



DESARROLLOS DE NIVELES GUÍA NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE CORRESPONDIENTES A BORO

Diciembre 2003

INDICE

	<i>pág.</i>
I) Aspectos generales	I.1
II) Niveles guía de calidad para fuentes de provisión de agua para consumo humano correspondientes a boro	II.1
II.1) <i>Introducción</i>	II.1
II.2) <i>Cálculo del nivel guía de calidad de agua para consumo humano</i>	II.1
II.3) <i>Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento</i>	II.1
II.4) <i>Especificación de niveles guía de calidad de agua para la fuente de provisión</i>	II.2
II.4.1) <i>Fuente superficial con tratamiento convencional</i>	II.2
II.4.2) <i>Fuente superficial con tratamientos especiales</i>	II.2
II.4.3) <i>Fuente subterránea sin tratamiento o cuando éste consiste en una cloración</i>	II.2
II.4.4) <i>Fuente subterránea con tratamientos especiales</i>	II.3
II.5) <i>Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano</i>	II.3
V) Nivel guía de calidad de agua ambiente para riego correspondiente a boro	V.1
V.1) <i>Introducción</i>	V.1
V.2) <i>Cálculo de la concentración máxima aceptable de boro en el agua de riego</i>	V.5
V.3) <i>Especificación del nivel guía para boro en agua de riego</i>	V.9
V.4) <i>Verificación de la ausencia de riesgos sobre el suelo y el acuífero freático asociados al agua de riego</i>	V9
IX) Técnicas analíticas asociadas a la determinación de boro	IX.1
X) Referencias	X.1
XI) Historial del documento	XI.1



I) ASPECTOS GENERALES

El boro se encuentra en diversos minerales de la corteza terrestre, siendo el más abundante de ellos un borosilicato de aluminio conocido como tourmalina (Muetterties, 1967). Su incorporación al agua ambiente resulta en gran medida de la meteorización de rocas ígneas y sedimentarias; a este aporte natural se suma el antropogénico. Una parte de este último está constituida por la presencia de boro en líquidos residuales domésticos y varios líquidos residuales industriales, resultante del uso de compuestos de aquél como agentes limpiadores, de la obtención de productos como bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y ácido bórico (H_3BO_3) y de su utilización como insumos de diversas ramas de la industria; otra parte está conformada por el escurrimiento superficial de aguas pluviales en áreas agrícolas donde se aplican sustancias agroquímicas que contienen boro (Larsen L.A., 1988; Versar Inc., 1975; Anderson et al., 1994; ATSDR, 1992).

En los ambientes acuáticos el boro se encuentra en estado de oxidación +3, siendo el ácido bórico no disociado la forma preponderante, en coexistencia con cierta concentración de iones borato (Sprague, 1972). Esta última se incrementa a medida que el pH aumenta.

La concentración media de boro en aguas oceánicas es del orden de 4,5 mg/l (Weast et al., 1985). Las diversas referencias sobre ocurrencia mundial de boro en agua dulce superficial indican concentraciones comprendidas en el rango 1 $\mu\text{g/l}$ – 7 mg/l, habiéndose reportado niveles bastante más elevados en áreas con depósitos ricos en boro de Sudamérica, con concentraciones de hasta 26 mg/l, y de Norteamérica, con concentraciones que llegan hasta 360 mg/l (IPCS, 1998). En cuanto a agua subterránea, la ocurrencia mundial de boro registra una variación entre concentraciones menores que 0,3 mg/l y concentraciones superiores a 120 mg/l (IPCS, 1998).

En la Argentina, para ciertos cuerpos superficiales de agua de la Provincia de Salta han sido reportadas concentraciones altas de boro atribuibles a la geología natural. Es el caso del río Guachipas (Las Conchas, en su sección sur) y de su principal sistema tributario, conformado por el río Calchaquí y sus afluentes, para algunos de los cuales las concentraciones de boro registradas son superiores a 10 mg/l (Lomniczi et al., 1997). Por otra parte, han sido informadas alteraciones de las condiciones basales correspondientes a boro en aguas subterráneas y superficiales del Valle de Lerma, Salta (concentraciones de boro menores que 0,3 mg/l) como consecuencia de aportes antropogénicos, habiéndose detectado elevaciones de las concentraciones de boro hasta 6,2 mg/l, en agua subterránea, y hasta 50 mg/l, en el río Arenales (Bundschuh, 1992).



II) NIVELES GUIA DE CALIDAD PARA FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO CORRESPONDIENTES A BORO

II.1) *Introducción*

Diversos estudios en animales de ensayo han evidenciado varios efectos tóxicos resultantes de la exposición oral crónica al boro, entre ellos, atrofia testicular, alteración de la espermatogénesis y disminución de la masa corporal. Sobre la base de un nivel de exposición sin efecto observado (NOAEL) igual a 8,8 mg B/(kg * d), asociado a la detección de atrofia testicular severa y bloqueo espermatogénico en perros expuestos a bórax y ácido bórico a través de su administración en la dieta durante 2 años (Weir and Fisher, 1972), la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (U.S. EPA) derivó una ingesta diaria tolerable (IDT) igual a 88 µg B/(kg * d) aplicando un factor de incertidumbre (FI) igual a 100 (U.S. EPA, IRIS, 1995).

De acuerdo a la información disponible resultante de los estudios sobre animales y a la falta de evidencia sobre carcinogenicidad humana, la U.S. EPA ha clasificado al boro en el Grupo D, correspondiente a las sustancias no clasificables como carcinógenos humanos (U.S. EPA, 1994).

En virtud de lo precedentemente expuesto, el boro ha sido caracterizado como un tóxico con umbral, derivándose el nivel guía de calidad de agua para consumo humano según la metodología establecida para parámetros de este tipo.

II.2) *Cálculo del nivel guía de calidad de agua para consumo humano*

Teniendo en cuenta la ingesta diaria tolerable (IDT) de boro antes mencionada y asumiendo una masa corporal (MC) igual a 60 kg, un consumo diario de agua por persona (C) igual a 2 l/d y una asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida (F) igual a 0,1 (OMS, 1995), se calcula el nivel guía de calidad para agua de bebida (NGAB) según la siguiente expresión:

$$NGAB \leq IDT * MC * F/C$$

resultando:

$$NGAB \text{ (Boro)} \leq 0,26 \text{ mg/l}$$

II.3) *Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento*

En el Cuadro II.1 se indican eficiencias esperables en la remoción de boro asociadas a diversas tecnologías de tratamiento.



CUADRO II.1 – REMOCION DE BORO. EFICIENCIAS DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO

TRATAMIENTO	REMOCION ESPERABLE	OBSERVACIONES	REFERENCIAS
Convencional para agua superficial	Sin especificación	Si bien no se tiene especificación de eficiencias inherentes a boro para el tratamiento convencional, la remoción de boro basada en la coagulación con sales de aluminio o de hierro (+2) ha sido reportada como inefectiva	Waggott, 1969
Adsorción en carbón activado granular	70 - > 90 %	La mayor eficiencia es obtenible para concentraciones en el agua cruda no superiores a 5 mg B/l	Choi and Chen, 1979
Intercambio iónico	70 - > 90 %		CCME, 1996
Electrodeionización	> 95 %		Hernon et al., 2000

II.4) Especificación de niveles guía de calidad de agua para la fuente de provisión

Se especifican a continuación niveles guía para boro en la fuente de provisión (NGFP) correspondientes a diversos escenarios.

II.4.1) Fuente superficial con tratamiento convencional:

Si bien no se tiene especificación sobre la remoción de boro en el tratamiento convencional, en base a la inefectividad reportada para la coagulación con sales de aluminio o hierro (+2), que se extiende a la acción de la cal (Waggott, 1969), se asume una eficiencia nula en la remoción de boro soluble para el tratamiento antedicho. En virtud de ello, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para boro en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (Boro)} \leq 0,26 \text{ mg/l}$$

II.4.2) Fuente superficial con tratamientos especiales:

Para casos en que se apliquen tratamientos que puedan verificar remociones de boro no menores que 70 %, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para boro en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (Boro)} \leq 0,86 \text{ mg/l}$$

II.4.3) Fuente subterránea sin tratamiento o cuando éste consiste en una cloración (tratamiento convencional) u otra técnica de desinfección:

Para el caso de aguas subterráneas con condiciones de aptitud microbiológica para consumo directo o que requieran un tratamiento de desinfección, se especifica el siguiente



nivel guía de calidad para boro en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGFP (Boro)} \leq 0,26 \text{ mg/l}$$

II.4.4) Fuente subterránea con tratamientos especiales:

Para casos en que se apliquen tratamientos que puedan verificar remociones de boro no menores que 70 %, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para boro en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (Boro)} \leq 0,86 \text{ mg/l}$$

II.5) Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano

En el Cuadro II.2 se establece una categorización de las fuentes de provisión de agua para consumo humano en función de las concentraciones de boro.

CUADRO II.2 – CATEGORIZACION DE LAS FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN FUNCION DE LAS CONCENTRACIONES DE BORO (C_B)

FUENTE	CATEGORIA	CONDICIONES DE CALIDAD
SUPERFICIAL	Calidad apropiada con tratamiento convencional	$C_B \leq 0,26 \text{ mg/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de boro no menores que 70 %	$0,26 \text{ mg/l} < C_B \leq 0,86 \text{ mg/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$C_B > 0,86 \text{ mg/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad apropiada para consumo directo o para cuando el uso esté condicionado a la aplicación de cloración u otra técnica de desinfección	$C_B \leq 0,26 \text{ mg/l}$ (2)
SUBTERRANEA	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de boro no menores que 70 %	$0,26 \text{ mg/l} < C_B \leq 0,86 \text{ mg/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$C_B > 0,86 \text{ mg/l}$ (1)

Notas:

(1): Referida a la muestra de agua filtrada

(2): Referida a la muestra de agua sin filtrar



V) NIVEL GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RIEGO CORRESPONDIENTE A BORO

V.1) *Introducción*

El boro es un micronutriente esencial para las plantas, con roles en la división celular, la síntesis de la pared celular, la translocación de azúcares, la síntesis proteica y también en funciones de las membranas. No obstante, el nivel mínimo de boro que satisface el requerimiento esencial del mismo no está muy alejado de su umbral de toxicidad (Gupta et al., 1985).

La fitotoxicidad asociada al boro puede manifestarse por exposiciones a suelos con una alta ocurrencia natural de éste, a una fertilización excesiva con minerales de boro, a irrigación con agua de alta concentración de boro y a la reutilización de líquidos residuales de la industria del boro para riego.

El boro sufre una adsorción en el perfil del suelo que es influenciada por la concentración de aquél, el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el tipo de arcilla, la cobertura mineral de las arcillas, la humedad, la temperatura y la textura del suelo, estableciéndose un equilibrio entre el boro adsorbido y el boro disuelto en la solución del suelo. Las ecuaciones de Langmuir son útiles para cuantificar la adsorción de boro como función de la concentración de boro en la solución del suelo para un dado pH. El boro tiene una movilidad muy elevada en el suelo, lixiviando fácilmente (Gupta et al., 1985). Las plantas extraen el boro de la solución del suelo, actuando el boro adsorbido como buffer, oponiéndose a los cambios en aquélla (Hatcher et al., 1962).

A pesar de que existen numerosos estudios sobre efectos asociados tanto a la deficiencia de boro como a su toxicidad, las formas de expresar las concentraciones de boro relacionadas con tales efectos son diversas. En tal sentido, el boro soluble en agua caliente y el boro en el extracto de saturación son indicadores muy usados, pero no son en todos los casos representativos de la concentración de boro en la solución del suelo (Gupta, 1985). Dicha concentración expresaría directamente el nivel de boro disponible para la planta. Existen varios estudios de fitotoxicidad de boro realizados sobre arena lavada a los efectos de remover partículas adsorbentes y relacionar fácilmente los efectos sobre las plantas con las concentraciones de boro aplicado, que en estas condiciones estaría biodisponible en su totalidad.

La fuente principal de boro en la agricultura es el agua de irrigación. El boro aplicado a través de ella tarda un tiempo considerable en alcanzar el equilibrio, siendo gran parte de él adsorbido durante los primeros años de irrigación, resultando una concentración de boro muy baja en la solución del suelo. Por ello, ciertos cultivos sensibles al boro que en los primeros tiempos crecen normalmente, luego de períodos prolongados de irrigación pueden sufrir efectos tóxicos al elevarse la concentración de boro en la solución del suelo.

El boro captado por el sistema radicular es trasladado hacia las hojas, acumulándose en puntas y márgenes. Los síntomas de la intoxicación siguen patrones que han sido bien estudiados. En plantas de limón, naranja y pomelo se observa la muerte de la hoja, luego de la aparición de un color amarillento y un posterior amarronamiento de los extremos; en cereales



y pastos como avena, maíz, trigo y cebada aparecen quemaduras tanto en los márgenes como en los extremos de las hojas y en alfalfa, algodón y baya aparecen quemaduras marginales en las hojas. Varios cultivos son resistentes al boro, figurando entre ellos higo, poroto, pimiento, tomate, papa, arveja, zapallo, girasol, uva, palta, rabanito, nabo y remolacha.

El análisis foliar es utilizado para el diagnóstico de la intoxicación con boro. En este sentido, el contenido de boro de hojas maduras normales se encuentra comprendido en el rango 50 - 100 ppm mientras que el contenido de boro en plantas con deficiencia del mismo es igual o menor que 20 ppm, Los valores superiores a 250 ppm de boro están asociados con manifestaciones tóxicas (Allison, 1964).

Maas (1984) estableció categorías para cultivos relacionadas con su resistencia al boro soluble en relación a disminución de la cosecha. Dicha categorización es presentada en la Tabla V.1.

TABLA V.1 – CATEGORIZACION DE CULTIVOS POR SU RESISTENCIA AL BORO SOLUBLE EN RELACION A DISMINUCION DE LA COSECHA

CATEGORIA CULTIVO	CONCENTRACION MAXIMA ADMITIDA DE BORO EN LA SOLUCION DEL SUELO QUE NO AFECTA LA COSECHA [mg B/l]
Muy sensible	< 0,5
Sensible	0,5 – 1
Moderadamente sensible	1 - 2
Moderadamente tolerante	2 – 4
Tolerante	4 – 6
Muy tolerante	6

Trabajos experimentales con diversos cultivos han aportado abundante evidencia sobre la fitotoxicidad del boro.

Con el objeto de evaluar la interpretación de la relación boro-salinidad en la fitotoxicidad sobre árboles frutales, El-Motaium et al (1944) estudiaron las tolerancias relativas de rizomas de *Prunus persica* Batsch (duraznero), *Prunus salicina* Lindl (ciruelo japonés) y *Prunus amigdalus* Batsch (almendro) expuestos al boro y/o a la salinidad. Los síntomas de toxicidad mas significativos, que incluyeron secado del tallo, exudados gomosos y manchas necróticas a lo largo de la parte inferior y media del tallo, se registraron en aquellos casos en que sólo hubo exposición al boro, no observándose dichos síntomas en los casos en que la exposición fue sólo a sales. También se observó que a la máxima concentración de boro aplicada, a medida que aumentaba la salinidad, la mortandad de tallos disminuía, indicando un decrecimiento de la toxicidad del boro. Las observaciones señalaron que todos los efectos aparentes de la salinidad sobre el tallo estaban relacionados con la influencia de aquélla sobre la concentración del boro en el tallo. De acuerdo a los resultados, la toxicidad del boro correlacionaría con su concentración en el tallo y la tolerancia a altas concentraciones de boro estaría asociada a su exclusión de la planta y no a su distribución dentro de la misma. Por lo tanto, utilizando rizomas con asimilación reducida de boro podría mantenerse la población de árboles en suelos de alto contenido de boro.



La investigación de Gupta et al. (1977) sobre *Hordeum distichum* var Volla (cebada cervecera) y *Triticum aestivum* var Opal (trigo) permitió observar que la incorporación de boro hasta 1,8 kg/ha no provocaba ningún efecto sobre la producción de granos, mientras que la incorporación de 2,24 kg B/ha disminuía la producción de granos de cebada en un 16,71 % y la de trigo en un 6,66 %.

Francois (1984) estudió el efecto del exceso de boro sobre *Lycopersicon esculentum* (tomate) mediante ensayos de irrigación con soluciones de distintas concentraciones de boro en arena lavada. Se observó que a partir de 5,7 mg B/l, por cada mg B/l en exceso la masa de la fruta disminuye un 3,4 %, y que a partir de 3,3 mg B/l, por cada mg B/l en exceso disminuye un 3 % el crecimiento vegetativo, advirtiéndose clorosis marginal y necrosis en las hojas. Estudios similares de Francois (1986) con *Brassica oleracea* variedad brocoli, *Brassica oleracea* variedad coliflor y *Raphanus sativus* (rábano), permitieron observar que los rendimientos de las cosechas disminuían un 1,8 % por cada mg B/l en exceso sobre 1 mg B/l, para brócoli, un 1,9 % por cada mg B/l en exceso sobre 4 mg B/l, para coliflor, y un 1,4 % por cada mg B/l en exceso sobre 1 mg B/l, para rábano. Experiencias del mismo tipo realizadas por Francois (1988) sobre *Apium graveolens* (apio) y *Lactuca sativa* (lechuga) comprobaron que para apio, a partir de 9,8 mg B/l, por cada mg B/l en exceso el rendimiento de la cosecha disminuía un 3,2 %, y para lechuga se determinó que a partir de 1,3 mg B/l, por cada mg B/l en exceso el rendimiento de la cosecha disminuía un 1,7 %.

Bingham et al. (1985) estudiaron la respuesta de *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare* (cebada forrajera) y *Sorghum bicolor* (sorgo) mediante ensayos en arena lavada irrigando con soluciones nutritivas que contenían concentraciones diversas de boro, observando que el rendimiento de la cosecha disminuía cuando la concentración de boro en la solución superaba 0,3 mg/l, en el caso de trigo, 3,4 mg/l, en el caso de cebada, y 7,4 mg/l, en el caso de sorgo. Los datos experimentales fueron utilizados para estimar el efecto del exceso de boro soluble en el rendimiento de cultivos aplicando el modelo de Maas - Hoffman, originariamente planteado para relacionar la respuesta de cultivos con la salinidad según:

$$Y = 100 - m (X - A)$$

donde:

Y: rendimiento de la cosecha [%]

X: conductividad del extracto de saturación del suelo [dS/m]

A: máxima conductividad tolerable sin daño a la cosecha (valor umbral) [dS/m]

m: porcentaje de disminución de cosecha por unidad de incremento de la conductividad sobre A: (factor de pendiente).

Por otra parte, utilizando el modelo antedicho y sobre la base de ensayos de otros investigadores, Bingham et al. (1985) calcularon los valores umbrales para otros cultivos.

Gupta et al (1987) realizaron estudios sobre deficiencia de boro en repollos de Bruselas incorporando boro en forma de borato de sodio en campo, comprobando que aportes de boro hasta 16 kg B/ha no causan detrimentos significativos sobre el rendimiento de la cosecha.

Francois (1989) estudió la tolerancia al boro de *Phaseolus vulgaris* (poroto) y de *Vigna unguiculata* (poroto tape) mediante experiencias de irrigación con soluciones nutrientes en



tanques de arena previamente lavada, observando para *Phaseolus vulgaris* que por encima de 1 mg B/l se producía una disminución del rendimiento de 12,1 % por cada mg B/l de incremento en la solución nutritiva. En el caso de *Vigna unguiculata*, por encima de 2,5 mg B/l se observó una disminución del rendimiento de 11,5 % por cada mg B/l de incremento en la solución nutritiva. En ambos casos, la disminución antedicha se reflejó en la reducción del número de vainas.

Benlloch et al. (1991) estudiaron la influencia del exceso de sodio y boro en el agua de irrigación sobre el crecimiento del tallo y composición química de las hojas de *Olea europaea* (olivo) mediante ensayos en invernaderos. Los mismos permitieron observar reducción del crecimiento del tallo a alta concentración de boro, manifestándose clorosis marginal de las hojas con extensión a las ramas.

Francois (1991) estudió los efectos del boro sobre cultivos de *Allium sativum* (ajo) y *Allium cepa* (cebolla) mediante experiencias de irrigación con soluciones de distinta concentración en arena lavada. En el caso del ajo, se observó que por encima de 4,3 mg B/l el rendimiento de la cosecha disminuyó 2,7 % por cada mg B/l incrementado en el agua de irrigación, apreciándose una reducción significativa del peso y diámetro de los bulbos de ajo por encima de 5 mg B/l y clorosis de las hojas de todas las plantas por encima de 10 mg B/l. En el caso de la cebolla, se observó que por encima de 8,9 mg/l el rendimiento de la cosecha disminuyó 1,9 % por cada mg B/l incrementado en el agua de irrigación y que por encima de 10 mg B/l se manifestó clorosis en los extremos de las hojas. En experiencias similares, Francois (1992) evaluó la tolerancia a la irrigación con boro de cultivares de calabacitas pertenecientes a las especies *Curcubita pepo* (zapallo de Angola), variedades Aristocrat Zucchini y Peter Pan Scallop, y *Curcubita moschatta* (calabaza) variedad Butter boy, observando disminuciones de rendimientos en el número de frutos de 5,2 %, para la variedad Aristocrat Zucchini, 9,8 %, para Peter Pan Scallop, y 4,3 % para Butter boy, por cada mg B/l de incremento por encima de 2,7, 4,9 y 1 mg B/l, respectivamente.

El estudio de Chiwon et al. (1996), realizado con soluciones nutrientes suplementadas con boro, permitió observar disminución del crecimiento, pigmentación de las hojas y modificaciones en la estructura de cloroplastos de *Poa pratensis* cv Touchdown (Kentucky Bluegrass).

En su estudio sobre cultivos de kiwi expuestos al boro, Sotiropoulos et al. (1997) observaron manifestaciones de clorosis y necrosis, esta última en situaciones de exposición prolongada. Posteriormente, Sotiropoulos et al. (1998) estudiaron la variación estacional y la distribución del boro en suelos y cultivos de kiwi irrigados con agua de alta concentración de boro, observando la disminución dramática del rendimiento y el ablandamiento de las frutas durante su almacenamiento. El kiwi ha demostrado ser extremadamente sensible al exceso de boro, demandando irrigación con agua con concentraciones menores que 0,5 mg B/l (Smith et al., 1987a,b; Nable et al., 1997). Además, el margen entre las concentraciones asociadas a déficit de boro y aquéllas que resultan tóxicas es muy estrecho (Smith et al., 1987a y b), pudiendo una concentración ligeramente superior a la óptima ser extremadamente tóxica (Bell, 1997).

Wang et al. (1999) estudiaron el efecto de la aplicación de boro sobre cultivos de *Oryza sativa* (arroz) y *Brassica napus* (colza), observando que la aplicación de 3,3 kg B/ha en forma de bórax no provocaba una reducción significativa de las cosechas de ambos.



Maas y Grattan (1999), utilizando el modelo de Maas-Hoffman antes mencionado con datos experimentales de diversas investigaciones, establecieron valores para A y m correspondientes a varios cultivos.

El estudio de Aydin y Alpaslan (2000) permitió observar una disminución significativa del peso seco en cultivos de maíz expuestos al boro, conjuntamente con un aumento de la concentración de boro en los cultivos. Se observó también una relación antagónica entre el boro y el fósforo con respecto a su asimilación. Así, mientras que el incremento de la concentración de fósforo en el suelo provocaba un aumento en la asimilación y concentración de fósforo en los cultivos, la asimilación y concentración de boro en aquéllos disminuía. La aplicación de boro tenía efectos similares, aumentando su asimilación y concentración en los cultivos y disminuyendo la asimilación y concentración de fósforo en aquéllos. Esta interacción entre boro y fósforo, también observada en frutillas y tomates, se debería a que la sustancia con mayor concentración en el suelo inhibiría el transporte y la asimilación de aquélla con menor concentración.

De acuerdo a la información fitotoxicológica disponible, se deriva el nivel guía de calidad de boro correspondiente a agua para riego siguiendo el procedimiento establecido para datos basados en concentraciones en el agua de irrigación, resultando la información antedicha suficiente para el cálculo de la concentración máxima aceptable de boro en el agua de riego con carácter pleno.

V.2) Cálculo de la concentración máxima aceptable de boro en el agua de riego

En la Tabla V.2 se exponen valores de mínimas concentraciones de boro en el agua de irrigación para las cuales se registran efectos fitotóxicos (LOEC) y de concentraciones de boro en el agua de irrigación para las cuales no se registran efectos fitotóxicos (NOEC) correspondientes a especies de producción vegetal. Estos valores están así reportados en los trabajos referenciados en la tabla antedicha o resultan de elaboraciones sobre tales trabajos.

TABLA V.2 - FITOTOXICIDAD DE BORO SOBRE ESPECIES DE PRODUCCION VEGETAL

ESPECIE	LOEC [mg B/l]	NOEC [mg B/l]	EFECTO	REFERENCIA
<i>Allium cepa</i>	14,2 (1)	8,9	Rendimiento del bulbo	Francois, 1991
<i>Allium sativum</i>	8,0 (1)	4,3	Disminución del rendimiento de la cosecha	Francois L.E., 1991
<i>Apium graveolens</i> var dulce	12,1 (1)	9,8	Peso fresco del peciolo	Francois, 1988
<i>Arachis hypogaea</i>	Sin Dato	0,75	Rendimiento del grano	Gopal, 1971 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Asparagus officinalis</i>	Sin Dato	10	Peso seco del tallo	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Avena sativa</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco del grano	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Beta vulgaris</i>	Sin Dato	4,0	Peso fresco de la raíz	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)



TABLA V.2 - FITOTOXICIDAD DE BORO SOBRE ESPECIES DE PRODUCCION VEGETAL (Cont.)

ESPECIE	LOEC [mg B/l]	NOEC [mg B/l]	EFEECTO	REFERENCIA
<i>Brassica juncea</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Brassica olearacea</i>	6,6 (1)	1,0	Disminución del rendimiento de la cosecha	Francois L.E., 1986
<i>Brassica rapa</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco de la raíz	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Capsicum annum</i>	Sin Dato	1,0	Rendimiento del fruto	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Carya illinoensis</i>	Sin Dato	0,5	Daño foliar	Haas, 1929 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Citrus limon</i>	Sin Dato	< 0,5	Daño foliar, peso seco de la planta	Eaton, 1944; Haas, 1929 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Citrus sinensis</i>	Sin Dato	0,5	Daño foliar	Haas, 1929 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Citrus paradisi</i>	Sin Dato	0,5	Daño foliar	Haas, 1929 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Cucumis melo</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco del tallo	Eaton, 1944; El-Sheikh et al., 1971 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Cucumis sativus</i>	Sin Dato	1,0	Peso seco del tallo	El-Sheikh et al., 1971 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Curcubita moschatta</i>	3,3 (1)	1,0	Disminución del rendimiento de la cosecha	Francois L.E., 1992
<i>Cynara scolymus</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco de la lámina	Francois L.E., 1992
<i>Daucus carota</i>	Sin Dato	1,0	Peso seco de la raíz	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Diospyros kaki</i>	Sin Dato	0,5	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Ficus carica</i>	Sin Dato	0,5	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Fragaria sp.</i>	Sin Dato	0,75	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Gossypium hirsutum</i>	Sin Dato	6,0	Peso seco de la cápsula	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Helianthus annuus</i>	Sin Dato	0,75	Rendimiento de la semilla	Pathak et al., 1975
<i>Helianthus tuberosus</i>	Sin Dato	0,75	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Hordeum vulgare</i>	5,7 (1)	3,4	Rendimiento del grano	Bingham et al., 1985
<i>Ipomea batatas</i>	Sin Dato	0,75	Peso fresco de la raíz	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Juglans regia</i>	Sin Dato	0,50	Daño foliar	Haas, 1929
<i>Lactuca sativa</i>	7,2 (1)	1,3	Peso fresco de la cabeza	Francois L.E., 1988
<i>Lupinus hartwegii</i>	Sin Dato	0,75	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	8,6 (1)	5,7	Rendimiento de la fruta	Francois, 1984
<i>Medicago sativa</i>	Sin Dato	4,0	Disminución de materia seca del tallo	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Melilotus indica</i>	Sin Dato	2,0	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Nicotiana tobacum</i>	Sin Dato	2,0	Peso fresco de las láminas	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Persea americana</i>	Sin Dato	0,5	Daño foliar	Haas, 1929 (en Maas y Grattan, 1999)



TABLA V.2 - FITOTOXICIDAD DE BORO SOBRE ESPECIES DE PRODUCCION VEGETAL (Cont.)

ESPECIE	LOEC [mg B/l]	NOEC [mg B/l]	EFEECTO	REFERENCIA
<i>Petroselinum crispum</i>	Sin Dato	4,0	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)
<i>Phaseolus lunatus</i>	Sin Dato	0,75	Peso seco del total de la planta	Eaton, 1944 (en Maas y Grattan, 1999)

Nota:

(1): Estimado con el modelo de Maas - Hoffman asumiendo para el cálculo de LOEC una disminución de rendimiento igual a 10 %.

Calculando la concentración máxima aceptable de boro para cada especie considerada (SMATC_i) según la siguiente expresión:

$$SMATC_i = (LOEC_i * NOEC_i)^{1/2} / FI$$

donde:

FI: factor de incertidumbre.

y adoptándose para FI el valor 10, de acuerdo a las pautas metodológicas establecidas, resultan los valores presentados en la Tabla V.3

TABLA V.3 - CONCENTRACIONES MAXIMAS ACEPTABLES DE BORO

ESPECIE	LOEC [mg B/l]	NOEC [mg B/l]	SMATC [mg B/l]
<i>Allium cepa</i>	14,2	8,9	1,12
<i>Allium sativum</i>	8,0	4,3	0,58
<i>Apium graveolens</i> var dulce	12,1	9,8	1,09
<i>Arachis hypogaea</i>	Sin Dato	0,75	0,15
<i>Asparagus officianalis</i>	Sin Dato	10	2,0
<i>Avena sativa</i>	Sin Dato	2,0	0,40
<i>Beta vulgaris</i>	Sin Dato	4,0	0,80
<i>Brassica juncea</i>	Sin Dato	2,0	0,40
<i>Brassica olearacea</i>	6,6 (1)	1,0	0,25
<i>Brassica rapa</i>	Sin Dato	2,0	0,40
<i>Capsicum annum</i>	Sin Dato	1,0	0,20
<i>Carya illinoensis</i>	Sin Dato	0,5	0,10
<i>Citrus limon</i>	Sin Dato	< 0,5	< 0,10
<i>Citrus sinensis</i>	Sin Dato	0,5	0,10
<i>Citrus paradisi</i>	Sin Dato	0,5	0,10
<i>Cucumis melo</i>	Sin Dato	2,0	0,40
<i>Cucumis sativus</i>	3,3	1,0	0,18
<i>Curcubita moschatta</i>	Sin Dato	1,0	0,20
<i>Cynara scolymus</i>	Sin Dato	2,0	0,40
<i>Daucus carota</i>	Sin Dato	1,0	0,20
<i>Diospyros kaki</i>	Sin Dato	0,5	0,10
<i>Ficus carica</i>	Sin Dato	0,5	0,10
<i>Fragaria sp</i>	Sin Dato	0,75	0,15
<i>Gossypium hirtum</i>	Sin Dato	6,0	1,20



TABLA V.3 - CONCENTRACIONES MAXIMAS ACEPTABLES DE BORO (Cont.)

ESPECIE	LOEC [mg B/l]	NOEC [mg B/l]	SMATC [mg B/l]
<i>Helianthus annuus</i>	Sin Dato	0,75	0,15
<i>Helianthus tuberosus</i>	Sin Dato	0,75	0,15
<i>Hordeum vulgare</i>	5,7	3,4	0,44
<i>Ipomea batatas</i>	Sin Dato	0,75	0,15
<i>Juglans regia</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Lactuca sativa</i>	7,2	1,3	0,31
<i>Lupinus hartwegii</i>	Sin Dato	0,75	0,15 (1)
<i>Lycopersicon esculentum</i>	8,6	5,7	0,70
<i>Medicago sativa</i>	Sin Dato	4,0	0,80 (1)
<i>Melilotus indica</i>	Sin Dato	2,0	0,40 (1)
<i>Nicotiana tobacum</i>	Sin Dato	2,0	0,40 (1)
<i>Persea americana</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Petroselinum crispum</i>	Sin Dato	4,0	0,80 (1)
<i>Phaseolus lunatus</i>	Sin Dato	0,75	0,15 (1)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Sin Dato	0,75	0,15 (1)
<i>Pisum sativa</i>	Sin Dato	1,0	0,20 (1)
<i>Poa pratensis</i>	Sin Dato	2,0	0,40 (1)
<i>Prunus domestica</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Prunus avium</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Prunus persica</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Raphanus sativus</i>	8,1 (1)	1,0	0,20
<i>Rubus sp</i>	Sin Dato	< 0,5	< 0,10 (1)
<i>Sesamum indicum</i>	Sin Dato	0,75	0,15 (1)
<i>Solanum tuberosum</i>	Sin Dato	1,0	0,20 (1)
<i>Sorghum bicolor</i>	9,5	7,4	0,84
<i>Triticum aestivum</i>	3,8	0,75	0,17
<i>Vicia banghalensis</i>	Sin Dato	4,0	0,80 (1)
<i>Vigna radiata</i>	Sin Dato	0,75	0,15 (1)
<i>Vigna unguiculata</i>	3,3	2,5	0,29
<i>Vitis vinifera</i>	Sin Dato	0,5	0,10 (1)
<i>Zea mays</i>	Sin Dato	2,0	0,40 (1)

Nota:

(1): Calculado según $SMATC = NOEC/5$, de acuerdo a lo establecido metodológicamente

Conforme a la metodología establecida, la concentración máxima aceptable para boro en agua de riego queda definida por la menor calculada, que es igual a $100 \mu\text{g B/l}$ y corresponde a las especies *Carya illinoensis* (nuez de pecan), *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus paradisi* (pomelo), *Diospyros kaki* (caqui), *Ficus carica* (higuera), *Juglans regia* (nogal), *Persea americana* (palta), *Prunus domestica* (ciruelo), *Prunus avium* (cerezo), *Prunus persica* y *Vitis vinifera* (vid).

Existirían al menos dos especies más sensibles que las antedichas, pero actualmente no se cuenta con valores de NOEC certeros para aquéllas. Tales especies son *Citrus limon* (limonero) y *Rubus sp* (zarzamora).



V.3) Especificación del nivel guía para boro en agua de riego

Se especifica el siguiente nivel guía para boro correspondiente a agua de riego (NGAR), referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGAR (Boro)} \leq 100 \mu\text{g/l}$$

V.4) Verificación de la ausencia de riesgos sobre el suelo y el acuífero freático asociados al agua de riego

El nivel guía especificado es de aplicación en la medida en que sean tenidas en cuenta las consideraciones detalladas en la metodología respecto a riesgos para el suelo y el acuífero freático asociados al agua de riego.



IX) TECNICAS ANALITICAS ASOCIADAS A LA DETERMINACION DE BORO

En la Base de Datos “Técnicas Analíticas” pueden ser seleccionados métodos analíticos validados para evaluar la cumplimentación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente derivados para boro.



X) REFERENCIAS

- Allison, L.E. 1964. Salinity in relation to irrigation. *Adv. Agron.* 16 : 139-18.
- Anderson, D.L., M.E. Kitto, L. McCarthy and W.H. Zollar. 1994. Sources of atmospheric distribution of particulate and gas phase boron. *Atmos. Environ.* 28: 1401-1410. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.
- ATSDR. 1992. Toxicological profile for boron. Atlanta. Georgia. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.
- Aydin, Gune and Mehmet Alpaslan. 2000. Boron uptake and Toxicity in Maize genotypes in relation to Boron and Phosphorous Supply. *Journal of Plant Nutr.* 23 (4): 541-550.
- Bell, R.W. 1997. Diagnosis and prediction of boron deficiency for plant production. *Plant and soil* 193, 149.
- Benloch M., F. Arboleda, D. Barranco and R. Fernández Escobar. 1991. Response of young olive trees to sodium and boron excess in irrigation water. *Hort. Science* 26 (7): 867-870.
- Bingham, F.T., J.E. Strong, J.D. Rhoades and R. Keren. 1985. An application of the Maas-Hoffman Salinity Response Model for Boron Toxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 672-674.
- Bundschuh, J. 1992. Boron contamination of the ground- and surface waters of Lerma Valley, Argentina. *J. Water SRT – Aqua* Vol. 41, N° 1, pp. 13-17.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Chiwon W. Lee, Marcus B. Jackson, Murray E. Duysen, Thomas P. Freeman and James R. Self. 1996. Induced Micronutrient Toxicity in "Touchdown" Kentucky Bluegrass. *Crop. Sci.* 36: 705-712. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California.
- Choi, W-W. and K.Y. Chen. 1979. Evaluation of boron removal by adsorption on solids. *Environ. Sci. Technol.* 13: 189-196. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Eaton, F.M. 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants. *J. Agr. Res.* 69: 237-274. En: Maas, E.V. and S.R. Grattan. 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. *Crop salt tolerance*, chapter 13.
- El-Motaium, Rawia, Hening Hu and Patrick H. Brown. 1994. Department of Pomology, University of California, Davis, CA 95616. The Relative Tolerance of Six Prunus Rootstocks to Boron and Salinity. *J. Amer. Soc Hort. Sci.* 119(6) : 1169- 1175.
- El-Sheikh, A.M., A. Ulrich, S.K. Awad and A.E. Mawardy. 1971. Boron tolerance of squash, melon, cucumber and corn. *J.Am. Soc.Hort. Sci.* 96: 536-537. En: Maas, E.V. and S.R. Grattan. 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. *Crop salt tolerance*, chapter 13.
- Francois, L.E. 1984. Effect of excess boron on tomato yield, fruit size and vegetative growth. *J.Am. Soc. Hort. Sci.* 109: 322-324.
- Francois, L.E. 1986. Effect of Excess Boron on Broccoli, Cauliflower and Radish. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(4): 494-498.
- Francois, L.E. 1988. Yield and Quality Responses of Celery and Crisphead Lettuce to Excess Boron. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(4): 358-542.
- Francois, L.E. 1989. Boron Tolerance of Snap Bean and Cowpea. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(4): 615-619.
- Francois, L.E. 1991. Yield and Quality Responses of Garlic and Onion to Excess boron. *Hort. Science* 26(5): 547-549.
- Francois, L.E. 1992. Effect of excess boron on summer and winter squash. *Plant and soil* 147: 163-170.
- Gopal, N.H. 1971. Influence of boron on growth and yield in groundnut. *Turrialba* 21:435-441. En: E.V. Maas, S.R.Grattan; 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. *Crop salt tolerance*, chapter 13.
- Gupta, U.C. et al. 1987. Tolerance of Brussels sprouts to high boron levels. *Canadian Journal of Soil Science.* 67: 205-207.



- Gupta, U.C. et al. 1977. Effects of boron and limestone on cereal yields and on B and N concentration of plant tissue. *Plant and soil* 47, 283-287.
- Gupta, U.C., Y.W. Jame, C.A. Cambell, A.J. Leyshon and W. Nicholaichuk. 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A review. *Can. J. Soil Sci.* 65: 381-409.
- Haas, A.E.C. 1929. Toxic effects of boron on fruit trees. *Bot.Gaz.* 8:113-131. En: Maas, E.V. and S.R. Grattan. 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. Crop salt tolerance, chapter 13.
- Hatcher J.T., Blair G.Y. and C.A. Bower. 1962. Adjusting soil solutions to specified boron concentrations. *Soil Sci.* 94, 55.
- Hernon, B., H. Zanolalidou, T. Prato and Li Zhang. Removal of Weakly-Ionized Species by EDI. Ionics Incorporated. En: www.ionics.com, 2000.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.
- Larsen, L.A. 1988. Boron: In: Seiler, H.G. and Sigel, H. ed. *Handbook on toxicity of inorganic compounds*. New York, Basel, Marcel Dekker, Inc., pp 129-141. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.
- Lomniczi, Irene, Haydée Musso and Ricardo Pereyra. 1997. Assessment of boron concentration in surface and groundwaters in the Lerma and Calchaquí valleys (Province of Salta, Argentina). *Anales de la Asociación Química Argentina*, Vol. 85, Nº 5/6, 283/293.
- Maas E.V. 1984. Salt Tolerance of plants. In: *Handbook of Plant Science in Agriculture*. B.R. Christie (ed.) CRC Press, Boca Raton, Florida. En: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1987. *La Calidad del Agua en la Agricultura* EStudio FAO, Riego y Drenaje, 29, Rev. 1.
- Maas, E.V. and S.R.Grattan. 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. Crop salt tolerance, chapter 13.
- Muetterties, E.L. 1967. The chemistry of boron and its compounds. New York, John Wiley and Sons, pp. 1-2, 329. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.
- Nable R.O., G.S. Banuelos and J.G. Paull. 1997. Boron toxicity. *Plant and Soil.* 198, 181. En: Seasonal variation and distribution of soil and plant boron concentrations of kiwifruit orchards irrigated with high boron water, T.E.Sotiropoulos, I.N. Therios and K.N. Dimassi *Agrochimica*, Vol. XLII - N. 6, Novembre, Dicembre, 1998.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1995. *Guías para la calidad del agua potable*. Segunda Edición. Volumen I. Recomendaciones.
- Pathak, A.M., R.K. Singh and R.S. Singh. 1975. Effecto of different concentrations of boron in irrigation water on sunflower. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 23: 388-390. En: E.V. Maas, S.R. Grattan; 1999. *Crop Yields as Affected by Salinity*. Riverside California. Crop salt tolerance, chapter 13.
- Smith G.S., C.J. Asher and C.J. Clark. 1987b. *Kiwifruit nutrition. Diagnosis of nutritional disorders*. 2nd Edn. Agpress Communications, Wellington p. 52.
- Smith G.S., C.J. Clark and H.V. Henderson. 1987a. Seasonal accumulation of mineral nutrients by kiwifruit in leaves. *New Phytol.* 106, 81.
- Sotiropoulos T.E., I. Therios and K. Dimassi-Theriou. 1997. Boron toxicity of kiwifruit orchards in Northern Greece. *Acta Hort.* 444 Vol. I, ISHS.
- Sotiropoulos, T.E., I.N. Therios and K.N. Dimassi. 1998. Seasonal variation and distribution of soil and plant boron concentrations of kiwifruit orchards irrigated with high boron water. *Agrochimica*, Vol. XLII - N. 6, Novembre, Dicembre.
- Sprague, R.W. 1972. The ecological significance of boron. Anaheim, California, U.S. Borax Research Corporation, 58 pp. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1994. Integrated Risk Information System - Online. Cincinnati, Ohio, Criteria and Assessment Office. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). June 1, 1995. 0410. Boron (Boron and Borates only).

Versar Inc. 1975. Preliminary investigation of effects on the environment of boron, indium, nickel, selenium, tin, vanadium and their compounds. Volume 1: Boron, Springfield, Virginia, Versar, Inc. (Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Washington) (EPA 560/2-75-005a). En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.

Waggott, A. 1969. An Investigation of Potential Problem of Increasing Boron Concentrations in Rivers and Water Courses. *Water Res.*, 3, 749-765. In: Sami Sahin. 1996. Mathematical Model for Adsorption of Boric Acid on a Boron-Specific Ion Exchanger. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 69, 1917-1920.

Wang, K., Y. Yang., R.W. Bell., J.M. Xue, Z.Q. Ye and Y.Z. Wei. 1999. Low risks of toxicity from boron fertiliser in oilseed rape-rice rotations in Southeast China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54: 189-197.

Weast, R.C., M.J. Astle and W.H. Beyer ed. 1985. CRC handbook of chemistry and physics, 69th ed. Boca Raton, Florida, CRC Press, Inc., pp B/77, B/129. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 204. Boron. World Health Organization. Geneva.

Weir, R.J., Jr. and R.S. Fisher. 1972. Toxicological studies on borax and boric acid. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 23: 351-364. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). June 1, 1995. 0410. Boron (Boron and Borates only).



XI) HISTORIAL DEL DOCUMENTO

Fecha de edición original	junio 2002
Actualización diciembre 2003	Incorporación de Sección IX