

CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELOS Y DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

BORO

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE.....	1
1.1. FUENTES	1
1.2. NIVELES NATURALES	1
2. BORO EN RIEGO.....	1
2.1. EFECTOS.....	1
2.2. RESUMEN DE GUÍAS EXISTENTES	3
2.3. CRITERIO RECOMENDADO.....	7
2.4. RAZONES.....	7
3. REFERENCIAS	8

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

El boro (B) es un metaloide con propiedades intermedias entre el carbono y el aluminio. Tal como el aluminio, tiene un estado de oxidación de +3 en todos sus compuestos químicos, y es un conductor eléctrico en su forma pura. Al igual que el carbono, aunque algunas veces puede formar complejas cadena o anillos. Su forma cristalina es casi tan fuerte como el diamante. El boro es encontrado como un sólido duro negro y como un polvo café oscuro, aunque las sales de boro más comunes son generalmente blancas o tonos pálidos de amarillo, azul, verde, o gris. (Pais and Jones 1997)

1.1. Fuentes

Las mayores concentraciones de boro se encuentran en los sedimentos y la roca sedimentaria, particularmente, en los sedimentos marinos ricos en arcilla. La alta concentración de boro en el agua de mar, que promedia cerca de 4,5 mg/L de Boro, garantiza que las arcillas marinas sean ricas en boro en relación a otro tipo de rocas. Las fuentes antropogénicas de boro incluyen los lodos del agua residual y efluentes, combustión de carbón, cristal, componentes de limpieza y agroquímicos.

1.2. Niveles Naturales

El boro se relaciona con el medio ambiente muy lentamente y a bajas concentraciones por procesos de desgaste natural. Esta cantidad es aproximadamente 360.000 toneladas de boro por año en el mundo. Vertientes termales en Grecia han reportado tener una concentración de boro de 43 mg/Kg. El boro también puede ser encontrado naturalmente en el suelo a concentraciones de 5 a 150 ppm.

2. BORO EN RIEGO

2.1. Efectos

La Tabla 1 entrega antecedentes sobre sensibilidad al boro de algunos cultivos.

Tabla 1
Sensibilidad o Tolerancia al Boro de Cultivos Agrícolas

Tolerancia	Concentración de Boro en Agua de Riego	Cultivo Agrícola
Muy Sensible	< 0,5	Mora
Sensible	0,5 – 1,0	Durazno, cereza, ciruela, uva, cebolla, ajo, camote, trigo, cebada, girasol, frutillas, alcachofa, porotos
Sensible Moderadamente	1,0 – 2,0	Pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa, pepino
Tolerante Moderadamente	2,0 – 4,0	Lechuga, repollo, apio, avena, maíz, alcachofa, tabaco, trébol, calabaza
Tolerante	4,0 – 6,0	Tomate, alfalfa, perejil, betarraga, remolacha
Muy Tolerante	6,0 – 15,0	Espárragos

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

Se acepta generalmente que la toxicidad del boro esta estrechamente relacionada con problemas de salinidad en climas cálidos y áridos (Butterwick et al, 1989; Nicholaichuk et al, 1988, Gupta et al, 1985). Sin embargo los niveles tóxicos no ocurren sobre terrenos agrícolas a menos que los compuestos de boro estén siendo agregados en cantidades excesivas, tales como materiales fertilizantes, aguas de riego con lodos residuales o cenizas de carbón (Eisler, 1990). Las aguas de riego contaminadas con boro son una de las causas principales de toxicidad de boro en las plantas. Además, el uso continuo y la concentración de boro en el suelo (especialmente en zonas áridas con alta evapotranspiración) conducen a problemas de toxicidad (Gupta et al, 1985). La toxicidad del boro en las plantas se caracteriza por crecimiento lento, malformación de la hoja, colores café y amarillento, clorosis, necrosis, incremento de moho, marchitez e inhibición de germinación de polen y crecimiento de tubos de polen (Butterwick et al, 1989; Eisler, 1990).

Los límites entre la deficiencia y la toxicidad del boro son muy pequeños, tanto que aplicaciones de boro pueden ser extremadamente tóxicas para algunas plantas en concentraciones que están ligeramente sobre el óptimo para otras (Gupta et al, 1985).

Sprague (1972) encontró que concentraciones de 1,0 mg/L producen el crecimiento óptimo para maíz, pero a 5,0 mg/L de B, el daño fue evidente. De la misma forma encontró que a una concentración de boro en el suelo de 0,03 a 0,04 mg/L está el crecimiento óptimo para los limones, pero 1,0 mg/L de B causa problemas. Para remolachas, tomó una solución de boro de 15 mg/L para causar daños. Las concentraciones de boro en el agua del suelo entre 2,5 y 5,0 mg/L de B fueron tóxicas para el arroz (Cayton, 1985).

Watson et al.(1994) estudiaron cinco especies que estaban creciendo con agua de drenaje salina. Las muestras tomadas fueron analizadas para varios elementos, incluido el boro. Promediando sobre todas las especies y cosechas, las concentraciones de boro en los tejidos aumentó progresivamente en el tiempo, a un promedio global de 176 mg/Kg (peso seco). Este valor estaba sobre el nivel máximo tolerable recomendado en alimento para animales rumiantes (150 mg/Kg, peso seco).

Los diferentes efectos del boro en el uso de agua de riego son resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2
Efectos del Boro en los Diferentes Usos del Agua de Riego

Usos de Agua de Riego	Efectos
Aplicación a cultivos comerciales.	El rendimiento del cultivo o la apariencia son afectados por la sensibilidad del cultivo al consumo a través de las raíces de la planta.
Aplicación para mantener sustentabilidad del suelo regado.	Efectos desconocidos del boro en el suelo. Los efectos son indirectos ya que el contenido de boro del suelo afecta el rendimiento del cultivo. Estos efectos indirectos están cubiertos bajo los cultivos.
Mantenimiento de equipos de riego.	Efectos desconocidos.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

2.2. Resumen de Guías Existentes

La Canadian Council of Resource and Environment Ministers (CCREM) (1987) sugiere que la concentración de boro en aguas de riego no debería exceder 0,5 mg/L para plantas sensibles, pero podría ser tan alto como 6 mg/L para plantas tolerantes. La CCREM, aceptó como la norma para boro aquella desarrollada en 1987, ya que los datos más recientes no presentan evidencias para realizar cambios. El Ontario Ministry of the Environment (1984) recomendó un valor de 0,75 mg/L para agua de riego usada continuamente sobre todos los suelos y 2,0 mg/L para aguas de riego usadas más de 20 años sobre suelos de textura fina de pH 6,0 a 8,5. En Manitoba, Williamson (1983) recomendó una concentración de boro no mayor que 0,5 mg/L para aguas de riego usadas como única fuente de boro sobre el cultivo. En cultivos que reciben precipitación natural y riego suplementario, la concentración no debería ser mayor que 1,0 mg/L. Para la protección de suelos de textura fina y media sobre 20 años, la concentración no debería ser mayor que 2,0 mg/L (Williamson, 1983). Alberta Environment (1999) adoptó los valores colocados por CCREM (1987).

La US Environment Protection Agency desarrolló tres guías específicas de boro para aguas de riego ya que los cultivos muestran diferente sensibilidad a este compuesto. Para cultivos sensibles (árboles cítricos) el rango es entre 0,3 y 1,25 mg/L de B. Para cultivos semi tolerantes, tales como cereales y granos, el rango es 0,67 a 2,5 mg/L de B y para compuestos tolerantes, que incluyen la mayoría de las verduras, el rango es 1,0 a 4,0 mg/L de B (Eisler, 1990). Para grandes periodos de riego sobre cultivos sensibles, la US EPA recomienda un valor de 0,75 mg/L (EPA, 1988)

Numerosos estados en US tienen valores guías de boro entre 0,75 a 1,0 mg/L de B (EPA, 1988; New Mexico Water Quality Control Comisión, 1995; Hergert and Knudsen, 1977). En Australia y Nueva Zelanda, fue recomendado que la concentración de boro en aguas de riego no debería exceder 0,5 mg/L (ANZECC, 2000).

Un resumen de normas y recomendaciones establecidas para aguas de riego se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3
Normas y Recomendaciones para Boro en aguas de Riego

Recomendación	Valores	Jurisdicción	Fecha	Referencias
La concentración de boro total en aguas de riego no debería exceder 0,5 mg/L para plantas sensibles, pero podría ser tan alta como 6,0 mg/L para plantas tolerantes	0,5 – 0,6 mg/L	Canadá	1987	CCREM (1987) CCME (1999)
Se recomienda 0,75mg/L para aguas usadas continuamente sobre todo el suelo y 2,0 mg/L para aguas usadas sobre 20 años en suelos de textura fina de pH 6,0 a 8,5	0,75 – 2,0 mg/L	Ontario, Canadá	1984	Ontario Ministry of the Environment (1984)
Se recomienda 0,5 mg/L para aguas de riego usadas como una fuente única, 1,0 mg/L para protección de suelos de textura fina a media sobre los 20 años	0,5 – 2,0 mg/L	Manitota, Canadá	1983	Williamson (1983)
Guías de Calidad de Aguas para usos agrícolas	0,5 – 6,0 mg/L	Alberta, Canadá	1999	Alberta Environment (1999)
La concentración máxima de boro recomendada para aguas de riego de todos los tipos de suelo son 2,0 mg/L para cultivos tolerantes, 1,0 mg/L para plantas semitolerantes y 0,3 mg/L para cultivos sensibles	0,3 – 2,0 mg/L	Australia	1974	Hart (1974)
La concentración de boro en aguas de riego y suelos no debería exceder concentraciones de contameinante de 0,5 mg/L.	0,5 mg/L	Australia	1999	Australia and New Zealand Environment and Conservation Council (1999)
Cultivos sensibles	0,3 – 1,25 mg/L	USA	1987	Sprague (1972), Papachristou et al (1987), EPA (1975) in Eisler (1990)
Cultivos semitolerantes	0,65 – 2,5 mg/L	USA	1987	Sprague (1972), Papachristou et al (1987), EPA (1975) in Eisler (1990)

Tabla 3
Normas y Recomendaciones para Boro en aguas de Riego (Continuación)

Recomendación	Valores	Jurisdicción	Fecha	Referencias
Cultivos Tolerantes	1 – 4 mg/L	USA	1987	Sprague (1972), Papachristou et al (1987), EPA (1975) in Eisler (1990)
Concentración segura máxima	4 mg/L	USA	1987	Papachristou et al (1987), EPA (1975) in Eisler (1990)
El siguiente patrón numérico no debe ser excedido: Boro disuelto	0,75 mg/L	New Mexico Streams, USA	1995	New Mexico Water Quality Control Comm. (1995)
Aguas de riego que contienen más que 1,0 ppm de boro puede causar acumulación de niveles tóxicos para cultivos sensibles	1,0 mg/L	Nebraska, USA	1977	Hergert et al (1977)
Carácter del cultivo: Sensible Semitolerante Tolerante	0,3 – 1,0 mg/L 1 – 2 mg/L 2 – 4 mg/L	USA	1935	Eaton (1935) in Butterwick et al (1989)
Sensible Semitolerante Tolerante	0,5 – 1,0 mg/L 1, - 2 mg/L 2 – 10 mg/L	Food and Agriculture Organization (UNESCO)	1976	Gupta (1983) in Butterwick et al (1989)
Todos los Cultivos	0,7 mg/L	Israel		Gupta (1983) in Butterwick et al (1989)
Todos los suelos/ Grandes periodos en suelos de textura fina por 20 años	1 ,0 mg/L 2, 0 mg/L	USA	1972	Gupta (1983) in Butterwick et al (1989)
Todos los suelos/ Grandes periodos en suelos neutros y alcalinos de textura fina por 20 años	0,75 mg/L 2,0 mg/L	USA	1973	Gupta (1983) in Butterwick et al (1989)
Grado de problema Sin problema Problema en aumento Problema grave	< 0,5 mg/L 0,5 – 2,0 mg/L 2,0 – 10,0 mg/L	Food and Agriculture Organization	1976	Ayers et al (1976 in Butterwick et al (1989)

Tabla 3
Normas y Recomendaciones para Boro en aguas de Riego (Continuación)

Recomendación	Valores	Jurisdicción	Fecha	Referencias
Límites permisibles Cultivo sensible (nogal, alcachofa Jerusalem, porotos navy, olmo americano, ciruelo, para, manzana, uva, higo, cereza, durazno, damasco, naranja, aguacate, pomelo, limón)	0,33 – 0,67 mg/L 0,67 -1,00 mg/L 1,00 – 1,25 mg/L > 1,25 mg/L	USA	1990	Van der Leeden (1990) in Texas A&M University Agricultura Program
Semotilerante (girasol, papa, algodón, tomate, rabano, arvejas, olivo, cebada, trigo, maíz, avena, calabaza, papa dulce, poroto lima)	0,67 – 1,33 mg/L 1,33 – 2,00 mg/L 2,00 – 2,50 mg/L > 2,50 mg/L	USA	1990	Van der Leeden (1990) in Texas A&M University Agricultura Program
Tolerante (espárragos, palmera, remolacha, alfalfa, galdeolos, cebolla, repollo, lechuga, zanahoria)	1,00 – 2,00 mg/L 2,00 – 3,00 mg/L 3,00 – 3,75 mg/L > 3,75 mg/L	USA	1990	Van der Leeden (1990) in Texas A&M University Agricultura Program
Criterios de calidad para grandes periodos de riego sobre cultivos sensibles	0,75 mg/L	USA	1986	
Criterios de calidad para riego agrícola	1,0 mg/L	Arizona, USA	1986	EPA (1988)
Criterios de calidad para riego agrícola	0,75 mg/L (promedio en 30 días)	Colorado, USA	1986	EPA (1988)
Criterios de calidad para agricultura (Clase IV)	0,75 mg/L	Florida, USA	1986	EPA (1988)
Criterios de calidad para riego agrícola	0,75 mg/L	Kansas, USA	1987	EPA (1988)
Criterios de calidad para riego	0,75 mg/L	Missouri, USA	1988	EPA (1988)
Criterios de calidad para riego	1,0 mg/L	Humbolt, River, Nevada, USA	1985	EPA (1988)
Criterios de calidad para agricultura y fauna	0,5 mg/L	Minnesota, USA	1982	EPA (1988)

2.3. Criterio Recomendado

La literatura especializada recomienda que la máxima concentración de boro para la protección de cultivos de riego no debería exceder los valores mostrados en la Tabla 1. Estos valores dependen sólo de la sensibilidad del cultivo y son consistentes con los valores guías CCME (1999)

La Tabla 4 muestra los efectos del boro usado en aguas de riego sobre el rendimiento y calidad del cultivo.

Tabla 4
Efectos del Boro en Cultivos

Rango de Concentración (mg/L)	Efectos en Cultivos
Rango de calidad de aguas objetivo < 0,5	Debería prevenir la acumulación de boro a niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz) salvo en las plantas más sensibles.
0,5 – 1,0	Cultivos muy sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
1,0 – 2,0	Cultivos sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
2,0 – 4,0	Cultivos moderadamente sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
4,0 – 6,0	Cultivos moderadamente tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
6,0 – 15,0	Cultivos tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
> 15,0	Cultivos muy tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

2.4. Razones

La industria de la agricultura en algunas localidades es ampliamente diversificada en la variedad de crecimientos de especies de cultivo, desde cultivos de mora sensibles al boro, duraznos y frutillas a cultivos más tolerantes como espárragos, zanahorias y tomates. Sin embargo, debido a los muy bajos niveles residuales de boro en aguas superficiales (0,01 mg/L) y aguas subterráneas (0,069 mg/L), la toxicidad del boro debería constituir un problema.

3. REFERENCIAS

- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Ambient Water Quality Guidelines for Boron. 1981.
- Guidelines for the Interpretation of the Biological Effects of Selected Constituents in Biota, Water, and Sediment. 1998.
- South African Water Quality Guidelines. 1996.