

EFFECTO DE LA SALINIDAD SOBRE EL POTENCIAL OSMOTICO Y CONCENTRACION IONICA FOLIAR EN CEREALES DE LA TRIBU TRITICEAE

R. Isla(P), A. Royo y R. Aragüés

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

INTRODUCCION

La salinidad de los suelos es un factor negativo para la producción de los cultivos en unas 320.000 ha de regadíos del Valle del Ebro (Alberto et al., 1983). Este problema, común a muchas áreas de regadío de zonas áridas y semiáridas de nuestro planeta, ha conducido al establecimiento de programas de mejora para el aumento de la tolerancia a salinidad en especies como trigo, cebada y arroz.

En la última década, algunos grupos (Forster et al., 1988; Suayda et al., 1992) han tratado de incrementar la tolerancia a la salinidad del trigo y la cebada mediante la introgresión de caracteres tales como la exclusión iónica o la mayor discriminación iónica K/Na que, supuestamente, confieren tolerancia a especies silvestres tales como *Tinophyrum besssarabicum*, *Hordeum jubatum* y *H. chilense* emparentadas con estos cultivos. Aunque algunos resultados obtenidos en estos trabajos son prometedores, debe recalcar que los mismos han sido efectuados en soluciones nutritivas bajo invernadero o cámaras de cultivo, por lo que dichos resultados deben todavía verificarse en condiciones reales de campo.

En este trabajo se ha analizado la respuesta a la salinidad en condiciones controladas de campo de materiales pertenecientes a la tribu Triticeae. El hecho de que estos materiales pertenezcan a la misma familia y sean bastante próximos genéticamente hace que puedan ser cruzados y puedan transferirse ciertos caracteres de unas especies a otras.

En un trabajo anterior (Isla y Royo, 1993) se presentaron los resultados de tolerancia a la salinidad del rendimiento en grano de estos materiales. En este trabajo se establece el efecto de la salinidad sobre el potencial osmótico y contenido de cloruros en hoja de estos materiales y se analizan las posibles relaciones entre tolerancia a salinidad y exclusión iónica foliar.

MATERIAL Y METODOS

El ensayo se realizó en la campaña 1991-1992, en una parcela de la finca del Servicio de Investigación Agraria (Montañana, Zaragoza) cuyo suelo es un *Typic Xerofluvent* de textura franco-arcillosa. El gradiente de salinidad del suelo se estableció por medio de una Triple Fuente Lineal de Aspersión (TLA) (Royo et al., 1987). La salinidad del suelo se midió con un sensor electromagnético (SEM) portátil, GEONICS EM-38, en 10 fechas a lo largo del ciclo del cultivo. La CEsem puede sustituir a la medida clásica de salinidad basada en el extracto saturado (CEe), dada la estrecha correlación ($CEe = 9.65 CEsem - 5.89$, $r = 0.83^{**}$, $n = 20$) establecida entre ambas variables. La media de las 10 lecturas a lo largo de la campaña en cada uno de los tratamientos y para cada material se utilizó para caracterizar el nivel salino de cada parcela elemental.

La Tabla 1 presenta las características más relevantes del ensayo. En cada uno de los riegos se aplicó un pre y post riego de 3 min. con agua dulce al objeto de minimizar la absorción iónica foliar (Aragüés et al., 1994).

Los ocho materiales vegetales analizados han sido: dos cebadas (*Hordeum vulgare* L.) cv. Albacete y cv. CM-67; un trigo hexaploide (*Triticum aestivum* L.) cv. Anza; un trigo tetraploide (*Triticum durum* Desf.) cv. Antón; tres tritórdeos (*Tritordeum*), anfiploides resultantes del cruce de una cebada silvestre (*Hordeum chilense* Roem & Schult.) originaria del Sur de América, con trigo tetraploide (designados Tritórdeo 1 y Tritórdeo 2) y con trigo hexaploide (Tritórdeo 3); un tritopyro (denominado CS*BESS) anfiploide resultante del cruce de un trigo hexaploide (*T. aestivum* L., cv. Chinese Spring) con un halofito silvestre (*Thinopyrum bessarabicum*) emparentado con el trigo, siguiendo la nomenclatura establecida por Dewey (1984) para las perennes de la Tribu Triticeae. Los Tritórdeos proceden del Departamento de Genética de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Córdoba y el CS*BESS de la Universidad de North Wales, Bangor (UK).

Para cada material se sembraron dos tipos de parcelas: parcelas de muestreo, en las que se llevaron a cabo todos los muestreos destructivos, y parcelas de producción, en las que al final del ensayo se midió la producción de grano. Para cada material y tipo de parcela se establecieron 9 tratamientos salinos y un control no salino, siendo las parcelas elementales de 6 surcos de 1.2 m de longitud, separados 0.24 m entre sí. La densidad de siembra fue de 270 pl/m^2 para todos los materiales.

Las hojas 4^a, 6^a y bandera se muestrearon cuando se encontraban completamente expandidas. Los muestreos se realizaron a primera hora de la mañana, cuando las hojas se encontraban más hidratadas. Se efectuaron cinco repeticiones por material y tratamiento. En el campo, las hojas se introdujeron en bolsas de plástico y se almacenaron en una nevera portátil. Una vez en el laboratorio, las hojas se lavaron sumergiéndolas durante 15-20 s. en agua destilada, se secaron con papel de filtro y se introdujeron en jeringas de plástico que disponen de un filtro de lana de vidrio. Las jeringas se introdujeron en congelador al objeto de romper las membranas celulares, se descongelaron a temperatura ambiente y se procedió a la extracción de la savia por presión manual sobre las jeringas. En los tres muestreos se analizó el potencial osmótico de la savia en un osmómetro Wescor-5500. En el tercer muestreo, se analizó asimismo el contenido de cloruros en las hojas bandera mediante la valoración potenciométrica en un clorurómetro Buchler (Cotlove, 1963).

Al final de la campaña se midió el rendimiento en grano de los distintos materiales en los diez tratamientos mediante la recolección mecanizada de las parcelas de producción y el pesado del grano seco en una balanza.

Tabla 1. Características principales del ensayo

Fecha de siembra: 21/11/91 ; Fecha de recolección : 30/06/92
Primer riego salino: 15/01 ; Ultimo riego salino: 01/06
Nº total de riegos: 29
Duración media de cada riego: 35.5 minutos
Dosis media de agua aplicada en cada riego: 12 mm.
Volumen total aplicado de agua: 347 mm.
Volumen de agua de lluvia (siembra-cosecha): 80 mm.
Gradiente de salinidad (CE) del agua aplicada:
Parcelas de muestreo: 3.2 a 12.8 dS/m
Parcelas de producción: 2.6 a 12.6 dS/m

RESULTADOS Y DISCUSION

Potencial osmótico

El efecto de la salinidad sobre el potencial osmótico de la savia se presenta en la Tabla 2, en la que se han representado, para cada material y fecha de muestreo, las regresiones lineales significativas de la osmolalidad en función de la salinidad media (CEsem) de cada parcela. Puede observarse que en el muestreo 1 el potencial osmótico

de la hoja es, excepto en Albacete y Tritordeo 1, independiente de la salinidad, mientras que en los dos muestreos subsiguientes la acumulación de solutos aumenta en general con la salinidad. Asimismo, se observa que únicamente en el muestreo 2 se encuentran diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las pendientes de estas regresiones. En el muestreo 3 el trigo duro Antón es el único con pendiente diferente y más elevada que la del resto de materiales. Según Wyn Jones y Gorham (1986), la mayor tasa de acumulación de solutos en el trigo duro es debida a una falta de control en la absorción de iones tóxicos como el sodio y el cloruro.

Para la interpretación de estos resultados hay que tener en cuenta que, aunque las muestras de hoja se tomaron a primera hora de la mañana (esto es, cuando su grado de hidratación es mayor), las mismas no se llevaron a completa turgencia, por lo que el grado de hidratación celular no es el mismo en cada material. Por ello, un mayor potencial osmótico no implica necesariamente un mayor ajuste osmótico, ya que puede asimismo indicar una mayor deshidratación celular. Aunque el potencial osmótico integra tanto los solutos inorgánicos como los orgánicos, algunos autores como Weimberg (1987) señalan que no hay diferencias entre trigos duros y blandos en el patrón de acumulación de solutos orgánicos (como azúcares y betaínas) en condiciones salinas, y que dichos solutos aumentan de forma lineal con la salinidad, con lo que las diferencias en potencial osmótico estarían relacionadas con diferencias en exclusión iónica. Nuestros resultados coinciden con esta conclusión y sugieren que los incrementos del potencial osmótico están asociados a un incremento de iones, tal como se deduce de la correlación ($r = 0.77$, significativa a $P < 0.05$) obtenida en el tercer muestreo entre el potencial osmótico y la concentración de cloruros en hoja bandera.

Cabe por lo tanto concluir que la tasa de acumulación de solutos, expresada por las pendientes presentadas en la Tabla 2, está relacionada con la capacidad de exclusión iónica de los distintos materiales analizados. Si la tolerancia a la salinidad está fundamentalmente relacionada con la capacidad de exclusión iónica, debería obtenerse una correlación significativa entre ambas variables; esto es, el ranking de los materiales establecido en base a su tolerancia a la salinidad, definida por la CE_{50} o salinidad a la que el rendimiento desciende un 50%, debería ser similar al ranking establecido en base a las pendientes presentadas en la Tabla 2. Los resultados obtenidos muestran sin embargo, que en el caso del muestreo 2, único en el que aparecen diferencias significativas entre materiales, el coeficiente de correlación de Spearman es de 0.62 ($P > 0.05$). Esta falta de relación puede ser debida en parte a la absorción iónica foliar, que este enmascarando las diferencias en exclusión iónica radicular entre los distintos materiales.

Tabla 2.- Regresiones lineales de la osmolalidad de la savia frente a la conductividad eléctrica del suelo (CEsem en dS/m a 25°C, valores medios de la campaña). Para cada muestreo, pendientes seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Material	Osmolalidad (mosm/Kg) Osm = a + b CEsem (dS/m)		R ²	valor control (T1) (mosm/Kg)
	a	b		
<u>MUESTREO 1: (4ª hoja)</u>				
Albacete	217.5	357.6 a	72.6	719.2
CM-67	-	(ns)	-	619.8
Anza	-	(ns)	-	693.2
Antón	-	(ns)	-	574.2
Tritórdeo 1	241.1	376.1 a	84.2	752.2
Tritórdeo 2	-	(ns)	-	604.0
Tritórdeo 3	-	(ns)	-	794.4
CS*BESS	-	(ns)	-	760.2
<u>MUESTREO 2: (6ª hoja)</u>				
Albacete	-	(ns)	-	582.0
CM-67	450.5	135.1 a	59.0	606.2
Anza	243.1	296.3 bc	66.0	582.0
Antón	54.1	419.4 cd	90.1	529.8
Tritórdeo 1	227.4	303.0 bc	58.8	632.2
Tritórdeo 2	-191.9	511.3 d	87.0	483.4
Tritórdeo 3	-	(ns)	-	749.4
CS*BESS	258.6	284.7 b	68.3	666.0
<u>MUESTREO 3: (hoja bandera)</u>				
Albacete	-304.2	405.8 a	68.1	302.2
CM-67	81.3	451.8 a	56.4	677.8
Anza	-	(ns)	-	1029.4
Antón	426.4	957.3 b	99.4	1179.4
Tritórdeo 1	180.9	428.8 a	65.8	665.6
Tritórdeo 2	-	(ns)	-	665.6
Tritórdeo 3	185.2	365.9 a	54.4	625.0
CS*BESS	260.0	352.1 a	91.0	697.0

Cloruros

La Figura 1 presenta, para cada uno de los materiales, la relación entre la concentración de cloruros en la savia extraída de la hoja bandera y la salinidad del suelo, junto con las correspondientes regresiones lineales significativas. La cebada Albacete, el tritórdeo 3 y el CS*BESS son los materiales que presentan una menor pendiente o tasa de acumulación de cloruros en hoja, siendo dichas pendientes no significativamente diferentes ($P > 0.05$) entre sí. La cebada CM-67 y el tritórdeo 1 tienen unas pendientes intermedias, y el trigo duro Antón es el de mayor pendiente, significativamente distinta ($P < 0.05$) del resto de materiales. En el tritórdeo 2 y en trigo blando Anza las regresiones no fueron significativas, aunque en este último no se muestrearon los tratamientos más salinos por no existir una densidad adecuada de plantas.

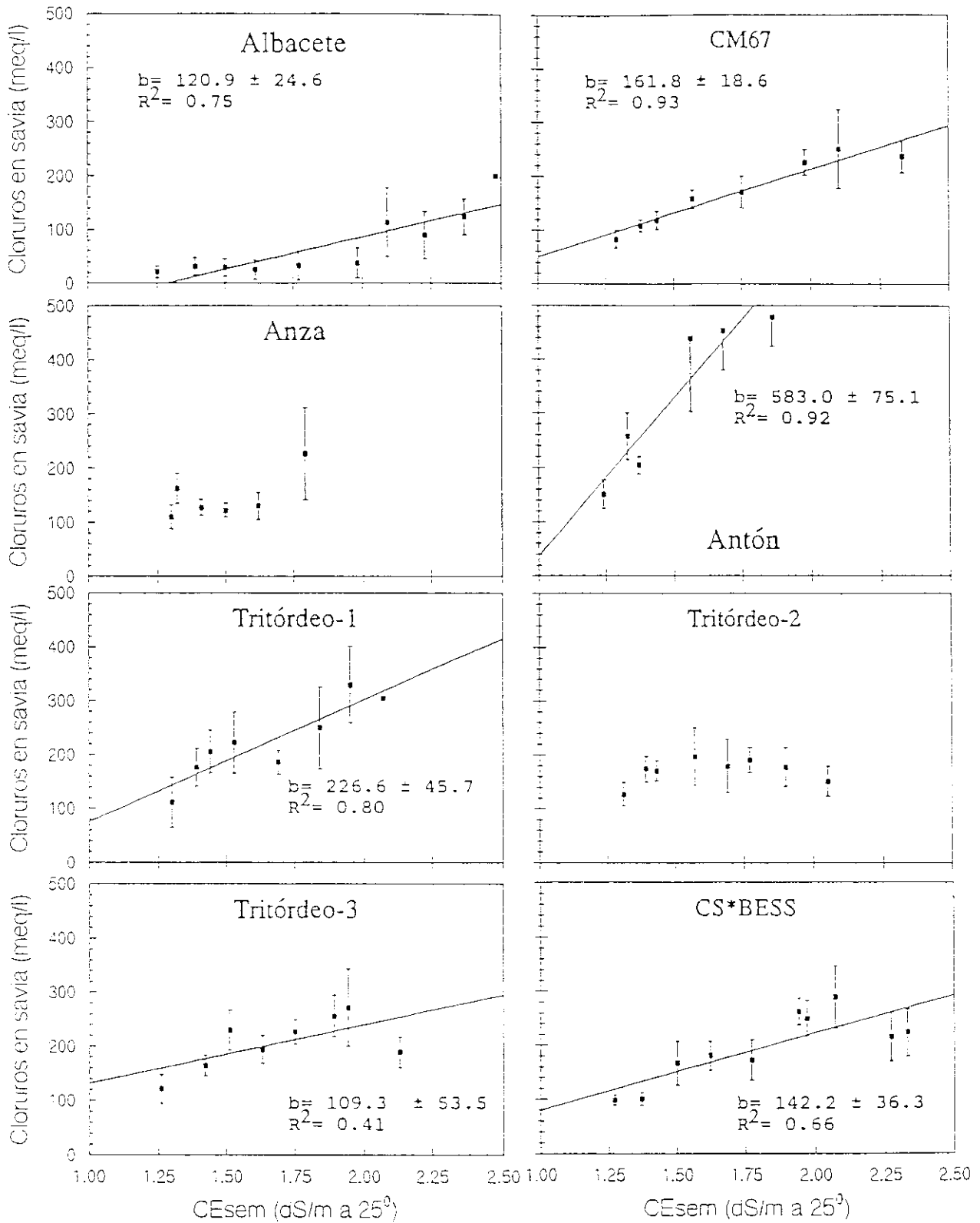


Figura 1.- Efecto de la salinidad sobre el contenido de cloruros en hoja bandera en los distintos materiales. Se representan las regresiones significativas ($P < 0.05$), así como la pendiente (\pm Error Estándar) y el coeficiente de determinación.

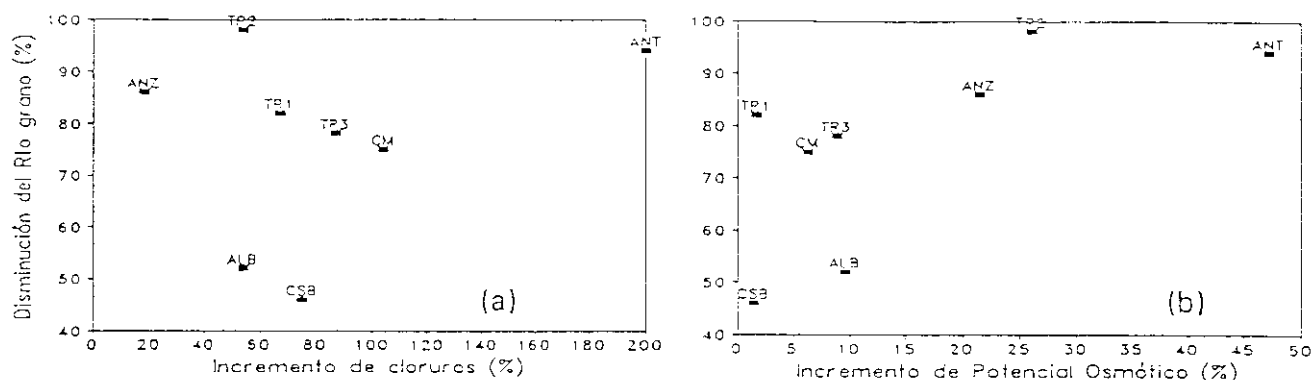


Figura 2. Relación entre la disminución del rendimiento en grano y el incremento del contenido de cloruros en la hoja bandera (a) y el incremento del potencial osmótico en la 6ª hoja (b). Relaciones calculadas entre el tratamiento control (T1) y el tratamiento salino (T5), en % en relación al control y para cada uno de los materiales.

La Figura 2(a) relaciona la tolerancia relativa para niveles moderados de salinidad (disminución relativa del rendimiento de grano del T5 respecto al T1) con la capacidad para excluir iones cloruro en tejidos jóvenes (incremento relativo de Cl del T5 respecto al T1). Puede observarse que la cebada Albacete y el tritopyro son los materiales con mayor tolerancia y menor acumulación de cloruros, en tanto que el trigo duro Antón es uno de los materiales menos tolerantes y el de mayor acumulación de cloruros. Estos resultados indican que, para estos tres materiales, existe una correlación positiva entre nivel de tolerancia y capacidad de exclusión de Cl de la hoja bandera, y coinciden con otros trabajos (Brown y Hayward, 1956; Winter y Laüchli, 1982) en los que se ha demostrado la relación entre exclusión iónica y rendimiento en condiciones salinas. Sin embargo, dicha correlación es inexistente en otros materiales, como el trigo Anza y el Tritórdeo 2, en los que su nivel de tolerancia es bajo y la acumulación de Cl es asimismo baja. De hecho, para el conjunto de los ocho materiales analizados, la correlación entre tolerancia y exclusión de Cl no es significativa ($P > 0.05$). En la Figura 2(b) se observa que aunque la relación entre tolerancia e incremento del potencial osmótico tampoco es significativa ($P > 0.05$), sí que lo es para $P < 0.1$, indicando que el potencial osmótico explica mejor las diferencias en el grado de tolerancia entre los distintos materiales. Esto posiblemente es debido a que incluye otros iones tóxicos como el Na. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Rawson *et al.* (1988) en un conjunto de materiales que incluían cebadas, trigos duros, trigos blandos y triticales, en los que no encontraron relación entre acumulación de cloruros y productividad en condiciones salinas. En definitiva, a pesar de que Noble y Rogers (1992) indican que la exclusión iónica debería ser un mecanismo general en las gliofitas, dado el efecto tóxico del ion Cl a nivel celular, estos resultados permiten concluir que ni la exclusión iónica (evaluada en este trabajo como potencial osmótico) ni la del ion Cl en particular son los únicos mecanismos responsables de la tolerancia a salinidad.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTO F., MACHIN J., ARAGÜES R. 1983. Razones y la distribución espacial de la salinidad de los suelos y aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Seminario del "Sistema Integrado del Ebro". 23-25 Febrero. Barcelona 10 pp.
- 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.
- BROWN J.W., HAYWARD H.E., 1956. Salt tolerance of alfalfa varieties. *Agron. J.* 48, 18-20.
- COTLOVE E. (1963). Determination of the true chloride content of biological fluids and tissues. II. Analysis by simple, non isotopic methods. *Anal. Chem.*, 35, 101-103
- FORSTER B.P., MILLER T.E., LAW C.N. 1988. Salt tolerance of two wheat - *Agropyrum junceum* disomic addition lines. *Genome* 30, 559-564.
- ISLA R., ROYO A. 1993. Efecto de la salinidad sobre el rendimiento de cereales de invierno. XI Jornadas Técnicas sobre riegos. Valladolid 2-4 Junio 1993.
- MUNNS R., TERMAAT A. 1986. Whole-plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13, 143-160.
- NOBLE, C.L., ROGERS, M.E. 1992. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant and Soil* 146, 99-107.
- RAWSON H.M., RICHARDS, R.A., RANA MUNNS. 1988. An examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale genotypes. *Aust. J. Agric. Res.* 39, 759-772.
- RICHARDS, R.A. 1983. Should selection for yield in saline regions be made on saline or non saline soils ?. *Euphytica* 32, 431-438.
- ROYO A., FACI J., ARAGÜES R. 1987. Utilización de la triple línea de aspersión para evaluar la respuesta de cultivos a la salinidad. En: 7ª Conferencia sobre Hidrogeología general aplicada. El agua en el aprovechamiento del suelo. 313-320.
- 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(2).
- SUAYDA C.G., REDMANN R.E., HARVEY B.L., CIPYWNYK A.L. 1992. Comparative response of cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop Sci.* 32, 154-163.
- WEIMBERG R. 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at the different stages of growth in response to salinity. *Physiol. Planta.* 70, 381-388.
- WINTER E., LAÜCHLI A. 1982. Salt tolerance of *Trifolium Alexandrinum* L. I. Comparison of the salt response of *T. alexandrinum* and *T. pratense*. *Aust. J. Plant Physiol.* 9, 221-226.
- WYN JONES R.G., GORHAM J. 1986. The potential for enhancing the salt tolerance of wheat and other important crop plants. *Outlook on Agriculture* 15(1), 33-39.