



## DESARROLLOS DE NIVELES GUÍA NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE CORRESPONDIENTES A CROMO

Diciembre 2003

### INDICE

	<i>pág.</i>
<b>I) Aspectos generales</b> .....	I.1
<b>II) Nivel guía de calidad para fuentes de provisión de agua para consumo humano correspondiente a cromo</b> .....	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.2
II.3) <i>Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento</i> .....	II.3
II.4) <i>Especificación de niveles guía de calidad de agua para la fuente de provisión</i> .....	II.3
II.4.1) <i>Fuente superficial con tratamiento convencional</i> .....	II.3
II.4.2) <i>Fuente superficial con tratamientos especiales</i> .....	II.3
II.4.3) <i>Fuente subterránea sin tratamiento o cuando éste consiste en una cloración (tratamiento convencional) u otra técnica de desinfección</i> .....	II.4
II.4.4) <i>Fuente subterránea con tratamientos especiales</i> .....	II.4
II.5) <i>Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano</i> .....	II.4
<b>III) Nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática correspondiente a cromo (aplicable a agua dulce)</b> .....	III.1
III.1) <i>Introducción</i> .....	III.1
III.2) <i>Derivación del nivel guía para protección de la biota acuática</i> .....	III.2
III.2.1) <i>Derivación del nivel guía correspondiente a cromo hexavalente</i> .....	III.2
III.2.1.a) <i>Selección de especies</i> .....	III.2
III.2.1.b) <i>Cálculo del Valor Agudo Final</i> .....	III.6
III.2.1.c) <i>Cálculo del Valor Crónico Final</i> .....	III.8
III.2.1.d) <i>Establecimiento del nivel guía de calidad para cromo hexavalente correspondiente a protección de la biota acuática</i> .....	III.8
III.2.2) <i>Derivación del nivel guía correspondiente a cromo trivalente</i> .....	III.8
III.2.2.a) <i>Selección de especies</i> .....	III.8
III.2.2.b) <i>Cálculo del Valor Agudo Final</i> .....	III.11
III.2.2.b.1) <i>Cálculo de la pendiente combinada a utilizar en el ajuste de datos de concentraciones tóxicas (L)</i> .....	III.11
III.2.2.b.2) <i>Cálculo del Valor Agudo Final Ajustado (FAV)</i> .....	III.13
III.2.2.c) <i>Cálculo del Valor Crónico Final (FCV) en función de la dureza</i> .....	III.14
III.2.2.d) <i>Establecimiento del nivel guía de calidad para cromo trivalente correspondiente a protección de la biota acuática</i> .....	III.14
III.3) <i>Aplicación de los niveles guía derivados para cromo correspondientes a protección de la biota acuática</i> .....	III.15
<b>V) Nivel guía de calidad de agua ambiente para riego correspondiente a cromo</b> .....	V.1
V.1) <i>Introducción</i> .....	V.1
V.2) <i>Cálculo de la concentración máxima aceptable de cromo en el agua de riego</i> .....	V.3
V.3) <i>Especificación del nivel guía para cromo en agua de riego</i> .....	V.5
V.4) <i>Consideración de riesgos asociados al agua de riego para el suelo y el acuífero freático</i> .....	V.5



<b>VI) Nivel guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondiente a cromo .....</b>	<b>VI.1</b>
<b>VI.1) Introducción .....</b>	<b>VI.1</b>
<b>VI.2) Establecimiento del nivel guía de agua ambiente para bebida de especies de producción animal .....</b>	<b>VI.1</b>
<b>IX) Técnicas analíticas asociadas a la determinación de cromo .....</b>	<b>IX.1</b>
<b>X) Referencias .....</b>	<b>X.1</b>
<b>XI) Historial del documento .....</b>	<b>XI.1</b>



## D) ASPECTOS GENERALES

El cromo está ampliamente distribuido en la naturaleza, encontrándose en numerosos minerales. Si bien su ocurrencia basal en el agua ambiente está expresada por concentraciones muy bajas, la presencia del cromo, caracterizada por los estados de oxidación +3 y +6, ha sido significativamente aumentada como consecuencia de aportes antropogénicos derivados de la utilización de grandes cantidades de compuestos de aquél.

En su estado de oxidación +3, el cromo tiende a formar complejos con aniones inorgánicos u orgánicos (CCME, 1996; Mc Neely et al., 1979); no existiendo éstos, en medio neutro forma óxidos hidratados coloidales. En las condiciones de pH de las aguas naturales es improbable la existencia de grandes concentraciones de cromo (+3), ya que se produce su precipitación como hidróxido de cromo III.

El cromo (+6) es muy soluble y relativamente estable en ambientes acuáticos aeróbicos. En condiciones anaeróbicas o reductoras, el cromo (+6) se reduce a cromo (+3), que a pH neutro o levemente alcalino es removido por el mecanismo de precipitación antes mencionado (Taylor et al., 1979).

Las condiciones oxidantes y de pH > 5 típicas de las aguas superficiales determinan que en la ocurrencia de cromo tenga predominancia el estado de oxidación +6 (Mills et al., 1985; CCME, 1988).

En el Cuadro I.1 se presentan datos provenientes del Programa GEMS (Global Environment Monitoring System)/WATER que aportan información sobre la ocurrencia de cromo a nivel mundial en agua dulce superficial correspondiente al período 1982-84 (WHO/UNEP, 1990).

**CUADRO I.1 - OCURRENCIA MUNDIAL DE CROMO EN AGUA DULCE SUPERFICIAL.  
DATOS DE GEMS/WATER, PERIODO 1982-84**

Nº DE DATOS		MEDIANA [µg/l]		PERCENTILO 10-90 [µg/l]		VALOR MAXIMO [µg/l]	
Cromo total en muestras sin filtrar	Cromo total en muestras filtradas	Cromo total en muestras sin filtrar	Cromo total en muestras filtradas	Cromo total en muestras sin filtrar	Cromo total en muestras filtradas	Cromo total en muestras sin filtrar	Cromo total en muestras filtradas
58	19	10	< 1	3 - 17	< 1 - 6	1675 (a)	8 (b)

Notas :

a: río Espierre, Bélgica

b: río Delaware, USA

El valor correspondiente al percentilo 10 para muestras filtradas concuerda relativamente bien con la presencia de base natural de las aguas (WHO/UNEP, 1990).

Se han señalado como concentraciones típicas de cromo total en agua de mar valores inferiores a 1 µg/l, correspondiendo dicha presencia principalmente a cromatos (IPCS, 1988).

La información disponible sobre ocurrencia de cromo total en agua dulce superficial del territorio argentino se expone en el Cuadro I.2.



**CUADRO I.2 - OCURRENCIA DE CROMO TOTAL EN AGUAS DULCES  
SUPERFICIALES DEL TERRITORIO ARGENTINO**

<b>N° DATOS</b>	<b>RANGO [µg/l]</b>	<b>MEDIANA [µg/l]</b>	<b>PERCENTILO 10-90 [µg/l]</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>REFERENCIA</b>
27	< 5 – 13 (a)	< 5	< 5 - < 5	Datos correspondientes a muestras sin filtrar de ríos Uruguay y Paraguay, Período 1990-93	Agua Superficial, 2000a
54	< 5 – 26 (b)	< 5	< 5 – 12,1	Datos correspondientes a muestras filtradas de ríos Uruguay, Paraná y de la Plata, Período 1987-96	Agua Superficial, 2000b

Notas:

(a): Río Uruguay, El Soberbio, Misiones

(b): Río de la Plata, Toma Planta Gral. Belgrano, Provincia de Buenos Aires



## **II) NIVEL GUIA DE CALIDAD PARA FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO CORRESPONDIENTE A CROMO**

### **II.1) *Introducción***

El cromo es considerado un micronutriente esencial, siendo considerado fisiológicamente activo en el estado de oxidación +3. Diversos estudios confirman la incidencia de la deficiencia de cromo en el metabolismo de la glucosa en ratas (Schwartz and Mertz, 1959; Mertz et al., 1965; Schroeder, 1966). También existen otros que vinculan la deficiencia de cromo con la ocurrencia de ateromas aórticos en ratas (Schroeder and Balassa, 1965) y con el tiempo de vida y la tasa de crecimiento de ratas y ratones (Schroeder et al., 1964; Mertz and Roginsky, 1969).

Desde el punto de vista toxicológico, si bien se asignan los mayores efectos al estado de oxidación +6, es difícil discriminar entre éste y el estado de oxidación +3, dado que cuando el cromo (+6) es absorbido por los tejidos se reduce inmediatamente a cromo (+3) (Gray and Sterling, 1950), no quedando claro si los efectos tóxicos son ocasionados por esta reducción o por la retención del cromo (+3) por parte de ligandos celulares.

Existen diversas referencias experimentales relacionadas con la evaluación de la toxicidad oral del cromo. Así, Ivankovic y Preussmann (1975), en un estudio de exposición crónica oral a cromo (+3) administrado como trióxido de dicromo en la dieta alimentaria de ratas, determinaron un nivel de exposición a cromo (+3) para el cual no se observan efectos (NOEL) igual a 1,468 mg Cr (+3)/(kg masa corporal \* d). Por otra parte, tampoco se observaron efectos en ratas expuestas a una concentración de cromo (+3) igual a 5 mg Cr (+3)/l en el agua de bebida durante su tiempo de vida (U.S. NAS, 1974). Con respecto a cromo (+6), MacKenzie et al. (1958), en un estudio sobre ratas expuestas a través del agua de bebida durante un 1 año, determinaron un nivel de exposición a cromo (+6) para el cual no se observan efectos adversos (NOAEL) igual a 2,5 mg Cr (+6)/(kg masa corporal \* d) relacionado con la no observación de cambios patológicos en la sangre u otros tejidos. Otros estudios de exposición oral a cromo (+6) han reportado efectos embriotóxicos y fetotóxicos sobre ratones hembra (Junaid et al., 1996) y ratas hembra (Kanojia et al., 1966). Estos estudios permitirían determinar valores de NOAEL similares al resultante del estudio de MacKenzie et al. antes citado (U.S. EPA, IRIS, 1998).

Estudios epidemiológicos en seres humanos expuestos laboralmente a compuestos de cromo determinaron que la inhalación de cromo hexavalente es generadora de cáncer, por lo que el mismo ha sido clasificado por la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (U.S. EPA) en la Categoría A, correspondiente a los carcinógenos humanos (U.S. EPA, IRIS, 1998). IARC (International Agency for Research on Cancer) considera que existe suficiente evidencia experimental sobre la carcinogenicidad en ratas de compuestos poco solubles de cromo (+6), que la evidencia de carcinogenicidad en ratas de aleaciones Co-Cr es limitada y que la evidencia sobre la carcinogenicidad en ratas de otros compuestos de cromo (+6) y de los compuestos de cromo (+3) es limitada o inadecuada (1980). En función de la evidencia de carcinogenicidad animal del cromo (+6), asociada a exposición por inhalación, y a las evidencias sobre cáncer de pulmón en personas expuestas laboralmente por la misma vía, IARC clasifica al cromo (+6) en el Grupo 1, que corresponde a los carcinógenos humanos. El



chromo (+3) es clasificado en el Grupo 3, que comprende a los agentes no clasificables sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos (OMS, 1995).

Se han reportado aberraciones cromosómicas de leucocitos periféricos (Bigaliev et al., 1978) e intercambio de cromátides hermanas en linfocitos (Sarto et al., 1982) en personas expuestas laboralmente a chromo (+6). También existe evidencia proveniente de estudios in vitro realizados con chromo (+6) sobre células de mamíferos indicando inhibición de síntesis replicativa de ADN (Levis et al., 1976) y síntesis no prevista de ADN, presumiblemente síntesis de reparación (Raffetto, 1977). Por otra parte, hay referencias de acción teratogénica del chromo (+6) sobre hámsters dorados (Gale, 1974, 1978; Gale and Brunch, 1979) y del chromo (+3) sobre ratones (Iijima et al., 1975; Matsumoto et al., 1976).

Para el cálculo del nivel guía de calidad de agua para consumo humano correspondiente a chromo, se asume, con criterio conservador, la preeminencia del estado de oxidación +6 como condición genérica de ocurrencia, independientemente de la fuente de proveniencia. Tal criterio se asienta no solamente en las condiciones de potencial redox y pH típicamente preponderantes en el agua ambiente, particularmente en la superficial sino también en la potencial oxidación del chromo (+3) a chromo (+6) por acción del cloro en la desinfección convencional del agua destinada a bebida (Sorg, 1979). Por otra parte, no obstante haber sido caracterizado el chromo (+6) como un carcinógeno humano, tal carácter está constreñido a su inhalación, dado que no hay evidencia sobre carcinogenicidad del chromo (+6) asociada con la exposición por vía oral al mismo. De tal manera, la derivación del nivel guía antedicho se asienta en la consideración del chromo (+6) como un tóxico con umbral, tomando como elemento de cálculo la información básica surgida del estudio de MacKenzie et al. (1958).

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

Según lo expuesto precedentemente, se deriva el nivel guía de calidad de agua para consumo humano correspondiente a chromo teniendo en cuenta el NOAEL para chromo (+6) surgido del estudio de MacKenzie et al. (1958) y se consigna el nivel resultante al chromo total.

En base al NOAEL antedicho, 2,5 mg Cr (+6)/(kg masa corporal \* d), y considerando un factor de incertidumbre (FI) igual a 300 y un factor de modificación (FM) igual a 3, la U.S. EPA estableció una ingesta diaria tolerable (IDT) igual a 0,003 mg Cr (+6)/(kg masa corporal \* d) (U.S. EPA, IRIS, 1998).

Asumiendo una masa corporal (MC) igual a 60 kg, un consumo diario de agua por persona (C) igual a 2 l/d y un factor de asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida (F) igual a 0,2, se establece el nivel guía de calidad para agua de bebida (NGAB) según la siguiente expresión:

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

resultando:

$$NGAB \text{ (Cromo total)} \leq 20 \mu\text{g/l}$$



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

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

**CUADRO II.1 – REMOCION DE CROMO. EFICIENCIAS DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO**

TRATAMIENTO	REMOCION ESPERABLE	OBSERVACIONES	REFERENCIAS
Convencional para agua superficial con coagulación en condiciones apropiadas	Cr(+3): 70 - 90 % Cr(+6): Remoción poco significativa	Las remociones señaladas corresponden al uso de sales de aluminio y de hierro (+3) como coagulantes en condiciones ajustadas de pH. La utilización de sales de hierro (+2) como coagulantes, lo cual no constituye una práctica convencional, puede lograr eficiencias de remoción de Cr (+6) en el rango 70 %-90 %	U.S. EPA, 1990; Sorg, 1979
Ablandamiento con cal	Cr(+3): 70 - 90 % Cr(+6): Remoción poco significativa	pH > 10,5	U.S. EPA, 1990; Sorg, 1979
Osmosis inversa	> 80 %, aplicable tanto a Cr (+3) como a Cr (+6)	En plantas apropiadamente operadas pueden alcanzarse remociones mayores que 90%	U.S. EPA, 1990
Intercambio iónico	> 90 %, aplicable tanto a Cr (+3) como a Cr (+6)	La remoción indicada involucra el uso de resinas catiónicas para Cr (+3) y resinas aniónicas para Cr (+6)	U.S. EPA, 1990

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

Teniendo en cuenta las posibilidades de remoción de cromo (+3) y cromo (+6) expuestas en el Cuadro II.1 y lo expresado precedentemente con respecto al nivel guía de calidad de agua para consumo humano, que asume la ocurrencia potencial preeminente del cromo (+6), se especifican a continuación niveles guía para cromo total en la fuente de provisión (NGFP) correspondientes a diversos escenarios.

#### II.4.1) Fuente superficial con tratamiento convencional:

Considerando que la potabilización convencional se basa en la utilización de sales de aluminio o de hierro (+3) como agentes coagulantes y que la acción de los mismos sobre el cromo (+6) es de escasa significación, se le asigna, conservadoramente, una eficiencia nula respecto a la remoción de cromo total. De tal manera, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cromo total en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (Cromo total)} \leq 20 \mu\text{g/l}$$



#### **II.4.2) Fuente superficial con tratamientos especiales:**

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

$$\text{NGFP (Cromo total)} \leq 70 \mu\text{g/l}$$

#### **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 de calidad para cromo total en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGFP (Cromo total)} \leq 20 \mu\text{g/l}$$

#### **II.4.4) Fuente subterránea con tratamientos especiales:**

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

$$\text{NGFP (Cromo total)} \leq 70 \mu\text{g/l}$$

#### **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 cromo total.

**CUADRO II.2 – CATEGORIZACION DE LAS FUENTES DE PROVISION DE AGUA EN FUNCION DE LAS CONCENTRACIONES DE CROMO TOTAL (CCr total)**

FUENTE	CATEGORIA	CONDICIONES DE CALIDAD
SUPERFICIAL	Calidad apropiada con tratamiento convencional	CCr total $\leq$ 20 $\mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de cromo total no menores que 70 %	20 $\mu\text{g/l}$ < CCr total $\leq$ 70 $\mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	CCr total > 70 $\mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad apropiada para consumo directo o para cuando el uso esté condicionado a la aplicación de una técnica de desinfección	CCr total $\leq$ 20 $\mu\text{g/l}$ (2)



**CUADRO II.2 – CATEGORIZACION DE LAS FUENTES DE PROVISION DE AGUA EN  
FUNCION DE LAS CONCENTRACIONES DE CROMO TOTAL (CCr total) (Cont.)**

<b>FUENTE</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>CONDICIONES DE CALIDAD</b>
SUBTERRANEA	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de cromo total no menores que 70 %	$20 \mu\text{g/l} < \text{CCr total} \leq 70 \mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$\text{CCr total} > 70 \mu\text{g/l}$ (1)

Notas:

(1): Referida a la muestra de agua filtrada

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



### III) NIVEL GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA PROTECCION DE LA BIOTA ACUATICA CORRESPONDIENTE A CROMO (APLICABLE A AGUA DULCE)

#### III.1) Introducción

La toxicidad del cromo depende de su estado de oxidación, siendo los compuestos hexavalentes 100 a 1000 veces más tóxicos que la mayoría de los compuestos de cromo trivalente. Sin embargo, discriminar los efectos tóxicos causados por el cromo (+6) y por el cromo (+3) es difícil porque después de la penetración en los tejidos el cromo (+6) es inmediatamente reducido a cromo (+3), cuestión ya expuesta en la sección II.

En lo que respecta a toxicidad aguda asociada al cromo (+6), se ha observado que entre los microcrustáceos planctónicos los dáfnidos son los más sensibles, ya que para *Ceriodaphnia dubia* se registra una concentración para la que se observan efectos adversos para el 50 % de los individuos expuestos igual a 5,3 µg/l (CE<sub>50</sub> – 24 h) (Hickey, 1989). Los anfibios también son sensibles al cromo (+6), ya que para *Gastrophryne carolinensis* se registra una concentración letal para el 50 % de los individuos expuestos igual a 30 µg/l (CL<sub>50</sub> - 7 d) (Birge, 1978). Los peces son bastante más resistentes, ya que los efectos tóxicos se observan a partir de concentraciones de cromo (+6) iguales a 15 mg/l (Gendusa and Beitingger, 1993).

En cuanto a toxicidad crónica asociada al cromo (+6), entre los invertebrados, los dáfnidos son muy sensibles, ya que la menor concentración a la que se observa un efecto adverso es igual a 21 µg/l (LOEC- 21 d), correspondiendo la misma a disminución de la fecundidad de la especie *Daphnia magna* (Kuhn et al., 1989). Entre los peces, como ocurre con otros metales, los salmónidos son muy sensibles a los efectos del cromo hexavalente, ya que una concentración igual a 0,264 mg/l afecta el crecimiento de las especies *Salmo salar* y *Oncorhynchus mykiss* (Benoit, 1976); los ciprínidos son mucho más resistentes, ya que, por ejemplo, para la especie *Pimephales promelas* se necesitan concentraciones de cromo (+6) mayores que 1,98 mg/l para que el efecto mencionado sea observable (Pickering, 1980).

El fitoplancton es sensible a los efectos tóxicos del cromo (+6), ya que concentraciones iguales a 10 y 20 µg/l afectan el crecimiento de *Chlorella pyrenoidosa* y *Chlamydomonas reinhardtii* (Pillard et al., 1987, Zarafonesis and Hampton, 1974).

No existe información suficiente que demuestre que el cromo (+6) es bioconcentrado significativamente por los organismos acuáticos. Por ejemplo, para la trucha arco iris, los factores de bioconcentración son menores que 3 (Fromm and Stokes, 1962; Buhler et al., 1977; Calamari et al., 1982). Las algas bioconcentran el cromo (+6) en mucha mayor magnitud; Patrick et al. (1975) observaron para comunidades algales factores de bioconcentración mayores que 8400.

En lo referente a toxicidad aguda inherente al cromo (+3), entre los invertebrados de agua dulce, *Ephemerella* es uno de los géneros más sensibles, ya que concentraciones iguales a 2,2 mg/l producen efectos letales (Warnick and Bell, 1969). Los isópodos, en cambio, se caracterizan por ser muy resistentes; así, para *Asellus aquaticus* los efectos agudos significativos recién se observan a concentraciones iguales a 442 mg/l (CL<sub>50</sub> - 96 h) (Martin and Holdich, 1986). Entre los peces, *Poecilia reticulata* es la especie más sensible y *Phoxinus*



*phoxinus* la más resistente, con valores de toxicidad aguda iguales a 3,3 y 130 mg/l, respectivamente (Pickering and Henderson, 1966; Hamburger et al., 1977).

En cuanto a toxicidad crónica del cromo (+3), entre los invertebrados de agua dulce, *Daphnia magna* es la especie más sensible, ya que concentraciones iguales a 0,33 mg/l afectan su fecundidad (Biesinger and Christensen, 1972). Con respecto a los peces, se ha observado que concentraciones comprendidas entre 1 y 6 µg/l reducen el crecimiento de los juveniles de *Oncorhynchus mykiss* (Tacon and Beveridge, 1982).

Los efectos tóxicos del cromo (+3) sobre las algas se evidencian a partir de una concentración igual a 397 µg/l, que inhibe el crecimiento de *Selenastrum capricornutum*. En plantas vasculares como el camalote (*Eichornia crassipes*), Delgado et al. (1993) observaron que concentraciones iguales a 7 mg/l generan esclerosis en la parte aérea de la planta. Los mismos investigadores observaron que luego de 24 días de crecimiento en una solución nutritiva conteniendo 7 mg/l de cromo (+3), el mismo es totalmente incorporado por la planta antedicha.

La toxicidad del cromo (+3) está directamente relacionada con la dureza del agua. Por ejemplo, *Daphnia magna* es más sensible a los efectos del cromo (+3) en agua blanda que en agua dura (Chapman et al., Manuscript). Esta misma relación toxicidad-dureza fue observada por Pickering y Henderson (1966) para los peces *Pimephales promelas* y *Lepomis macrochirus*.

No existe evidencia que indique que el cromo (+3) sea bioconcentrado significativamente por los organismos acuáticos de agua dulce.

### **III.2) Derivación del nivel guía para protección de la biota acuática**

Dada la gran diferencia en los efectos tóxicos asociados al cromo hexavalente y al cromo trivalente y al hecho de que sus toxicidades no son aditivas, se establece un nivel guía para cada una de estas dos formas por separado.

#### **III.2.1) Derivación del nivel guía correspondiente a cromo hexavalente**

Dado que no se cuenta con suficientes datos de toxicidad crónica para calcular directamente el Valor Crónico Final para cromo (+6), se efectúa este cálculo a partir de datos de toxicidad aguda y de relaciones toxicidad aguda/crónica (ACR) estimables.

##### **III.2.1.a) Selección de especies**

En la Tabla III.1 se exponen 114 datos asociados a manifestaciones de toxicidad aguda de cromo (+6) sobre animales que corresponden a CL<sub>50</sub> o a concentraciones para las cuales se registran efectos adversos para el 50% de los individuos expuestos (CE<sub>50</sub>). En la Tabla III.2 se presentan 7 datos asociados a efectos tóxicos de cromo (+6) sobre algas. En la Tabla III.3 se exponen los datos para la estimación de las relaciones toxicidad aguda/crónica (ACR). El conjunto de datos seleccionados se considera apropiado en virtud de cubrir un



amplio rango de grupos taxonómicos, a saber: cinco familias de peces (*Channidae*, *Cyprinidae*, *Ictaluridae*, *Poeciliidae* y *Salmonidae*), cuatro de crustáceos (*Asellidae*, *Daphnidae*, *Gammaridae* y *Hyalellidae*), tres de insectos (*Chironomidae*, *Leptophlebiidae* y *Perlodidae*), una de bryozoos (*Plumatellidae*), tres de moluscos (*Lymnaeidae*, *Physidae* y *Unionidae*), una de anélidos (*Tubificidae*), dos de anfibios (*Bufo* y *Hyla*), una de rotíferos (*Brachionidae*) y seis de algas (*Chlamydomonadaceae*, *Chlorellaceae*, *Thalassiosiraceae*, *Naviculaceae*, *Bacillariaceae* y *Scenedesmaceae*).

**TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE**

Espece	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Anodonta imbecillis</i>	<i>Unionidae</i>	39		Keller and Zam, 1991
<i>Anodonta imbecillis</i>	<i>Unionidae</i>	295	107	Keller and Zam, 1991
<i>Asellus aquaticus</i>	<i>Asellidae</i>	10500	10500	Migliori and Guidici, 1990
<i>Asellus intermedius</i>	<i>Asellidae</i>	14800	14800	Ewell et al., 1986
<i>Brachionus calyciflorus</i>	<i>Brachionidae</i>	2900	2900	Snell and Moffat, 1992
<i>Bufo melanosticus</i>	<i>Bufo</i>	49290		Khangerot and Ray, 1987
<i>Bufo melanosticus</i>	<i>Bufo</i>	53430		Khangerot and Ray, 1987
<i>Bufo melanosticus</i>	<i>Bufo</i>	57970		Khangerot and Ray, 1987
<i>Bufo melanosticus</i>	<i>Bufo</i>	74250	58024	Khangerot and Ray, 1987
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	37500		Pickering and Henderson, 1966
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	40000		Riva et al., 1981
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	58800		Pickering and Henderson, 1966
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	110000		Riva et al., 1981
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	120000		Adelman and Smith, 1976
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	120000		Riva et al., 1981
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	122000		Pickering and Henderson, 1966
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	261000	90371	Adelman and Smith, 1976
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnidae</i>	5,3		Hickey, 1989
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnidae</i>	144 (1)	5,3	Spehar and Fiandt, 1986
<i>Ceriodaphnia pulchella</i>	<i>Daphnidae</i>	19,6	19,6	Hickey, 1989
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	<i>Daphnidae</i>	195	195 (2)	Elnabarawy et al., 1986
<i>Channa punctatus</i>	<i>Channidae</i>	45200		Saxena and Parashari, 1983
<i>Channa punctatus</i>	<i>Channidae</i>	60300		Saxena and Parashari, 1983
<i>Channa punctatus</i>	<i>Channidae</i>	70800		Saxena and Parashari, 1983
<i>Channa punctatus</i>	<i>Channidae</i>	86100	63844	Saxena and Parashari, 1983
<i>Chironomus tentans</i>	<i>Chironomidae</i>	11800		Khangerot and Ray, 1988
<i>Chironomus tentans</i>	<i>Chironomidae</i>	61000	26829	Batac-Catalan and White, 1983
<i>Clioperla clio</i>	<i>Perlodidae</i>	101300	101300	Poulton et al., 1989
<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinidae</i>	91200		Wong et al., 1982
<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinidae</i>	372000	184191	Wong et al., 1982
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	22		Mount and Norberg, 1984



**TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE (Cont.)**

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	24,2		Mount, 1982
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	35		Stephenson and Watts, 1984
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	81		Stephenson and Watts, 1984
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	110		Stephenson and Watts, 1984
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	157		White, 1979
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	175		White, 1979
<i>Daphnia carinata</i>	<i>Daphnidae</i>	42,3		Hickey, 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	13		Persoone et al., 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	20		Oikari et al., 1992
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	22,4		Hickey, 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	28		Persoone et al., 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	47		Hickey and Vickers, 1992
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	100		Persoone et al., 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	112		Elnabarawy et al., 1986
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	160 (1)		Persoone et al., 1989
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	162 (1)		Fargasova, 1994
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	210 (1)	48	Ewell et al., 1986
<i>Daphnia obtusa</i>	<i>Daphnidae</i>	61	61	Coniglio and Baudo, 1989
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	24		Dorn et al., 1987.
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	36,3		Mount, 1982
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	48		Mount and Norberg, 1984
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	122		Elnabarawy et al., 1986
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	129	58	Jop et al., 1986
<i>Deleatidium magna</i>	<i>Leptophlebiidae</i>	55	55	Hickey and Vickers, 1992
<i>Gammarus fasciatus</i>	<i>Gammaridae</i>	320	320	Ewell et al., 1986
<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	<i>Gammaridae</i>	67,1		Call et al., 1983
<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	<i>Gammaridae</i>	94,1		Call et al., 1983
<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	<i>Gammaridae</i>	101	86	Call et al., 1981
<i>Hyaella azteca</i>	<i>Hyaellidae</i>	630	630	Call et al., 1981
<i>Hyla nana</i>	<i>Hylidae</i>	10990	10990	Natale et al., 2000
<i>Hyla pulchella</i>	<i>Hylidae</i>	19670	19670	Natale et al., 2000
<i>Ictalurus punctatus</i>	<i>Ictaluridae</i>	1500	1500	Gendusa et al., 1993
<i>Lymnaea acuminata</i>	<i>Lymnaeidae</i>	5970	5970	Khengarot et al., 1982
<i>Lymnaea luteola</i>	<i>Lymnaeidae</i>	3900	3900	Khengarot and Ray, 1988
<i>Moina australiensis</i>	<i>Moinidae</i>	23,5	23,5	Krassoi and Julli, 1994
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	3400		Van der Putte et al., 1981
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	7600		Van der Putte et al., 1981
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	12200		Van der Putte et al., 1981
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	69000 (1)	6806	Benoit, 1976



**TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE (Cont.)**

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	<i>Salmonidae</i>	111000		Hamilton and Buhl, 1990
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	<i>Salmonidae</i>	144000		Hamilton and Buhl, 1990
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	<i>Salmonidae</i>	261000		Hamilton and Buhl, 1990
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	<i>Salmonidae</i>	310000	189636 (2)	Hamilton and Buhl, 1990
<i>Physa heterostropha</i>	<i>Physidae</i>	16800		Patrick, et al., 1968
<i>Physa heterostropha</i>	<i>Physidae</i>	17300		Academy of Natural Sciences, 1960
<i>Physa heterostropha</i>	<i>Physidae</i>	17300		Patrick, et al., 1968
<i>Physa heterostropha</i>	<i>Physidae</i>	31600		Academy of Natural Sciences, 1960
<i>Physa heterostropha</i>	<i>Physidae</i>	40600	23010	Academy of Natural Sciences, 1960
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	10000		Barron and Adelman, 1984
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	17600		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	19700		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	23900		Gendusa et al., 1993
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	26100		Dorn et al., 1987
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	27300		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	33200		Broderius and Smith, 1979
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	34000		Jop et al., 1987
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	36200		Pickering, 1980
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	36900		Pickering, 1980
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	39600		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	43300		Spehar and Fiandt, 1986
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	45600		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	46000		Jop et al., 1986
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	48000		Adelman and Smith, 1976
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	60400		Pickering and Henderson, 1966
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	100000		Ewell et al., 1986
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	109000 (1)	33691	Pickering and Henderson, 1966
<i>Plumatella emarginata</i>	<i>Plumatellidae</i>	650	650	Pardue and Wood, 1980
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	29300		Khengarot and Ray, 1990
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	30000		Pickering and Henderson, 1966
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	32000		Khengarot and Ray, 1990
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	39800		Khengarot and Ray, 1990
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	49000		Khengarot and Ray, 1990
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	61700		Pickering and Henderson, 1966
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	113000	45150	Pickering and Henderson, 1966
<i>Salmo salar</i>	<i>Salmonidae</i>	4000	4000	Grande and Andersen, 1983
<i>Salvenilus fontinalis</i>	<i>Salmonidae</i>	59000	59000	Benoit, 1976



**TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE (Cont.)**

Espece	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Scinax squalirostris</i>	<i>Hylidae</i>	4720	4720	Natale et al., 2000
<i>Simocephalus serrulatus</i>	<i>Daphnidae</i>	40,9	40,9	Mount, 1982
<i>Simocephalus vetulus</i>	<i>Daphnidae</i>	15,4		Hickey, 1989
<i>Simocephalus vetulus</i>	<i>Daphnidae</i>	32,3		Mount, 1982
<i>Simocephalus vetulus</i>	<i>Daphnidae</i>	50	29	Mount and Norberg, 1984
<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubificidae</i>	190		Khangarot, 1991
<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Tubificidae</i>	2910 (1)	190	Fargasova, 1994

Notas:

(1): Dato no utilizado para el cálculo del Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) por diferir en el orden de magnitud con el menor de los datos seleccionados

(2): Valor no utilizado para el cálculo del Valor Agudo Medio para cada género (GMAV) por diferir en el orden de magnitud con el menor de los valores

**TABLA III.2 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS SOBRE LAS ESPECIES ACUATICAS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL VALOR FINAL PARA PLANTAS (FPV)**

Espece	Familia	Concentración asociada a efectos tóxicos [µg/l]	Referencia
<i>Chlamydomonas reinhardii</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	10	Zarafonetis and Hampton, 1974
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	<i>Chlorellaceae</i>	20	Pillard et al., 1987
<i>Cyclotella meneghiana</i>	<i>Thalassiosiraceae</i>	500	Cairns et al., 1978
<i>Navicula seminuum</i>	<i>Naviculaceae</i>	187	Academy of Natural Sciences, 1960
<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Bacillariaceae</i>	7800	Patrick et al., 1968
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Scenedesmaceae</i>	500	Cairns et al., 1978
<i>Selenastrum capricornutum</i>	<i>Chlorellaceae</i>	62	Garton, 1973



**TABLA III.3 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+6) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS Y CRONICOS SELECCIONADAS PARA EL CALCULO DE RELACIONES TOXICIDAD AGUDA/CRONICA**

Especie	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Concentración asociada a toxicidad crónica [µg/l]	Relación Toxicidad Aguda/Crónica para cada especie (SACR)	Referencia
<i>Daphnia pulex</i>	36,3	6,2 (1)	5,9	Mount, 1982
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	69000	264,6 (2)	261	Benoit, 1976
<i>Pimephales promelas</i>	36860 (3)	1987,0 (1)	19	Pickering, 1980
<i>Salvenilus fontinalis</i>	59000	264,6 (1)	223	Benoit, 1976
<i>Simocephalus serrulatus</i>	40,9	19,9 (1)	2,1	Mount, 1982
<i>Simocephalus vetulus</i>	32,3 (3)	6,1 (1)	5,3	Mount, 1982

Notas:

(1): Ensayo de toxicidad crónica realizado para el ciclo de vida

(2): Ensayo de toxicidad crónica realizado en los primeros estadios del ciclo de vida

(3): Valor correspondiente a la media geométrica de las concentraciones reportadas por Pickering (1980)

### III.2.1.b) Cálculo del Valor Agudo Final

El Valor Agudo Final (FAV) para el cromo hexavalente se calcula de acuerdo al procedimiento descrito en la metodología cuando la toxicidad de una sustancia no está relacionada con las características del agua, ya que no se cuenta con datos suficientes como para cuantificar dicha relación. A partir de los datos que se exhiben en la Tabla III.1, se determinan los valores agudos medios para cada especie (SMAV) que se exhiben en la tabla antedicha, y género (GMAV), que se presentan ordenados crecientemente en la Tabla III.4, con sus correspondientes números de orden, R, y probabilidades acumulativas, P<sub>R</sub>, siendo P<sub>R</sub> = R/(N+1).

**TABLA III.4 – CROMO (+6): PROBABILIDAD ACUMULATIVA (P<sub>R</sub>) y VALOR AGUDO MEDIO PARA CADA GENERO (GMAV)**

Género	GMAV [µg/l]	P <sub>R</sub>	R
<i>Ceriodaphnia</i>	10	0,03	1
<i>Moina</i>	23,5	0,07	2
<i>Simocephalus</i>	35	0,10	3
<i>Daphnia</i>	55	0,14	4
<i>Deleatidium</i>	55	0,17	5
<i>Anodonta</i>	107	0,21	6
<i>Gammarus</i>	166	0,24	7
<i>Tubifex</i>	190	0,28	8
<i>Hyalella</i>	630	0,31	9
<i>Plumatella</i>	650	0,34	10
<i>Ictalurus</i>	1500	0,38	11
<i>Brachionus</i>	2900	0,41	12
<i>Salmo</i>	4000	0,45	13



**TABLA III.4 – CROMO (+6): PROBABILIDAD ACUMULATIVA (P<sub>R</sub>) y VALOR AGUDO MEDIO PARA CADA GENERO (GMAV) (Cont.)**

Género	GMAV [µg/l]	P <sub>R</sub>	R
<i>Scinax</i>	4720	0,48	14
<i>Lymnaea</i>	4825	0,52	15
<i>Oncorhynchus</i>	6806	0,55	16
<i>Asellus</i>	12550	0,59	17
<i>Hyla</i>	14703	0,62	18
<i>Physa</i>	23010	0,66	19
<i>Chironomus</i>	26829	0,69	20
<i>Pimephales</i>	33691	0,72	21
<i>Poecilia</i>	45150	0,76	22
<i>Bufo</i>	58024	0,79	23
<i>Salvenilus</i>	59000	0,83	24
<i>Channa</i>	63844	0,86	25
<i>Carassius</i>	90371	0,90	26
<i>Clioperla</i>	101300	0,93	27
<i>Cyprinus</i>	184191	0,97	28

De acuerdo al esquema metodológico establecido, el análisis de regresión de los GMAV correspondientes a los números de orden 1, 2, 3 y 4 arroja los siguientes resultados para la pendiente (b), la ordenada al origen (a) y la constante (k):

$$b = 8,93$$

$$a = 0,71$$

$$k = 2,71$$

Calculando el Valor Agudo Final (FAV) según:

$$FAV = e^k$$

resulta:

$$FAV = 15 \mu\text{g/l}$$

### III.2.1.c) Cálculo del Valor Crónico Final

Sobre la base de los datos de toxicidad aguda y crónica que se exhiben en la Tabla III.3, se calculan las relaciones toxicidad aguda/crónica para las especies consideradas (SACR), que se exponen en dicha tabla. Calculando la media geométrica de las relaciones toxicidad aguda/crónica correspondientes a *Simocephalus serrulatus*, *Simocephalus vetulus*, *Daphnia pulex* y *Pimephales promelas*, resulta una relación final toxicidad aguda/crónica (FACR) igual a 6. No se consideran para el cálculo antedicho las relaciones toxicidad aguda/crónica



correspondientes a *Oncorhynchus mikiss* y a *Salvelinus fontinalis* en razón de diferir en el orden de magnitud con el resto de las relaciones disponibles.

Dividiendo el FAV calculado (15 µg/l) por la FACR obtenida (6), se obtiene para cromo hexavalente el siguiente Valor Crónico Final (FCV):

$$\text{FCV} = 2,5 \mu\text{g/l}$$

#### **III.2.1.d) Establecimiento del nivel guía de calidad para cromo hexavalente correspondiente a protección de la biota acuática**

En virtud de que el Valor Crónico Final en ningún caso resulta superior a los valores de toxicidad crónica que se exhiben en la Tabla III.3 ni al Valor Final para Plantas (FPV) que resulta de la Tabla III.2 (10 µg/l), se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cromo (+6) correspondiente a protección de la biota acuática (NGPBA), referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGPBA (Cromo hexavalente)} \leq 2,5 \mu\text{g/l}$$

#### **III.2.2) Derivación del nivel guía correspondiente a cromo trivalente**

Por los mismos motivos expuestos en III.2.1, el Valor Crónico Final para cromo (+3) se calcula a partir de datos de toxicidad aguda y de relaciones toxicidad aguda/crónica (ACR) estimables.

##### **III.2.2.a) Selección de especies**

En la Tabla III.5 se exponen 33 datos asociados a manifestaciones de toxicidad aguda de cromo (+3) sobre animales que corresponden a CL<sub>50</sub> o a CE<sub>50</sub>. En la Tabla III.6 se presentan 4 datos asociados a efectos tóxicos de cromo (+3) sobre algas y plantas acuáticas. En la Tabla III.7 se exponen los datos para la estimación de las relaciones toxicidad aguda/crónica (ACR). El conjunto de datos seleccionados se considera apropiado en virtud de cubrir un amplio rango de grupos taxonómicos, a saber: cuatro familias de peces (*Cyprinidae*, *Salmonidae*, *Poeciliidae* y *Cyprinodontidae*), dos de crustáceos (*Daphnidae* y *Gammaridae*), dos de insectos (*Chironomidae* y *Ephemerellidae*), una de anélidos (*Naididae*), dos de algas (*Chlorellaceae* y *Cladophoraceae*) y una de plantas vasculares (*Pontederiaceae*).



**TABLA III.5 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+3) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE**

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Dureza [mg CaCO <sub>3</sub> /l]	Concentración asociada a toxicidad aguda ajustada a 50 mg CaCO <sub>3</sub> /l [µg/l]	Valor Agudo Medio Ajustado para cada especie (ASMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Asellus aquaticus</i>	<i>Asellidae</i>	442000	50	442000	442000	Martin and Holdich, 1986
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	11000	20	23522	13329	Pickering and Henderson, 1966
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	5370	20	11483		Pickering and Henderson, 1966
<i>Carassius auratus</i>	<i>Cyprinidae</i>	4100	20	8767		Pickering and Henderson, 1966
<i>Chironomus sp.</i>	<i>Chironomidae</i>	11000	50	11000	11000	Rehwoldt et al., 1973
<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinidae</i>	13230	55	12224	12224	Rehwoldt et al., 1973
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	9320	52	9022	11065	Chapman et al., 1980
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	21600	99	12256		Chapman et al., 1980
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	18630	110	9687		Chapman et al., 1980
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	22450	195	7260		Chapman et al., 1980
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	34630	215	10327		Chapman et al., 1980
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	16800	52	16262		Chapman et al., Manuscript
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	27400	99	15547		Chapman et al., Manuscript
<i>Ephemerella sp.</i>	<i>Ephemerellidae</i>	2200	44	2446	2446	Warnick and Bell 1969
<i>Fundulus diaphanus</i>	<i>Cyprinodontidae</i>	16900	55	15615	15615	Rehwoldt et al., 1972
<i>Gammarus sp.</i>	<i>Gammaridae</i>	3200	50	3200	3200	Rehwoldt et al., 1973
<i>Leuciscus idus</i>	<i>Cyprinidae</i>	105000	270	25922	25922	Hamburger et al., 1977
<i>Nais sp.</i>	<i>Naididae</i>	9300	50	9300	9300	Rehwoldt et al., 1973
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	11200	44	12453	9446	Marking, 1982
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	4400	26	7569		Stevens and Chapman, 1984
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	4400	25	7819		Stevens and Chapman, 1984
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	9900	45	10804		Hamburger et al., 1977
<i>Phoxinus phoxinus</i>	<i>Cyprinidae</i>	130000	200	41165	41165	Hamburger et al., 1977
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	5370	20	11483	15071	Pickering and Henderson, 1966.
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	77500	360	15071		Pickering and Henderson, 1966.



**TABLA III.5 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+3) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE (Cont.)**

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Dureza [mgCaCO <sub>3</sub> /l]	Concentración asociada a toxicidad aguda ajustada a 50 mg CaCO <sub>3</sub> /l [µg/l]	Valor Agudo Medio Ajustado para cada especie (ASMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	5220	20	11162		Pickering and Henderson, 1966.
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	67400	360	13107		Pickering and Henderson, 1966.
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	5070	20	10842		Pickering and Henderson, 1966.
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	29000	203	9070		Pickering, 1980
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	27000	203	8445	11120	Pickering, 1980
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	4100	20	8767		Pickering and Henderson, 1966.
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	3850	20	8233		Pickering and Henderson, 1966.
<i>Poecilia reticulata</i>	<i>Poeciliidae</i>	3330	20	7121	8010	Pickering and Henderson, 1966.

**TABLA III.6 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+3) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS SOBRE LAS ESPECIES ACUATICAS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL VALOR FINAL PARA PLANTAS (FPV)**

Especie	Familia	Concentración asociada a efectos tóxicos [µg/l]	Dureza [mgCaCO <sub>3</sub> /l]	Referencia
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorellaceae</i>	4000	NE	Meisch and Schmitt-Beckmann, 1979
<i>Cladophora glomerata</i>	<i>Cladophoraceae</i>	200	NE	Vymazal, 1990
<i>Selenastrum capricornutum</i>	<i>Chlorellaceae</i>	397	50	Richter, 1982
<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Pontederiaceae</i>	7000	NE	Delgado et al., 1993

Nota:  
NE: No especificada



**TABLA III.7 - CONCENTRACIONES DE CROMO (+3) ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS AGUDOS Y CRONICOS SELECCIONADAS PARA EL CALCULO DE RELACIONES TOXICIDAD AGUDA/CRONICA**

Especie	Dureza [mg CaCO <sub>3</sub> /l]	Concentración asociada a toxicidad aguda ajustada a 50 mg CaCO <sub>3</sub> /l [µg/l]	Concentración asociada a toxicidad crónica [µg/l]	Concentración asociada a toxicidad crónica ajustada a 50 mg CaCO <sub>3</sub> /l [µg/l]	Relación Toxicidad Aguda/Crónica para cada especie (SACR)	Valor Medio de las SACR (SMACR)	Referencia
<i>Daphnia magna</i>	52	16262	66,11 (1)	64	254		Chapman et al., Manuscript
<i>Daphnia magna</i>	100	15547	193,7 (1)	109	143	191	Chapman et al., Manuscript
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	26	7569	68,6 (2)	118	64	64	Stevens and Chapman, 1984
<i>Pimephales promelas</i>	209	8752 (3)	1025 (1)	320	27	27	Pickering, 1980

Notas:

- (1): Ensayo de toxicidad crónica realizado para el ciclo de vida
- (2): Ensayo de toxicidad crónica realizado en los primeros estadios de vida
- (3): Valor correspondiente a la media geométrica de las concentraciones reportadas por Pickering (1980)

### III.2.2.b) Cálculo del Valor Agudo Final

El Valor Agudo Final (FAV) para el cromo trivalente se calcula de acuerdo al procedimiento especificado para el caso en que la toxicidad de una sustancia está relacionada con las características del agua, dado que está cuantificada tal relación para la dureza.

#### III.2.2.b.1) Cálculo de la pendiente combinada a utilizar en el ajuste de datos de concentraciones tóxicas agudas (L)

Mediante el análisis de regresión de concentraciones tóxicas agudas y durezas exhibidas en la Tabla III.5, transformadas logarítmicamente, se cuantifica la relación toxicidad-dureza para dos especies de peces y una de crustáceos, presentándose los resultados de dicho análisis en la Tabla III.8. A fin de evaluar la posibilidad de utilizar el conjunto de datos mencionados para el cálculo de L, se utiliza el test de homogeneidad de las pendientes (Zar, 1984), que permite determinar si los valores de las pendientes de regresión calculadas para las especies citadas anteriormente difieren significativamente entre sí. Dicho test demuestra que no existen diferencias significativas (probabilidad de que las pendientes sean iguales > 0,12).



**TABLA III.8 - PENDIENTES DE REGRESION DE DATOS TRANSFORMADOS LOGARITMICAMENTE PARA DOS ESPECIES DE PECES (*ONCORHYNCHUS MYKISS* Y *PIMEPHALES PROMELAS*) Y UNA DE CRUSTACEOS (*DAPHNIA MAGNA*) PARA LAS QUE SE PUEDE CUANTIFICAR LA RELACION ENTRE LA TOXICIDAD DEL CROMO (+3) Y LA DUREZA DEL AGUA**

Especie	Tamaño muestra	Pendiente de regresión	r <sup>2</sup>	F	P
<i>Daphnia magna</i>	5	0,5811	0,6	8,0	< 0,04
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	4	1,5572	0,9	104,6	< 0,01
<i>Pimephales promelas</i>	7	0,8499	0,9	184,9	< 0,01

Notas:

r<sup>2</sup>: coeficiente de determinación

F: valor estimado de la distribución F

P: probabilidad de encontrar un valor igual o más bajo que el F indicado

La regresión calculada utilizando el conjunto de datos normalizados de las tres especies consideradas, que se exponen en la Tabla III.9, transformados logarítmicamente, tiene un coeficiente de determinación con un valor estadísticamente significativo ( $r^2 = 0,9$ ,  $P < 0,01$ ), por lo que L se calcula utilizando el conjunto de datos antedichos, exponiéndose los resultados del cálculo en la Tabla III.10.

**TABLA III.9 - DATOS ORIGINALES Y NORMALIZADOS PARA ESTIMACION DE LA PENDIENTE COMBINADA PARA EL AJUSTE DE LOS DATOS DE TOXICIDAD EN FUNCION DE LA DUREZA**

Especie	Dureza [mg CaCO <sub>3</sub> /l]	Concentración asociada a toxicidad aguda [µg/l]	Dureza normalizada	Concentración asociada a toxicidad aguda normalizada
<i>Daphnia magna</i>	52	9320	0,51	0,46
<i>Daphnia magna</i>	99	21600	0,96	1,1
<i>Daphnia magna</i>	110	18630	1,1	0,93
<i>Daphnia magna</i>	195	22450	1,9	1,1
<i>Daphnia magna</i>	215	34630	2,1	1,7
<i>Daphnia magna</i>	52	16800	0,51	0,83
<i>Daphnia magna</i>	99	27400	0,96	1,4
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	44	11200	1,31	1,7
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	26	4400	0,77	0,65
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	25	4400	0,74	0,65
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	45	9900	1,3	1,5
<i>Pimephales promelas</i>	20	5370	0,23	0,30
<i>Pimephales promelas</i>	20	5220	0,23	0,29
<i>Pimephales promelas</i>	360	67400	4,1	3,8
<i>Pimephales promelas</i>	20	5070	0,23	0,28
<i>Pimephales promelas</i>	203	29000	2,3	1,6
<i>Pimephales promelas</i>	203	27000	2,3	1,5



**TABLA III.10 - CALCULO DE LA PENDIENTE COMBINADA (L) EN BASE A DATOS NORMALIZADOS Y TRANSFORMADOS LOGARITMICAMENTE PARA LAS DOS ESPECIES DE PECES (*ONCORHYNCHUS MYKISS* Y *PIMEPHALES PROMELAS*) Y UNA DE CRUSTACEOS (*DAPHNIA MAGNA*) PARA LAS QUE SE PUEDE CUANTIFICAR LA EXISTENCIA DE UNA RELACION ENTRE LA TOXICIDAD DEL CROMO (+3) Y LA DUREZA DEL AGUA**

Especies	Tamaño muestra	Pendiente de regresión combinada	r <sup>2</sup>	F	P
<i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Pimephales promelas</i> y <i>Daphnia magna</i>	18	0,8295	0,9	166,9	< 0,01

### III.2.2.b.2) Cálculo del Valor Agudo Final Ajustado (AFAV)

De acuerdo al procedimiento establecido, los datos de toxicidad aguda se ajustan a una dureza igual a 50 mg CaCO<sub>3</sub>/l utilizando la pendiente combinada calculada anteriormente (L = 0,8295), presentándose los datos ajustados en la Tabla III.5. A partir de los mismos, se determinan los valores agudos medios ajustados para cada especie (ASMAV), que se presentan en la Tabla III.5, y género (AGMAV), que se exponen ordenados crecientemente en la Tabla III.11, con sus correspondientes números de orden, R, y probabilidades acumulativas, P<sub>R</sub>, siendo  $P_R = R / (N + 1)$ .

**TABLA III.11 - CROMO (+3): PROBABILIDAD ACUMULATIVA (P<sub>R</sub>) Y VALOR AGUDO MEDIO AJUSTADO PARA CADA GENERO (AGMAV)**

Género	AGMAV [µg/l]	P <sub>R</sub>	R
<i>Ephemerella</i>	2446	0,07	1
<i>Gammarus</i>	3200	0,13	2
<i>Poecilia</i>	8010	0,20	3
<i>Nais</i>	9300	0,27	4
<i>Onchrorhynchus</i>	9446	0,33	5
<i>Chironomus</i>	11000	0,40	6
<i>Daphnia</i>	11065	0,47	7
<i>Pimephales</i>	11120	0,53	8
<i>Cyprinus</i>	12224	0,60	9
<i>Carassius</i>	13329	0,67	10
<i>Fundulus</i>	15615	0,73	11
<i>Phoxinus</i>	41165	0,87	13
<i>Asellus</i>	442000	0,93	14

De acuerdo al esquema metodológico establecido, el análisis de regresión de los AGMAV correspondientes a los números de orden 1, 2, 3 y 4 arroja los siguientes resultados para la pendiente (b), la ordenada al origen (a) y la constante (k):

$$b = 5,9601$$

$$a = 6,1353$$

$$k = 7,4680$$



Seguidamente, se calcula el Valor Agudo Final Ajustado a 50 mg CaCO<sub>3</sub>/l (AFAV) según:

$$\text{AFAV} = e^k$$

resultando:

$$\text{AFAV} = 1751 \mu\text{g/l}$$

### III.2.2.c) Cálculo del Valor Crónico Final (FCV) en función de la dureza

En base a los datos de toxicidad aguda y crónica ajustados que se exhiben en la Tabla III.7, se calculan las relaciones toxicidad aguda/crónica para las especies consideradas (SACR) y las medias geométricas de dichas relaciones por especie (SMACR), las que se presentan en la tabla antedicha. Por último, se calcula la media geométrica de las SMACR, que determina una relación final toxicidad aguda/crónica (FACR) igual a 69.

Dividiendo el AFAV calculado (1751  $\mu\text{g/l}$ ) por la FACR obtenida (69), resulta para cromo trivalente el siguiente Valor Crónico Final Ajustado (AFCV):

$$\text{AFCV} = 25 \mu\text{g/l}$$

La ecuación que permite calcular el Valor Crónico Final en función de la dureza (FCV<sub>c</sub>) es la siguiente:

$$\text{FCV}_c = e^{L * (\ln \text{dureza}) + \ln \text{AFCV} - L * \ln Z}$$

donde:

L (pendiente combinada): 0,8295

Dureza: expresada en mg CaCO<sub>3</sub>/l

Z (valor de dureza a que se ajustan los datos): 50 mg CaCO<sub>3</sub>/l

AFCV: Valor Crónico Final Ajustado a una dureza igual a 50 mg CaCO<sub>3</sub>/l

Reemplazando, resulta la siguiente expresión de cálculo del Valor Crónico Final (FCV) en función de la dureza:

$$\text{FCV}_c = e^{0,8295 * (\ln \text{dureza}) - 0,0261}$$

donde:

FCV<sub>c</sub>: concentración de Cr (+3) expresada en  $\mu\text{g/l}$

dureza: expresada en mg CaCO<sub>3</sub>/l

### III.2.2.d) Establecimiento del nivel guía de calidad para cromo trivalente correspondiente a protección de la biota acuática

En virtud de que el Valor Crónico Final Ajustado (AFCV) en ningún caso resulta superior a los valores de toxicidad crónica que se exhiben en la Tabla III.7 ni al Valor Final para Plantas (FPV) que resulta de la Tabla III.6 (200  $\mu\text{g/l}$ ), se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cromo trivalente correspondiente a protección de la biota acuática (NGPBA), referido a la muestra de agua filtrada:



$$\text{NGPBA (Cromo trivalente)} \leq e^{0,8295 * (\ln \text{dureza}) - 0,0261}$$

donde:

NGPBA (Cromo trivalente): expresado en  $\mu\text{g/l}$

Dureza: expresada en  $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$

En la Tabla III.12 se expresan, a título de ejemplo, algunos valores del nivel guía calculado según la expresión anterior.

**TABLA III.12 – EJEMPLOS DE APLICACION DEL NIVEL  
GUIA DE CALIDAD PARA CROMO (+3) CORRESPONDIENTE  
A PROTECCION DE LA BIOTA ACUATICA**

<b>Dureza [mg CaCO<sub>3</sub>/l]</b>	<b>NGPBA (Cromo trivalente) [<math>\mu\text{g/l}</math>]</b>
25	$\leq 14$
50	$\leq 25$
100	$\leq 44$

### ***III.3) Aplicación de los niveles guía derivados para cromo correspondientes a protección de la biota acuática***

Los niveles guía establecidos para cromo suponen la determinación de las concentraciones de cromo hexavalente y cromo trivalente por separado. Si solamente se determinara la concentración de cromo total, es decir, la suma de las dos formas antedichas, el nivel guía de aplicación a los efectos de la protección de la biota acuática será el derivado para cromo hexavalente, referido a la muestra de agua filtrada ( $\text{NGPBA} \leq 2,5 \mu\text{g/l}$ ).



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

### V.1) *Introducción*

El cromo es un metal pesado cuya ocurrencia en suelos agrícolas puede estar asociada a prácticas de irrigación con líquidos residuales y también a la aplicación de residuos orgánicos como fertilizantes.

No está demostrado que el cromo sea un micronutriente esencial para el desarrollo vegetal. Existen, en cambio, diversas evidencias sobre su acción fitotóxica, la cual está asociada a su biodisponibilidad en el suelo. En este medio, la biodisponibilidad del cromo está fuertemente determinada por su estado de oxidación y por el pH. Así, el cromo (+6) presenta mayor biodisponibilidad a medida que el pH aumenta, debido a que se desfavorece la adsorción o su reducción. El cromo (+3) incrementa su biodisponibilidad a medida que el pH decrece, dado que aumenta su solubilidad en la solución del suelo; la solubilidad también está condicionada por la presencia de otras sales. A valores bajos de pH el cromo (+6) es reducido a cromo (+3) (McGrath, 1982).

Voelcker (1921), en sus experiencias con cultivos de los géneros *Triticum* (trigo) y *Hordeum* (cebada), sin aclaración de especies, observó la acción detrimental del cromo sobre el desarrollo de ambos. Tal acción fue comprobada para cromo (+6), en cebada, y para cromo (+6) y cromo (+3), en trigo. En el caso del cromo (+3), éste resultó fitotóxico en todas las concentraciones ensayadas cuando fue administrado como cloruro, no manifestándose efectos detrimentales al ser dosificado como sulfato.

Hunter y Vergnano (1953), en su estudio de toxicidad de elementos traza sobre *Avena sativa* (avena) en un medio arenoso, observaron la manifestación de clorosis (causada por la inducción de la deficiencia de hierro) como efecto general de la exposición a concentraciones elevadas de varios elementos, entre ellos, cromo (+6). La exposición a este último estuvo asociada a ciertos síntomas específicos, siendo los más notables el bajo contenido de nitrógeno de las plantas y el incremento de la concentración de fósforo en el tejido.

Experiencias realizadas en un medio arenoso por Soane y Saunder (1959) con cultivos de *Zea mays* (maíz) y de *Nicotiana tabacum* (tabaco), destinadas a investigar las causas de la infertilidad de suelos serpentinos, permitieron comprobar una disminución de su desarrollo provocada por la exposición al cromo (+6), resultando *Nicotiana tabacum* extremadamente sensible a tal exposición.

Turner y Rust (1971) observaron que plantas de dos variedades de *Glycine max* (soja) expuestas a cromo (+6) administrado en una solución nutritiva experimentaron una disminución de las concentraciones y contenidos totales de calcio, potasio, fósforo, hierro y manganeso en las partes superiores y de potasio, magnesio, fósforo, hierro y manganeso en las raíces, con decrecimientos significativos de rendimiento para ambas zonas mencionadas. Los síntomas visuales de la fitotoxicidad del cromo (+6) incluyeron marchitamiento de las partes superiores de las plantas y clorosis intervenal con desarrollo de áreas necrosadas. Observaciones efectuadas en experiencias complementarias en suelo confirmaron la reducción de rendimientos pero no pudieron confirmar la interferencia del cromo (+6) en la captación de



hierro o fósforo por parte de las plantas advertida en las experiencias previas con la solución nutritiva.

El estudio realizado por McGrath (1982) con *Avena sativa* expuesta a medios nutritivos donde se mantuvieron iguales concentraciones de cromo (+6) y cromo (+3), permitió observar un mayor efecto inhibitorio del desarrollo de las raíces por parte del cromo (+3) con respecto al cromo (+6) en todas las concentraciones ensayadas. El cromo (+6), en cambio, disminuyó más el crecimiento de los retoños que el cromo (+3). Asimismo, para ambos estados de oxidación del cromo se comprobó similitud en la proporción translocada de éste hacia los retoños. La investigación de McGrath (1982) también involucró experiencias de exposición de *Avena sativa* a cromo (+3) y cromo (+6) en suelo, a distintos valores de pH, que permitieron concluir que ambas formas son tóxicas en la medida de la cantidad presente en la solución del suelo. Esta última está determinada esencialmente por la magnitud del aporte contaminante y por el pH.

Karataglis et al. (1988), en estudios realizados en soluciones nutritivas, comprobaron depresión del crecimiento de raíces y de retoños en plántulas desarrolladas a partir de semillas de *Triticum aestivum cv. Vergina* (trigo pan) expuestas a cromo (+3).

El estudio de Adema y Henzen (1989), realizado con *Avena sativa*, *Lycopersicum esculentum* (tomate) y *Lactuca sativa* (lechuga) en dos tipos de suelo y en un medio nutritivo líquido, permitió registrar la influencia decisiva de la matriz a que está asociado el cromo (+6) en su acción fitotóxica sobre las especies expuestas.

Günther y Pestemer (1990), en ensayos en suelo para evaluar riesgos asociados a sustancias xenobióticas, registraron la reducción de crecimiento en *Brassica rapa var. rapa* (nabo) y *Avena sativa* expuestas a cromo (+6).

Sharma y Sharma (1993), en un estudio realizado en cultivos de *Zea mays* en suelo arenoso, comprobaron que la exposición a cromo (+6) afectó el desarrollo vegetativo, con decrecimiento del rendimiento de materia seca y del rendimiento reproductivo.

El estudio de Bishnoi et al. (1993), realizado con plantas de *Pisum sativum* (arveja) expuestas a cromo (+6), observó la depresión de su capacidad global para llevar adelante los procesos de fotosíntesis, respiración y fijación simbiótica de nitrógeno.

La investigación efectuada por Corradi et al. (1993) sobre semillas de *Salvia sclarea* expuestas in vitro a cromo (+6), aunque evidenció la ausencia de inhibición de la germinación, comprobó la inhibición del desarrollo de las plántulas, manifestada particularmente en la zona radicular.

Moral et al. (1995), en una experiencia hidropónica, observaron una significativa alteración de las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, calcio y magnesio en tallos y ramas de plantas de *Lycopersicum esculentum* expuestas a cromo (+3) en la solución nutritiva. Si bien no fue advertida una reducción del rendimiento total, el número de frutos registró una disminución y la masa fresca media de los mismos aumentó con cada incremento de la concentración de cromo (+3) en la solución nutritiva. Fue comprobada una acumulación preferencial de cromo en las raíces, con poco transporte hacia la parte aérea de las plantas, no



advirtiéndose que el mismo llegara hasta los frutos aún a las concentraciones más altas de exposición ensayadas.

Los estudios de Kádár y Morvai (1998), que tuvieron como objeto evaluar efectos de microcontaminantes sobre cultivos en suelos calcáreo-arenosos, comprobaron la reducción de rendimiento tanto en la raíz como en la parte aérea de *Daucus carota* (zanahoria) expuesta a cromo (+6). En las condiciones de ensayo la fitotoxicidad del cromo (+3) no pudo ser constatada. Por otra parte, todas las concentraciones ensayadas, tanto para cromo (+3) como para cromo (+6), resultaron inefectivas en el caso de *Pisum sativum*.

El estudio de Jayaprakash et al. (1994) permitió observar inhibición del crecimiento de raíces y reducción del índice mitótico en los meristemas radiculares de *Allium cepa* (cebolla) expuesta a cromo (+6).

Si bien existe una noción general de mayor fitotoxicidad del cromo (+6) con respecto al cromo (+3), la cual resulta de observaciones realizadas en varios estudios, algunos de los cuales han sido citados precedentemente, las experiencias de Voelcker (1921) y la investigación de McGrath (1982), también comentadas anteriormente, están indicando la potencialidad tóxica similar de ambos estados de oxidación del cromo en la medida en que se verifique su presencia en la solución del suelo. De tal manera, teniendo en cuenta la posible concurrencia de condiciones que propicien la biodisponibilidad del cromo independientemente de su estado de oxidación, se deriva el nivel guía de calidad de agua para riego para tal parámetro refiriéndolo a cromo total y considerando la información fitotoxicológica disponible para cromo (+6) y cromo (+3) de manera indistinta. De acuerdo a los datos de fitotoxicidad disponibles, la derivación antedicha se asienta en el procedimiento establecido para información basada en concentraciones en el agua de riego, resultando tales datos suficientes para el cálculo de la concentración máxima aceptable de cromo en el agua de riego con carácter pleno.

## **V.2) Cálculo de la concentración máxima aceptable de cromo en el agua de riego**

Según lo expuesto precedentemente, para este cálculo se consideran indistintamente datos fitotoxicológicos correspondientes a cromo (+6) y cromo (+3) basados en concentraciones en el agua de riego. En la Tabla V.1 se exponen valores de las menores concentraciones de cromo total en el agua de riego para las cuales se registran efectos fitotóxicos (LOEC) y de concentraciones de cromo en el agua de riego para las cuales no se registran efectos fitotóxicos (NOEC) correspondientes a especies de producción vegetal. Estos están así reportados en los trabajos referenciados en la tabla antedicha o resultan de elaboraciones sobre tales trabajos.



**TABLA V.1 – FITOTOXICIDAD DEL CROMO TOTAL SOBRE ESPECIES DE PRODUCCION VEGETAL**

ESPECIE	LOEC [mg Cr/l]	NOEC [mg Cr/l]	EFEECTO	REFERENCIA
<i>Avena sativa</i>	1,04	0,10	Reducción de crecimiento	McGrath, 1982
<i>Lactuca sativa</i>	SD	0,04	Reducción de crecimiento	Adema and Henzen, 1989
<i>Lycopersicum esculentum</i>	SD	0,11	Reducción de crecimiento	Adema and Henzen, 1989
<i>Glycine max</i>	0,50	0,10	Disminución de rendimiento de materia seca	Turner and Rust, 1971
<i>Zea mays</i>	2,60	0,58 (1)	Disminución de rendimiento de materia seca y de rendimiento reproductivo	Sharma and Sharma, 1993
<i>Nicotiana tabacum</i>	1	0,22 (1)	Inhibición de desarrollo del tallo	Soane and Saunder, 1959
<i>Pisum sativum</i>	2,60	0,58 (1)	Disminución de la actividad fotosintética	Bishnoi et al., 1993
<i>Triticum aestivum</i>	2,50	0,56 (1)	Disminución de crecimiento de raíz y tallo	Karataglis et al., 1988
<i>Salvia sclarea</i>	1	0,22 (1)	Disminución de elongación de raíz	Corradi et al., 1993
<i>Allium cepa</i>	20	4,44 (1)	Reducción de crecimiento de raíz	Jayaprakash et al., 1994

Notas:

SD: Sin dato

(1): Estimado a partir de NOEC = (LOEC/4,5), de acuerdo a lo establecido metodológicamente

Calculando la concentración máxima aceptable de cromo en el agua de riego para cada especie considerada (SMATC<sub>i</sub>) según:

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

donde:

FI: factor de incertidumbre

y adoptándose para FI el valor 10, resultan las concentraciones máximas aceptables de cromo total expuestas en la Tabla V.2.



**TABLA V.2 – CONCENTRACIONES MAXIMAS ACEPTABLES DE CROMO TOTAL**

ESPECIE	LOEC [mg/l]	NOEC [mg/l]	SMATC [mg/l]
<i>Avena sativa</i>	1,04	0,10	0,032
<i>Lactuca sativa</i>	SD	0,04	0,008 (1)
<i>Lycopersicum esculentum</i>	SD	0,11	0,022 (1)
<i>Glycine max</i>	0,50	0,10	0,022
<i>Zea mays</i>	2,60	0,58	0,123
<i>Nicotiana tabacum</i>	1	0,22	0,047
<i>Pisum sativum</i>	2,60	0,58	0,123
<i>Triticum aestivum</i>	2,50	0,56	0,118
<i>Salvia sclarca</i>	1	0,22	0,047
<i>Allium cepa</i>	20	4,44	0,942

Notas:

SD: Sin dato

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

La concentración máxima aceptable para cromo total en agua de riego queda definida por la menor calculada: 8 µg/l, que corresponde a *Lactuca sativa*.

### **V.3) Especificación del nivel guía para cromo en agua de riego**

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

$$NGAR \text{ (Cromo total)} \leq 8 \mu\text{g/l}$$

### **V.4) Consideración de riesgos asociados al agua de riego para el suelo y el acuífero freático**

Los niveles guía especificados son 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.



## **VI) NIVEL GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA BEBIDA DE ESPECIES DE PRODUCCION ANIMAL CORRESPONDIENTE A CROMO**

### **VI.1) *Introducción***

En la Sección II ya han sido mencionadas la condición de micronutriente esencial del cromo, que se pone de manifiesto en el estado de oxidación +3 a concentraciones aproximadamente iguales a 100 µg/kg ingesta alimentaria (IPCS, 1988), y diversas evidencias de efectos asociados a la deficiencia dietaria de cromo.

También se ha aludido en la sección anteriormente citada a la dificultad para discernir entre los efectos biológicos causados por los estados de oxidación +3 y +6. En tal sentido, la discriminación de efectos vinculados al cromo por vía oral también se ve dificultada por la reducción parcial del cromo (+6) ingerido a cromo (+3) en el jugo gástrico (Donaldson and Barreras, 1966; De Flora and Boido, 1980)

La información sobre toxicidad oral del cromo proviene esencialmente de ensayos de laboratorio, siendo sumamente escasas las referencias sobre efectos tóxicos en especies de producción animal. Dentro del trabajo experimental antedicho puede ser mencionado el estudio de MacKenzie et al. (1958), relacionado con efectos crónicos del cromo (+6) y (+3) sobre ratas a través de su administración en el agua de bebida, del cual surge el NOAEL en el que se asienta la derivación del nivel guía de calidad de agua para consumo humano desarrollado en la Sección II. Otros estudios mencionables son el de Anwar et al. (1961), que evaluó efectos del cromo (+6) suministrado en el agua de bebida de perros, y los de Schroeder et al. (1964, 1965), que evaluaron los efectos del cromo (+3) administrado en el agua de bebida de ratas y ratones. A los estudios citados cabe agregar el realizado en conejos por Kucher (1966), del que surge evidencia de efectos del cromo(+6) sobre las gónadas, los que incluyen atrofia epitelial y alteraciones distróficas celulares en testículos y cambios escleróticos y atróficos en ovarios.

Como ha sido expuesto en la Sección II, existe suficiente evidencia experimental sobre carcinogenicidad animal inherente a la exposición por inhalación a compuestos poco solubles de cromo (+6), mientras que la evidencia correspondiente a los compuestos de cromo (+3) y a otros compuestos de cromo (+6) es limitada o inadecuada.

De acuerdo a los requerimientos metodológicos para establecer niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal, la información toxicológica disponible no permite realizar tal derivación para cromo en base a datos relativos a dichas especies, ni siquiera incluyendo el uso de información correspondiente a especies no comprendidas en la producción animal. De tal manera, el nivel guía para cromo se establece en forma interina en función de los criterios asumidos para agua de consumo humano.



***VI.2) Establecimiento del nivel guía de agua ambiente para bebida de especies de producción animal***

Según lo expuesto precedentemente, se establece este nivel guía en base a las elaboraciones efectuadas para agua de consumo humano. De tal manera, se especifica como nivel guía interino de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondiente a cromo total el valor correspondiente a agua para consumo humano, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA (Cromo total)} \leq 20 \mu\text{g/l}$$

El nivel guía especificado es aplicable para los tres escenarios de producción animal considerados (producción animal conformada por mamíferos, producción animal conformada por aves y producción animal conformada por los dos grupos antedichos).



## **IX) TECNICAS ANALITICAS ASOCIADAS A LA DETERMINACION DE CROMO**

En la Base de Datos “Técnicas Analíticas” pueden ser seleccionados métodos analíticos validados para la determinación de cromo. Varios de ellos permiten evaluar la cumplimentación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente derivados para cromo total y para cromo hexavalente. En el caso particular de protección de la biota acuática, los niveles guía derivados incluyen especificaciones para cromo hexavalente y cromo trivalente; además, se incluye una especificación para cromo total que es aplicable únicamente cuando no se efectuaron determinaciones diferenciadas de cromo hexavalente y cromo trivalente. La observación del nivel guía correspondiente a cromo trivalente requiere la disponibilidad de un equipo de Absorción Atómica/Horno de Grafito operante a temperatura estabilizada en un área limpia, disponibilidad no implementada actualmente en el país. De tal manera, si no se pudiera lograr a corto plazo la disponibilidad antedicha la evaluación de la cumplimentación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente calculados para protección de la biota acuática se deberá asentar en la determinación de cromo total.



## X) REFERENCIAS

Academy of Natural Sciences. 1960. The sensitivity of aquatic life to certain chemicals commonly found in industrial wastes. Philadelphia, Pennsylvania. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.

Adelman, I.R. and L.L. Smith, Jr. 1976. Fathead minnows (*Pimephales promelas*) and goldfish (*Carassius auratus*) as standard fish in bioassays and their reaction to potential reference toxicants. J. Fish. Res. Board Can. 33:209-214. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.

Adema, D.M.M. and L. Henzen. 1989. A comparison of Plant Toxicities of Some Industrial Chemicals in Soil Culture and Soilless Culture. Ecotoxicol. Environ. Safety 18: 219-229.

Agua Superficial. 2000a. Procesamiento de datos presentados en: Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. 1999. Reporte detallado de datos de calidad de agua recolectados durante el período Abril 1987-Marzo 1998 por la Contraparte Técnica Argentina. Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata. Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Plata.

Agua Superficial. 2000b. Procesamiento de datos presentados en: Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. 1999. Reporte detallado de datos de calidad de agua recolectados durante el período Abril 1987-Marzo 1998 por la Contraparte Técnica Argentina. Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata. Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Plata y datos suministrados por el Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios correspondientes al período 1993-1995.

Anwar, R.A., F.F. Langham, C.A. Hoppert et al. 1961. Chronic toxicity studies. II Chronic toxicity of cadmium and chromium in dogs. Arch. Environ. 3: 456-460. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1998. 0144. Chromium (VI).

Barron, M.G. and I.R. Adelman. 1984. Nucleic acid, protein content, and growth of larval fish sublethally exposed to various toxicants. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 141-150.

Batac-Catalan, Z. and D.S. White. 1983. Effect of chromium on larval chironomidae as determined by the optical-fiber light-interruption biomonitoring system. P. 469-481. In: W.E. Bishop; R.D. Cardwell, and B.B. Heidolph (eds.), Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Sixth Symposium. ASTM STP 802. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.

Benoit, D.A. 1976. Toxic effects of hexavalent chromium on brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Water Res. 10: 497-500. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.

Biesinger, K.E. and G.M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1691-1700. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.

Bigaliev, A.B., M.S. Elmesova, M.N., Turebaev & R.K. Bigaliev. 1978. [Cytogenetic study of the mutagenic activity of industrial substances.] Zdravookhr. Kaz., 8: 48-50 (in Russian). En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.

Birge, W.J. 1978. Aquatic toxicology of trace elements of coal and fly ash. En: Energy and Environmental Stress in Aquatic Systems. J.H. Thorpe and J.W. Gibbons (eds.). Technical Information Service Center, Springfield, Virginia, pp.219. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.

Bishnoi, N.R., L.K. Chugh, and S.K. Sawhney. 1993. Effect of Chromium on Photosynthesis, Respiration and Nitrogen Fixation in Pea (*Pisum sativum* L.) Seedlings. J. Plant Physiol. Vol. 142. pp.: 25-30.

Broderius, S.J. and L.L. Smith, Jr. 1979. Lethal and sublethal effects of binary mixtures of cyanide and hexavalent chromium, zinc, or ammonia to the fathead minnow (*Pimephales promelas*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish. Res. Board Can. 36: 164-172.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Buhler, D.R., R.M. Stokes and R.S. Caldwell. 1977. Tissue accumulation and enzymatic effects of hexavalent chromium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish. Res. Board Can. 34: 9-18. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Cairns, J., Jr. et al. 1978. Effects of temperature on aquatic organisms sensitivity to selected chemicals. Bulletin 106. Virginia Water Resources research Center, Blacksburg, Virginia. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Calamari, D.; G.F. Gaggino and G. Pachetti. 1982. Toxicokinetics of low levels of Cd, Cr, Ni and their mixture in long-term treatment on *Salmo gairdneri* Rich. Chemosphere 11: 59-70. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Call, D.J. et al. 1983. Toxicity and metabolism studies with EPA priority pollutants and related chemicals in freshwater organisms. PB83-263665. National Technical Information Service, Springfield, Virginia. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Call, D.J., L.T. Brooke, N.Ahmad and D.D.Vaishnav. 1981. Aquatic Pollutant Hazard Assessments and Development of a Hazard Prediction Technology by Quantitative Structure- Activity Relationships. Second Quarterly Report, U.S. EPA Cooperative Agreement No. CR 809234-01-0, Center for Lake Superior Environmental. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1988. Water Quality Standards Criteria Summaries: a compilation of State/Federal criteria. Chromium.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Coniglio, L. and R. Baudo. 1989. Life-Tables of *Daphnia obtusa* (Kurz) Surviving Exposure to Toxic Concentrations of chromium. Hydrobiologia 188/189:407-410. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Corradi, M.G., A. Bianchi and A. Albasini. 1993. Chromium toxicity in *Salvia sclarea*. I. Effects of hexavalent chromium on seed germination and seedling development. 1993. Environmental and Experimental Botany. Vol. 33, Nº 3, pp.: 405-413.
- Chapman, G.A., et al. Manuscript. Effects of water hardness on the toxicity of metals to *Daphnia magna*. U.S. EPA, Corvallis, Oregon. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Chapman, G.A.; S. Ota and F. Recht. 1980. Effects of Water Hardness on the Toxicity of Metals to *Daphnia magna*. U.S. EPA. Corvallis, OR: 17 p. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- DeFlora, S. & V. Boido. 1980. Effect of human gastric juice on the mutagenicity of chemicals. Mutat. Res., 77: 307-315. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva
- Delgado, M.; M. Bigeriego and E. Guardiola. 1993. Uptake of Zn, Cr, and Cd by water hyacinths. Wat. Res. 27(2): 269-272. En: Pawlisz, A.V.; R.A. Kent; U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Donaldson, R.M., Jr & R.F. Barreras. 1966. Intestinal absorption of trace quantities of chromium. J. lab. clin. Med., 68: 484-493. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva
- Dorn, P.B.; J.H. Rodgers, Jr.; K.M. Jop; J.C. Raia and K.L. Dickson. 1987. Hexavalent chromium as a reference toxicant in effluent toxicity tests. Environ. Toxicol. Chem. 6: 435-444. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Elnabarawy, M.T., A.N. Welter and R.R. Robideau. 1986. Relative sensitivity of three daphnid species to selected organic and inorganic chemicals. Environ. Toxicol. Chem. 5: 393-398. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.



- Ewell, W.; J. Gorsuch; R. Kringle; K. Robillard and R. Spiegel. 1986. Simultaneous evaluation of the acute effects of chemicals on seven aquatic species. *Environ. Toxicol. Chem.* 5: 831-840. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Fargasova, A. 1994. Toxicity of metals on *Daphnia magna* and *Tubifex tubifex*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 27: 210-213. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Fromm, P.O. and R.M. Stokes. 1962. Assimilation and metabolism of chromium by trout. *J. Water Pollut. Control Fed.* 34: 1151-1155. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Gale, T.F. & J.D. Bunch. 1979. The effect of the time of administration of chromium trioxide on the embryotoxic response in hamsters. *Teratology*, 19: 81-86. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Gale, T.F. 1974. Effects of chromium on the hamster embryo. *Teratology*, 9: A-17. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Gale, T.F. 1978. Embryotoxic effects of chromium trioxide in hamsters. *Environ. Res.*, 16: 101-109. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Garton, R.B. 1973. Biological effects of cooling tower blowdown. In: G.F. Bennet (ed.), *Water - 1972*. AICHE Symposium Series Vol. 69. American Institute of Chemical Engineers, New York. p. 284. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Gendusa, T.; T. Beiting and J. Rodgers. 1993. Toxicity of hexavalent chromium from aqueous and sediment sources to *Pimephales promelas* and *Ictalurus punctatus*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 144-151. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Grande, M. and S. Andersen. 1983. Lethal effects of hexavalent chromium, lead and nickel on young stages of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in soft water. *Vetten* 39: 405-416. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Gray, S.J. & K. Sterling. 1950. The tagging of red cells and plasma proteins with radioactive chromium. *J. clin. Invest.*, 29: 1604-1613. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva
- Günther, D. and W. Pestemer, 1990. Risk Assessment for Selected Xenobiotics by Bioassay Methods with Higher Plants. *Environmental Management* Vol. 14, Nº 3, pp.: 381-388.
- Hamburger, B., H. Haberling and H.R. Hitz. 1977. Comparative Tests on Toxicity to Fish Using Minnows, Trout, Golden Orfe. *Arch. Fischereiwiss.* 28(1): 45-55. En: AQUIRE (Aquatic toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division, Duluth, Minnesota.
- Hamilton, S.J. and K. J. Buhl. 1990. Safety assessment of selected inorganic elements to fry of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 20: 307-324. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Hickey, C. 1989. Sensitivity of four New Zealand cladoceran species and *Daphnia magna* to aquatic toxicants. *New Zealand J. Marine Fresh. Res.* 23: 131-137. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Hickey, C. and M. Vickers. 1992. Comparison of the sensitivity to heavy metals and pentachlorophenol of the mayflies *Deleatidium* sp. and the cladoceran *Daphnia magna*. *New Zeal. J. Marine Fresh. Res.* 26: 87-93. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Hunter, James G. and Ornella Vergnano. 1953. Trace-element toxicities in oat plants. *Annals App. Biol.* 40: 761-767.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- IARC. 1980. Some metals and metallic compounds, Lyons, International Agency for Research on Cancer, pp. 205-323 (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 23). En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Iijima, S., N. Matsumoto, C.C Lu & H. Katsunuma. 1975. Placental transfer of CrCl<sub>3</sub> and its effects on fetal growth and development and development in mice. *Teratology*, 12: 198. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988 Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Ivankovic, S. and R. Preussmann. 1975. Absence of toxic and carcinogenic effects after administration of high doses of chromic oxide pigment in subacute and long-term feeding experiments in rats. *Food Cosmet. Toxicol.* 13: 347-351. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1988. 0028. Chromium (III), insoluble.
- Jayaprakash, Ch., N. Srinivas, B.V. Rao and P.V.V. Prasada Rao. 1994. Effects of Chromium (VI) on the Mitotic Activity of *Allium cepa* Root Meristems. *J. Environ. Biol.* 15(4): 225-261.
- Jop, K.M., J.H. Rodgers, Jr, P.B. Dorn and K.L. Dickson. 1986. Use of hexavalent chromium as a reference toxicant in aquatic toxicity tests, P. 390-403. En T.M. Poston and R. Purdy (eds.) *Aquatic Toxicology and Environmental Fate: Ninth Volume*, ASTM STP 921. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Jop, K.M., T.F. Parkerton, J.H. Rodgers, K.L. Dickson and P.B. Dorn. 1987. Comparative toxicity and speciation of two hexavalent chromium salts in acute toxicity tests. *Environ. Toxicol. Chem.* 6: 697-703. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Junaid, M., R.C. Murthy and D.K. Saxena. 1996. Embriotoxicity of orally administered chromium in mice: exposure during the period of organogenesis. *Toxicol. Lett.* 84: 143-148. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1988. 0144. Chromium (VI).
- Kádár, I. and B. Morvai. 1998. Effect of micropollutants on soil and crop on calcareous sandy soil. *Agrokémia és Talajtan.* 42: 207-214.
- Kanojia, R.K., M. Junaid and R.C. Murthy. 1996. Chromium induced teratogenicity in female rat. *Toxicol. Lett.* 89: 207-213. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1988. 0144. Chromium (VI).
- Karataglis, S., L. Symeonidis and M. Moustakas. 1988. Effect of Toxic Metals on the Multiple Forms of Esterases of *Triticum aestivum* cv. *Vergina*. *J. Agronomy and Crop Science* 160: 106-112.
- Keller, A.E. and S.G. Zam. 1991. The Acute Toxicity of Selected Metals to the Freshwater Environ. *Toxicol. Chem.* 3(3): 425-434. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Khengarot, B and P. Ray. 1988. Sensitivity of freshwater pulmonate snails, *Lymnaea luteola* to heavy metals. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 41: 208-213. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Khengarot, B. 1991. Toxicity of metals to a freshwater tubificid worm. *Tubifex tubifex*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 46: 906-912. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Khengarot, B.S. and P.K. Ray. 1987. Sensitivity of toad tadpoles *Bufo melanostictus* (Schneider) to heavy metals. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 38: 523-527. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Khengarot, B.S. and P.K. Ray. 1990. Acute toxicity and toxic interaction of chromium and nickel to common guppy *Poecilia reticulata* (Peters). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 44: 832-839. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Khargarot, B.S., S. Mathur and V.S. Durve. 1982. Comparative toxicity of heavy metals and interaction of metals on a freshwater pulmonate snail *Lymnaea acuminata* (Lamarck). *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 10: 367-375. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Khun, R., M. Pattard, K. Pernak and A. Winter. 1989. Results of the harmful effects of water pollutants to *Daphnia magna* in the 21 day reproduction test. *Water Res.* 23: 501-510.
- Krassoi, F. and M. Julli. 1994. Chemical batch as a factor affecting the acute toxicity of the reference toxicant potassium dichromate to the cladoceran *Moina australiensis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 53: 153-157. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Kucher, I.M. 1966. In: [Proceedings of the 5th Scientific Session of the Aktiubinsk Medical Institute, Alma-Ata, Kazakhstan,] pp. 24-26. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva
- Levis, A.G., M. Buttignol, V. Bianchi et al. 1978. Effects of potassium dichromate on nucleic acid and protein syntheses and on precursor uptake in BHK fibroblasts. *Cancer. Res.* 38: 110-116. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- MacKenzie, R.D., R.U. Byerrum, C.F. Decker et al. 1958. Chronic toxicity studies. Hexavalent and trivalent chromium administered in drinking water to rats. *Am. Med. Assoc. Arch. Ind. Health.* 18: 232-234. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1988. 0144. Chromium (VI).
- Marking, L.L. 1982. Letter to Quentin Pickering. National Fishery Research Laboratory, Lacrosse, Wisconsin. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium – 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Martin, T.R. and D.M. Holdich. 1986. The acute lethal toxicity of heavy metals to paracarid crustaceans (with particular reference to fresh-water asellides and gammarides). *Water Res.* 20: 1137-1147. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Mathis, B.J. and T.F. Cummings. 1973. Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 45: 1573-1583. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Matsumoto, N., S. Lijima & H. Katsunuma. 1976. Placental transfer of chromic chloride and its teratogenic potential in embryonic mice. *J. toxicol. Sci.*, 2: 1-13. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Mc Neely, R.N., V.P. Neimans and L. Dwyer. 1979. Chromium. In *Water Quality Sourcebook*. Water Quality Branch, Inland Water Directorate, Environment Canada, Ottawa, pp. 12-13. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- McGrath, S.P. 1982. The uptake and translocation of tri- and hexa-valent chromium and effects of the growth of oat in flowing nutrient solution and in soil. *New Phytol.* 92: 381-390.
- Meisch, H.U. and I. Schmitt-Beckmann. 1979. Influence of tri- and hexavalent chromium on two *Chlorella* strains. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.* 94.S: 231-239. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Mertz, W. and E.E. Roginski. 1969. Effects of chromium (III) supplementation on growth and survival under stress in rats fed low protein diets. *J. Nutr.*, 97: 531-536. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Mertz, W., E.E. Roginski and H.A. Schroeder. 1965. Some aspects of glucose metabolism of chromium-deficient rats raised in a strictly controlled environment. *J. Nutr.*, 86: 107-112. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Migliore, L. and M. de Nicola Giudici. 1990. Toxicity of heavy metals to *Asellus aquaticus* (L.) (Crustacea, Isopoda). *Hydrobiología* 203: 155-164. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Mills, W.B., D. B. Porcella, M. J. Unga, S.A. Gherini, K.V. Summers, Lingfung Mok, G.L. Rupp, G.L. Bowie and D.A. Haith. September 1985. Water Quality Assessment: A Screening Procedure for Toxic and Conventional Pollutants in Surface and Ground Water. EPA/600/6-85/002 a. U.S. Environmental Protection Agency.
- Moral, R., J. Navarro Pedreno, I. Gomez and J. Mataix. 1995. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. Journal of plant nutrition, 18(4): 815-822.
- Mount, D.I. 1982. Memorandum to Charles E. Stephan. reichen, Duluth, Minnesota. June 7. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Mount, D.I. and T.J.Norberg. 1984. A Seven-Day Life-Cycle Cladoceran Toxicity Test. Environ. Toxicol. Chem. 3(3): 425-434. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Natale, G.S, N.G. Basso and A.E. Ronco. 2000. Effect of Cr(VI) on early life stages of three species of hylid frogs (Amphibia, Anura) from South America. Env. Tox. 15: 509-512.
- Oikari, A., J. Kukkonen and V. Virtanen. 1992. Acute toxicity of chemicals to *Daphnia magna* in humic waters. Sci. Total Environ. 117/118: 367-377.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1995. Guías para la calidad del agua potable. Segunda Edición. Volumen I. Recomendaciones.
- Pardue, W.J. and T.S.Wood. 1980. Baseline Toxicity Data for Freshwater Bryozoa Exposed to Copper, Cadmium, Chromium, and Zinc. J. Tenn. Acad. Sci. 55(1): 27-31. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Patrick, R., et al. 1968. The relative sensitivity of diatoms, snails, and fish to twenty common constituents of industrial wastes. Prog. Fish-Cult. 30: 137. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Patrick, R.; T. Bott and R. Larson. 1975. The Role of Trace Elements in Management of Nuisance Growths. EPA-660/2-75-008), Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, OR, 72 p. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Persoone, G., A. Van de Vel, M. Van Steertegem and B. De Nayer. 1989. Predictive value of laboratory tests with aquatic invertebrates: Influences of experimental conditions. Aquat. Toxicol. 14: 149-166. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Pickering, Q.H. 1980. Chronic toxicity for hexavalent chromium to the fathead minnow (*Pimephales promelas*). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 9: 405-413. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Pickering, Q.H. and C. Henderson. 1966. The acute toxicity of some heavy metals to different species of warmwater fishes. Air Water Pollut. Int. J. 10: 453-463. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Pillard, D.A.; P.M. Rocchio; K.M. Cassidy; S.M. Stewart and B.D. Vance. 1987. Hexavalent chromium effects on carbon assimilation in *Selenastrum capricornutum*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 38: 715-721. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Poulton, B.C., T.L. Beiting and K.W. Stewart. 1989. The effect of hexavalent chromium on the critical thermal maximum and body burden of *Clioperla clio* (Plecoptera: Perlodidae). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18: 594-600. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. Environ. Toxicol. Water Qual. 12: 185-193.
- Raffetto, G., S. Parodi, C. Parodi, M. DeFerrari, R. Troiano and G. Brambilla. 1977. Direct interaction with cellular targets as the mechanism for chromium carcinogenesis. Tumori. 63: 503- 512. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Rehwoldt, R.; L. Lasko; C. Shaw and E. Wirhowski. 1973. The acute toxicity of some heavy metal ions toward benthic organisms. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 10: 291-294. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Rehwoldt, R.; L. Menpace; B. Nerrie and D. Alessand. 1972. Effect of increased temperature upon acute toxicity of some heavy-metal ions. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 8: 91. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Richter, J.R. 1982. Memorandum to Charles E. Stephan. U.S. EPA, Duluth, Minnesota. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium – 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- Riva, M.C., R. Flos, M. Crespi and J. Balasch. 1981. Lethal potassium dichromate and whitening (blankophor) exposure of goldfish (*Carassius auratus*): Chromium levels in gills. *Comp. Biochem. Physiol.* 68C: 161-165. En: AQUIRE (Aquatic toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division, Duluth, Minnesota.
- Sarto, F., J. Cominato, V. Bianchi & A.G. Levis. 1982. Increased incidence of chromosomal aberrations and sister chromatid exchanges in workers exposed to chromic acid (CrO<sub>3</sub>) in electroplating factories. *Carcinogenesis*, 3: 1011-1016. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Saxena, O.P. and A. Parashari. 1983. Comparative study of the toxicity of six heavy metals to *Channa punctatus*. *J. Environ. Biol.* 4: 91-94. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Schroeder, H.A. 1966. Chromium deficiency in rats: a syndrome simulating diabetes mellitus with retarded growth. *J. Nutr.* 88: 439-445. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Schroeder, H.A. and J.J. Balassa. 1965. Influence of chromium, cadmium, and lead on rat aortic lipids and circulating cholesterol. *Am. J. Physiol.*, 209: 433-437. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Schroeder, H.A., J.J. Balassa & W.H. Vinton, Jr. 1964. Chromium, lead, cadmium, nickel and titanium in mice: effect on mortality, tumors and tissue levels. *J. Nutr.*, 83: 239-250. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Schwartz, K. and W. Mertz. 1959. Chromium (III) and the glucose tolerance factor. *Arch. Biochem. Biophys.*, 85: 292-295. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Sharma, D.C. and C. P. Sharma. 1993. Effect of chromium on growth and biological yield of maize (*Zea mays* L. cv. Ganga 5). *Indian J. Plant Physiol*, Vol. XXXVI, N° 1, pp.: 61-64 (March).
- Snell, T. and B. Moffat. 1992. A 2-d cycle test with the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Environ. Toxicol. Chem.* 11: 1249-1257. En: Pawlisz, A.V.; R.A. Kent; U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Soane, B.D. and D.H. Saunder. 1959. Nickel and chromium toxicity of serpentine soils in Southern Rhodesia. *Soil Sci.* 88: 322-330.
- Sorg, T.J. 1979. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulations for organics: Part 4. *J. Am. Water Works Assoc.* 71: 454-466. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Spehar, R.L. and J.T. Fiandt. 1986. Acute and chronic effects of water quality criteria-based metal mixtures on three aquatic species. *Environ. Toxicol. Chem.* 5: 917-931. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Stephenson, R.R. and S.A. Watts. 1984. Chronic toxicity tests with *Daphnia magna*: the effects of different food and temperature regimes on survival, reproduction and growth. *Environ. Pollut. (Series A)* 36: 95. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.



República Argentina  
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Stevens, D.G. and G.A. Chapman. 1984. Toxicity of trivalent chromium to early life stages of steelhead trout. *Environ. Toxicol. Chem.* 3: 125. En: Pawlisz, A.V.; R.A. Kent; U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Tacon, A.G.J., and M.M. Beveridge, 1982. Effects of dietary trivalent chromium on rainbow trout. *Nutrit rep. Int.* 25: 49-56. En: Pawlisz, A.V.; R.A. Kent; U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Taylor, M.C., S.W. Reeder and A. Demayo. 1979. Chromium. In *Guidelines for Surface Water Quality*. Vol. 1. Inorganic Chemical Substances. Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Turner, M.A. and R.H. Rust. 1971. Effects of Chromium on Growth and Nutrition of Soybeans. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Vol. 35: 755-758.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). September 1998. 0144. Chromium (VI).
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). March 1990. Office of Drinking Water. Technologies for Upgrading Existing or Designing New Drinking Water Treatment Facilities. EPA/625/4-89/023.
- U.S. NAS, 1974. Chromium. Washington DC. U.S. National Academy of Sciences, 155 pp. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1988. Environmental Health Criteria 61. Chromium. World Health Organization. Geneva.
- Van der Putte, I., M.A. Brinkhorst and J.H. Koeman. 1981. Effect of pH on the acute toxicity of hexavalent chromium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquat. Toxicol.* 1: 129-142. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Voelcker, J. 1921. The Woburn Pot-Culture Experiments. *Journal R.A.S.E.* 82: 286-297.
- Vymazal, J. 1990. Uptake of lead, chromium, cadmium and cobalt by *Cladophora glomerata*. *Environ. Contam. Toxicol.* 44: 468-472. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Warnick, S.L. and H.L. Bell. 1969. The acute toxicity of some heavy metals to different species of aquatic insects. *J. Water Pollut. Control Fed.* 41: 280-284. En: Pawlisz, A.V.; R.A. Kent; U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- White, A.M. 1979. The toxicity of hexavalent chromium (Cr +6) to twenty-one species of aquatic animals native to Ohio. John Carroll University, University Heights, Ohio. En: U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium – 1984. Criteria and Standards Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. EPA-440/5-84-029.
- WHO (World Health Organization)/UNEP (United Nations Environment Programme). 1990. Global Environment Monitoring System. Global Freshwater Quality. A First Assessment.
- Wong, M.H., W.M.Lau, T.Y.Tong, W.K.Liu and K.C.Luk. 1982. Toxic Effects of Chromic Sulphate on the Common Carp, *Cyprinus carpio*. *Toxicol. Lett.* 10(2-3): 225-232. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical analysis* (2<sup>nd</sup> ed.), ed. Prentice-Hall, 718 pp.
- Zarafonitis, J.H. and R.E. Hampton. 1974. Some effects of small concentrations of chromium on growth and photosynthesis in algae. *Mich. Acad.* 6: 417-421. En: Pawlisz, A.V., R.A. Kent, U.A. Schneider and C. Jefferson. 1997. Canadian Water Quality Guidelines for Chromium. *Environ. Toxicol. Water Qual.* 12: 185-193.



## X) HISTORIAL DEL DOCUMENTO

<b>Fecha de edición original</b>	diciembre 2001
<b>Actualización diciembre 2002</b>	Redefinición de la forma de expresión del nivel guía de Sección III
<b>Actualización diciembre 2003</b>	Incorporación de Sección IX