

LAVADO DE BORO EN COLUMNAS DE SUELO

S. Ratto de Míguez (1); P. Lavignolle (1); R. S. Lavado (2) y H. Canelo (3)

RESUMEN

Se evaluó el resultado de diferentes sistemas de riego sobre un Torriortent típico de la provincia de La Rioja con elevado tenor de boro soluble. Las alternativas fueron aplicación de yeso como enmienda, riego con agua del canal de riego del río Bermejo y riegos combinados con aguas de diferentes calidades. Se efectuaron tres riegos sucesivos con dos períodos de reposo para permitir la renovación de elevadas concentraciones de boro en la solución edáfica. El yeso tuvo un efecto inicial y sólo manifestó su capacidad de remoción de boro en el primer riego. Los cinco tratamientos produjeron una disminución del contenido inicial de boro del suelo pero los suelos que recibieron agua de mejor calidad manifestaron una menor capacidad de regenerar concentraciones elevadas de boro en la solución edáfica.

Palabras clave: boro, irrigación, yeso, La Rioja.

LEACHING ALTERNATIVES ON A SOIL WITH HIGH BORON CONTENT

ABSTRACT

Different leaching alternatives were evaluated using laboratory columns on a Typic Torriorthent with a high B content soluble in CaCl_2 0,02 M. The alternatives were gypsum applied as an amendment, common irrigation with water from a channel of Bermejo river and combined irrigation with water of different qualities. Three successive irrigations were made with two storage periods in between to allow for B regeneration. All treatments leached the same amount of B. Leaching with water from the well and the one which combined well, channel water and gypsum were most efficient in reducing soil B level than channel water alone. Soil ability to restore B in soil solution was directly related to the B content in the irrigation water.

Key words: boron, irrigation, gypsum, La Rioja.

INTRODUCCION

En la provincia de La Rioja, como ocurre con frecuencia en zonas áridas, suelen presentarse elevadas concentraciones de B soluble en suelos y en aguas de riego (Pizarro y Braun, 1963; Ratto de Míguez et al., 1984). En el área de influencia del río Bermejo o Vinchina el problema se agrava porque se riegan con sus aguas ricas en B suelos que

naturalmente poseen elevado tenor de este elemento. La continuidad de la agricultura próspera en esta región depende en gran medida de la posibilidad de evitar la carga continua que aportan las aguas de riego y reducir el B del suelo a niveles aceptables para especies poco tolerantes.

La lixiviación del B del suelo se efectúa por lavado. La eficiencia de este proceso depende de la cantidad de B capaz de ser lixiviado (Rhoades et

(1) Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía. UBA. Avda. San Martín 4453. 1417 Buenos Aires.

(2) Investigador del CONICET. Facultad de Agronomía. UBA.

(3) Cátedra de Edafología. Universidad Provincial de La Rioja. 9 de Julio 22. 5360 Chilecito. La Rioja.

al., 1970), ya que el B nativo es de más difícil remoción que el acumulado recientemente por aportes del agua de riego (Peryea et al., 1985 a). Hay que tener en cuenta además, el proceso de "regeneración de boro" que es la capacidad del suelo de restablecer elevadas concentraciones de B en la solución edáfica luego de haber sido objeto de lavados previos.

Algunas enmiendas, por ejemplo el ácido sulfúrico, aumentan la eficiencia del lavado de boro, disminuyendo la cantidad de agua a utilizar (Prather, 1977; Keren y Bingham, 1985). La aplicación de yeso, de uso universal en suelos afectados por sales, ha dado, en cambio, resultados disímiles. Pinyerd et al (1984) no observaron interacciones entre el movimiento del B en el suelo y el agregado de yeso, mientras que Gupta y Chandra (1972) en un suelo salino sódico regado con aguas salinas, encontraron que el agregado de esta enmienda disminuía el riesgo de toxicidad por B en suelos y en aguas. Por otro lado, en los últimos años ha tenido lugar un desarrollo importante de tecnologías de riego con aguas salinas que permiten mantener relativamente libres de sales los suelos (Rhoades, 1983). Ello se logra a través de la combinación equilibrada de riegos con aguas salinas y posteriores riegos con aguas de buena calidad, los que mantienen un nivel bajo de sales en el suelo.

Desde el punto de vista de las aguas del río Vinchina, el panorama es crítico por la elevada carga de B en aguas de riego. Existen en el área perforaciones que proveen de agua de mejor calidad, pero con limitaciones de caudal.

Considerando la información obtenida, se programó este trabajo que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de lavado de boro a partir de diferentes tratamientos de riego que incluyen agregado de yeso como enmienda y combinación de aguas de riego de diferente calidad. También se consideran la capacidad del suelo de renovar concentraciones elevadas de boro en solución luego de un lavado y el equilibrio final que se establece al cabo de los tres riegos programados. Esto es de interés porque la importancia agronómica de la "regeneración" de concentraciones de boro elevadas en la solución del suelo, luego de la eliminación del boro nativo, depende de la concentración de boro en el agua agregada y de la estrategia de riego utilizada (Peryea et al., 1985 b).

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó sobre un suelo aluvial, Torriortent típico, proveniente del valle del río Bermejo, en el distrito Puebla de Villa Castelli, provincia de La

Rioja. El perfil del mismo presentó tres capas: la primera de 0 a 30 cm, de textura franco limosa, con estructura en bloques subangulares, medios, débiles y presencia de carbonatos; la segunda capa, de 30 a 80 cm, con textura franco-arenosa, estructura en bloques subangulares, medios, débiles y presencia de carbonatos y una tercera capa, a partir de 80 cm de profundidad, de textura franco-arenosa con presencia de carbonatos.

A los fines del ensayo se consideraron las dos primeras capas. Se describió al suelo como bien drenado, con escurrimiento medio, sin rocosidad en superficie y con cobertura de cebada y alpiste. En el sitio se tomaron muestras de agua del canal de riego que proviene del río Bermejo y de una perforación. Ambos tipos de agua se utilizan para regar el predio de donde se obtuvo la muestra.

Diseño experimental y metodología

Columnas: se utilizaron caños de P. V. C. de 50 cm de longitud y 5,7 cm de diámetro interno. Dentro de ellos se reconstruyó el perfil del suelo en estudio reduciendo, por razones de índole práctica, el espesor de las dos primeras capas de suelo a la mitad, quedando de la siguiente forma: capa I: 0 - 15 cm; capa II: 15 - 40 cm. Las muestras fueron secadas al aire y pasadas por tamiz de 2 mm. Las columnas se dispusieron en forma vertical sobre un bastidor de madera, cerrando su parte inferior con una tela de nylon y una malla metálica para impedir la pérdida de suelo. Las bases de las columnas se pusieron en contacto con agua destilada para que ésta ascendiera por capilaridad. A continuación se dejaron secar por una semana para favorecer la estructuración y la eliminación de las cámaras de aire que impidiesen un descenso uniforme del frente de agua.

Tratamientos: se efectuaron cinco tratamientos con tres repeticiones para cada uno:

1. Riego con agua de canal
2. Riego con agua de canal + enmienda
3. Riego con agua de canal + agua de perforación
4. Riego con agua de canal + agua de perforación + enmienda
5. Riego con agua de perforación

La enmienda utilizada fue sulfato de calcio dihidratado en una dosis de 1 Kg Ca/ton de suelo. La proporción de enmienda se calculó sobre el total de suelo (1.330 g) de la columna y se mezcló en los primeros 8 cm de suelo.

Riego: Mediante un sistema de goteo se efectuaron tres riegos. Previo al primer riego se agregó agua hasta llevar a humedad equivalente el suelo de cada columna. Cada uno de los tres riegos aplicados equivalió, aproximadamente, a un volumen de poros (lámina de 190 mm). Para aquellos tratamientos que combinaron aguas diferentes, cada riego se dividió en 2 etapas seguidas en las cuales se aplicó, primero, el agua de canal y a continuación el agua de perforación. El tiempo transcurrido entre cada aplicación y su percolación fue de una semana y a partir de ésta se dejaron reposar las columnas por espacio de 15 días a una temperatura media de 25°C. Los efluentes provenientes de los 5 tratamientos y 3 repeticiones se recogieron en recipientes plásticos.

Caracterización del suelo y aguas

Suelo: se determinaron pH y conductividad eléctrica en extracto de doble saturación, textura (micropipeta), % de carbono total (micrométodo de Walkley - Black), % de nitrógeno total (micrométodo Kjeldhal) y fósforo asimilable (Bray y Kurtz N° 1). El boro se extrajo con CaCl_2 0,02 M a ebullición y se determinó colorimétricamente con azometina-H (Ratto de Míguez et al., 1985). Los datos analíticos correspondientes al suelo estudiado figuran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del suelo.

Muestra	Capa 1	Capa 2
Profundidad (cm)	0 - 30	30 - 80
Ct (%)	0,8	0,6
Nt (%)	0,1	0,08
C/N	8,0	7,5
P ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9,8	4,3
pH (extracto doble saturación)	7,1	7,2
C. E. (dSm^{-1}) (extracto de doble saturación)	1,28	1,04
Calcáreo (CaCO_3) (%)	1,38	1,15
B ($\mu\text{g g}^{-1}$)	4,0	2,3
Humedad equivalente (%)	16,7	11,7

Luego de finalizado el ensayo se determinó la cantidad de boro en el suelo de las columnas utilizando dos extracciones diferentes: CaCl_2 0,02 M a ebullición y extracto de doble saturación. En ambos casos la reacción colorimétrica se efectuó con azometina-H.

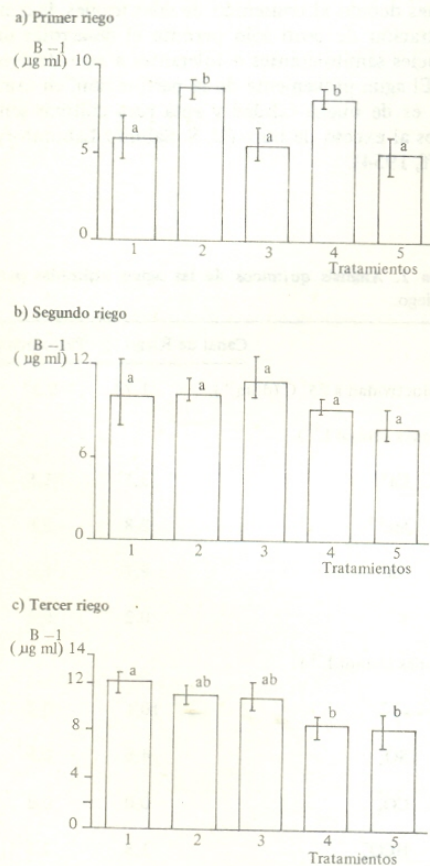
Aguas: se determinaron pH, CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3H^- , CE, Ca, Mg, Na y K. El boro se determinó por colorimetría con azometina-H. Los resultados obtenidos figuran en la Tabla 2. El agua proveniente del canal de riego se considera apta con limitaciones debido al contenido de sales totales, la concentración de boro sólo permite el desarrollo de especies semitolerantes o tolerantes a este elemento. El agua proveniente de la perforación, en cambio, es de buena calidad y apta para cultivos sensibles al exceso de boro (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

Tabla 2. Análisis químicos de las aguas utilizadas para riego.

	Canal de Riego	Perforación
Conductividad a 25°C (dSm^{-1})	1,73	0,37
Cationes (mmol L^{-1})		
Ca ²⁺	3,5	1,5
Mg ²⁺	2,8	0,6
Na ⁺	9,7	1,2
K ⁺	0,2	0,1
Aniones (mmol L^{-1})		
Cl ⁻	10,1	0,8
SO ₄ ²⁻	4,6	0,9
CO ₃ ²⁻	0,0	0,0
HCO ₃ ⁻	1,8	2,3
RAS	5,5	1,2
CSR (mmol L^{-1})	0,0	0,0
pH	7,8	7,6
Boro ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	1,8	0,2

Análisis estadístico

Desde el punto de vista estadístico el ensayo tiene la particularidad de que una misma unidad experimental recibe idéntico tratamiento en diferentes momentos. Para medir interacción entre tratamientos y cada uno de los momentos (riego) fue necesario utilizar un modelo de "ensayos repetidos en el tiempo" (Steel y Torrie, 1985). Con el citado modelo se calculó la correspondiente tabla de análisis de varianza. Para la separación de medias se aplicó el test de Tukey.



Las barras indican los promedios correspondientes a las tres repeticiones de cada tratamiento y el segmento aplicado sobre ellas su desvío standard.

Los promedios con letras distintas difieren significativamente (Tukey $P < 0.05$); los que comparten la misma letra no difieren entre sí.

Fig. 1. Concentración de boro ($\mu\text{g ml}^{-1}$) en el efluente en los tres riegos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Boro en el efluente

Primer riego: Hubo diferencias importantes entre tratamientos (Fig. 1a). Los dos tratamientos con agregado de enmienda fueron los que mayor cantidad de B extrajeron. Habría entonces un efecto inicial de la enmienda en la cantidad de B removido. El mecanismo podría ser una disminución de pH que permitiese que el B pasase a formas químicas con menor capacidad de adsorción que en consecuencia pueden ser liberadas a la solución del suelo perdiéndose con el agua de lavado (Keren y Bingham, op. cit.; Hingston, 1963).

Segundo riego: Para todos los tratamientos se produce un aumento en la cantidad de B removido (Fig. 1b). Para aquellos que menos B habían liberado en el primer riego (1, 3 y 5) este aumento osciló entre 60 % y 100 %. Este hecho pone de manifiesto la habilidad del suelo de regenerar elevadas concentraciones de B en la solución del suelo luego de un lavado. Este fenómeno ha sido descrito por varios investigadores (Rhoades et al., op. cit.; Elrashidi y O'Connor, 1982; Peryea et al., 1985 a). La tasa de disolución de B luego de un lavado está inversamente relacionada con la cantidad de B liberado por el proceso de lavado, en coincidencia con los resultados del presente trabajo (Peryea et al., 1985 b).

En este riego no hubo diferencias en la cantidad de B removida por cada tratamiento, desapareciendo la ventaja de la aplicación de enmienda (Fig. 1b).

Tercer riego: Los tratamientos 1 y 2, con agua de elevado tenor bórico no sólo desorbieron B sino que mostraron un permanente ascenso de concentración en relación a riegos previos (Fig. 1c). Los tratamientos 3, 4 y 5 les siguieron en orden de importancia, manifestando valores ligeramente inferiores a los del segundo riego. Parecería que, de acuerdo al tratamiento, se establecen diferentes situaciones de equilibrio.

La sumatoria del contenido de boro en los tres riegos deducida del total de boro aportado con el agua de riego, variable de acuerdo a su calidad, indica que los cinco tratamientos extraen cantidades equivalentes de boro (Tabla 3).

Contenido de boro en suelo post-lavado

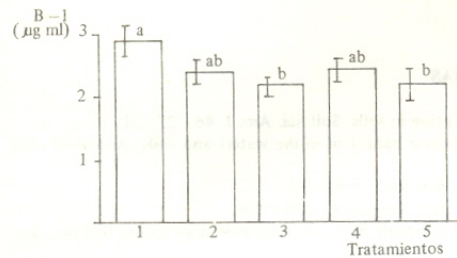
Extracción con CaCl_2 0,02 M: Para la capa super-

Tabla 3. Total de B removido del suelo luego de los 3 riegos referido a masa de suelo seco de las columnas.

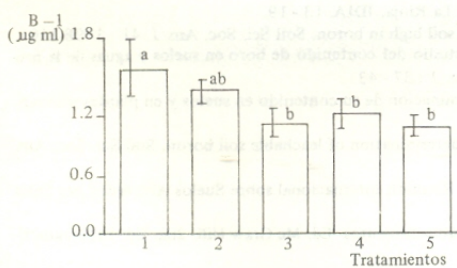
Tratamiento	B ($\mu\text{g g}^{-1}$)
1	8,60 a
2	9,39 a
3	9,27 a
4	8,74 a
5	7,84 a

Los tratamientos que comparten la misma letra no difieren en forma estadísticamente significativa.

a) Primera capa



b) Segunda capa



Las barras indican los promedios correspondientes a las tres repeticiones de cada tratamiento y el segmento aplicado sobre ellas su desvío standard.

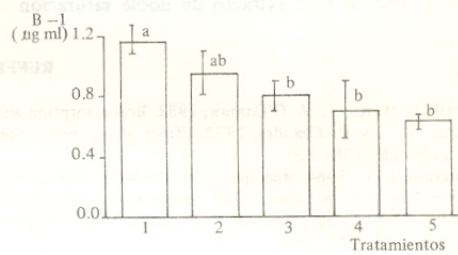
Los promedios con letras distintas difieren significativamente (Tukey $P \leq 0,05$); los que comparten la misma letra no difieren entre sí.

Fig. 2. Concentración de boro en suelo ($\mu\text{g g}^{-1}$) extraído con CaCl_2 0,02 M luego de los tres riegos.

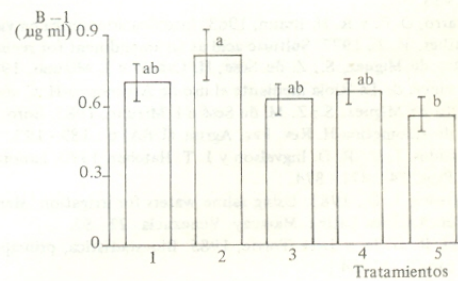
ficial (Fig. 2a) los tratamientos 3 y 5 difieren significativamente del tratamiento 1. A pesar de que los tratamientos provocaron un lavado de boro equivalente, la calidad del agua de riego utilizada tuvo influencia sobre el boro obtenido por extracción con CaCl_2 0,02 M. Aparentemente, una concentración elevada de boro en solución estimularía el pasaje del mismo a formas más solubles. Para la capa subsuperficial (Fig. 2b) los tratamientos 3, 4 y 5, con el menor aporte de boro por agua de riego, difieren del N^o 1. En todos los casos la cantidad de boro para la capa superficial y subsuperficial es inferior a la inicial, indicando que aún el agua de inferior calidad, en cantidad suficiente, es capaz de disminuir el contenido de boro del suelo.

Extracto de doble saturación: Los tratamientos 3, 4 y 5 para la capa superficial (Fig. 3a) difieren sig-

a) Primera capa



b) Segunda capa



Las barras indican los promedios correspondientes a las tres repeticiones de cada tratamiento y el segmento aplicado sobre ellas su desvío standard.

Los promedios con letras distintas difieren significativamente (Tukey $P \leq 0,05$); los que comparten la misma letra no difieren entre sí.

Fig. 3. Concentración de boro en el suelo medido en el extracto de doble saturación ($\mu\text{g ml}^{-1}$) luego de los tres riegos.

nificativamente del N° 1. Los tratamientos que incluyeron agua de mejor calidad fueron los que presentaron menor concentración de B en extracto, aunque con valores superiores a los aceptables para un buen crecimiento vegetal (U. S. Salinity Laboratory Staff, op. cit.). Para la capa subsuperficial (Fig. 3b) el tratamiento N° 5 difiere del N° 2 manteniéndose la misma tendencia de menores valores de B a mejor calidad del agua de riego.

Si se comparan los valores de boro obtenidos en extracto de doble saturación para la capa superficial y subsuperficial se ve que en el Trat. N° 1 la diferencia de concentración es del orden del 40 % mientras que en el resto de los tratamientos osciló entre 9 y 18 %. Haciendo una comparación similar con los valores obtenidos con CaCl_2 0,02 M las oscilaciones son mucho mayores, entre 43 y 53 %.

Comparando los valores extremos de boro obtenidos para la capa superficial por extracción con CaCl_2 0,02 M y el extracto de doble saturación

se comprueba la mayor sensibilidad del segundo método (48 % de variación contra 25 %) aunque las tendencias hayan sido semejantes. Para la capa subsuperficial las diferencias fueron menores (40 % para el extracto y 35 % para el CaCl_2 0,02 M).

CONCLUSIONES

El yeso tuvo un efecto inicial y sólo manifestó su capacidad de remoción de boro en el primer riego.

Los cinco tratamientos produjeron una disminución del contenido inicial de boro en el suelo lo que implicaría que aún el agua de inferior calidad, en cantidad suficiente, sería capaz de removerlo.

Los cinco tratamientos produjeron un lavado efectivo semejante, pero los suelos que recibieron agua de mejor calidad manifestaron una menor capacidad de regenerar concentraciones elevadas de boro en la solución edáfica.

REFERENCIAS

- Elrashidi, M. A. y G. A. O'Connor, 1982. Boron sorption and desorption in soils. *Soil Sci. Am. J.* 46 : 27 - 31.
- Gupta, I. C. y H. Chandra, 1972. Effect of gypsum in reducing boron hazard of saline waters and soils. *Annals of Arid Zone.* 11 : 228 - 230.
- Hingston, F. Y., 1964. Reactions between boron and clays. *Aust. J. Soil Res.* 2 : 83 - 95.
- Keren, R. y F. T. Bingham, 1985. Boron in water, soils and plant. *Adv. Soil Sci.* 1 : 229 - 276.
- Peryea, F.; F. T. Bingham y J. D. Rhoades, 1985a. Regeneration of soluble boron by reclaimed high boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 313 - 316.
- Peryea, F. J.; F. T. Bingham y J. D. Rhoades, 1985b. Kinetics of post-reclamation boron dissolution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 836 - 843.
- Pinyerd, C. A.; J. W. Odom; F. L. Long y J. H. Dane, 1984. Boron movement in a Norfolk loamy sand. *Soil Sci.* 137 : 428 - 433.
- Pizarro, O. C. y R. H. Braun, 1963. Intoxicación bórica en vides de La Rioja. *IDIA.* 13 - 19.
- Prather, R. J., 1977. Sulfuric acid as an amendment for reclaiming soil high in boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 : 1098-1101.
- Ratto de Míguez, S.; Z. de Sesé; H. Canelo e I. Mizuno, 1984. Estudio del contenido de boro en suelos y aguas de la provincia de La Rioja mediante el uso de Azometina-H. *C. del Suelo.* 2 : 37 - 43.
- Ratto de Míguez, S.; Z. M. de Sesé e I. Mizuno, 1985. Boro: determinación de su contenido en suelos y en plantas utilizando Azometina-H. *Rev. Fac. Agron. (UBA)* 6 : 189 - 197.
- Rhoades, J. D.; R. D. Ingvalson y J. T. Hatcher, 1970. Laboratory determination of leachable soil boron. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34 : 871 - 874.
- Rhoades, J. D., 1983. Using saline waters for irrigation. *Memorias Reunión Internacional sobre Suelos Afectados por Sales en América Latina.* Maracay, Venezuela: 22 - 52.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie, 1985. *Bioestadística, principios y procedimientos.* Ed. Mc Graw Hill. 2da. Ed. Latinoamericana S. A. 384 p.
- U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* Agr. Handbook N° 60. USDA, U. S. Government Printing Office, Washington D. C.