

EFFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE LA PRODUCCION Y SUS COMPONENTES EN
CEBADA

A. Royo Serred (P), R. Aragüés, R. Isla

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

INTRODUCCION

La cebada es una especie bien adaptada a las regiones áridas y semiáridas y se caracteriza por ser uno de los cultivos más tolerantes a la salinidad (Francois y Maas, 1994). Por ello, es un cultivo de referencia para los secanos más áridos y para las zonas de regadío afectadas seriamente por salinidad.

El incremento del rendimiento de este cultivo bajo condiciones salinas puede conseguirse adoptando técnicas agronómicas especialmente diseñadas para dichas condiciones de estrés y mediante la obtención, a través de la mejora genética, de variedades más tolerantes. Ambas estrategias requieren profundizar en el análisis del efecto de la salinidad sobre la producción de biomasa y de grano, así como sobre los principales componentes de la producción.

La respuesta a la salinidad de la producción en grano de los cereales está bien documentada (Francois y Maas, 1994), pero la respuesta de los distintos componentes de la producción es más escasa y contradictoria. Bole y Wells (1978) encontraron diferencias notables en la producción y sus componentes entre cebadas de dos y seis carreras sometidas a condiciones salinas, siendo más tolerantes las de seis carreras, cuyo número de espigas por hectárea era sensiblemente menos afectado por la salinidad que el de las cebadas de dos carreras. Dutt (1988) analizó la respuesta a la salinidad de cuatro cultivares de cebada, concluyendo que el descenso del rendimiento en grano estaba más ligado al descenso en el peso individual de grano ("peso de mil granos"), que al número de granos por espiga que era un componente de significación menor. Por el contrario, Francois et al. (1988) concluyeron que, en triticale, el descenso en producción de grano bajo condiciones salinas era debido fundamentalmente a una disminución en el número de espigas por unidad de superficie, en tanto que el peso de grano por espiga y el peso de mil granos eran componentes menos afectados. Si esta conclusión fuera generalizable, el aumento de la densidad de siembra bajo condiciones salinas podría ser

una estrategia recomendable, ya que permitiría incrementar el número de plantas y espigas por unidad de superficie y, por lo tanto, el rendimiento final en grano. Sin embargo, Francois et al. (1986) concluyeron que, en trigo blando, el número de espigas por unidad de superficie no se veía afectado por la salinidad, en tanto que el peso de grano por espiga era el carácter más afectado. Finalmente, Kelman y Qualset (1991) establecieron el siguiente orden de mayor a menor tolerancia relativa a la salinidad en trigos blandos: índice de cosecha, peso de mil granos, producción de grano, altura, número de plantas por unidad de superficie, biomasa.

En definitiva, estos resultados indican que la tolerancia a la salinidad de los componentes de la producción en cereales no está establecida de forma sólida. La inconsistencia de estos resultados puede deberse a las distintas condiciones experimentales de estos trabajos, a los diferentes gradientes salinos utilizados y, en particular, al escaso número de tratamientos salinos impuestos en los mismos. Ello limita considerablemente la precisión de la tolerancia estimada a partir de estos trabajos y, por lo tanto, impide establecer un orden consistente de susceptibilidad de los componentes de la producción al estrés salino.

En este trabajo se han establecido, para diez cultivares de cebada, las funciones de respuesta a la salinidad del rendimiento en grano y de los siguientes componentes o caracteres de la producción: biomasa aérea, índice de cosecha, peso de grano por espiga, peso de mil granos, peso específico, número de flores por espiga y número de granos por espiga. Dichas funciones de respuesta se han ajustado con los resultados obtenidos en diez tratamientos salinos establecidos por medio de la triple línea de aspersión (Royo et al., 1987). Este elevado número de observaciones permite estimar de forma precisa la CE_{50} , o salinidad para la que se obtiene un 50% de descenso en la variable estudiada, que es el parámetro de tolerancia más adecuado (Royo et al. 1991a). A partir de estos valores de CE_{50} , se ha establecido el orden relativo de tolerancia de dichos componentes de la producción, que es el objetivo último de este trabajo.

MATERIAL Y METODOS

El ensayo se realizó en una parcela de regadío en la finca del S.I.A. en Montañana (Zaragoza), en la que se instaló un sistema de triple fuente lineal de aspersión (TLA) (Royo et al., 1987). Este dispositivo (Figura 1) establece un gradiente salino en el agua de riego y en el suelo que se utiliza para el análisis de la respuesta de los cultivos a la salinidad (Aragüés et al., 1992).

Dicha parcela había sido utilizada en años anteriores en experimentos similares, por lo que tenía una cierta salinidad residual en el suelo. Por ello, antes de la siembra se efectuaron varios riegos ligeros con agua dulce (< 2 dS/m) al objeto de lavar las sales de la cama de siembra y obtener una nascencia óptima y uniforme.

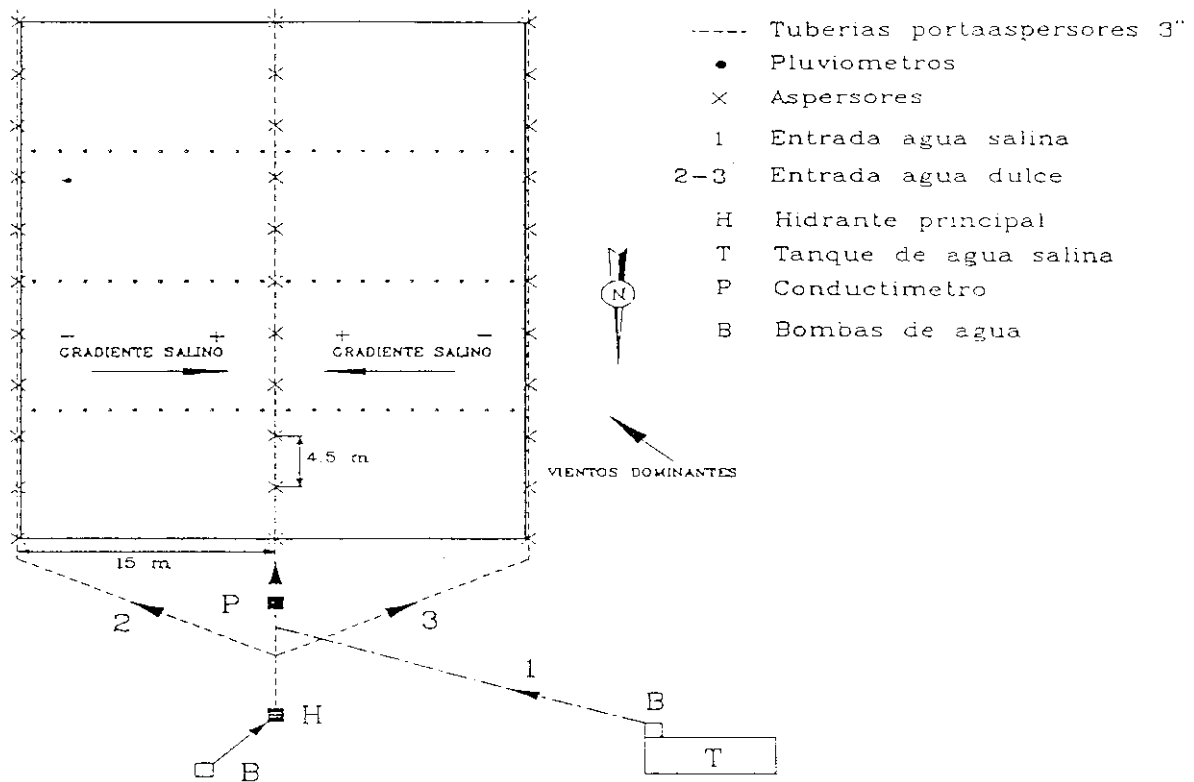


Figura 1.- Esquema del dispositivo de Triple fuente lineal de aspersión.

Para cada uno de los diez cultivares de cebada analizados (Tabla 1), se sembraron, paralelamente a las líneas de aspersión, diez parcelas compuestas por 2 surcos de 1.2 m de longitud separados unos 24 cm entre sí. La siembra se realizó el 21 de noviembre de 1991 con una densidad de 225 semillas/m².

El agua salina suministrada a la línea central de aspersión se preparaba en un tanque mediante la mezcla de NaCl y CaCl₂ (1:1 en peso). Los riegos salinos se iniciaron el 21 de Enero de 1992, una vez que el cultivo estuvo bien establecido y en estado de tres hojas. Se aplicaron un total de 29 riegos con una frecuencia de 2-3 riegos por semana y con una duración de unos 35 minutos por riego. Los tres minutos iniciales y finales de cada riego fueron con agua dulce al objeto de minimizar la absorción iónica foliar (Aragüés et al., 1994). Al final de cada riego, se midió el volumen y CE del agua recogida en diez pluviómetros instalados en el centro de cada una de las diez parcelas experimentales.

La salinidad del suelo se midió periódicamente con un sensor electromagnético portátil (SEM; Geonics EM-38) en cada tratamiento salino. La CE (CEe, dS/m a 25°C) del

extracto saturado del suelo (0-50 cm de profundidad) se estimó a partir de la CE media ponderada por el tiempo (CEsem, dS/m a 25°C) de dichas lecturas del SEM y de la correspondiente ecuación de calibración:

$$CEe = -4.6 + 8.19 CEsem; r = 0.91^{**}; n = 17$$

La recolección se realizó el 1 de julio de 1992. La biomasa aérea y el índice de cosecha se determinaron en el conjunto de plantas segadas a ras del suelo en una longitud de 25 cm, en los dos surcos de cada tratamiento y cultivar. Del fajo segado se tomaron 20 espigas sobre las que se determinaron el número de flores y de granos por espiga y el peso de grano por espiga. Finalmente, el rendimiento en grano, el peso de mil granos y el peso específico se determinaron a partir del cosechado completo de cada parcela.

Para cada uno de los diez cultivares de cebada, se calcularon las funciones de respuesta a la salinidad del suelo (CEe) de estos caracteres, mediante el modelo curvilíneo (opción 12 del programa SALT de van Genuchten, 1983) definido por la ecuación:

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

en la que:

- Y = Valor del carácter estudiado.
 Y_m = Valor del carácter en condiciones no salinas.
 CEe = Conductividad eléctrica media del extracto saturado del suelo (0-50 cm), deducida del promedio de siete lecturas periódicas del SEM y de la ecuación de calibración.
 CEe₅₀ = CEe que produce un 50% de disminución del valor de Y_m.
 p = Constante empírica.

El nivel de tolerancia a la salinidad de la producción y de sus componentes se ha establecido a partir de los valores de CEe₅₀ estimados por el modelo. La comparación entre cultivares se ha efectuado a partir del análisis de sus intervalos de confianza al 95%.

Las funciones de respuesta a la salinidad del peso específico (PE) no se han podido calcular por este procedimiento, ya que este carácter solo se midió en los cinco o seis tratamientos menos salinos, en los que se dispuso de suficiente grano para efectuar dicha medida. Para este carácter, el índice de tolerancia se ha establecido a partir de la relación PE (tratamiento 5) / PE (tratamiento 1 o control).

RESULTADOS Y DISCUSION

El gradiente de CEE impuesto en la TLA ha alcanzado unos valores mínimos de 2.8 dS/m y máximos de 15.6 dS/m, adecuados para establecer las funciones de respuesta de los caracteres estudiados. El ajuste del modelo a las observaciones ha sido en general muy elevado, tal como indican los coeficientes de correlación entre los valores observados y los estimados por el modelo. Así, los valores medios de estos coeficientes para los diez cultivares de cebada han sido superiores a 0.90 (significativos a $P < 0.01$) para todos los caracteres analizados excepto para el índice de cosecha (IC), donde solo se han obtenido cuatro funciones significativas en los cultivares Barbarrosa, Begoña, Mogador y Viva. Esta falta de ajuste es debida a que el IC es un carácter que disminuye muy poco con el incremento de la salinidad. Así, la CEE₅₀ media de los cuatro cultivares con ajuste significativo es de 17.3 dS/m, muy superior -como se detalla más adelante- a las CEE₅₀ estimadas para el resto de caracteres, siendo el valor mínimo para este carácter de 14.0 dS/m, lo que permite concluir que el índice de cosecha es el carácter más tolerante a la salinidad de todos los evaluados en este trabajo.

En cuanto a la estimación de la tolerancia del peso específico (PE) mediante la relación PE (trat. 5)/PE (trat. 1), se ha obtenido un valor medio para los diez cultivares de 0.97, que es ligeramente superior al valor de 0.92 deducido para el peso de mil granos, y muy superior a los valores de 0.49 y de 0.43 deducidos, respectivamente, para la producción de grano y para la biomasa aérea.

Para el resto de caracteres analizados, las Tablas 1 y 2 presentan los valores estimados de CEE₅₀, junto con sus correspondientes errores estándar. Los bajos errores estándar obtenidos indican que la precisión de las estimas de CEE₅₀ es en general elevada, especialmente para la producción de grano, donde el error estándar medio de los diez cultivares analizados es de 0.33 dS/m.

Para la producción de grano, se ha estimado un valor medio de CEE₅₀ de 7.9 dS/m, muy inferior al valor de 18 dS/m comúnmente aceptado en la literatura para la cebada (Francois y Maas, 1994). Esta diferencia puede deberse a diversas causas, entre las que cabe mencionar: (1) la ecuación de calibración utilizada para estimar la CEE a partir de CEsem, que puede subestimar dicha estima en los casos, como el de la TLA, donde la salinidad disminuye con la profundidad, ya que el SEM no responde linealmente a la salinidad del suelo, asunción efectuada en este trabajo a efectos de simplificación, y (2) el posible efecto tóxico de la absorción foliar de sales que puede conducir a una mayor sensibilidad del cultivo para una salinidad dada del suelo. De cualquier forma, estos aspectos no deben afectar de forma relevante al establecimiento del orden de tolerancia relativo de los componentes de la producción, que es el objetivo último de este trabajo.

Tabla 1. Valores de $CE_{e_{50}} \pm$ error estándar (dS/m) de los caracteres producción de grano, biomasa y peso de mil granos de diez cultivares de cebada.

Cultivar	Producción de grano	Biomasa	Peso de mil granos
ALBACETE	8.7 ± 0.5 bc*	5.9 ± 1.9 ab	15.5 ± 1.3 b
ALPHA	7.4 ± 0.3 abc	7.0 ± 0.7 ab	13.6 ± 1.1 ab
BARBARROSA	7.9 ± 0.2 bc	8.7 ± 0.3 b	12.5 ± 0.3 ab
BEGOÑA	8.1 ± 0.2 bc	5.6 ± 0.2 a	10.6 ± 0.6 a
CRITER	8.4 ± 0.2 c	6.7 ± 0.7 ab	14.6 ± 1.0 b
MOGADOR	5.8 ± 0.4 a	4.7 ± 0.8 a	12.3 ± 1.6 ab
REINETTE	9.1 ± 0.3 c	8.5 ± 0.3 b	12.1 ± 0.2 ab
STEPTOE	7.9 ± 0.5 bc	8.0 ± 2.6 ab	12.2 ± 0.4 ab
TATIANA	7.4 ± 0.1 b	6.5 ± 0.7 ab	11.0 ± 0.4 a
VIVA	8.6 ± 0.6 bc	8.0 ± 1.1 ab	13.8 ± 0.7 b

* Para cada carácter agronómico, cultivares seguidos de letras distintas indican que las CE_{50} son estadísticamente diferentes al 95%

La variabilidad de tolerancia encontrada entre cultivares es muy escasa (Tablas 1 y 2), excepto para el carácter producción de grano en el que pueden identificarse hasta tres grupos estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) entre sí.

En base a esta escasa variabilidad de tolerancia entre los diez cultivares de cebada analizados, y al objeto de establecer un orden general de tolerancia relativa entre los caracteres estudiados, la Figura 2 presenta, para cada carácter agronómico y el conjunto de los diez cultivares, los valores medios de $CE_{e_{50}}$ y sus correspondientes intervalos de confianza. A efectos de síntesis, en esta figura se han incluido asimismo los caracteres índice de cosecha y peso específico con el orden de tolerancia relativa establecido con anterioridad, aunque en ambos casos es evidente que los valores de $CE_{e_{50}}$ que se les atribuyen en la Figura deben considerarse únicamente desde un punto de vista cualitativo. De la Figura 2 se concluye que el orden relativo de tolerancia de los caracteres analizados en este trabajo es el siguiente:

Índice de cosecha > N° granos por espiga = N° flores por espiga = Peso específico = Peso de mil granos > Peso de grano por espiga > rendimiento en grano (peso de grano por unidad de superficie) = biomasa aérea

Tabla 2. Valores de $CE_{50} \pm$ error estándar (dS/m) de los caracteres flores por espiga, granos por espiga y peso de grano por espiga de diez cultivares de cebada.

Cultivar	Flores/espiga	Granos/espiga	Peso/espiga
ALBACETE	13.7 ± 0.6 a	13.4 ± 0.6 b	12.1 ± 0.5 b
ALPHA	17.8 ± 2.6 a	16.6 ± 2.1 ab	11.5 ± 1.1 ab
BARBARROSA	16.8 ± 4.0 a	16.3 ± 5.0 ab	11.5 ± 0.5 ab
BEGOÑA	15.5 ± 1.6 a	15.0 ± 1.6 ab	9.2 ± 0.7 a
CRITER	12.0 ± 0.9 a	11.5 ± 1.0 ab	10.2 ± 0.6 ab
MOGADOR	14.5 ± 1.5 a	13.9 ± 1.5 ab	8.2 ± 2.8 ab
REINETTE	12.4 ± 0.4 a	12.3 ± 0.3 ab	10.8 ± 0.2 ab
STEPTOE	12.2 ± 0.2 a	11.9 ± 0.3 ab	10.9 ± 0.4 ab
TATIANA	11.5 ± 0.4 a	11.3 ± 0.2 a	9.8 ± 0.7 ab
VIVA	13.5 ± 0.6 a	13.4 ± 0.7 ab	11.5 ± 0.6 ab

*Para cada carácter agronómico, cultivares seguidos de letras distintas indican que las CE_{50} son estadísticamente diferentes al 95%

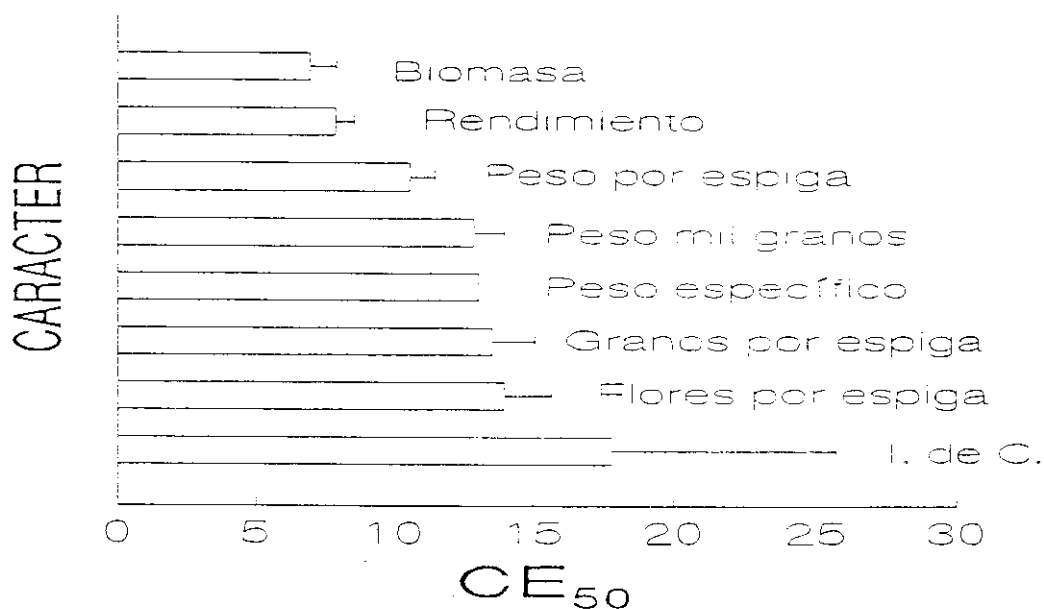


Figura 2. Valores de CE_{50} e intervalos de confianza al 95% de ocho caracteres agronómicos deducidos de un conjunto de diez cultivares de cebada, (excepto I. de C. con cuatro cultivares).

Los resultados obtenidos en este trabajo coinciden básicamente con trabajos anteriores efectuados en condiciones controladas (Royo, 1989) y en condiciones salinas naturales de regadío (Royo et al., 1991b), lo que permite concluir que el orden de tolerancia relativa de estos caracteres y componentes de la producción esta bien fundamentado.

CONCLUSIONES

Se ha encontrado una mayor sensibilidad a la salinidad de caracteres como el rendimiento en grano o la biomasa y -en menor medida- el peso de grano por espiga, y la mayor tolerancia de otros caracteres como el número de granos por espiga, el peso de mil granos y el peso específico.

La baja sensibilidad a la salinidad del número de granos por espiga y del peso individual de grano es una indicación indirecta de que el número de espigas por unidad de superficie es relativamente sensible a la salinidad, ya que el rendimiento en grano -carácter muy sensible- es la resultante de estos tres componentes. Si se considera que el rendimiento puede expresarse también como producto del número de espigas por el peso de grano por espiga, carácter menos sensible que el rendimiento, se confirma la sensibilidad del número de espigas por unidad de superficie. Por ello, la utilización de densidades de siembra superiores a las recomendadas para condiciones no salinas puede ser una técnica agronómica recomendable para aumentar los rendimientos en condiciones salinas.

Finalmente, los esfuerzos en mejora genética deberían dedicarse a caracteres poco modificables por la salinidad, como el número de granos por espiga, el peso de mil granos o el peso específico, ya que su mejora es menos complicada y los logros que puedan obtenerse serán utilizables en cualquier situación.

BIBLIOGRAFIA

- 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(1): 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 (Edt.). Nueva York. USA.
- 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 yields and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. Agron. J. 78: 1053-1058
- KELMAN, W.M., QUALSET, C.O. 1991. Breeding for salinity-stressed environments: Recombinant inbred wheat lines under saline irrigation. Crop Sci. 31: 1436-1442
- ROYO, A. 1989. Análisis de la tolerancia a la salinidad de cultivares de cebada. Tesis Doctoral. ETSIA. Lérida. 433 pp.
- 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. 6(3):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. 6(2):229-240.
- ROYO, A., FACI, J., ARAGÜES, R. 1987. Utilización de la Triple Línea de Aspersión para evaluar la respuesta de los cultivos a la salinidad. Riegos y Drenajes XXI, 17: 48-54.
- 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° 120, 50p.