

Diferencias de acumulación y tolerancia a altas concentraciones de boro de especies agrícolas entre el Norte de Chile y California, Estados Unidos.

Differences in accumulation and tolerance to high boron concentrations of agricultural species between the North of Chile and California in The United States of America.

G. S. Bañuelos*, H.A. Ajwa*, L Cáceres**y D. Dyer*.

RESUMEN.

El boro ejerce un efecto tóxico en la mayoría de las plantas cuando está presente en el agua y/o suelo en concentración excesiva. Existen diferencias de tolerancia al boro entre diversas especies, lo que depende de su habilidad de adaptación a altas concentraciones. En ciertas regiones del mundo como el Norte de Chile se han observado notables adaptaciones de plantas nativas a altas concentraciones de boro en el suelo y agua. En este trabajo se presenta información relativa a la acumulación de boro en diferentes especies en áreas seleccionadas de California, USA, y el Norte de Chile utilizando germoplasma proveniente de regiones con alta concentración de este elemento.

ABSTRACT

This study presents information related to the accumulation of boron in different species in selected areas of California in U.S.A., and the North of Chile using germoplasm from areas with high concentrations of this element.

Boron exerts a toxic effect in most plants when it is present in water and/or soil in excessive concentrations. There are tolerance differences to Boron in different species which depends of their ability to adapt to high concentrations of the mineral.

Outstanding adaptations of native plants to high concentrations of boron in water and soil have been noticed in certain areas of the world like in the north of Chile.

* United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service, USA.

** Instituto del Desierto Universidad de Antofagasta, Chile.

INTRODUCCIÓN.

Debido a condiciones favorables de clima y a la disponibilidad de redes de riego, California y Chile son productores agrícolas en el continente americano. Chile un país largo y angosto cubre un territorio de 75,6 mill. de ha a lo largo de la costa suroeste del Océano Pacífico, y a su vez California cubre un territorio de 40 mill. de ha a lo largo de la costa suroeste de Estados Unidos. En algunos sectores la fuerte competencia por escasos recursos hídricos, originada por una continua expansión urbana, ha forzado a considerar cualquier alternativa de fuente de agua. En el caso de California, del total de agua superficial disponible, un 90% es utilizada por la agricultura (Aqueduct, 1988), mientras que en el Norte de Chile el 75% del agua es utilizada por el sector minero.

Los agricultores en regiones áridas del Centro de California y el Norte de Chile disponen de agua de mala calidad con un alto contenido de sales de origen natural destacándose el Boro (B) (Cáceres *et al.*, 1992; Shennan *et al.*, 1995; Ayars *et al.*, 1994). En el Norte de Chile las altas concentraciones de boro y otras sales son originadas por la percolación de agua a través de depósitos aluvionales. En forma similar el suelo de ciertas localidades del Valle de San Joaquín en California Central contiene altos niveles de B y otros elementos trazas originados de esquistos del Cretáceo (Schroeder *et al.* 1988; Moore *et al.*, 1989). Para ambos casos de procesos naturales erosivos y transformaciones geoquímicas del suelo originan solubilización de depósitos naturales de sales de borato con una eventual migración a ríos y aguas subterráneas.

Uso de agua de riego con altas concentraciones de Boro.

El boro es un oligoelemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero en cantidades excesivas se vuelve tóxico. Aunque hay suelos que contienen boro en concentraciones perjudiciales, en la mayoría de los casos de toxicidad por boro, éste ha sido incorporado a la solución del suelo por el agua de riego.

El boro es absorbido por las raíces junto con el agua, acumulándose en las hojas y otras partes de las plantas. En muchos cultivos la toxicidad se manifiesta para concentraciones, de boro en las hojas, superiores a 250 - 300 mg/kg, pero algunos cultivos sensibles como frutales de hueso (palto, ciruelo, etc.) o de pepita (peral, manzano, etc.) no acumulan boro, a pesar de ser dañados por dicho anión.

Además de las especies arbóreas, el boro puede perjudicar a muchas plantas anuales. Los síntomas típicos se presentan en la punta de las hojas más antiguas,

que amarillean o presentan motas o sequedad en los tejidos. Estos síntomas avanzan desde la punta a lo largo de los bordes y hacia el centro de la hoja entre los nervios. En algunos árboles, cuando están seriamente afectados, a veces se produce gomosis o exudación en troncos y ramas.

Los estudios de tolerancia han relacionado esta característica con el contenido de boro en el agua de riego y no con la solución del suelo que rodea las raíces. La resistencia relativa al boro se destaca en la Tabla 1 (USDA Handbook 60). Cabe señalar que de acuerdo a esta información, la variedad de plantas adecuadas para el cultivo en sectores que cuentan con la mejor calidad de agua en la II Región del Norte de Chile se vería restringida sólo a especies tolerantes. Sin embargo, en esta región se obtienen buenos resultados con plantas catalogadas como sensibles al boro, como por ejemplo maní y alcachofa (Fondef AI-14).

Varios autores han informado acerca del efecto de agua de riego con alta concentración de boro en sectores agrícolas de zonas áridas de California y del Norte de Chile (Rhoades *et al.*, 1988; Ayars *et al.*, 1994; Thellier *et al.*; 1990 a y b; Shennan *et al.* 1995) La reutilización de efluentes agrícolas con altas concentraciones de B puede ser adecuado para ciertas especies (Rhoades *et al.*, 1989; Ayars *et al.*, 1986; 1990; 1994), sin embargo el riego continuado con agua con una concentración superior a 4 mg B/l puede producir efectos dañinos sobre plantas sensibles al Boro, por ejemplo, poroto (*Phaseolus vulgaris*), zanahoria (*Daucus carota*), y lechuga (*Lactuca sativa*) (Hoffman, 1986; Maas, 1986; Mass y Hoffman, 1977); Shennan *et al.*, 1995). En las Tablas 2 y 3 se muestran ejemplos de acumulación de Boro y rendimientos de cultivos semitolerantes al riego con alta concentración de Boro en Chile y California.

En el proceso de evaluación de la toxicidad potencial de agua de riego se debe tomar en cuenta las características físicas y químicas del suelo (Goldberg, 1993). Un suelo con una alta capacidad de adsorción debería mantener bajos niveles de Boro en solución durante períodos de tiempo más largos que un suelo de baja capacidad adsorptiva.

La clave para la evaluación de la toxicidad del Boro es la respuesta de las plantas al Boro en el suelo. Esta respuesta debe evaluarse en relación a la concentración del Boro en solución en el suelo bajo condiciones reales de terreno (Ryans *et al.*, 1977). Trabajos de investigación efectuados por Eaton (1935), Scofield (1935), Bingham *et al.* (1985), y Mass (1987) dieron origen a criterios de toxicidad para aguas de riego con altas concentraciones de Boro. Estos criterios fueron adoptados por el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos para el manual 60 de USDA

TABLA 1.

Clasificación de cultivos agrícolas con respecto a su resistencia al boro en el agua.

GRADO DE TOLERANCIA AL BORO				
Muy Tolerantes Tolerantes 6 – 15 mg/l)	Tolerantes (4 – 6 mg/l)	Tolerancia Moderada (2 – 4 mg/l)	Sensibilidad Moderada (1 – 2 mg/l)	Sensibles (<1 mg/l)
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i>) Espárrago (<i>Asparagus officinalis</i>)	Tomate (<i>Lycopersicon lycopersicum</i>) Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>) Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) Perejil (<i>Petroselinum crispum</i>) Betarraga (<i>Beta vulgaris</i>)	Avena (<i>Avena sativa</i>) Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) Repollo (<i>B. oleracea capitata</i>) Apio (<i>Apium graveolens</i>) Nabo (<i>Brassica rapa</i>) Maíz (<i>Zea mays</i>) Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>) Mostaza (<i>Brassica juncea</i>) Trebol dulce (<i>Melilotus</i>) Zapallo italiano (<i>Curcubita pepo</i>) Melón (<i>Cucumis melo</i>)	Pepino (<i>Cucumis sativus</i>) Aji (<i>Capsicum annuum</i>) Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) Zanahoria (<i>Daucus carota</i>) Arveja (<i>Pisum sativum</i>)	Poroto (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Alcachofa (<i>Heliantus tuberosus</i>) Maní (<i>Arachis hypogaea</i>) Cebada forrajera (<i>Hordeum vulgare</i>) Sesamo (<i>Sesamum indicum</i>) Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) Higuera (<i>Ficus carica</i>) Maravilla (<i>Helianthus annuus</i>) Uva (<i>Vitis sp</i>) Cebolla (<i>Allium cepa</i>) Damasco (<i>Prunus armeniaca</i>) Palta (<i>Persea americana</i>) Guindo dulce (<i>Prunus avium</i>) Zarzamora (<i>Rubus sp</i>) Limón (<i>Citrus limon</i>) Naranja (<i>Citrus sinensis</i>) Durazno (<i>Prunus domestica</i>) Ajo (<i>Allium cepa</i>)

* El limón y la zarzamora son muy sensibles con un límite de B < 0,5 mg/l

TABLA 2.

Acumulación de boro en tejidos de brotes de diferentes cultivos regados con agua de alto contenido de boro bajo condiciones de invernadero y de terreno en California.

Especies	Concentración de Boro en:	
	Agua de riego (mg/l)	Brotes (mg B/kg)
<i>Atriplex canescens</i>	5-10	126
<i>Atriplex undulate</i>	5-10	131
<i>Atriplex deserticola</i>	5-10	121
<i>Atriplex nummularia</i>	5-10	142
<i>Atriplex polycarpa</i>	5-10	135
<i>Gossypium hirsutum</i> (algodón)	5	135
<i>Triticum aestivum</i> (trigo)	5	1110
<i>Beta vulgaris</i> (remolacha azucarera)	5	701
<i>Lycopersicon esculentum</i> (tomate)	8	277

(USDA Handbook 60) tomando como referencia cultivos norteamericanos. Maas (1986) supuso que el principal factor que controla la respuesta a altas concentraciones de Boro es la solución que moja el sistema radicular (Ryans *et al.*, 1977). La Tabla 4 muestra la variabilidad de la acumulación de Boro en los tejidos de algunos cultivos en suelos con altas concentraciones de Boro extractable del suelo en la región Central de California.

Germoplasma con tolerancia potencial al Boro.

El uso de agua con alta concentración de boro en ciertos cultivos en el Norte de Chile (Tabla 3) ha despertado un interés generalizado que ha conducido a

actividades de cooperación de investigación entre instituciones norteamericanas [Natural Resources Conservation Service (NRCS), Agricultural Research Service (ARS) y Office of International Cooperation and Development (OICD)] y un proyecto chileno FONDEF desarrollado entre universidades del Norte de Chile (FONDEF AI-14). El personal de la Universidad de Antofagasta en el Norte de Chile en colaboración con investigadores de California ha efectuado una selección y recolección de semillas nativas adaptadas a altas concentraciones de boro en diversas localidades de la II Región del Norte de Chile. Estas plantas exhiben una notable adaptación a altas concentraciones de boro y sal

TABLA 3.

Rendimientos típicos de algunos cultivos bajo condiciones de alta concentración de boro en diversas localidades del Norte de Chile.

Región	Concentración de B en:		Cultivos	Rendimientos Típicos (ton ha ⁻¹)
	Agua de riego (mg B/l)	Suelo		
Calama	10-16	17	Alfalfa Maíz Trigo	1,7 0,8 0,8
Chiu-chiu	6-8	23	Alfalfa Maíz Trigo Zanahoria Cebollas Papa	8,7 3,5 1,5 23 13 12
Lasana	5-8	23	Alfalfa Maíz Trigo Zanahoria Cebolla	4,0 2,0 10 15 10
Cupo	4-6	23	Alfalfa Maíz Trigo	9,0 1,2 1,2
Caspana	1	8.0	Alfalfa Zanahoria Ajo	8,8 14 4,0
San Pedro de Atacama	7	NA	Alfalfa Trigo Maíz	3,5 2,2 1,5
Quillagua	18-42	1	Alfalfa Trigo	1,5 0,5

en rango amplio de temperaturas y altitudes. Entre las plantas resistentes al boro, se han encontrado algunas especies no agrícolas tales como: *Distichlis spicata*, *Cynodon dactylon*, *Prosopis chilensis*, *Geoffroea decorticans*, *Atriplex* sp., *Azorella compacta* y *Polylepis lessoir* además de hortalizas, por ej., zanahorias y maíz. La tolerancia al boro de estas plantas, puede ser producto de una diversidad genética o adaptación fisiológica. En

este sentido, la evidencia indica que los genotipos susceptibles al boro acumulan más boro en las hojas y brotes que genotipos tolerantes (Nable, 1988). Cabe señalar, que entre diversos genotipos de especies agrícolas, tales como trigo y cebada se han encontrado significativas diferencias en cuanto a la sensibilidad al boro.

TABLA 4.

Acumulación de B en cultivos bajo condiciones de terreno en suelos de California con alto contenido de B.

Especies	Concentración de B en suelos ^a (mg/l)	Concentración de B en brotes (mg/kg MS)	Concentración de B en la raíz (mg/kg MS)
<i>Brassica Juncea</i> (mostaza)	4.3	257(19)	130(10)
<i>Festuca arundinacea</i> (tall fescue)	4.3	129(29) ^b	131(18)
<i>Festuca arundinacea</i> (tall fescue)	329	4500(130) ^b	NA
<i>Zea Mays</i> ^c (Maiz)	450	7800(532)	NA
<i>Medicago sativa</i> (alfalfa)	329	2100(93) ^b	NA
<i>Hibiscus cannabinus</i> (kenaf)	9.2	980(140)	247(36)
<i>Lotus corniculatus</i> (trébol)	4.3	122(12) ^b	112(13)

^a Concentración de B extractable

^b valores presentados son concentraciones medianas de B en tejidos de tres muestras de respectivas especies.

^c *Zea Mays* se secó.

NA : no aplicable.

Evaluación de tolerancia al boro de germoplasma.

Debido al interés común por identificar especies agronómicas tolerantes al boro se llevó a cabo una recolección de germoplasma en Chile, entre el Instituto del Desierto de la Universidad de Antofagasta, y el Water Management Research Lab, USDA, de especies tolerantes a altas concentraciones de boro, por

ejemplo: tomates, zanahoria y maíz entre otras. Con las semillas recolectadas se efectuaron ensayos básicos de respuestas a altas concentraciones de boro. Estos ensayos consistentes en tasas de germinación y emergencia, y acumulación de boro se muestran en las Tablas 4 y 6. Los resultados preliminares indicaron que los genotipos chilenos son más tolerantes a altas concentraciones de

TABLA 5.

Tasas de germinación de germoplasma recolectado de Chile y germoplasma de USA expuesto a diferentes concentraciones de boro en condiciones controladas.

Especies	País	Concentración de B en tratamiento mg/l	Taza de germinación %	Cotiledones o crecimiento de hojas %	Comentarios
Maíz	Chile (PI#9068919)	k°	100 (1)	100	Apariencia saludable raíces más cortas delgadas y blanquecinas que raíces k°
		20	90(4)	84	
Maíz	USA (Golden Jubilee)	k°	90 (3)	90	Raíz con apariencia similar que raíz con 20 mg B/l
		20	80 (8)	70	
Zanahoria	Chile (PI#9068933)	k°	90 (5)	NA	Raíz más corta Raíz más larga que k°
		20	80 (6)	NA	
		40	60 (13)	NA	
Zanahoria	USA (Imperator)	k°	85 (8)	NA	
		20	70 (10)	NA	
		40	60 (20)	NA	
Tomate	Chile (PI#9068924)	k°	90	100	Mejor aspecto general que germoplasma de USA a 40 mg B/l
		20	90	100	
		40	80	90	
Tomate	USA (Cal Ace)	k°	90	100	Raíz de aspecto pálido
		20	90	60	
		40	90	0	

k° = niveles de control B menor que 1 mg/l

boro que variedades comúnmente encontradas en California (USA). Las tasas de germinación de las plántulas de maíz, zanahoria y tomate provenientes de Chile fueron superiores a las de California y de mejor aspecto. La Tabla 6 muestra concentraciones de boro del suelo y concentraciones de boro en los tejidos de órganos de plantas seleccionadas de Chile y California, ambas regadas con agua con alta concentración de boro. En general, las variedades seleccionadas de California acumularon más boro en los tejidos que las plantas chilenas y por lo tanto mostraron síntomas de toxicidad de boro más severos (esto fue descrito por Gupta, 1979 y

Gupta *et al.*, 1985). Algunos de estos síntomas incluyeron clorosis en hojas y/o manchas necróticas, a menudo en los bordes y puntas de hojas antiguas (Gupta, 1979, Eaton, 1944; Gupta *et al.*, 1985). Además, las manchas con necrosis y clorosis presentaron elevadas concentraciones de boro en comparación con el resto del tejido normal.

Basados en los parámetros usados para evaluación, se concluye que el germoplasma chileno expuesto en forma permanente a altas concentraciones de boro ha desarrollado un proceso o mecanismo para tolerar altas concentraciones de boro soluble. Esta tolerancia aparente

a la alta concentración de boro sugiere que las plantas recolectadas en Chile fueron capaces de mantener concentraciones inferiores en los brotes que los órganos susceptibles al boro en plantas provenientes de California (excepto para la zanahoria). Las especies chilenas tolerantes al boro podrían haber desarrollado mecanismos de exclusión que resultan en una menor

acumulación de boro en los brotes y raíces. Además, las plantas podrían haber generado una adaptación genética o física a altas concentraciones de boro (por ej: reducción a la permeabilidad) consistente en una alteración del boro acumulado a nivel del tejido celular u orgánico logrando mantener el boro fuera de los sitios metabólicos claves.

TABLA 6.

Acumulación de boro en diferentes cultivos de Chile y California regados con agua con alto contenido de boro bajo condiciones de invernadero.

Plantas	Origen del germoplasma	Organo de la planta	Conc. de B en el tejido de la planta mg/kg MS	B total aplicado en el agua mg	Boro final B ext. mg/l	En el suelo en Btotal mg/kg suelo
Maíz Golden Jubilee	California	hojas ^B	2135 (127)	324	16	60
		raíz	159 (6)			
		Kernal	53 (5)			
Maíz PI 9068919	Chile	Hojas	676 (88)	324	19	58
		raíz ^C	243 (25)			
		kernal	50 (1)			
Alfalfa	California	Hojas	1950 (82) †	213	30	85
		raíz	271 (31)			
Alfalfa PI 9068931	Chile	Hojas	1240(64)	213	31	87
		raíz	164 (25)			
Tomate Cal Ace	California	Hojas	1636 (22)	286	25	63
		nuevas	1201(44)			
		fruto	120 (25)			
Tomate PI 9068924	Chile	Hojas	857 (24)	286	29	71
		nuevas	762 (73)			
		fruto	56 (11)			
Zanahoria. ^D Imperator	California	Raíz	214 (22)	391	28	81
		Hojas	2765 (171)			
Zanahoria ^E PI 9068933	Chile	Raíz	507 (49)'	391	30	79
		hojas	2910(94)			

A Error. estándar de valor promedio se indica entre paréntesis. Inicialmente el agua de riego contenía una concentración de B de 10 mg B/l que fue incrementada a 20 mg B/l.

B Quinta hoja de brotes fue considerada para análisis.

C La materia seca del germoplasma de maíz chileno fue cuatro veces superior que el germoplasma de USA.

D Mostró síntomas de toxicidad de boro.

E La materia seca del germoplasma de la zanahoria chilena fue 25% superior al germoplasma de USA.

CONCLUSIONES.

La necesidad de sobrevivencia de la agricultura a largo plazo requiere de una diversidad en cultivos. Las diferencias en la acumulación y toxicidad del boro mostrada por las plantas constituyen una de las principales razones de por qué la actividad de recolección de germoplasma entre los países debería promoverse y desarrollarse a fin de evaluar recursos genéticos existentes. En el proceso de búsqueda de plantas de diversas características útiles, se debe reconocer (por ej: la tolerancia al boro del germoplasma chileno) que la tolerancia al boro podría ser una propiedad dependiente de condiciones climáticas y ambientales y no una constante de la planta. A medida que la planta cambia durante su ontogénesis, su tolerancia al boro también cambia. Las pruebas de evaluación de tolerancia simple son de gran valor para la determinación rápida de la

tolerancia al boro en germoplasma recolectado. Aunque las tasas de germinación y emergencia son criterios útiles para la evaluación de la tolerancia al boro de algunas plantas, ésta podría disminuir en etapas de crecimiento posterior. Cualesquiera que sean los parámetros usados en su determinación la evaluación final debe ser llevada a cabo bajo las condiciones locales de cada país.

NOTAS Y AGRADECIMIENTOS.

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación y desarrollo FONDEF A1-14 "Incremento y diversificación de la agricultura en la macrorregión del Norte de Chile con aguas servidas tratadas y salinas". Se agradece la colaboración prestada por agricultores de Calama y Chiu-Chiu, que facilitaron semillas que han sido seleccionadas a través de los años en forma local.

LITERATURA CITADA

- AQUEDUCT. 1986. Metropolitan Water District of Southern Calif. No. 2.
- AYARS J.E., R.B. HUTMACHER, R.A. SCHONEMAN, S.S. VAIL, y D. FELLEKE. 1986. Drip irrigating cotton with saline drainage water. Transactions ASAE. 29: 1668-1672.
- AYARS, J.E., R.B. HUTMACHER, R.A. SCHONEMAN, y S.S. VAIL. 1990. Long term use of saline water for irrigation. Proceedings Third National Irrigation Symposium, Phoenix, AZ, Oct. 28-Nov. 1. ASAE Publication 04-90. pp, 368-373.
- AYARS, J.E., R.B. HUTMACHER, R.A. SCHONEMAN, S.S. VAIL, y T. PFLAUM. 1994. Long term use of saline water for irrigation. Irrig. Sci. 14:27-34.
- BANUELOS, G.S. y H.A. AJWA, 1996. Trace elements in soils and plants: an overview. Journal of Environmental Science and Health (En imprenta).
- BANUELOS, G, G. CARDON. B. MACKAY, J. BENASHER, L. WU. P. BEUSENLINCK, S. AKOHOUE y S. ZAMBRZUSKI. 1993a. Boron and selenium removal in boron laden soils by four sprinklers irrigated plant species. Journal Environmental Quality 22:7861792.
- BIGGAR, J.W., y M. FIREMAN. 1960. Boron adsorption and release by soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24: 115-120.
- BINGHAM, F.T., J.E. STRONG, J.D. RHOADES, y R. KEREN. 1985. An application of the Maas-Hoffman salinity response model for boron toxicity. Soil Science Society of America Journal 49:672-674.
- CACERES L., CONTRERAS R., GRUTTNER D., 1992. Water recycling in arid regions (Chilean case), AMBIO A Journal of the Human Environment, Royal Swedish Academy of Sciences, Vol XXI, N02, 138-144.
- EATON . F.M. 1935 Boron in soil and irrigation waters and its effect on plants with particular reference to San Joaquin Valley of California. USDA Technical Bulletin 448.
- EATONL FM. 1944. Deficiency, toxicity, and accumulation of boron in plants J. Agricultural Resources 60:237-277.
- GOLDBERG, S. 1993 Chemistry and mineralogy of boron in soils. En: Boron and its role in Crop Production. Ed. U.C. Gupta, CRC Press, Boca Raton, Florida pag. 344
- FONDEF AI-14, 1997. Diversificación de la agricultura en la macrorregión del Norte de Chile mediante el uso de aguas servidas tratadas y salinas. Universidad de Tarapacá, Universidad de Arturo Prat, Universidad de Antofagasta.
- GUPTA, U.C. 1979. Boron nutrition of crops. Advanced Agronomy 31:273-307.
- GUPTA, U.C., Y.W. JAME, C.A. CAMPBELL, A.J. LEYSHON, y W. NICHOLAICHUK. 1985. Boron toxicity and deficiency: a review. Canadian Journal of Soil Science 65:381-409
- HOFFMAN, G.J. 1986. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. Applied Agricultural Research 1(2):65-72

- JAME, Y.W., W. NICHOLAICHUCK, A.J. LEYSHON, y C.A. CAMPBELL. 1982. Boron concentration in the soil solution under irrigation: a theoretical analysis. *Canadian Journal of Soil Science* 62:461-471.
- MAAS, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. In: *Handbook of plant science in agriculture*, B.R. Christie, ed. CRC Press, Inc. Cleveland, Ohio.
- MAAS, E.V. 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research*. Vol. 1:12-26 Springer-Verlag, Inc. NY USA.
- MAAS, E.V. y G.J. HOFFMAN. 1977. Crop salt tolerance-current assesment. *Journal of Irrigation and Drainage Div. ASCE* 103(1R2):115-134.
- MOORE, S.B., S.J. DETWILER, J. WINCKEL, y M.D. WEEGAR. 1989. Biological residue data for evaporation ponds in the San Joaquin Valley, California. *San Joaquin Valley Drainage Program*. Sacramento. CA.
- NABLE, R.O., B. CARTWRIGHT, y C.M. LANCE. 1990. Genotypic differences in boron accumulation in barley: relative susceptibilities to boron deficiency and toxicity. pp. 243-251 N. El Bassam et al. (Eds.) *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. 1990 Kluwer Acad. Publishers, Netherlands.
- NABLE, R.O. 1988. Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: a preliminary axamination of the resistance mechanism. *Plant and Soil* 112:45-57.
- NABLE, R.O., B. CARTWRIGHT y C.M. LANCE. 1990. Genotypic differences in boron accumulation in barley: realtive susceptibilities to boron deficiency and toxicity. pp. 243-251. El Bassam et al (Eds) *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. 1990 Kluwer Academy Publishers, Netherlands.
- PAULL, J.G., A.J. RATHJEN, B. CARTWRIGHT, y R.O. NABLE. 1990. Selection parameters for assessing the tolerance of wheat to high concentrations of boron. pp. 361-369. N. El Bassam et al. (Eds) *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. 1990 Kluwer Acad. Publishers, Netherlands.
- RHOADES, J.D., F.T. BINGHAM, J. LETEY, A.R. DEDRICK, M. BEAN, GJ. HOFFMAN, W.J. ALVES, R.V. SWAIN, P.G. PACHECO, y R.D. LEMERT 1988. Reuse of Drainage Water for Irrigation: Results of Imperial Valley Study. I. Hypothesis, experimental procedures and cropping results. *Hilgardia* 56(5):1-16.
- RHOADES, J.D., F.T. BINGHAM, J. LETEY, G.J. HOFFMAN, A.R. DEDRICK, D.J. PINTES, y J.A. REPLOGLE. 1989. Use of saline drainage water for irrigation: Imperial Valley Study. *Agricultural Water Management* 16:25-36.
- RYANS, J., S. MIRJAMOTO, y J.L. STROEHLEIN. 1977. Relation of solute and sorbed B to the B hazard in irrigation water. *Plant and Soil*. 47:253-256.
- SCHROEDER, R.A., D.U. PALOWSKI, y J.P. SKORUPA. 1988. Reconnaissance investigation of water quality, bottom sediment, and biota associated with irrigation drainage in the Tulare Lake Bed area, Southern San Joaquin Valley, California. 1986-1987. US~ Geological Water Resources Investigations Report 88-40001, 86 p.
- SCOFIELD, C.S. 1935. The salinity of irrigation water *Smithsonian Institution Ann. Rpt.* 1935. P. 275-287.
- SHENNAN C., S.R. GRATTAN D.M. MAY, C.J. HILLHOUSE, D.P., SCHACHTMAN, M. WANDER, B. ROBERTS, S. TAFOYA, R.S. BURAU, C. MCNEISH, y C. LELINSHI. 1995. Feasibility of cyclic reuse of saline drainage in a tomato cotton rotation. *Journal of Environmental Quality* 24:476-486.
- THELLIER, C., G SPOSITO, y K.M. HOLTZCLAW. 1990a. Chemical effects of saline irrigation water on a San Joaquin Valley soil: I. Colum studies. *Journal of Environmental Quality* 19:50-55.
- THELLIER, C.G., K.M. HOLTZCLAW, J.D. RHOADES, y G. SPOSITO. 1990b. Chemical effects of saline irrigation on San Joaquin Valley soil: II. Field soil samples. *Journal of Environmental Quality*. 19:56-60.