas por hill-plot	—	—	3	—	—
Espigas por metro	6	—	—	—	—
Flores por espiga	0	10	—	—	—
Granos por espiga	0	11	—	—	—
Índice de cosecha	0	27	0	—	—
Longitud espiga	—	8	—	—	—
Peso específico	8	—	—	36	18
Peso de grano por espiga	5	28	3	—	—
Peso mil granos	7	31	3	36	—
Rendimiento en grano	9	32	3	39	28

— no analizado

El modelo de respuesta utilizado es el curvilíneo (opción 12 del programa SALT de Van Genuchten, 1983) definido por la ecuación:

$$Y = \frac{Y_m}{1 + \left( \frac{CE_a}{CE_{50}} \right)^p}$$

en la que:

- Y = Valor del carácter estudiado para una CEa dada.  
 Y<sub>m</sub> = Valor del carácter en condiciones no salinas.  
 CEa = Conductividad eléctrica del agua aplicada, media ponderada con el tiempo y corregida por la lluvia.  
 CE<sub>50</sub> = CEa que produce un 50 p. 100 de disminución del valor de Y.  
 p = Constante empírica.

En la Tabla 2 figura el número de cultivares evaluados en cada año experimental y, para cada carácter analizado, el número de cultivares con estimas de  $CE_{50}$  significativamente diferentes de cero ( $P < 0,05$ ). Puede observarse que el rendimiento en grano y el peso de la biomasa aérea presentan el mayor porcentaje de funciones de respuestas significativas; por el contrario, el número de flores y el de granos por espiga son, entre los caracteres estudiados al menos dos años, los que presentan un número menor de funciones de respuestas significativas. Esta falta de significación es fundamentalmente debida a la escasa disminución del carácter estudiado con el aumento de la salinidad, lo que implica que los ajustes significativos se obtienen en los caracteres más sensibles a la salinidad, mientras que los no significativos se obtienen en los más tolerantes.

Por ello, y al objeto de disponer de un parámetro de tolerancia que permita la comparación entre todos los caracteres agronómicos analizados, se ha calculado asimismo la relación entre el valor de cada carácter en el tratamiento salino (TS) y su valor en el tratamiento control (TC). Como tratamiento salino se ha tomado la suma de los valores obtenidos en los tres tratamientos más salinos, y como control la de los tres menos salinos (en este último caso, los valores de CEa son inferiores a la CE umbral de la cebada).

Dadas las pequeñas diferencias de tolerancia a la salinidad obtenidas entre los distintos cultivares, se han realizado análisis de varianza del parámetro TS/TC obtenido para cada carácter agronómico y año experimental, utilizando el procedimiento GLM (General Linear Models) (SAS, 1988) y tomando los cultivares como repeticiones dentro de cada carácter. A los efectos de síntesis de los resultados obtenidos, y dado que el orden de tolerancia de los caracteres es similar o muy parecido en los distintos años experimentales, se ha efectuado un análisis estadístico similar con el conjunto de todos los años experimentales. En ambos casos, la separación de medias se ha realizado con el test de comparaciones múltiples de Duncan. Los valores medios de los caracteres en el análisis de la varianza conjunto de todos los años se representan en la Figura 1.

## RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan, para cada carácter agronómico y año experimental, los valores medios de  $CE_{50}$  y los de sus errores estándar, expresados en forma relativa ( $Err\ Est/CE_{50}$ ).

En 1986, el rendimiento en grano, la altura de planta y la biomasa aérea son los tres caracteres para los que se han obtenido funciones de respuesta significativas en los nueve cultivares de cebada (Tabla 2) y, asimismo, son los que presentan valores de  $CE_{50}$  más ajustados (errores estándar relativos iguales o inferiores al 16 p. 100). Por el contrario, la tolerancia de los caracteres flores por espiga, granos por espiga e índice de cosecha no puede establecerse en base a la  $CE_{50}$ , ya que sus funciones de respuesta no son significativas (Tabla 2) por las razones apuntadas en el apartado anterior. Por ello, se ha utilizado como parámetro alternativo de tolerancia la relación TS/TC. La Tabla 4 indica que los valores de TS/TC de estos tres caracteres son los más próximos a la unidad de todos los caracteres evaluados, lo que permite concluir que son los caracteres más tolerantes

TABLA 3

**VALORES MEDIOS DE  $CE_{50}$  (dS/M) Y DE LOS ERRORES ESTANDAR RELATIVOS (ERROR ESTANDAR/ $CE_{50}$ ) DE LOS CARACTERES ESTUDIADOS EN LOS DIVERSOS AÑOS EXPERIMENTALES**

*Mean values of  $CE_{50}$  (dS/m) and of the relative standard errors (Standard Error/ $CE_{50}$ ) of the characters studied in the different experimental years*

Carácter		Año				
		1986	1987	1989	1990	1991
Altura planta	$CE_{50}$	21,5	—	16,5	20,7	21,3
	Err Est/ $CE_{50}$	0,15	—	0,05	0,19	0,20
Biomasa aérea	$CE_{50}$	13,8	15,5	11,6	—	—
	Err. Est/ $CE_{50}$	0,16	0,06	0,10	—	—
Calibre	$CE_{50}$	—	8,8	—	—	—
	Err. Est/ $CE_{50}$	—	0,10	—	—	—
Espigas por hill—plot	$CE_{50}$	—	—	13,4	—	—
	Err Est/ $CE_{50}$	—	—	0,12	—	—
Espigas por metro	$CE_{50}$	15,1	—	—	—	—
	Err Est/ $CE_{50}$	0,24	—	—	—	—
Índice de cosecha	$CE_{50}$	—	0,15	—	—	—
	Err Est/ $CE_{50}$	—	0,15	—	—	—
Peso específico	$CE_{50}$	18,6	—	—	24,0	23,0
	Err Est/ $CE_{50}$	0,17	—	—	0,17	0,26
Peso grano por espiga	$CE_{50}$	17,1	15,3	18,1	—	—
	Err Est/ $CE_{50}$	0,25	0,14	0,19	—	—
Peso mil granos	$CE_{50}$	20,8	16,2	19,1	19,2	—
	Err Est/ $CE_{50}$	0,25	0,12	0,14	0,14	—
Rendimiento en grano	$CE_{50}$	14,7	13,8	12,1	11,6	16,3
	Err Est/ $CE_{50}$	0,09	0,10	0,07	0,15	0,12

a la salinidad. Así, el orden de mayor a menor tolerancia establecido por la relación TS/TC en el año 1986 es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Índice de cosecha} &> \text{Flores por espiga} = \text{Granos por espiga} \geq \text{Peso específico} = \\ \text{Altura} &= \text{Peso mil granos} \geq \text{Peso grano por espiga} = \text{Espigas por metro} \geq \\ &\text{Rendimiento en grano} = \text{Biomasa} \end{aligned}$$

Es importante resaltar que, con algunas excepciones, el orden de tolerancia de los caracteres establecido en base a los parámetros  $CE_{50}$  y TS/TC es similar, tal como se deduce del coeficiente de correlación de rangos de Spearman  $\rho = 0,89$  que es significativo a  $P < 0,01$ . Esta observación es asimismo aplicable al resto de años experimentales, lo que refuerza la confianza de los resultados obtenidos en este trabajo.

En la Tabla 3 se presentan las estimas de  $CE_{50}$  de aquellos caracteres estudiados en hill-plots en 1987 para los que se obtuvieron al menos 27 funciones de respuesta significativas de las 32 analizadas. El grado de ajuste de estas funciones es elevado, tal como indican los errores estándar relativos iguales o inferiores al 15 p. 100. Para el resto de caracteres (altura planta, flores y granos

TABLA 4

**VALORES MEDIOS DE LA RELACION TRATAMIENTOS SALINOS/TRATAMIENTOS CONTROL (TS/TC) EN LOS CARACTERES ESTUDIADOS EN LOS DISTINTOS AÑOS EXPERIMENTALES**

*Mean values of the relation Saline Treatments/Control Treatments (TS/TC) of the characters studied in the different experimental years.*

Carácter	1986	1987	1989	1990	1991
Altura planta	0,82 cd*	0,91 b	0,67 b	0,70 b	0,91
Biomasa aérea	0,66 f	0,75 c	0,47 d	—	—
Calibre	—	0,12 f	—	—	—
Espigas por hill—plot	—	—	0,60 c	—	—
Espigas por metro	0,75 de	—	—	—	—
Flores por espiga	0,95 b	1,06 a	—	—	—
Granos por espiga	0,96 b	1,03 a	—	—	—
Índice de cosecha	1,11 a	0,65 d	0,96 a	—	—
Longitud espiga	—	1,08 a	—	—	—
Peso específico	0,89 bc	—	—	0,84 a	0,94 a
Peso grano por espiga	0,78 de	0,61 d	0,77 b	—	—
Peso mil granos	0,81 cd	0,61 d	0,73 b	0,72 b	—
Rendimiento en grano	0,73 ef	0,50 e	0,46 d	0,40 c	0,80 b

\* Para cada año los caracteres con letras distintas tienen valores medios de TS/TC diferentes a  $P < 0,05$

por espiga y longitud espiga) la tolerancia se ha establecido a través del parámetro TS/TC (Tabla 4). Puede observarse que el carácter más afectado por la salinidad es el calibre del grano ( $CE_{50} = 8,8$  dS/m y TS/TC = 0,12). El resto de los caracteres, excepto la biomasa y el índice de cosecha, sigue un patrón similar al obtenido en 1986, siendo su orden de mayor a menor tolerancia el siguiente:

Longitud de espiga = Flores por espiga = Granos por espiga > Altura > Biomasa > Índice de cosecha = Peso de mil granos = Peso grano por espiga > Rendimiento en grano > Calibre

La parcela utilizada en el experimento de 1987 presentó problemas de encharcamiento, que se agravaron al aumentar el número de riegos aplicados y que afectaron más al rendimiento en grano que al desarrollo vegetativo de las plantas, por lo que también el índice de cosecha se vio afectado.

De los siete caracteres estudiados en el Índice de cosecha se obtuvieron funciones de respuesta no significativas (Tabla 2). Para el resto de caracteres las estimas de  $CE_{50}$  fueron relativamente consistentes, tal como indican los errores estándar relativos que variaron entre el 4,6 p. 100 para la altura y el 18,5 p. 100 para el peso de grano por espiga (Tabla 3). La tolerancia basada en el parámetro TS/TC (Tabla 4) indica que el índice de cosecha es el carácter más tolerante (TS/TC=0,96), tal como era de esperar del hecho de que sus funciones de respuesta fueran no significativas. El coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre el orden de tolerancia de los caracteres establecido en base a  $CE_{50}$



y a TS/TC es  $\rho = 0,94$ , que es significativo a  $P < 0,01$ . En definitiva, la ordenación de mayor a menor tolerancia para el año 1989 es:

Indice de cosecha > Peso de grano por espiga = Peso mil granos = Altura >  
Número de espigas > Biomasa = Rendimiento en grano

De las cuarenta funciones de respuesta establecidas en el año 1990, únicamente 28 fueron significativas para el carácter altura de planta. Para el resto de caracteres se obtuvieron al menos 36 funciones significativas (Tabla 2). Los errores estándar relativos de las estimas de  $CE_{50}$  variaron entre 13,6 p. 100 para el peso de mil granos y el 19,4 p. 100 para la altura. Teniendo en cuenta los valores medios de TS/TC (Tabla 4), el rendimiento en grano es el carácter más sensible, seguido de peso de mil granos y altura que tienen la misma tolerancia, y finalmente el peso específico. El orden de tolerancia establecido por la  $CE_{50}$  es muy similar.

Finalmente, los resultados obtenidos en 1991 indican que el rendimiento en grano es el carácter que presenta mayor número de funciones de respuesta significativas (28 de un total de 30), y con una estima de  $CE_{50}$  cuyo error estándar relativo es el más bajo de los tres caracteres analizados en dicho año. Tanto en base a TS/TC como a la  $CE_{50}$ , los resultados indican que el rendimiento en grano es el carácter más sensible a la salinidad, seguido de peso específico y altura.

Los resultados obtenidos para cada carácter en los distintos años experimentales son, en general, consistentes. Así, los coeficientes de variación (CV) de los valores medios de  $CE_{50}$  oscilan entre un máximo del 14 p. 100 para la biomasa aérea y el rendimiento en grano, y un mínimo del 8 p. 100 para el peso de grano por espiga, siendo el CV promedio para el conjunto de caracteres y años del 12 p. 100. Asimismo, los coeficientes de variación de los valores medios de TS/TC oscilan entre un máximo del 30 p. 100 para el rendimiento en grano y un 5 p. 100 para el número de granos por espiga, siendo el CV promedio para el conjunto de caracteres y años del 15 p. 100. Estos coeficientes de variación son perfectamente asumibles teniendo en cuenta las diferentes condiciones experimentales (Tabla 1) y la variabilidad climática interanual.

Asimismo, los resultados obtenidos en los cinco años experimentales indican que, con algunas excepciones puntuales, el orden relativo de tolerancia de los caracteres agronómicos estudiados es similar o muy parecido, tanto si la comparación se efectúa en base a la  $CE_{50}$  como si se efectúa en base a la relación TS/TC. Así, el coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre el orden de tolerancia establecido en base a los valores medios de  $CE_{50}$  y de TS/TC para los caracteres con valores significativos de ambos parámetros es  $\rho = 0,85$ , significativo a  $P < 0,01$ .

En definitiva, tanto la consistencia en la variabilidad interanual de los parámetros de tolerancia, como el hecho de que el orden de tolerancia relativo establecido por los mismos sea estadísticamente significativo, permite establecer un orden general de mayor a menor tolerancia a la salinidad. A efectos de síntesis, en el análisis de la varianza conjunto de los datos de todos los años, se ha integrado el número de espigas por hill-plot dentro de número de espigas por metro, ya que son conceptualmente el mismo carácter. Así, el orden resultante (Fig. 1) es:

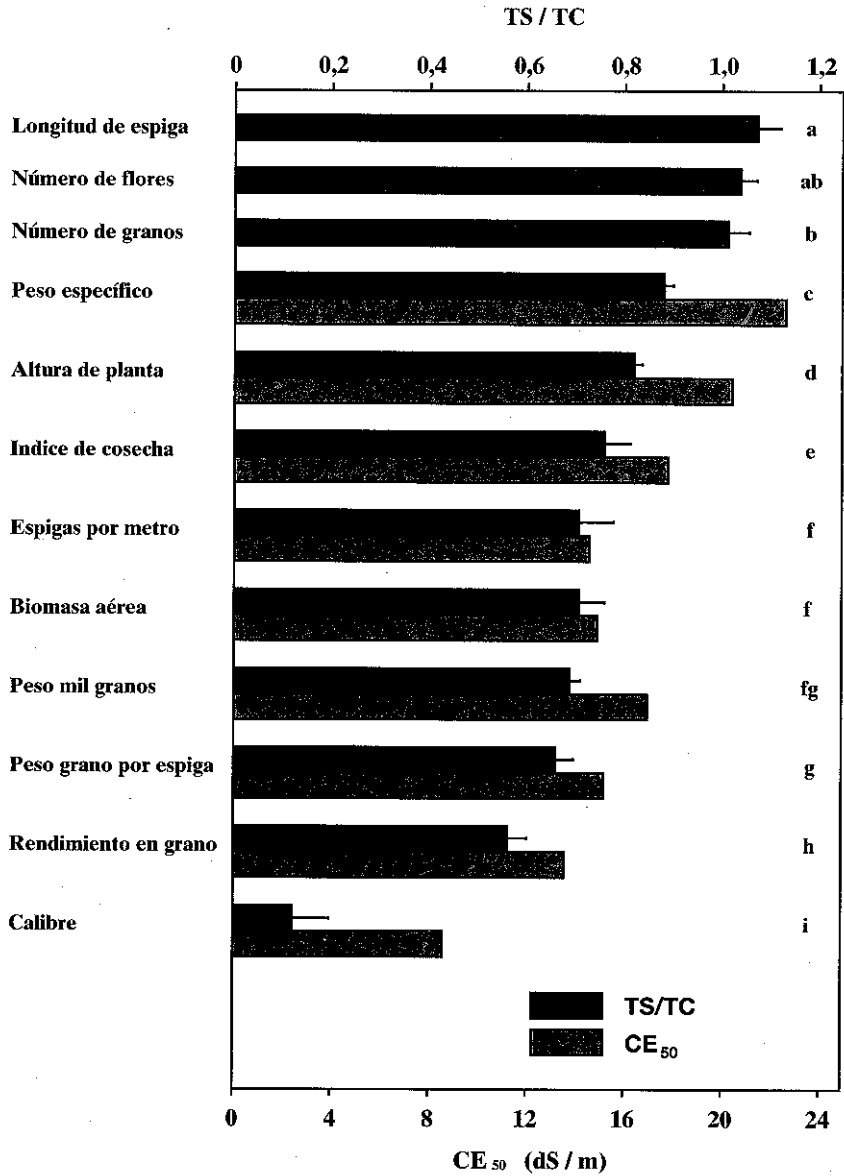


Fig. 1.—Tolerancia a la salinidad de doce caracteres agronómicos de la cebada: valores medios de TS/TC, con sus intervalos de confianza al 95 p. 100, y de CE<sub>50</sub>.

Caracteres con letras distintas indican tolerancias significativamente diferentes a  $P < 0,05$ .  
 Salinity tolerance of twelve agronomic characters in barley: mean values of TS/TC (where TS are the three most saline treatments and TC are the three least saline treatments or controls), with their 95 p. 100 confidence intervals, and of CE<sub>50</sub>.  
 Characters with different letters indicate tolerances significantly different at  $P < 0,05$ .

Longitud espiga  $\geq$  Número de flores por espiga  $\geq$  Número de granos por espiga >  
Peso específico del grano > Altura de la planta > Índice de cosecha > Espigas por  
metro = Biomasa aérea  $\geq$  Peso de mil granos = Peso de grano por espiga >  
Rendimiento en grano > Calibre

## DISCUSION

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten concluir que existe una tolerancia diferencial manifiesta entre algunos de los caracteres analizados, siendo relevante el hecho de que algunos de ellos son prácticamente insensibles a la salinidad.

Es interesante resaltar que, excepto en 1987, las tolerancias del rendimiento en grano y de la biomasa aérea no son significativamente diferentes ( $P < 0,01$ ), lo que coincide con los resultados obtenidos por Pal *et al.*, (1984), permitiendo concluir que la salinidad afecta por igual al crecimiento y a la producción. Esta conclusión no está en desacuerdo con los resultados obtenidos en otros cereales como trigo y centeno, pues si bien Francois *et al.*, (1986, 1989) afirman que la producción de paja es más sensible a la salinidad que el rendimiento en grano cuando se toma como parámetro de tolerancia la conductividad eléctrica umbral (CEu), dicha afirmación no es cierta si se utiliza el parámetro  $CE_{50}$ , pues con éste se obtienen tolerancias muy similares para grano y paja. Asimismo, Francois *et al.*, (1988) encontraron en triticale una mayor tolerancia en la producción de paja que en la de grano en base a la CEu, y una mayor tolerancia en la producción de grano que en la de paja en base a la  $CE_{50}$ , lo que sugiere que las tolerancias de ambos caracteres no se establecieron de forma consistente.

La disminución en el rendimiento de grano con la salinidad puede atribuirse al menor peso de los granos de la espiga y al menor número de espigas, en tanto que el número de granos por espiga se ve muy poco afectado (Fig. 1). En otros cereales los resultados no son concluyentes; así, mientras en triticale, la reducción del rendimiento en grano parece deberse más al menor número de espigas que al menor peso por espiga o al peso individual de grano (Francois *et al.*, 1988), en trigo (Francois *et al.*, 1986) y en centeno (Francois *et al.*, 1989) ocurre al contrario. Sin embargo, debe tenerse en cuenta el escaso número de cultivares utilizado en estos experimentos que cuestionan la generalización de sus resultados. Además, al comparar resultados de distintas experiencias debe tenerse en cuenta cómo y cuándo se establece el estrés salino. Así, Maas y Poss (1989) encontraron variaciones sustanciales en la respuesta a la salinidad de distintos caracteres del trigo según el estado de desarrollo en que se imponía el estrés.

El ciclo de un cereal es una sucesión ordenada de procesos, por lo que la salinidad puede tener un efecto significativo sobre el proceso que se esté desarrollando en el momento en que se impone dicho estrés, en tanto que otros procesos no se ven afectados por no existir estrés en el momento de su desarrollo (Francois, Maas, 1994). En los experimentos efectuados con la TLA, la salinidad se impone de forma permanente y creciente una vez establecido el cultivo, por lo que este estrés afecta a todas sus fases salvo a la de germinación-emergencia. En las primeras fases vegetativas en las que se produce la iniciación de primordios de

hoja y florales, puede reducirse tanto el número de tallos por planta como el de espiguillas por espiga; en la siguiente fase de ahijamiento y encañado la salinidad puede afectar a la supervivencia de los tallos y al número de flores por espiga. En la última fase, de floración y maduración, la salinidad afecta al cuajado y al peso del grano.

En este trabajo, la relación TS/TC para los caracteres longitud de la espiga, número de flores por espiga y número de granos por espiga se ha mantenido próxima a la unidad (Fig. 1), lo que implica que la tolerancia intrínseca de estos caracteres es muy elevada y/o que en la fase temprana en la que se determina la espiga y sus primordios florales el gradiente de salinidad establecido en el suelo no era todavía suficiente para diferenciar entre sí los tratamientos salinos (Royo, Aragües, 1991), por lo que se trataría de un escape más que de una elevada tolerancia. Sin embargo, el número de espigas por metro, cuya determinación es asimismo bastante temprana, se ha mostrado susceptible a la salinidad (TS/TC = 0,7), lo que sugiere que el escape no ha sido en este caso un mecanismo relevante.

El número de granos por espiga depende tanto del número de flores formadas como del cuajado de las mismas, proceso que tiene lugar en una fase muy posterior, por lo que puede concluirse indirectamente que la fecundación y el cuajado del fruto no son afectados por la salinidad. De los caracteres altura de planta, peso del grano por espiga, peso de mil granos y peso específico, cuya determinación se produce en las últimas fases del cultivo, el peso del grano por espiga es el más sensible, aunque sin diferencia significativa con el peso de mil granos. El hecho de que la altura de la planta se vea relativamente poco afectada por la salinidad, confirma de manera indirecta que la mayor disminución de la biomasa se debe fundamentalmente al menor número de hijuelos y, por lo tanto, de espigas. De esta observación se deduce una conclusión de gran interés práctico: la posibilidad de aumentar el rendimiento obtenido en una parcela salina a través de un incremento en la densidad de siembra respecto a la habitual en condiciones no salinas.

Finalmente, trabajando con diez cultivares de cebada en una parcela salina regada por inundación, Royo *et al.*, (1991c) encontraron el siguiente orden de tolerancia relativa de los caracteres estudiados:

$$\text{Peso específico} = \text{Peso de mil granos} = \text{Altura} = \text{Índice de cosecha} \geq \text{Número de espigas} = \text{Biomasa} > \text{Rendimiento}$$

Con la excepción del peso de mil granos, este orden es similar al presentado en la Figura 1 para dichos caracteres, lo que sugiere que los resultados obtenidos con la triple línea de aspersión son extrapolables a condiciones reales de campo.

Desde el punto de vista de la mejora genética de la cebada para zonas salinas, puesto que el índice de cosecha no se ve afectado por la salinidad (sólo se mostró algo sensible un año en el que existieron otro tipo de problemas) sería de interés aumentar el rendimiento a través de un aumento de la biomasa aérea; esto es, a través de la obtención de plantas más altas y con mayor número de hojas por tallo. Por el contrario, el incremento de la capacidad de ahijamiento no parece un objetivo de mejora relevante, ya que es un carácter muy dependiente del ambiente y, además, puede obtenerse el mismo resultado a través del incremento, ya mencionado, en la densidad de siembra.

## AGRADECIMIENTOS

A J. Gaudó, M. Izquierdo, T. Molina y D. Naval por su eficaz ayuda en los trabajos de campo y laboratorio. Este trabajo se ha desarrollado gracias a la financiación del CONAI-DGA, del INIA y de la Unión Europea (Programa STD).

## SUMMARY

### Effect of salinity on various morpho-physiological characters and grain yield in barley

The salinity tolerance of the agronomic characters and yield components in barley (*Hordeum vulgare* L.) is not well established, despite of the fact that such knowledge is important for crop breeding and for the design of agronomic practices aimed at the profitable use of salt-affected soils.

This work presents the salinity response of grain yield and of eleven agronomic characters in barley obtained in experiments performed under controlled field conditions for five years and with a total of 114 cultivars.

Our results conclude that the spike length, the number of flowers, the number of grains per spike and the grain specific weight are the most tolerant characters, whereas the grain size, the grain yield and the grain weight per spike are the most sensitive characters.

The implications of these results are discussed from the point of view of crop breeding and of agronomic practices.

**KEY WORDS:** Salinity  
Barley  
*Hordeum vulgare*  
Grain yield  
Yield components  
Agronomical characters

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARAGÜES R., ROYO A., FACI J., 1992. Evaluation of a triple line source sprinkler system for salinity crop production studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 377-383.
- ARAGÜES R., ROYO A., GRATTAN S., 1994. Foliar uptake of sodium and chloride in barley sprinkler-irrigated with saline water: effect of preirrigation with fresh water. *Eur. J. Agron.*, 3, 9-16.
- BOLE J. B., WELLS S. A., 1979. Dryland soil salinity: effect on the yield and yield components of 6-row barley, 2-row barley, wheat, and oats. *Can. J. Soil Sci.*, 59, 11-17.
- DUTT S. K., 1988. Soil salinity effects on the process of grain filling in barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties. *Indian J. Plant Physiol.*, 31, 222-227.
- FRANCOIS L. E., MAAS E. V., 1994. Crop response and management in salt-affected soils. En: *Handbook of Plant and crop stress*. 149-181. Mohammad Pessaraki (Ed.). Nueva York, USA.
- FRANCOIS L. E., DONOVAN T. J., LORENZ K., MAAS E. V., 1989. Salinity effects on rye grain yield, quality, vegetative growth, and emergence. *Agron. J.*, 81, 707-712.
- FRANCOIS L. E., DONOVAN T. J., MAAS E. V., RUBENTHALER G. L., 1988. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of Triticale. *Agron. J.*, 80, 642-647.
- FRANCOIS L. E., MAAS E. V., DONOVAN T. J., YOUNGS V. L., 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agron. J.*, 78, 1053-1058.
- KERMAN W. M., QUALSET C. O., 1991. Breeding for salinity-stressed environments: Recombinant inbred wheat lines under saline irrigation. *Crop Sci.*, 31, 1436-1442.
- MASS E. V., POSS J. A., 1989. Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrig. Sci.*, 10, 29-40.
- PAL B., SINGH C., SINGH H., 1984. Barley yield under saline water cultivation. *Plant soil*, 81, 221-228.

- ROYO A., ARAGÜES R., 1991. Descripción y evaluación de una triple fuente lineal de aspersión para el estudio de la respuesta de los cultivos a la salinidad. II: Salinidad del suelo. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol. 6: 217-228.
- ROYO A., ARAGÜES R., 1993. Validation of salinity crop production functions obtained with the triple line source sprinkler system. Agron. J., 85, 795-800.
- ROYO A., ARAGÜES R., FACI J., 1991. Descripción y evaluación de una triple fuente lineal de aspersión para el estudio de la respuesta de los cultivos a la salinidad. I. Agua de riego. Invest. Agr.: Prod. Prot. veg. Vol. 6, 199-215.
- ROYO A., ARAGÜES R., QUILEZ D., 1991. Descripción y evaluación de cuatro modelos de respuesta de cultivares de cebada a la salinidad. Invest. Agr.: Prod. Prot. veg. Vol. 6, 319-330.
- ROYO A., ARAGÜES R., SUSIN V., 1991. Respuesta en campo de cultivares de cebada a la salinidad del suelo medida «in situ» por técnicas electrométricas. Invest. Agr.: Prod. Prot. veg. Vol. 6, 229-240.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1028 pp.
- VAN GENUCHTEN M. T., 1983. Analyzing crop salt tolerance data: model description and user's manual. U.S.D.A. Agricultural Research Service. U.S. Salinity Laboratory, Research Report N.º 120, 50 p.