



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

Julio 2004

INDICE

	<i>pág.</i>
I) Aspectos generales	I.1
II) Niveles guía de calidad para fuentes de provisión de agua para consumo humano correspondientes a cadmio	II.1
II.1) <i>Introducción</i>	II.1
II.2) <i>Cálculo del nivel guía de calidad de agua para consumo humano</i>	II.1
II.3) <i>Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento</i>	II.1
II.4) <i>Especificación de niveles guía de calidad de agua para la fuente de provisión</i>	II.2
II.4.1) <i>Fuente superficial con tratamiento convencional</i>	II.2
II.4.2) <i>Fuente superficial con tratamientos especiales</i>	II.2
II.4.3) <i>Fuente subterránea sin tratamiento o cuando éste consiste en una cloración (tratamiento convencional) u otra técnica de desinfección</i>	II.3
II.4.4) <i>Fuente subterránea con tratamientos especiales</i>	II.3
II.5) <i>Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano</i>	II.3
III) Nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática correspondiente a cadmio (aplicable a agua dulce).....	III.1
III.1) <i>Introducción</i>	III.1
III.2) <i>Derivación del nivel guía de calidad para protección de la biota acuática</i>	III.3
III.2.a) <i>Selección de especies</i>	III.3
III.2.b) <i>Cálculo del Valor Crónico Final</i>	III.5
III.2.b.1) <i>Cálculo de la pendiente combinada a utilizar en el ajuste de datos de concentraciones tóxicas (L)</i>	III.5
III.2.b.2) <i>Especificación de la ecuación de cálculo del Valor Crónico Final en función de la dureza</i>	III.7
III.3) <i>Establecimiento del nivel guía de calidad para cadmio correspondiente a protección de la biota acuática</i>	III.8
IV) Nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática correspondiente a cadmio (aplicable a agua marina)	IV.1
IV.1) <i>Introducción</i>	IV.1
IV.2) <i>Derivación del nivel guía de calidad para protección de la biota acuática</i>	IV.1
IV.2.a) <i>Selección de especies</i>	IV.2
IV.2.b) <i>Cálculo del Valor Agudo Final</i>	IV.3
IV.2.c) <i>Cálculo del Valor Crónico Final</i>	IV.5
IV.3) <i>Establecimiento del nivel guía de calidad para cadmio correspondiente a protección de la biota acuática</i>	IV.5
V) Niveles guía de calidad de agua ambiente para riego correspondientes a cadmio ...	V.1
V.1) <i>Introducción</i>	V.1
V.2) <i>Cálculo de la concentración máxima aceptable de cadmio en el agua de riego</i>	V.2
V.3) <i>Especificación de niveles guía para cadmio en agua de riego</i>	V.4
V.4) <i>Consideración de riesgos asociados al agua de riego para el suelo y el acuífero freático</i>	V.5



VI) Niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondientes a cadmio	VI.1
VI.1) <i>Introducción</i>	VI.1
VI.2) <i>Cálculo de ingestas diarias tolerables de cadmio y concentraciones tolerables de cadmio en el agua de bebida para producción animal conformada por especies mamíferas</i>	VI.2
VI.3) <i>Cálculo de ingestas diarias tolerables de cadmio y concentraciones máximas tolerables de cadmio en el agua de bebida para producción animal conformada por especies aviarias</i>	VI.3
VI.4) <i>Establecimiento de niveles guía de agua ambiente para bebida de especies de producción animal</i>	VI.4
VI.4.1) <i>Producción animal conformada por mamíferos</i>	VI.4
VI.4.2) <i>Producción animal conformada por aves</i>	VI.4
VI.4.3) <i>Producción animal conformada por mamíferos y aves</i>	VI.5
VIII) Contrastación de los niveles guía de calidad de agua ambiente correspondientes a cadmio	VIII.1
VIII.1) <i>Contrastación del nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática (NGPBA)</i>	VIII.1
VIII.1.1) <i>Contrastación del nivel guía de calidad de agua para la protección de la biota acuática aplicable a agua dulce</i>	VIII.1
VIII.1.2) <i>Contrastación del nivel guía de calidad de agua para la protección de la biota acuática aplicable a agua marina</i>	VIII.1
VIII.2) <i>Contrastación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente para riego</i>	VIII.1
VIII.3) <i>Contrastación de los niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal.....</i>	VIII.5
IX) Técnicas analíticas asociadas a la determinación de cadmio	IX.1
X) Referencias	X.1
XI) Historial del documento	XI.1



D) ASPECTOS GENERALES

La presencia basal del cadmio en las aguas corresponde a concentraciones extremadamente bajas. Sin embargo, los aportes contaminantes antrópicos constituidos por efluentes industriales y cloacales determinan una elevación de los niveles antedichos.

El cadmio está presente en las aguas en estado de oxidación +2, pudiendo formar complejos con los iones hidroxilo, carbonato, cloruro y sulfato y también con sustancias húmicas. En aguas superficiales los compuestos predominantes son cloruro de cadmio y carbonato de cadmio (Mantoura et al., 1978).

La solubilidad del cadmio en las aguas dulces es controlada por el equilibrio del carbonato, comenzando la precipitación del cadmio a valores de pH próximos a 6,9. Por debajo de éstos, predomina la forma iónica libre del cadmio (Mills et al., 1985).

La fracción de cadmio de la columna de agua presente en forma adsorbida puede ser significativa. Para concentraciones de cadmio referidas a la muestra sin filtrar comprendidas en el rango 2,1 - 5,5 µg/l, con un tenor de sólidos suspendidos de 34 mg/l, se reportaron proporciones de cadmio adsorbido en el rango 30 - 46 % (Mills et al., 1985).

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

CUADRO I.1 - OCURRENCIA MUNDIAL DE CADMIO 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]	
Cadmio en muestras sin filtrar	Cadmio en muestras filtradas	Cadmio en muestras sin filtrar	Cadmio en muestras filtradas	Cadmio en muestras sin filtrar	Cadmio en muestras filtradas	Cadmio en muestras sin filtrar	Cadmio en muestras filtradas
56	45	1	< 1	< 1 - 5	< 1 - 2	312	100

El valor correspondiente al percentilo 10 para el cadmio en muestras filtradas resulta relativamente concordante con la presencia de base natural de las aguas (WHO/UNEP, 1990). Boyle et al. (1976) han referido el valor 0,07 µg/l como valor basal para aguas dulces superficiales referido a la muestra filtrada.

Para aguas marinas han sido reportadas concentraciones basales iguales a 0,01 µg/l, en agua superficial, y a 0,07 µg/l, en agua profunda, en ambos casos referidas a la muestra filtrada (Boyle et al., 1976). Korte (1983) cita como concentración media de cadmio en agua de mar el valor 0,1 µg/l.

La información disponible sobre ocurrencia de cadmio en aguas dulces superficiales del territorio argentino se expone en el Cuadro I.2.



CUADRO I.2 - OCURRENCIA DE CADMIO EN AGUAS DULCES SUPERFICIALES DEL TERRITORIO ARGENTINO

Nº DE DATOS	RANGO [µg/l]	MEDIANA [µg/l]	PERCENTILO 10-90 [µg/l]	OBSERVACIONES	REFERENCIA
96	< 2 – 50 (a)	< 2	< 2 - 10	Datos correspondientes a muestras filtradas de ríos Uruguay, Paraná, Iguazú y de la Plata, Período 1988-96	Agua Superficial, 2000a
65	< 2 – 53 (b)	3	< 2 - 10	Datos correspondientes a muestras sin filtrar de ríos Uruguay, Paraná, Iguazú y Paraguay, Período 1988-96	Agua Superficial, 2000b

Notas:

(a): Río Paraná, Puerto Libertad, Misiones

(b): Río Paraná, Candelaria, Misiones



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

II.1) *Introducción*

La acción carcinógena del cadmio por inhalación ha sido evidenciada por estudios epidemiológicos concernientes a exposición ocupacional (Thun et al., 1985; Varner, 1983; Sorahan and Waterhouse, 1983; Armstrong and Kazantzis, 1983) y por estudios experimentales sobre animales de ensayo (Kazantzis et al., 1963; Kazantzis and Hanbury, 1966; Haddow et al., 1964; Gunn et al., 1967; Nazari et al., 1967; Heath and Webb, 1967). En base a esta evidencia, IARC (International Agency for Research on Cancer) clasifica al cadmio en el Grupo 2 A (OMS, 1995). Por su parte la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (U.S. EPA) consigna al cadmio en el Grupo B 1 (U.S. EPA, IRIS, 1997). Ambas categorizaciones corresponden a la condición de probable carcinógeno humano.

No obstante lo antedicho, no está demostrada la carcinogenicidad del cadmio por vía oral. Por tal motivo, la derivación del nivel guía de calidad de agua para consumo humano se asienta en el procedimiento definido para parámetros tóxicos con umbral, tomando como información básica la derivada de estudios de exposición crónica relacionados con la manifestación de proteinuria significativa.

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

Para efectuar el cálculo de este nivel guía se considera una ingesta diaria tolerable (IDT) igual a $1 \mu\text{g Cd}/(\text{kg masa corporal} * \text{d})$, resultante de una evaluación de las tasas de absorción y de excreción diarias realizada por el Comité Mixto FAO/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud) de Expertos en Aditivos Alimentarios, que tuvo por objeto definir condiciones no asociadas con una proteinuria significativa (OMS, 1995).

Asumiendo una masa corporal (MC) igual 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 0,1 (OMS, 1995), se establece el nivel guía de calidad para agua de bebida (NGAB) según la siguiente expresión:

$$\text{NGAB} \leq \text{IDT} * \text{MC} * \text{F/C}$$

resultando:

$$\text{NGAB (Cadmio)} \leq 3 \mu\text{g/l}$$



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

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

CUADRO II.1 - REMOCION DE CADMIO. EFICIENCIAS DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO

TRATAMIENTO	REMOCION ESPERABLE	OBSERVACIONES	REFERENCIAS
Convencional para agua superficial con coagulación en condiciones apropiadas	60 - > 90 % 70%	Coagulación con Al^{3+} : se requieren valores de pH del orden de 9 para eficiencias del orden de 90 %. Coagulación con Fe^{3+} : 60 % - > 90 %, a pH > 7,5 Coagulación con Al^{3+} : pH \geq 8,5	Sorg et al., 1978 NAS, 1977 U.S. EPA, 1990
Ablandamiento con cal	> 80 %		U.S.EPA, 1990
Ósmosis inversa	> 80 %		U.S.EPA, 1990
Intercambio catiónico	> 80 %		U.S.EPA, 1990
Carbón activado en polvo	20 - 80 %		U.S.EPA, 1990
Carbón activado granular	20 - 80 %		U.S.EPA, 1990

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

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

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

Teniendo en cuenta que el tratamiento de potabilización convencional, con condiciones de pH ajustadas según el agente coagulante utilizado, permite obtener buenas eficiencias de remoción de cadmio y asumiendo como premisa la verificación de condiciones de proceso que permitan satisfacer remociones de cadmio no menores que 60 %, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (Cadmio)} \leq 7,5 \mu\text{g/l}$$

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

Para casos en que se apliquen tratamientos que puedan verificar remociones de cadmio no menores que 80 %, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:



NGFP (Cadmio) $\leq 15 \mu\text{g/l}$

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 fuentes subterráneas con condiciones de aptitud microbiológica para consumo directo o que requieran un tratamiento de desinfección, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua sin filtrar:

NGFP (Cadmio) $\leq 3 \mu\text{g/l}$

II.4.4) Fuente subterránea con tratamientos especiales:

Para casos en que se apliquen tratamientos que puedan verificar remociones de cadmio no menores que 80%, se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

NGFP (Cadmio) $\leq 15 \mu\text{g/l}$

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 cadmio.

CUADRO II.2- CATEGORIZACION DE LAS FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN FUNCION DE LAS CONCENTRACIONES DE CADMIO (Ccd)

FUENTE	CATEGORIA	CONDICIONES DE CALIDAD
SUPERFICIAL	Calidad apropiada con tratamiento convencional que asegure remociones de cadmio no menores que 60%	$C_{cd} \leq 7,5 \mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de cadmio no menores que 80%	$7,5 \mu\text{g/l} < C_{cd} \leq 15 \mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$C_{cd} > 15 \mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad apropiada para consumo directo o para cuando el uso esté condicionado a la aplicación de una técnica de desinfección	$C_{cd} \leq 3 \mu\text{g/l}$ (2)
SUBTERRANEA	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de cadmio no menores que 80%	$7,5 \mu\text{g/l} \leq C_{cd} \leq 15 \mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$C_{cd} > 15 \mu\text{g/l}$ (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 CADMIO (APLICABLE A AGUA DULCE)

III.1) Introducción

El cadmio es un elemento no esencial que se bioacumula en los tejidos de microorganismos, animales y plantas acuáticas, siendo su forma iónica libre (Cd^{2+}) la que se encuentra más biodisponible para dichos organismos (Sunda et al., 1978; Borgmann, 1983; Part et al., 1985). Existe evidencia que indica que en los animales el cadmio y el calcio comparten los mecanismos de absorción, ya que sus iones son de tamaño y forma similares; esto implica que el Cd^{2+} puede reemplazar al Ca^{2+} en ciertas proteínas específicas (Flik et al., 1987). La principal vía de absorción del cadmio es a través de las células epiteliales de las branquias, por medio de los denominados canales de calcio (Verbost et al., 1989).

La especiación química del cadmio está determinada por el pH y la dureza del agua, así como también por la presencia de componentes ligantes, lo que a su vez tiene una relación directa con la toxicidad del mismo. El aumento de la temperatura incrementa la absorción del cadmio y por lo tanto su toxicidad; sin embargo, esta última disminuye con el aumento de la salinidad y de la dureza del agua.

La toxicidad del cadmio no cambia frente a la presencia de materia orgánica en suspensión o disuelta debido a su escasa capacidad para unirse a ella (Ravera, 1991). Los complejos inorgánicos de cadmio reducen la biodisponibilidad del mismo; por lo tanto, es muy probable que los complejos formados por cloruros sean responsables de la disminución de la toxicidad del cadmio sobre los organismos acuáticos cuando se incrementa la salinidad del agua (Coombs, 1979). Este efecto es relevante para zonas estuarinas, donde periódicamente se verifican variaciones de salinidad.

La presencia de otros metales tiene incidencia en la toxicidad del cadmio. En términos generales, el zinc atenúa la toxicidad del cadmio hacia las plantas acuáticas y los invertebrados. Para los peces, no se ha observado una interacción consistente entre el cadmio y el zinc. Sin embargo, ensayos de toxicidad crónica en los que se expuso a *Pimephales promelas* a una mezcla de cadmio, zinc y cobre permitieron observar efectos tóxicos de dicha mezcla mayores a los que resultarían de la adición de los efectos de cada componente de aquélla medidos por separado (Eaton, 1973). El selenio puede disminuir la toxicidad del cadmio tanto para plantas como para animales acuáticos; sin embargo, puede incrementar la retención del cadmio y alterar la distribución interna del mismo en estos organismos (Reeder et al, 1979).

Es importante considerar que existe abundante evidencia sobre la existencia de una relación directa entre la toxicidad del cadmio y la dureza del agua. En los vertebrados e invertebrados de agua dulce, el aumento de la concentración de calcio reduce la absorción de cadmio a través de las branquias, su acumulación y por lo tanto su toxicidad (Ferrari et al., 1996; Part et al., 1985).

Entre los animales de agua dulce, los primeros estadios del ciclo de vida de la trucha arco iris son los más sensibles a la acción del cadmio, teniendo la presencia del mismo efectos



agudos a partir de concentraciones iguales a 1 $\mu\text{g/l}$ (Chapman, 1978). El valor promedio al que se registra toxicidad aguda para peces e invertebrados de agua dulce es 4 $\mu\text{g/l}$ (U.S. EPA, 1985).

Entre los invertebrados de agua dulce, los cladóceros, por ejemplo, *Daphnia magna*, son los más sensibles a los efectos crónicos del cadmio. El valor promedio asociado a toxicidad crónica del cadmio para *Daphnia sp* es igual a 0,6 $\mu\text{g/l}$ (Elnabarawy, 1986; Ingersoll and Winner, 1982; Niederlehener, 1984; Chapman et al., Manuscript). A concentraciones de cadmio mayores que 3,2 $\mu\text{g/l}$ la reproducción de *Daphnia magna* es inhibida totalmente (Van Leeuwen et al., 1985). Los insectos son bastante resistentes a los efectos del cadmio; así, los chironómidos son afectados a partir de concentraciones iguales a 100 $\mu\text{g/l}$ (Suedel et al., 1997).

Entre los peces de agua dulce, los primeros estadios del ciclo de vida de la trucha arco iris son los más sensibles al cadmio. Concentraciones de cadmio iguales a 1 $\mu\text{g/l}$ (Davies et al., 1993) alteran el metabolismo de las hormonas sexuales, disminuyendo de este modo el éxito reproductivo de dicha especie (Freeman and Sabgalang, 1976). Concentraciones de cadmio iguales a 0,3 mg/l incrementan el ritmo respiratorio de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) (Espina et al., 1995). Estudios histopatológicos realizados con la especie *Macropsobrycon uruguayanae* demostraron que, luego de 30 días de exposición, concentraciones de cadmio iguales a 1,5 $\mu\text{g/l}$ provocan lesiones en las branquias de esta especie muy abundante en las aguas de los ríos Paraná y Uruguay (Randi et al., 1996).

En general, el cadmio provoca una disminución del ritmo de crecimiento de las algas y las plantas de agua dulce. En tal sentido, se observó que a concentraciones de cadmio comprendidas entre 2 y 6 $\mu\text{g/l}$ disminuye el crecimiento de poblaciones de diatomeas de agua dulce (Conway, 1978; Klass et al., 1974) y que a concentraciones iguales a 10 $\mu\text{g/l}$ el cadmio puede afectar el crecimiento de las plantas vasculares acuáticas (Huebert and Shay, 1991).

Los organismos acuáticos captan el cadmio directamente desde el agua. Por lo tanto, para un mismo nivel trófico, diferencias en la concentración de cadmio entre especies son comunes, no existiendo evidencias de procesos de biomagnificación significativo. (Timmermans et al., 1992).

Se ha observado mayor grado de bioacumulación de cadmio en microorganismos, habiéndose reportado factores de bioconcentración iguales a 40000, para diatomeas, y a 3000, para otras algas (Conway, 1978; Ferard et al, 1983). De todos modos, para la mayoría de los organismos acuáticos los factores de bioconcentración son menores que 100.

Tanto en vertebrados como en invertebrados, el cadmio se une a las proteínas de varios tejidos, acumulándose principalmente en riñones, agallas e hígado o sus equivalentes (Sangalang and Freeman, 1979). Su eliminación ocurre principalmente a través de los riñones, aunque en algunos organismos cantidades significativas pueden ser eliminadas por vías alternativas, por ejemplo, en los crustáceos, a través de la muda del exoesqueleto. Una vez bioacumulado, el cadmio puede permanecer presente en los tejidos por largos periodos de tiempo (Eisler, 1985).



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

El Valor Crónico Final (FCV) se calcula directamente a partir de los datos de toxicidad crónica disponibles.

III.2.a) Selección de especies

En la Tabla III.1 se exponen 34 datos asociados a manifestaciones de toxicidad crónica del cadmio sobre animales que corresponden a concentraciones para las cuales no se registran efectos adversos (NOEC) o a las menores concentraciones para las cuales se registran efectos adversos (LOEC). En la Tabla III.2 se presentan 12 datos asociados a efectos tóxicos inherentes a algas y plantas acuáticas. El conjunto de datos seleccionados se considera apropiado en virtud de cubrir un amplio rango de grupos taxonómicos, a saber: dos familias de peces (*Cyprinidae* y *Salmonidae*), dos de crustáceos (*Daphnidae* y *Hyaellidae*), dos de insectos (*Ephemereidae* y *Chironomidae*), una de rotíferos (*Brachionidae*), una de moluscos (*Physacea*), tres de algas (*Chlamydomonadaceae*, *Chlorellaceae* y *Scenedesmaceae*) y dos de plantas acuáticas (*Lemnaceae* y *Marsileaceae*).

TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CADMIO ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS CRONICOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad crónica [µg/l]	Dureza [mg CaCO ₃ /l]	Concentración asociada a toxicidad crónica ajustada a 50 mg CaCO ₃ /l [µg/l]	Valor Crónico Medio Ajustado para cada especie (ASMCV) [µg/l]	Referencia
<i>Brachionus rubens</i>	<i>Brachionidae</i>	280	90	145	145	Snell and Persoone, 1989
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnidae</i>	1	17	3,4		Suedel et al., 1997
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnidae</i>	4	17	13	6,7	Suedel et al., 1997
<i>Chironomus tentans</i>	<i>Chironomidae</i>	500	17	1675		Suedel et al., 1997
<i>Chironomus tentans</i>	<i>Chironomidae</i>	100	17	335	749	Suedel et al., 1997
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	0,1523	53	0,14		Chapman et al., Manuscript
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	0,2117	103	0,09		Chapman et al., Manuscript
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	0,4371	209	0,09		Chapman et al., Manuscript
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	5 (1) (2)	17	17		Suedel et al., 1997
<i>Daphnia magna</i>	<i>Daphnidae</i>	10 (1) (2)	17	33	0,11	Suedel et al., 1997
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	7,07	106	3,0		Ingersoll and Winner, 1982
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Daphnidae</i>	7,49	65	5,6	4,1 (3)	Niederlehener, 1984
<i>Ephemerella sp.</i>	<i>Ephemereidae</i>	3	45	3,4	3,4	Spehar et al., 1978
<i>Hyaella azteca</i>	<i>Hyaellidae</i>	0,1	17	0,34		Suedel et al., 1997
<i>Hyaella azteca</i>	<i>Hyaellidae</i>	0,25	17	0,84	0,53	Suedel et al., 1997
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	10	112,4	4,0		Birge et al., 1993



TABLA III.1 - CONCENTRACIONES DE CADMIO ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS CRONICOS SOBRE LAS ESPECIES DE ANIMALES ACUATICOS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL NIVEL GUIA CORRESPONDIENTE (Cont.)

Especie	Familia	Concentración asociada a toxicidad crónica [µg/l]	Dureza [mg CaCO ₃ /l]	Concentración asociada a toxicidad crónica ajustada a 50 mg CaCO ₃ /l [µg/l]	Valor Crónico Medio Ajustado para cada especie (ASMCV) [µg/l]	Referencia
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	12	200	2,5		Bentley et al., 1975
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	1,8	35	2,7		Bentley et al., 1975
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	1,74	46	1,9		Davies et al., 1993
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	1,25	46,5	1,4		Davies et al., 1993
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Salmonidae</i>	5,03	221	0,95	2,0	Davies et al., 1993
<i>Physa integra</i>	<i>Physacea</i>	27,5	45	31	31	Spehar et al., 1978
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	2	17	6,7		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	3	17	10		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	4	17	13		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	1	17	3,4		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	6	17	20		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	2	17	6,7		Suedel et al., 1997
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	45,92	201	9,7		Pickering and Gast, 1972
<i>Pimephales promelas</i>	<i>Cyprinidae</i>	18,92	67	14	9,3	Spehar and Carlson, 1984 a-b
<i>Salmo salar</i>	<i>Salmonidae</i>	4,5	23,5	11	11	Rombough and Garside, 1982
<i>Salmo trutta</i>	<i>Salmonidae</i>	6,7	44	7,7	7,7	Elnabarawy et al., 1986
<i>Salvelinus fontinalis</i>	<i>Salmonidae</i>	1,7	44	2,0		Benoit et al., 1976
<i>Salvelinus fontinalis</i>	<i>Salmonidae</i>	3,4	44	3,9	2,8	Benoit et al., 1976

Notas:

- (1): Dato no utilizado para el cálculo del Valor Crónico Medio Ajustado para cada especie (ASMCV) por diferir en el orden de magnitud con el menor de los datos seleccionados
- (2): Dato no utilizado para el cálculo de la pendiente combinada por estar fuera de rango
- (3): Valor no utilizado para el cálculo del Valor Crónico Medio Ajustado para cada género (AGMCV) por diferir en el orden de magnitud con el menor de los valores



TABLA III.2 - CONCENTRACIONES DE CADMIO 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 [mg CaCO ₃ /l]	Referencia
<i>Chlamydomonas reinhardti</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	76	NE	Schafer et al., 1994
<i>Chlamydomonas reinhardti</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	38	NE	Schafer et al., 1994
<i>Chlamydomonas reinhardti</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	45	NE	Schafer et al., 1994
<i>Chlamydomonas reinhardti</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	70	NE	Schafer et al., 1994
<i>Chlamydomonas reinhardti</i>	<i>Chlamydomonadaceae</i>	69	NE	Schafer et al., 1994
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorellaceae</i>	90	NE	Den Dooren de Jong, 1965
<i>Lemna trisulca</i>	<i>Lemnaceae</i>	9	NE	Huebert and Shay, 1991
<i>Marsilea minuta</i>	<i>Marsileaceae</i>	100	NE	Singh et al., 1991
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	<i>Scenedesmaceae</i>	6	NE	Schafer et al., 1994
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	<i>Scenedesmaceae</i>	11	NE	Schafer et al., 1994
<i>Scenedesmus subspicatus</i>	<i>Scenedesmaceae</i>	9	NE	Schafer et al., 1994

Nota:

NE: No especificada

III.2.b) Cálculo del Valor Crónico Final

En virtud de la dependencia directa comprobada entre las manifestaciones tóxicas del cadmio y la dureza del medio acuático, corresponde seguir el procedimiento de cálculo del Valor Crónico Final en función de la característica antedicha.

III.2.b.1) Cálculo de la pendiente combinada a utilizar en el ajuste de datos de concentraciones tóxicas (L)

Mediante el análisis de regresión de concentraciones tóxicas y durezas exhibidas en la Tabla III.1, 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.3. 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 >0,34).



TABLA III. 3 - 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 CADMIO Y LA DUREZA DEL AGUA

Especie	Tamaño de la muestra	Pendiente de regresión	r ²	F	P
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	6	1,0257	0,7	10,4	< 0,03
<i>Pimephales promelas</i>	8	1,2246	0,8	26,7	< 0,01
<i>Daphnia magna</i>	3	0,7712	0,9	25,6	< 0,12

Notas:

r²: 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 previamente consideradas, que se exponen en la Tabla III.4, transformados logarítmicamente, tiene un coeficiente de determinación con un valor estadísticamente significativo ($r^2 = 0,8$; $P < 0,01$), por lo que L se calcula utilizando el conjunto de los datos antedichos, exponiéndose los resultados del cálculo en la Tabla III.5.

TABLA III.4 – 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 ₃ /l]	Concentración asociada a toxicidad crónica [µg/l]	Dureza normalizada	Concentración asociada a toxicidad crónica normalizada
<i>Pimephales promelas</i>	17	2	0,62	0,42
<i>Pimephales promelas</i>	17	6	0,62	1,3
<i>Pimephales promelas</i>	67	18,92	2,4	4,0
<i>Pimephales promelas</i>	201	45,92	7,3	9,7
<i>Pimephales promelas</i>	17	1	0,62	0,21
<i>Pimephales promelas</i>	17	4	0,62	0,85
<i>Pimephales promelas</i>	17	3	0,62	0,63
<i>Pimephales promelas</i>	17	2	0,62	0,42
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	35	1,8	0,41	0,49
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	46	1,74	0,54	0,48
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	46,5	1,25	0,55	0,34
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	221	5,03	2,6	1,4
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	200	12	2,4	3,3
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	112,4	10	1,3	2,7
<i>Daphnia magna</i>	53	0,1523	0,51	0,63
<i>Daphnia magna</i>	103	0,2117	0,99	0,88
<i>Daphnia magna</i>	209	0,4371	2,0	1,8



TABLA III.5 - 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 RELACION ENTRE LA TOXICIDAD DEL CADMIO Y LA DUREZA DEL AGUA

Especies	Tamaño de la muestra (N)	(L)	r ²	F	P
<i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Pimephales promelas</i> y <i>Daphnia magna</i>	17	1,1208	0,8	53,9	< 0,01

Notas:

r²: coeficiente de determinación

F: valor estimado de la distribución F

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

III.2.b.2) Especificación de la ecuación de cálculo del Valor Crónico Final en función de la dureza

De acuerdo al procedimiento establecido, los datos de toxicidad crónica se ajustan a una dureza igual a 50 mg CaCO₃/l utilizando la pendiente combinada calculada anteriormente (L = 1,1208), presentándose los datos ajustados en la Tabla III.1. A partir de los mismos, se determinan los valores crónicos medios ajustados para cada especie (ASMCMV), que se exponen en la tabla antedicha, y género (AGMCMV), que se exponen ordenados crecientemente en la Tabla III.6, con sus correspondientes números de orden, R, y probabilidades acumulativas, P_R, siendo P_R = R / (N + 1).

TABLA III.6 – PROBABILIDAD ACUMULATIVA (P_R) Y VALOR CRONICO MEDIO AJUSTADO PARA CADA GENERO (AGMCMV)

Género	AGMCMV [µg/l]	P _R	R
<i>Daphnia</i>	0,11	0,08	1
<i>Hyalella</i>	0,53	0,17	2
<i>Oncorhynchus</i>	2,0	0,25	3
<i>Salvelinus</i>	2,8	0,33	4
<i>Ephemerella</i>	3,4	0,42	5
<i>Ceriodaphnia</i>	6,7	0,50	6
<i>Salmo</i>	9,0	0,58	7
<i>Pimephales</i>	9,3	0,67	8
<i>Physa</i>	31	0,75	9
<i>Brachionus</i>	145	0,83	10
<i>Chironomus</i>	749	0,92	11

De acuerdo al esquema metodológico establecido, el análisis de regresión de los AGMCMV 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):

$$b = 11,9863$$

$$a = -5,6067$$



$$k = -2,9265$$

Seguidamente, se calcula el Valor Crónico Final Ajustado a 50 mg CaCO₃/l (AFCV) según:

$$AFCV = e^k$$

resultando:

$$AFCV = 0,05 \mu\text{g/l}$$

La ecuación final que permite calcular el Valor Crónico Final en función de la dureza (FCV_c) es la siguiente:

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

donde:

L (pendiente combinada): 1,1208

dureza: expresada en mg CaCO₃/l

Z (valor de dureza a que se ajustan los datos): 50 mg CaCO₃/l

AFCV: Valor Final Ajustado a una dureza igual a 50 mg CaCO₃/l

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

$$FCV_c = e^{1,1208 * (\ln \text{dureza}) - 7,3111}$$

donde:

FCV_c: concentración de cadmio expresada en $\mu\text{g/l}$

dureza: expresada en mg CaCO₃/l

III.3) Establecimiento del nivel guía de calidad para cadmio correspondiente a protección de la biota acuática

En virtud de que el Valor Crónico Final Ajustado para una dureza igual a 50 mg CaCO₃/l (AFCV) en ningún caso resulta superior a los valores crónicos ajustados para cada especie animal que se exhiben en la Tabla III.1 ni al valor final para plantas (FPV) que resulta de la Tabla III.2 (6 $\mu\text{g/l}$), se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio correspondiente a protección de la biota acuática (NGPBA), referido a la muestra de agua filtrada:

$$NGPBA (\text{Cadmio}) \leq e^{1,1208 * (\ln \text{dureza}) - 7,3111}$$

donde:



NGPBA (Cadmio): expresado en $\mu\text{g/l}$
dureza: expresada en $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$

En la Tabla III.7 se presentan con fines ilustrativos algunos valores de aplicación del nivel guía en función de la dureza establecido para cadmio.

TABLA III.7 - EJEMPLOS DE APLICACION DEL NIVEL GUIA DE CALIDAD PARA CADMIO CORRESPONDIENTE A PROTECCION DE LA BIOTA ACUATICA

Dureza [$\text{mg CaCO}_3/\text{l}$]	NGPBA (Cadmio) [$\mu\text{g/l}$]
50	$\leq 0,05$
100	$\leq 0,12$
200	$\leq 0,25$



IV) NIVEL GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA PROTECCION DE LA BIOTA ACUATICA CORRESPONDIENTE A CADMIO (APLICABLE A AGUA MARINA)

IV.1) Introducción

Existe una cantidad importante de trabajos que evalúan los efectos tóxicos agudos del cadmio sobre la biota de agua marina, mientras que la cantidad de datos sobre su toxicidad crónica es menor.

Entre los invertebrados, la especie más sensible al cadmio en lo que respecta a toxicidad aguda es el crustáceo *Americamysis bahia*, para el que se ha registrado una concentración letal para el 50% de los individuos expuestos (CL₅₀) igual a 11 µg/l (Voyer and Modica, 1990), mientras que la más resistente es *Palaemon serratus*, para la que se ha reportado una CL₅₀ igual a 5 mg/l (Kohn et al., 1994).

Los vertebrados son bastante más resistentes a la acción tóxica aguda del cadmio que los invertebrados. La especie más sensible a tal acción es *Liza vaigiensis*, para la cual se ha informado una CL₅₀, igual a 7,8 mg/l (Papathanassiou, 1983), mientras que la más resistente es *Lagodon rhomboides*, para la que se han reportado CL₅₀ iguales a 35 mg/l (Ward, 1989).

En cuanto a la toxicidad crónica, se ha observado que concentraciones de cadmio iguales a 7 µg/l afectaban el ciclo de vida de los crustáceos *Americamysis bahia* y *Mysidopsis bigelowi* (Gentile et al., 1982; Lussier et al., 1985).

Con respecto a algas y plantas acuáticas, la especie más sensible es el alga *Phaeodactylum tricorutum*, para la que se ha observado afectación de su crecimiento a concentraciones de cadmio iguales a 22 µg/l, mientras que la especie más resistente es el alga *Laminaria saccharina*, para la cual se han reportado efectos tóxicos a concentraciones iguales a 860 µg/l (Markham et al., 1980, Torres et al., 1998).

El cadmio no es significativamente acumulado por los peces. Para *Fundulus heteroclitus* se ha reportado un factor de bioconcentración (BCF) en tejido comestible igual a 48 (Eisler et al., 1972). Sin embargo, para los moluscos bivalvos los BCFs reportados son mucho más variables y se encuentran comprendidos entre 113 para el mejillón *Mytilus edulis* y 2150 para la ostra *Crassostrea virginica* (George and Coombs, 1977; Zarogian and Cheer, 1976).

IV.2) Derivación del nivel guía para protección de la biota acuática

Dado que no se cuenta con suficientes datos de toxicidad crónica para calcular directamente el Valor Crónico Final para cadmio, se efectúa este cálculo a partir de datos de toxicidad aguda y aplicando un factor de extrapolación. Se apela a dicho factor en razón de que no se dispone tampoco de la información sobre toxicidad crónica requerida para determinar la Relación Final Toxicidad Aguda/Crónica (FACR).



IV.2.a) Selección de especies

En la Tabla IV.1 se exponen 427 datos asociados a manifestaciones de toxicidad aguda del cadmio sobre animales, que corresponden a CL₅₀ o a concentraciones para las que se observan efectos adversos para el 50% de los individuos expuestos (CE₅₀) En la Tabla IV.2 se presentan 7 datos asociados a efectos tóxicos del cadmio sobre algas. El conjunto de datos seleccionados se considera apropiado en virtud de cubrir un rango muy amplio de grupos taxonómicos, a saber: cuatro familias de peces (*Embiotocidae*, *Mugilidae*, *Poeciliidae* y *Sparidae*), quince de crustáceos (*Acartiidae*, *Ampeliscidae*, *Cancriidae*, *Cheluridae*, *Diosaccidae*, *Gammaridae*, *Ischyroceridae*, *Jaeropsidae*, *Limnoridae*, *Ocypodidae*, *Mysidae*, *Palaemonidae*, *Penaeidae*, *Portunidae* y *Phoxocephalidae*), dos de equinodermos (*Dendrasteridae* y *Strongylocentrotidae*), dos de moluscos (*Mytilidae* y *Veneridae*) y siete de algas (*Champiaceae*, *Fragilariaceae*, *Lithodesmiaceae*, *Phaeodactylaceae*, *Thalassiosiraceae*, *Trochosiraceae* y *Laminariaceae*).

TABLA IV.1 - CONCENTRACIONES DE CADMIO 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 [ug/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Acartia tonsa</i>	<i>Acartiidae</i>	122	122	Voyer and Modica, 1990
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	11,1		Voyer and Modica, 1990
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	17,93		Lussier et al., 1985
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	20,03		Sharp, 1988
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	21,68		Green et al., 1993
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	24,38		Sosnowski and Gentile, 1978
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	28		Voyer and Modica, 1990
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	30,73		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	31,74		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	31,96		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	32,11		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	32,64		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	32,8		Denton et al., 1986
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	33,8		Ward, 1989
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	82		Voyer and Modica, 1990
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	85		Voyer and Modica, 1990
<i>Americamysis bahia</i>	<i>Mysidae</i>	110	33	Chumnantana et al., 1992
<i>Ampelisca abdita</i>	<i>Ampeliscidae</i>	1320	1320	Ward, 1989
<i>Amphiascus tenuiremis</i>	<i>Diosaccidae</i>	224	224	Ward, 1989
<i>Callinectes sapidus</i>	<i>Portunidae</i>	11600	11600	Frank and Robertson, 1979
<i>Cancer magister</i>	<i>Cancriidae</i>	200	200	Dinnel et al., 1989
<i>Chelura terebrans</i>	<i>Cheluridae</i>	630	630	Hong and Reish, 1987
<i>Corophium insidiosum</i>	<i>Corophiidae</i>	1270	1270	Hong and Reish, 1987
<i>Cymatogaster aggregata</i>	<i>Embiotocidae</i>	11000	11000	Dinnel et al., 1989
<i>Dendraster excentricus</i>	<i>Dendrasteridae</i>	7400	7400	Dinnel et al., 1989
<i>Elasmopus bampo</i>	<i>Gammaridae</i>	570	570	Hong and Reish, 1987
<i>Eohaustorius estuarius</i>	<i>Eohaustoriidae</i>	41900	41900	Meador, 1993
<i>Fundulus heteroclitus</i>	<i>Poeciliidae</i>	29000		Voyer, 1975



TABLA IV.1 - CONCENTRACIONES DE CADMIO 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 [ug/l]	Valor Agudo Medio para cada especie (SMAV) [µg/l]	Referencia
<i>Fundulus heteroclitus</i>	<i>Poeciliidae</i>	30000		Voyer, 1975
<i>Fundulus heteroclitus</i>	<i>Poeciliidae</i>	31000	29989	Voyer, 1975
<i>Grandidierella japonica</i>	<i>Ischyroceridae</i>	1170		Hong and Reish, 1987
<i>Grandidierella japonica</i>	<i>Ischyroceridae</i>	3140	1917	Ward, 1989
<i>Jaeropsis sp.</i>	<i>Jaeropsidae</i>	410	410	Hong and Reish, 1987
<i>Lagodon rhomboides</i>	<i>Sparidae</i>	35000	35000	Ward, 1989
<i>Limnoria tripunca</i>	<i>Limnoridae</i>	7120	7120	Hong and Reish, 1987
<i>Liza vaigiensis</i>	<i>Mugilidae</i>	7800	7800	Papathanassiou, 1983
<i>Mercenaria mercenaria</i>	<i>Veneridae</i>	100	100	Kohn et al., 1994
<i>Mugil cephalus</i>	<i>Mugilidae</i>	28000	28000	Hilmy et al., 1985
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	<i>Mytilidae</i>	2750	2750	Kohn et al., 1994
<i>Oncorhynchus kitsutch</i>	<i>Salmonidae</i>	1500	1500	Dinnel et al., 1989
<i>Palaemon serratus</i>	<i>Palaemonidae</i>	5000	5000	Kohn et al., 1994
<i>Penaeus duorarum</i>	<i>Penaeidae</i>	3500	3500	Cripe, 1994
<i>Rhepoxynius abronius</i>	<i>Phoxocephalidae</i>	530		Yih et al., 1994
<i>Rhepoxynius abronius</i>	<i>Phoxocephalidae</i>	1920	1009	Yih et al., 1994
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	<i>Strongylocentrotidae</i>	1800		Dinnel et al., 1989
<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	<i>Strongylocentrotidae</i>	500	949	Dinnel et al., 1989
<i>Uca pugilator</i>	<i>Ocypodidae</i>	37000	37000	O'Hara, 1973

TABLA IV.2 - CONCENTRACIONES DE CADMIO ASOCIADAS A EFECTOS TOXICOS SOBRE ESPECIES ACUATICAS SELECCIONADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL VALOR FINAL PARA PLANTAS (FPV)

Especie	Familia	Concentración asociada a efectos tóxicos [µg/l]	Referencia
<i>Laminaria saccharina</i>	<i>Laminariaceae</i>	860	Markham et al., 1980
<i>Asterionella japonica</i>	<i>Fragilariaceae</i>	224,8	Fisher and Jones, 1981
<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Lithodesmiaceae</i>	60	Canterford and Canterford, 1980
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	<i>Phaeodactylaceae</i>	22	Torres et al., 1998
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	<i>Thalassiosiraceae</i>	160	Gentile and Johnson, 1982
<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Trochosiraceae</i>	175	Gentile and Johnson, 1982
<i>Champia parvula</i>	<i>Champiaceae</i>	24,9	Steele and Thursby, 1983

IV.2.b) Cálculo del Valor Agudo Final

El Valor Agudo Final para cadmio 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 IV.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 IV.3, con sus correspondientes números de orden, R, y probabilidades acumulativas, P_R , siendo $P_R = R/(N+1)$.

TABLA IV.3 - CADMIO: PROBABILIDAD ACUMULATIVA (P_R) y VALOR AGUDO MEDIO PARA CADA GENERO (GMAV)

Género	GMAV [µg/l]	P_R	R
<i>Americamysis</i>	33	0,04	1
<i>Mercenaria</i>	100	0,07	2
<i>Acartia</i>	122	0,11	3
<i>Cancer</i>	200	0,14	4
<i>Amphiascus</i>	224	0,18	5
<i>Jaeropsis</i>	410	0,21	6
<i>Elasmopus</i>	570	0,25	7
<i>Chelura</i>	630	0,29	8
<i>Strongylocentrotus</i>	949	0,32	9
<i>Rhepoxynius</i>	1009	0,36	10
<i>Corophium</i>	1270	0,39	11
<i>Ampelisca</i>	1320	0,43	12
<i>Oncorhynchus</i>	1500	0,46	13
<i>Grandidierella</i>	1917	0,50	14
<i>Mytilus</i>	2750	0,54	15
<i>Penaeus</i>	3500	0,57	16
<i>Palaemon</i>	5000	0,61	17
<i>Limnoria</i>	7120	0,64	18
<i>Dendraster</i>	7400	0,68	19
<i>Liza</i>	7800	0,71	20
<i>Cymatogaster</i>	11000	0,75	21
<i>Callinectes</i>	11600	0,79	22
<i>Mugil</i>	28000	0,82	23
<i>Fundulus</i>	29989	0,86	24
<i>Lagodon</i>	35000	0,89	25
<i>Uca</i>	37000	0,93	26
<i>Eohaustorius</i>	41900	0,96	27

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):

$$b = 9,42$$

$$a = 1,81$$

$$k = 3,92$$

Calculando el Valor Agudo Final (FAV) según:

$$FAV = e^k$$



resulta:

$$FAV = 50 \mu\text{g/l}$$

IV.2.c) Cálculo del Valor Crónico Final

En función de la información toxicológica disponible, se juzga apropiado utilizar un factor de extrapolación igual a 10 para calcular el Valor Crónico Final (FCV) a partir del FAV.

Dividiendo el FAV calculado (50 $\mu\text{g/l}$) por el factor de extrapolación elegido (10), resulta:

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

IV.3) Establecimiento del nivel guía de calidad para cadmio correspondiente a protección de la biota acuática

En virtud de que el Valor Crónico Final no supera al Valor Final para Plantas (FPV) que resulta de la Tabla IV.2 (22 $\mu\text{g/l}$) se especifica el siguiente nivel guía de calidad para cadmio a los efectos de protección de la biota acuática (NGPBA), referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGPBA (Cadmio)} \leq 5 \mu\text{g/l}$$



V) NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RIEGO CORRESPONDIENTES A CADMIO

V.1) *Introducción*

El cadmio es un metal pesado fitotóxico cuyo ingreso a la cadena alimentaria puede resultar peligroso aún a concentraciones bajas debido a su toxicidad.

El origen del cadmio en el suelo es variable, pudiendo ser introducido en cantidades pequeñas mediante el uso de fertilizantes a base de fosfatos (Williams and Davis, 1973) y la aplicación de líquidos residuales (Lagerwerff, 1972).

En virtud de su gran velocidad de adsorción y desorción en partículas de arcilla, sílice, material húmico y otros sólidos naturales, el cadmio presenta una movilidad relativamente elevada. Los cambios en las condiciones de pH y potencial redox pueden incrementar la movilidad química y por lo tanto su biodisponibilidad (Khalid et al., 1981).

El comportamiento de las plantas frente al cadmio manifiesta diferencias entre las especies tanto en lo que concierne a la acumulación de este metal como a sus efectos fitotóxicos.

En cuanto a acumulación, pueden citarse las diferencias existentes dentro del género *Nicotiana*, donde *Nicotiana tabacum* (tabaco) acumula el cadmio en las hojas y la raíz, mientras que *Nicotiana rustica* (tabaco turco) lo acumula principalmente en la raíz (Mench et al., 1989). Por su parte, *Raphanus sativus* (rábano) acumula el cadmio en raíces y tallos, disminuyendo esta asimilación rápidamente cuando se aumenta el pH del suelo mediante encalado (Han and Lee, 1996).

La diversidad de efectos fitotóxicos del cadmio ha sido puesta de manifiesto por varios trabajos.

Las experiencias de Smith y Brennam (1984) con cultivos de *Acer saccharinum* (silver maple) permitieron observar una reducción considerable de la altura del tallo y del número de hojas y además daños en la raíz a una concentración en el suelo igual a 20 ppm de cloruro de cadmio.

Singh y Rattan (1987) reportaron que a concentraciones comprendidas entre 1,3 y 8,2 mg Cd/kg suelo se produjo una reducción en la cosecha de *Glycine max* (soja).

Coppola et al. (1988) estudiaron el efecto de diferentes concentraciones de cadmio sobre varias especies en dos tipos de suelo: terra rosa con 69,3 % de arcilla y suelo volcánico con 7,7 % de arcilla, observando que la disponibilidad del cadmio y su influencia sobre el crecimiento de la planta se reducían con el mayor contenido de arcilla. Así, en el caso de *Spinacia oleracea* (espinaca), una concentración en terra rosa igual a 4 mg Cd/kg provocó una disminución del rendimiento del cultivo del 27 %, mientras que en suelo volcánico, ya a 2 mg Cd/kg el rendimiento disminuyó en un 16,7 %. Las experiencias con cultivos de *Phaseolus vulgaris* (poroto) en terra rosa con una concentración igual a 8 mg Cd/kg indicaron una reducción del rendimiento del 59%, mientras que en suelo volcánico, a una concentración igual a 4 mg Cd/kg el rendimiento disminuyó un 45,2 % respecto del control. El estudio



mencionado también reportó reducción del rendimiento de cultivos de *Lolium perenne* (ray-gras perenne), a concentraciones en el suelo iguales a 2 mg Cd/kg, y en el caso de *Raphanus sativus*, a concentraciones en el suelo iguales a 16 mg Cd/kg.

El estudio de Mench et al. (1989) sobre cultivos de *Zea mays* (maíz), *Nicotiana rustica* y *Nicotiana tabacum* en un suelo ácido, areno arcilloso, enriquecido con 5,4 mg Cd/kg, observó una disminución del 21 % en el contenido de materia seca respecto del control en *Zea mays*, no registrando efectos en tal sentido en *Nicotiana spp.* En algunas plantas de *Nicotiana tabacum* se detectaron pequeñas manchas circulares amarillas sobre las hojas.

Reber (1989) estudió el efecto del cadmio sobre cultivos de *Triticum aestivum* (trigo) en suelos de las siguientes características: suelo neutro hortisol (pH = 7), phaeosem (pH = 6,9) y cambisol ácido (pH = 5,6), encontrando que el crecimiento era inhibido de manera creciente a medida que el pH disminuía. Se reportó que la masa seca del tallo de plántulas de *Triticum aestivum* se reducía cuando la concentración de cadmio en el suelo excedía 1,8 mg Cd/kg, en presencia de 1,7 % de materia orgánica y a pH = 5,6.

Adema y Henzen (1989) estudiaron la toxicidad del cadmio, administrado como cloruro de cadmio, sobre *Avena sativa* (avena), *Lycopersicum esculentum* (tomate) y *Lactuca sativa* (lechuga) en un medio nutriente líquido y en dos tipos de suelo: greda (materia orgánica: 1,45 %; arena: 71,7 %; limo: 17,1 %; pH = 7,5) y arena húmica (materia orgánica: 3,7 %; arena: 90,5 %; limo: 5,8 %; pH = 5,1). Las observaciones efectuadas permitieron definir concentraciones de cadmio para las cuales no se registran efectos fitotóxicos (NOEC) y concentraciones efectivas 50 (CE₅₀) asociadas a reducción de crecimiento para las especies en los tres medios ensayados

De acuerdo a la información fitotoxicológica disponible para cadmio, la derivación de niveles guía de calidad de agua para riego se asienta en el procedimiento establecido para datos basados en concentraciones en el suelo, resultando la información antedicha suficiente para el cálculo de la concentración máxima aceptable de cadmio en el agua de riego con carácter pleno.

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

En la Tabla V.1 se exponen valores de la menor concentración de cadmio en el suelo para la cual se registran efectos fitotóxicos (LOEC) y de la concentración de cadmio en el suelo para la cual no se registra efectos fitotóxicos (NOEC) correspondientes a especies de producción vegetal. Estos valores están así reportados en los trabajos referenciados en la tabla antedicha o resultan de elaboraciones sobre tales trabajos.



TABLA V.1 - FITOTOXICIDAD DEL CADMIO SOBRE ESPECIES DE PRODUCCION VEGETAL

ESPECIE	LOEC [mg Cd/kg suelo]	NOEC [mg Cd/kg suelo]	EFEECTO	REFERENCIA
<i>Lolium perenne</i>	1,7 (1)	0,4 (1) (2)	Reducción del rendimiento	Coppola et al., 1988
<i>Spinacia oleracea</i>	1,7 (1)	0,4 (1) (2)	Reducción del rendimiento	Coppola et al., 1988
<i>Phaseolus vulgaris</i>	3,3 (1)	0,7 (1) (2)	Reducción del rendimiento	Coppola et al., 1988
<i>Raphanus sativus</i>	13 (1)	3 (1) (2)	Reducción del rendimiento	Coppola et al., 1988
<i>Zea mays</i>	4,5 (1)	1 (1) (2)	Disminución de masa seca	Mench et al., 1989
<i>Triticum aestivum</i>	1,5 (1)	0,3 (1) (2)	Reducción de crecimiento del tallo	Reber et al., 1989
<i>Lactuca sativa</i>	SD	2,6 (1)	Reducción del crecimiento	Adema and Henzen, 1989
<i>Avena sativa</i>	SD	8,3 (1)	Reducción del crecimiento	Adema and Henzen, 1989

Notas:

(1): Ajustado a contenido de humedad a capacidad de campo, de acuerdo a lo establecido metodológicamente

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

SD: Sin dato

Calculando la concentración máxima aceptable de cadmio en el suelo para cada especie considerada (ASC_i) según:

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

siendo FI el factor de incertidumbre, para el cual se toma el valor 10, de acuerdo a las pautas metodológicas establecidas, y calculando luego la concentración máxima aceptable de cadmio en el agua de riego para cada especie ($SMATC_i$) según:

$$SMATC_i = ASC_i * d_s * V_s / Tr$$

donde:

$SMATC_i$: [$\mu\text{g/l}$]

ASC_i : [mg/kg suelo]

d_s : densidad bruta del suelo [kg suelo/ m^3 suelo]

V_s : volumen de suelo [m^3/ha]

Tr: tasa de riego efectiva anual [m^3/ha]

siendo:

$$V_s = h \text{ [m]} * 10^4 \text{ [m}^2/\text{ha]}$$

donde:



h: profundidad estimada de avance de la sustancia [m]

y asumiéndose, para efectuar el cálculo, $ds = 1300 \text{ kg/m}^3$, $h = 0,05 \text{ m}$ y los siguientes escenarios relativos a tasas de riego efectivas anuales: $Tr = 3500 \text{ m}^3/\text{ha}$ (contempla situaciones de riego hasta dicha tasa), $Tr = 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$ (contempla situaciones de riego con $3500 \text{ m}^3/\text{ha} < Tr \leq 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$), $Tr = 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$ (contempla situaciones de riego con $7000 \text{ m}^3/\text{ha} < Tr \leq 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$), se determinan las concentraciones máximas aceptables para cadmio que se exponen en la Tabla V.2. La profundidad de avance seleccionada se basa en estudios del comportamiento de cadmio aplicado a suelos de uso agrícola a través de residuos (Davis et al., 1988).

TABLA V.2 - CONCENTRACIONES MAXIMAS ACEPTABLES DE CADMIO

ESPECIE	LOEC [mg Cd/kg suelo]	NOEC [mg Cd/kg suelo]	ASC [mg Cd/kg suelo]	Tasa de riego [m ³ /ha]	SMATC [µg Cd/l]
<i>Lolium perenne</i>	1,7	0,4	0,08	3500	15
				7000	7
				12000	4
<i>Spinacia oleracea</i>	1,7	0,4	0,08	3500	15
				7000	7
				12000	4
<i>Phaseolus vulgaris</i>	3,3	0,7	0,15	3500	28
				7000	14
				12000	8
<i>Raphanus sativus</i>	13	3	0,62	3500	115
				7000	58
				12000	34
<i>Zea mays</i>	4,5	1	0,21	3500	39
				7000	20
				12000	11
<i>Triticum aestivum</i>	1,5	0,3	0,07	3500	13
				7000	7
				12000	4
<i>Lactuca sativa</i>	SD	2,6	0,52 (1)	3500	97
				7000	48
				12000	28
<i>Avena sativa</i>	SD	8,3	1,66 (1)	3500	308
				7000	154
				12000	90

Notas:

SD: Sin dato

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

Las concentraciones máximas aceptables para cadmio en agua de riego quedan definidas por las menores calculadas para los tres escenarios de riego considerados: 13 µg/l , para $Tr = 3500 \text{ m}^3/\text{ha}$, 7 µg/l , para $Tr = 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$, y 4 µg/l , para $Tr = 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$, que corresponden a *Triticum aestivum*.

V.3) Especificación de niveles guía para cadmio en agua de riego

Se especifican los siguientes niveles guía para cadmio correspondientes a agua de riego (NGAR), referidos a la muestra de agua sin filtrar, para los escenarios de riego antedichos:



$NGAR_1$ (Cadmio) $\leq 13 \mu\text{g/l}$ (para $Tr = 3500 \text{ m}^3/\text{ha}$)

$NGAR_2$ (Cadmio) $\leq 7 \mu\text{g/l}$ (para $Tr = 7500 \text{ m}^3/\text{ha}$)

$NGAR_3$ (Cadmio) $\leq 4 \mu\text{g/l}$ (para $Tr = 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$)

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 asociados al agua de riego para el suelo y el acuífero freático.



VI) NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA BEBIDA DE ESPECIES DE PRODUCCION ANIMAL CORRESPONDIENTES A CADMIO

VI.1) *Introducción*

Diversos estudios han aportado evidencias sobre efectos deletéreos del cadmio en especies de producción animal.

Cousins et al. (1973) observaron reducción en la tasa de crecimiento de cerdos Yorkshire de 8 meses de edad como resultante de la administración de cadmio en su alimentación durante 6 semanas.

Powell et al. (1964) constataron reducción de la tasa de crecimiento y disminución del desarrollo testicular en terneros de las razas Holstein y Jersey como resultante de la administración de cadmio en la dieta durante un período de 12 semanas. En estudios posteriores de la misma duración, Lynch et al. (1976) registraron reducción de ganancia de masa corporal y del tiempo de vida en terneros de la raza Holstein como producto de la inclusión de cadmio en la alimentación.

El estudio de Miller et al. (1967) permitió observar reducción de masa corporal y de producción de leche en vacas de la raza Holstein como resultante de la administración de cadmio vía cápsulas de gelatina durante 2 semanas.

Doyle et al. (1974) observaron reducción en la tasa de crecimiento de corderos expuestos durante 191 días a cadmio administrado en la dieta.

Wright et al. (1977) registraron alteración de parámetros hematológicos y reducción de masa corporal en vacas y ovejas adultas expuestas a cadmio administrado en la alimentación durante 49 semanas y 41 semanas, respectivamente.

El estudio de Stowe et al. (1972) sobre conejos registró retardo de crecimiento y manifestaciones morfológicas relevantes en hígado y riñón resultantes de la exposición a cadmio en el agua de bebida durante 200 días. Por su parte, Koller (1973) observó reducción de la tasa de crecimiento y alteración de la respuesta inmunitaria en conejos expuestos al cadmio a través de la misma vía durante 70 días.

Leach et al. (1979) observaron reducción en la producción de huevos de gallinas White Leghorn expuestas a cadmio administrado en la dieta durante una experiencia de largo término. Tal efecto había sido advertido por Sell (1975) en gallinas expuestas al cadmio por la misma vía durante 23 días. El estudio de White y Finley (1978), realizado con patos silvestres (*Anas platyrhynchos*), evidenció la mayor resistencia de los mismos con respecto a las gallinas en cuanto a la exposición al cadmio.

Como ya se ha expresado en la derivación del nivel guía de calidad para agua de consumo humano, si bien existen evidencias sobre la acción carcinogénica del cadmio por inhalación, no está demostrada su carcinogenicidad por vía oral.



De acuerdo a lo expuesto, la derivación de los niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal sigue la metodología definida para un tóxico con umbral, basándose las elaboraciones en datos seleccionados de los estudios anteriormente citados, considerándose los mismos apropiados para que tal derivación tenga carácter pleno.

VI.2) Cálculo de ingestas diarias tolerables de cadmio y concentraciones tolerables de cadmio en el agua de bebida para producción animal conformada por especies mamíferas

En la Tabla VI.1 se exponen valores correspondientes al menor valor de exposición para el cual se observa un efecto adverso (LOAEL) y al nivel de exposición para el cual no se observa efecto adverso alguno (NOAEL) para porcinos, bovinos y ovinos. Tales valores resultan de elaboraciones sobre los trabajos referenciados en la tabla antedicha.

TABLA VI. 1 - VALORES DE TOXICIDAD CRONICA ORAL SOBRE MAMIFEROS CONCERNIENTES AL CADMIO

ANIMAL	LOAEL [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	NOAEL [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	REFERENCIA
Porcinos	9,20 (1)	2,23 (2)	Cousins et al.,1973
Bovinos	5,07 (3)	1,45 (4)	Powell et al.,1964
Ovinos	1,27 (5)	0,61 (6)	Doyle et al.,1974

Notas:

(1): Calculado sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 150 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 1,11 kg/d; masa corporal = $(w_i + w_f)/2$; w_i : masa corporal inicial; w_f : masa corporal final; w_i : 13,5 kg; $w_f = w_i + (\text{tasa de crecimiento} * \text{tiempo de ensayo})$; tasa de crecimiento: 0,22 kg/d; tiempo de ensayo: 42 d

(2): Calculado análogamente a (1) sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 50 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 0,97 kg/d; w_i : 12,7 kg; tasa de crecimiento: 0,43 kg/d; tiempo de ensayo: 42 d

(3): Calculado sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 160 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 2,93 kg/d; masa corporal = $(w_i + w_f)/2$; w_f : 123 kg (estimada en función de su relación con la masa testicular: masa testicular[g]/ w_f [kg] = 0,195, siendo la masa testicular igual a 24 g); $w_i = w_f - (\text{tasa de crecimiento} * \text{tiempo de ensayo})$; tasa de crecimiento: 0,73 kg/d; tiempo de ensayo: 84 d

(4): Calculado análogamente a (3) sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 40 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 3,43 kg/d; w_f : 131 kg (estimada en función de: masa testicular[g]/ w_f [kg] = 0,245, siendo la masa testicular igual a 32 g); tasa de crecimiento: 0,87 kg/d; tiempo de ensayo: 84 d

(5): Calculado a los 163 días de ensayo sobre las siguientes bases:

ingesta total de cadmio en la dieta: 9,73 g; masa corporal = $(w_i + w_f)/2$; w_i : 31 kg; w_f : 63,33 kg

(6): Calculado análogamente a (5) sobre las siguientes bases:

ingesta total de cadmio en la dieta: 4,79 g; w_i : 31 kg; w_f : 64,66 kg

Utilizando los valores de LOAEL y NOAEL correspondientes a cada especie (LOAEL_i y NOAEL_i) se calcula la ingesta diaria tolerable correspondiente a la misma (IDT_i) según la expresión siguiente:

$$IDT_i = (LOAEL_i * NOAEL_i)^{1/2} / FI$$

empleándose para FI (factor de incertidumbre) el valor 10. Las IDT_i resultantes son presentadas en la Tabla VI.2.



En base a las IDT_i obtenidas se calcula la concentración máxima tolerable de cadmio en el agua de bebida para cada especie según la siguiente expresión:

$$c_i = IDT_i * MC_i * F_i / C_i$$

donde:

c_i : concentración máxima tolerable en el agua de bebida para la especie i [mg/l]

IDT_i : ingesta diaria tolerable para la especie i [mg/(kg masa corporal * d)]

MC_i : masa corporal de la especie i [kg]

F_i : factor de asignación de la IDT al agua de bebida para la especie i

C_i : ingesta diaria de agua por individuo para la especie i [l/d]

Considerando para el cálculo la relación MC/C más crítica para cada animal, en base a los rangos genéricos de masas corporales e ingestas diarias de agua asumidos en la metodología elaborada, y adoptando el valor 0,2 para F_i , resultan las concentraciones máximas tolerables de cadmio en el agua de bebida que se exponen en la Tabla VI.2.

TABLA VI. 2 - CADMIO: INGESTAS DIARIAS TOLERABLES Y CONCENTRACIONES MÁXIMAS TOLERABLES EN EL AGUA DE BEBIDA PARA MAMIFEROS

ANIMAL	IDT [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	c [mg/l]
Porcinos	0,45	0,71 (1)
Bovinos	0,27	0,34 (2)
Ovinos	0,09	0,14 (3)

Notas:

(1): Calculada para $MC/C = 7,9$ kg/(l/d)

(2): Calculada para $MC/C = 6,3$ kg/(l/d)

(3): Calculada para $MC/C = 8$ kg/(l/d)

Los cálculos efectuados indican el valor 0,14 mg/l como la concentración máxima tolerable correspondiente al mamífero de producción animal más sensible ($c_{\text{mamífero de producción animal más sensible}}$).

VI.3) Cálculo de ingestas diarias tolerables de cadmio y concentraciones máximas tolerables de cadmio en el agua de bebida para producción animal conformada por especies aviarias

En la Tabla VI.3 se exponen valores de LOAEL y NOAEL para gallinas y patos. Tales valores resultan de elaboraciones sobre los trabajos referenciados en la tabla antedicha.



TABLA VI.3 - VALORES DE TOXICIDAD CRONICA ORAL SOBRE AVES CONCERNIENTES AL CADMIO

ANIMAL	LOAEL [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	NOAEL [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	REFERENCIA
Gallinas	2,29 (1)	0,57 (2)	Leach et al., 1979
Patos	Sin dato	1,45 (3) (4)	White and Finley, 1978

Notas:

(1): Calculado sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 48 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 0,11 kg/d; masa corporal = 2,3 kg (este valor y el de la ingesta alimentaria resultan de un empleo conservador de los rangos genéricos asumidos en la metodología establecida)

(2): Calculado análogamente a (1) sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 12 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 0,11 kg/d; masa corporal = 2,3 kg

(3): Calculado sobre las siguientes bases:

dosificación de cadmio en la dieta: 15,2 mg Cd/kg alimento; ingesta alimentaria: 0,11 kg/d; masa corporal: 1,153 kg

(4): Si bien el valor corresponde a una forma silvestre, se lo considera aplicable al pato de producción

Utilizando los valores de $LOAEL_i$ y $NOAEL_i$ antedichos y las expresiones de cálculo ya presentadas, se determinan las correspondientes ingestas diarias tolerables (IDT_i) y concentraciones máximas tolerables en el agua de bebida (c_i), aplicando para FI, MC_i/C_i y F_i los mismos criterios considerados para mamíferos. Los valores resultantes son expuestos en la Tabla VI.4.

TABLA VI.4 - CADMIO: INGESTAS DIARIAS TOLERABLES Y CONCENTRACIONES MAXIMAS TOLERABLES EN EL AGUA DE BEBIDA PARA AVES

ANIMAL	IDT [mg Cd/(kg masa corporal * d)]	c [mg/l]
Gallinas	0,11	0,08 (1)
Patos	0,29 (2)	0,27 (3)

Notas:

(1): Calculada para $MC/C = 3,8$ kg/(l/d)

(2): Calculada según $IDT = NOAEL/5$, de acuerdo a lo establecido metodológicamente

(3): Calculada para $MC/C = 4,7$ kg/(l/d)

Los cálculos efectuados indican el valor 0,08 mg/l como la concentración máxima tolerable correspondiente al ave de producción animal más sensible (c_{ave} de producción animal más sensible).

VI.4) Establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal

De acuerdo a los escenarios potenciales de producción animal previstos metodológicamente se especifican los niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal (NGABPA) que se detallan a continuación.



VI.4.1) Producción animal conformada por mamíferos

Se especifica como nivel guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondiente a cadmio, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA (Cadmio)} \leq 0,14 \text{ mg/l}$$

VI.4.2) Producción animal conformada por aves

Se especifica como nivel guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondiente a cadmio, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA (Cadmio)} \leq 0,08 \text{ mg/l}$$

VI.4.3) Producción animal conformada por mamíferos y aves

Se especifica como nivel guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal correspondiente a cadmio, referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA (Cadmio)} \leq 0,08 \text{ mg/l}$$



VIII) CONTRASTACION DE LOS NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE CORRESPONDIENTES A CADMIO

VIII.1) *Contrastación del nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática (NGPBA)*

VIII.1.1) *Contrastación del nivel guía de calidad de agua ambiente para la protección de la biota acuática aplicable a agua dulce*

Para realizar la contrastación del NGPBA correspondiente a cadmio se aplica un factor de bioconcentración igual a 182 l/kg, determinado para músculo de *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoiris) en un estudio de 455 días de duración (Brown et al. 1994). La selección de este factor resulta de la evaluación de la información básica disponible.

Multiplicando el valor máximo del NGPBA correspondiente a cadmio para una dureza igual a 100 mg CaCO₃/l (0,12 µg/l) por el BCF seleccionado (182 l/kg), se obtiene una concentración de acumulación a comparar (CAC) igual a 21,8 µg/kg tejido fresco.

La base de contrastación del NGPBA para cadmio está configurada por el límite máximo para éste en tejido de peces establecido por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) en el Plan Nacional de Control de Residuos e Higiene en Alimentos (Plan Creha), que es igual a 100 µg/kg tejido fresco (SENASA, 2004). Dado que CAC es menor que tal límite, el NGPBA establecido para cadmio es compatible con la restricción sanitaria inherente a ingesta humana.

VIII.1.2) *Contrastación del nivel guía de calidad de agua ambiente para la protección de la biota acuática aplicable a agua marina*

Para realizar la contrastación del NGPBA correspondiente a cadmio se aplica un factor de bioconcentración igual a 2150 l/kg, determinado para la ostra *Crassostrea virginica* en un estudio de 280 días de duración (Zaroogian and Cheer, 1976).

Multiplicando el valor máximo expresado por el NGPBA correspondiente a cadmio (5 µg/l) por el BCF seleccionado (2150 l/kg), se obtiene una concentración de acumulación a comparar (CAC) igual a 10750 µg /kg tejido fresco.

La base de contrastación del NGPBA para cadmio aplicable a agua marina es la concentración 1000 µg/kg tejido fresco, que corresponde al límite establecido para moluscos por el Plan Creha (SENASA, 2004). Dado que CAC es mayor que el valor antedicho, se establece para cadmio el siguiente nivel guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática de aplicación efectiva (NGPBA_e), referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGPBA}_e (\text{Cadmio}) \leq 0,46 \mu\text{g/l}$$

El valor 0,46 µg/l resulta de dividir el límite sanitario considerado como base de contrastación (1000 µg/kg tejido fresco) por el BCF seleccionado (2150 l/kg).



VIII.2) *Contrastación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente para riego*

Estudios realizados por Anke et al. (sin fecha) sobre diversas especies cultivadas en suelos contaminados (2,7 mg/kg suelo base seca) permitieron comparar la acumulación en los mismos con la registrada en condiciones basales (0,15 mg/kg suelo base seca), según se exhibe en la Tabla VIII.1.

TABLA VIII.1 - CONCENTRACIONES DE CADMIO EN ESPECIES CULTIVADAS

Especie	Concentración media en condiciones basales (A) [mg/kg tejido seco]	Concentración media en condiciones de exposición (B) [mg tejido seco]	B/A
Manzana	0,051	0,113	2,2
Papa	0,038	0,114	3,0
Poroto	0,028	0,105	3,8
Grano de centeno	0,066	0,258	3,8
Cebolla	0,096	0,403	4,2
Tomate	0,032	0,185	5,8
Grano de trigo	0,051	0,345	6,8
Zanahoria	0,073	0,573	7,8
Perejil	0,136	1,091	8,0
Grano de cebada	0,026	0,245	9,5
Col	0,082	1,003	12
Lechuga	0,352	5,148	15
Heno	0,049	0,854	17
Pastos	0,045	0,868	19
Grano de avena	0,051	1,347	26
Maíz verde	0,355	1,079	31

Los estudios de Jensen y Bro-Rasmussen (1992) y Juste (1992) señalan que el trigo y la papa asimilan cadmio fácilmente a través de las raíces. La concentración de cadmio en el grano de trigo alcanzaría 1 mg/kg en suelos con concentraciones superiores a 2 mg/kg, que serían 20 veces mayores que la normal.

Cuando la concentración de cadmio en suelo es inferior a 45 mg/kg, la remolacha acumula 2,5 mg/kg en su parte comestible. Sin embargo, a una concentración en el suelo igual a 5 mg/kg las hojas de remolacha son capaces de acumular hasta 3 mg/kg, mientras que a una concentración en el suelo igual a 45 mg/kg las hojas acumularían 18 mg/kg. Hojas de cereales sembrados en suelos con concentraciones iguales a 5 y 45 mg/kg podrían acumular 0,06 y 80 mg/kg tejido seco, respectivamente (OECD/GD [94] 97, 1994).

La Tabla VIII.2 exhibe concentraciones acumuladas de cadmio en especies cultivadas en suelos de Bélgica (OECD/ GD [94]97, 1994).



TABLA VIII.2 - ACUMULACION DE CADMIO EN ESPECIES CULTIVADAS EN DIVERSAS AREAS DE BELGICA

Concentración de cadmio en suelo [mg/kg suelo base seca]	Concentración de cadmio en tejido vegetal [mg tejido húmedo]				
	Apio	Lechuga	Puerro	Zanahoria	Papa
9	0,59	0,44	0,44	0,17	0,08
4,1	0,43	0,33	0,20	0,15	0,07
1,7	0,27	0,24	0,17	0,11	0,05
0,4	0,12	0,08	0,05	0,08	< 0,02

La investigación de Fritz et al. (1988) sobre aplicación de compost de residuos municipales determinó contenidos de cadmio en vegetales de hoja menores que 0,9 mg/kg tejido seco en suelos con contenidos de cadmio hasta 1,4 mg/kg de suelo base seca, exhibiendo las especies ensayadas el siguiente orden decreciente de acumulación: 1°) espinaca, 2°) rabanito, 3°) lechuga, 4°) poroto, 5°) tomate.

Las experiencias de Coppola et al. (1988) sobre efectos del cadmio en cultivos permitieron registrar la acumulación de cadmio en diversas condiciones de exposición, en suelo volcánico y terra rosa, según se expone en la Tabla VIII.3.

TABLA VIII.3 - ACUMULACION DE CADMIO EN CULTIVOS EN SUELO VOLCANICO Y TERRA ROSA

Especie	Concentración de cadmio en suelo [mg/kg suelo base seca]			
	0,15	2,15	8,15	16,15
	Concentración en tejido vegetal [mg/kg tejido seco]			
<i>Lolium perenne</i> (suelo volcánico)	> 0,1	13,4	38,6	-
<i>Lolium perenne</i> (terra rosa)	> 0,1	17,4	31,5	58,3
Espinaca (suelo volcánico)	1,7 ± 1,0	12,6	53,7	-
Espinaca (terra rosa)	0,4 ± 0,2	15,8	27,2	59,8
Poroto (suelo volcánico)	> 0,1	> 0,1	0,5	-
Poroto (terra rosa)	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1
Rábano (suelo volcánico)	> 0,1	> 0,1	6,3	-
Rábano (terra rosa)	> 0,1	> 0,1	1,6	4,0

Las investigaciones de Mench et al. (1989) comprobaron que el género *Nicotiana* es particularmente acumulador de cadmio, según se expone en la Tabla VIII.4.



TABLA VIII.4 - ACUMULACION DE CADMIO EN NICOTIANA Y ZEA MAYS

Concentración en suelo [mg/kg suelo base seca]	Especie	Concentración en tejido vegetal [mg/kg tejido seco]		
		Hoja	Tallo	Raíz
0,44	<i>Nicotiana tabacum</i>	6,8	1,2	1,3
	<i>Nicotiana rústica</i>	4,6	1,4	1,8
	<i>Zea mays</i>	0,9	0,4	5,0
5,4	<i>Nicotiana tabacum</i>	165	29	49
	<i>Nicotiana rústica</i>	84	19	65
	<i>Zea mays</i>	22	10	109

En la Tabla VIII.5 se detallan concentraciones de cadmio en tejido vegetal resultantes de estudios efectuados por Gzyl (1990) con diversas especies.

TABLA VIII.5 - ACUMULACION DE CADMIO EN PEREJIL, APIO, REMOLACHA Y ZANAHORIA

Concentración en suelo [mg/kg suelo base seca]	Concentración en tejido vegetal [mg tejido seco]					
	Perejil		APIO		Zanahoria	Remolacha
	Hojas	Raíz	Hojas	Raíz	(Raíz)	(Raíz)
1,2 (valor mínimo)	0,3	0,20	0,21	0,7	0,7	0,3
51,7 (valor máximo)	13,5	2,35	19,3	10,9	5,3	5,9
8,3 (valor medio)	0,97	0,57	2,8	2,2	1,0	0,9

Schumacher et al. (1994) determinaron concentraciones de metales pesados en arroz sembrado en el delta del río Ebro (España), las que se exponen en la Tabla VIII.6.

TABLA VIII.6 - ACUMULACION DE CADMIO EN ARROZ A DISTINTOS NIVELES DE EXPOSICION

Concentración en suelo [mg/kg suelo base seca]	Concentración en tejido vegetal [mg tejido seco]
0,37	0,022
0,51	0,023
0,48	0,018
0,46	0,020
0,50	0,019

Lázló (1998) evaluó la acumulación de cadmio en girasol, obteniendo los resultados indicados en la Tabla VIII.7.



TABLA VIII.7 - ACUMULACION DE CADMIO EN GIRASOL A DISTINTOS NIVELES DE EXPOSICION

Concentración en suelo [mg/kg suelo base seca]	Concentración en tejido vegetal [mg tejido seco]			
	Raíz	Tallo	Hoja	Inflorescencia
ND	1,21	0,43	1,23	0,78
1	4,37	1,05	1,90	1,34
10	13,69	1,76	3,17	3,02

Nota:

ND: no detectado

Las experiencias de Karam et al (1998) con *Solanum tuberosum* (papa) en suelos enriquecidos con desechos sólidos municipales permitieron determinar las concentraciones de acumulación que se exponen en la Tabla VIII.8.

TABLA VIII.8 - ACUMULACION DE CADMIO EN SOLANUM TUBEROSUM

Concentración en suelo [mg/kg suelo base seca]	Concentración en tejido vegetal [mg/kg tejido seco]	
	Tallo	Tubérculo
0,66	0,86	0,44
0,75	0,89	0,71
0,80	0,95	0,78
0,91	1,08	1,05

Asumiendo como base de contrastación el residuo máximo en vegetales secos para cadmio establecido por las reglamentaciones húngaras (0,3 mg/kg tejido seco) (8/1985), dado que no se cuenta con normas o criterios nacionales, los diversos datos experimentales expuestos precedentemente permiten inferir que para la concentración máxima aceptable en suelo (ASC) asociada a los niveles guía de calidad de agua ambiente para riego correspondientes a cadmio (0,07 mg/kg suelo) no se produciría acumulación en tejido vegetal de consumo humano en tenores superiores al valor de referencia. Esto indica que los niveles guía antedichos son compatibles con la restricción sanitaria inherente a ingesta humana.

VIII.3) Contrastación de los niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal

La base de contrastación está constituida por los límites máximos de cadmio en carnes establecido por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) en el Plan Nacional de Control de Residuos e Higiene en Alimentos (Plan Creha). Tales valores límite son: 50 µg/kg tejido fresco, 500 µg/kg tejido fresco y 50 µg/l, en músculo, hígado y leche, respectivamente. Para ganado equino los límites son 200 µg/kg tejido fresco y 1000 µg/kg tejido fresco, en músculo e hígado, respectivamente (SENASA, 2004).

Las experiencias de Cousins et al. (1973) con cerdos y de Doyle et al. (1974) con ovinos, indican que la acumulación muscular de cadmio esperable para la exposición asociada a la ingesta diaria tolerable de cadmio para el mamífero más sensible sería inferior al límite



máximo antes mencionado para dicho tejido (50 µg/kg tejido fresco). Exposiciones de ganado bovino de grado más elevado que la antedicha no evidenciaron tenores detectables de cadmio en tejido muscular (Wright et al., 1977).

No obstante lo observado para acumulación en tejido muscular, las experiencias de Doyle et al. (1974) denotaron para condiciones de exposición basal, es decir, para ovinos de control, acumulación de cadmio en hígado algo superior al límite correspondiente ya señalado (500 µg/kg tejido fresco). La superación de este límite también se verificó en ovinos de control en las experiencias de Wright et al. (1977) y en bovinos de control en las experiencias de Powell et al. (1964). Por otra parte, en los trabajos de Doyle et al. (1974) y Wright et al. (1977), para los ovinos de control se registraron acumulaciones de cadmio en riñón superiores a las observadas en hígado.

Los tenores de acumulación de cadmio en gallinas observados en las experiencias de Leach et al. (1979) indicarían que para exposiciones próximas a la asociada a la ingesta diaria tolerable, que corresponde a la especie aviaria más sensible, los registros de acumulación en músculo no poseen una diferencia estadísticamente significativa con los que se han observado para ejemplares de control, que no superan el límite de contrastación ya referido (50 µg/kg tejido fresco). Las experiencias con patos de White y Finley (1978) indican que para la exposición asociada a la protección de la especie aviaria más sensible no es esperable una acumulación superior al límite antedicho.

Análogamente a lo observado para mamíferos, las experiencias de Leach et al. (1979) y de White y Finley (1978) registraron para condiciones de exposición basal, es decir, para ejemplares aviarios de control, acumulaciones de cadmio en hígado superiores y no muy inferiores, respectivamente, al límite correspondiente (500 µg/kg tejido fresco). También para tales condiciones las acumulaciones de cadmio en riñón resultaron superiores a las observadas en hígado (Leach et al., 1979; White and Finley, 1978).

Lo expuesto precedentemente permite concluir que la mayor acumulación de cadmio en especies de producción animal, tanto mamíferas como aviarias, se produce en hígado y riñón. La acumulación de cadmio en tejido muscular esperable para las condiciones de derivación de los niveles guía de calidad de agua ambiente no resulta superior al límite especificado en músculo por el Plan Creha para las especies consideradas para el cálculo (50 µg/kg tejido fresco). Por lo tanto, se considera que los niveles antedichos son compatibles con la restricción sanitaria correspondiente a la ingesta alimentaria humana. No obstante, la pronunciada acumulabilidad del cadmio en hígado y riñón y la probabilidad de superación de los límites establecidos por el Plan Creha en vísceras incluso en condiciones de exposición basal determinan la necesidad de controlar particularmente el consumo de aquéllas, aun cuando su inserción en la dieta sea de menor relevancia.



IX) TECNICAS ANALITICAS ASOCIADAS A LA DETERMINACION DE CADMIO

En la Base de Datos “Técnicas Analíticas” pueden ser seleccionados métodos analíticos validados para la determinación de cadmio. Varios de ellos permiten evaluar la cumplimentación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente derivados para fuente de provisión de agua para consumo humano, para protección de la biota acuática aplicable a agua marina, para riego y para bebida de especies de producción animal. En cambio, la evaluación de la cumplimentación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente derivados para protección de la biota acuática aplicables a agua dulce, que son dependientes de la dureza, requeriría para determinados valores de esta última la disponibilidad de un equipo Plasma de Acoplamiento Inductivo asociado a un detector de espectrometría de masa o de un equipo de Absorción Atómica en Horno de Grafito operante a temperatura estabilizada en un área limpia, disponibilidad sumamente restringida, en el primer caso, o no implementada, en el segundo, actualmente en el país. De tal manera, si no se pudiera lograr a corto plazo la disponibilidad analítica antes mencionada, para aquellos escenarios de dureza determinantes de niveles guía con concentraciones máximas resultantes de la aplicación de la fórmula de cálculo que no fueren observables por limitaciones analíticas, se debería establecer el siguiente nivel guía de aplicación efectiva de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática de agua dulce (NGPBA_e), referido a la muestra de agua filtrada:

NGPBA_e (Cadmio): No detectable según límite de detección: 0,1 µg/l (Method 213.2. Cd. Cadmium. Atomic Absorption, Furnace Technique. U.S. EPA – NERL, 1978) u otro límite de detección menor.

El nivel guía antedicho se basa en la aplicación como mínimo del límite de detección correspondiente a la técnica de absorción atómica en horno de grafito antes referida, manteniéndose los respectivos niveles guía calculados para protección de la biota acuática en función de la dureza ($e^{1,1208 * (\ln \text{dureza}) - 7,3111}$ µg/l; dureza expresada en mg CaCO₃/l), que no fueran observables como objetivos en función de factibilidades analíticas superiores.



X) REFERENCIAS

8/1985. (X.21). Ministry of Health Decree, Hungary. Maximum potentially toxic element content of food.

Adema, D. and Henzen, L. 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 y datos suministrados por el Ente Tripartito de Obras y Servicios Sanitarios correspondientes al período 1993-1995.

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

Anke I., B. Groppe, M. Grun and H. Kronemann (sin fecha). Relations between the cadmium content of soil, plant, animals and humans. University of Leipzig, Institute of Animal Nutrition Chemistry, Dornburger Str. 24, 6900. Jena. GDR

Armstrong, B.G. and G. Kazantzis, 1983. The mortality of cadmium workers. *Lancet*. June 25, 1983: 1425-1427. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). April, 1997. 0141. Cadmium.

Benoit, D.A., E.N. Leonard, G.M. Christensen and J.T. Fiandt. 1976. Toxic Effects of Cadmium on Three Generations of Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 105(4):550-560. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

Bentley, R.E., T. Heitmuller, B.H. Sleight, III and P.R. Parrish.. 1975 Acute Toxicity of Cadmium to Bluegill (*Lepomis macrochirus*), Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*), and Pink Shrimp (*Penaeus duorarum*). U.S. EPA, Criteria Branch, WA-6-99-1414-B, Washington, D.C. 14 p. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Birge, W.J., R.D. Hoyt, J.A. Black, M.D. Kercher and W.A. Robison, 1993. Effects of Chemical Stresses on Behavior of Larval and Juvenile Fishes and Amphibians. *Am. Fish. Soc. Symp.* 14:55-65. En: : AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Borgmann, U. 1983. Metal speciation and toxicity of free metal ions to aquatic biota. In: Nriagu, J.O., ed. *Aquatic toxicology*, New York, Chichester, John Wiley & Sons, pp. 47-72. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.

Boyle, E.A., F.R. Sclater and J.M. Edmond, 1976. On the marine chemistry of cadmium. *Nature (London)*. 263, 42-44. En: U. Forstner. G.T.W. Wittmann. 1983. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag.

Brown, V., D. Shurben, W. Miller and M. Crane. 1994. Cadmium toxicity to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum and brown trout *Salmo trutta L.* over extended exposure periods. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 29: 38-46.

Canterford, G.S. and D.R. Canterford. 1980. Toxicity of heavy metals to the marine diatom *Ditylum brightwellii* (West) Grunow: correlation between toxicity and metal speciation. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 60: 227. 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.

Chapman, G.A. 1978. Toxicities of Cadmium, Copper, and Zinc to Four Juvenile Stages of Chinook Salmon and Steelheads. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107(6):841-847. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

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. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

Chumnantana, R., J. Sanguansin and J. Koyama . 1992. Study on acute toxicity test of cadmium to red snapper juvenile, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsk.) . *Thai Mar. Fish. Res. Bull.* 3:55-59. 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.

Conway, H.L. 1978. Sorption of arsenic and cadmium and their effects on growth, micronutrient utilization, and photosynthetic pigment composition of *Asterionella formosa*. Jour. Fish. Res. Board Can. 35: 286. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

Coombs, T.L. 1979. Cadmium in aquatic organisms. In: Webb, M., (ed.). The chemistry, biochemistry and biology of cadmium, Amsterdam, Elsevier/North Holland, pp. 93-139. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.

Coppola, S., S. Dumontet, M. Pontonio, G. Basile and P. Marino. 1988. Effect of cadmium-bearing sewage sludge on crop plants and microorganisms in two different soils. Agric. Ecosyst. & Environ. 20:181-194.

Cousins, R.J., A.K. Barber and J.R. Trout. 1973. Cadmium toxicity in the growing swine. J. Nutr. 103:964-972.

Cripe, G.M. 1994. Comparative acute toxicities of several pesticides and metals to *Mysidopsis bahia* and postlarval *Penaeus duorarum*. Environ. Toxicol. Chem. 13(11): 1867-1872. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.

Davies, P.H., W.C. Gorman, C.A. Carlson and S.F. Brinkman. 1993. Effect of Hardness on Bioavailability and Toxicity of Cadmium to Rainbow Trout. Chem. Spec. Bioavail. 5(2): 67-77. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Davis, R.D., C.H. Carlton-Smith, J.H., Stark & J.A. Campbell. 1988. Distribution of Metals in Grassland Soils Following Surface Applications of Sewage Sludge. Environmental Pollution 49, 99-115.

Den Dooren de Jong, L.E. 1965 Tolerance of *Chlorella vulgaris* for Metallic and Non-Metallic Ions. Antonie Leeuwenhoek J. Microbiol. Serol. 31:301-313. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Denton, G.R.W. and C. Burdon-Jones. 1986. Environmental effects on toxicity of heavy metals to two species of tropical marine fish from northern Australia. Chem. Ecol. 2(3):233-249. 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.

Dinnel, P.A., J.M. Link, Q.J. Stober, M.W. Letourneau and W.E. Roberts. 1989. Comparative sensitivity of sea urchin sperm bioassays to metals and pesticides. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18: 748-755. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.

Doyle, J.J., W.H. Pfander, S.E. Grebing and J.O. Pierce II. 1974. Effect of dietary cadmium on growth, cadmium absorption and cadmium tissue levels in growing lambs. J. Nutr. 104:160-164.

Eaton, J.G. 1973 Chronic toxicity of a copper, cadmium and zinc mixture to the fathead minnow (*Pimephales promelas* Rafinesque). Water Res. 7: 1723-1736.

Eisler, R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates: A synoptic review, Washington, DC, U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service (Biological Report No. 85).

Eisler, R., et al. 1972. Cadmium uptake by marine organisms. J. Fish. Res. Board Can. 29: 1367. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update Ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.

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(4): 393-398.

Espina S., A. Salibian, C. Rosas, A. Sánchez and G. Alcaraz, 1995. Acute physiological responses of Grass Carp *Ctenopharyngodon idella* fingerlings to sublethal concentrations of cadmium. Acta Toxicol. Argent. 3 (1): 8-10.

Ferard, J.F., J.M. Jouany, R. Truhaut and P. Vasseur. 1983. Accumulation of cadmium in a freshwater food chain experimental model. Ecotoxicol. Environ. Saf., 7: 43-52. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Ferrari, L., M.E. García, F.R. de la Torre, S.O. Demichelis y A. Salibián. 1996. Comparación de la toxicidad del cadmio en medios acuosos iónicos y no iónicos. *Acta Toxicol Argent.* 4 (2): 39-81.
- Fisher, N.S. and G.J. Jones. 1981. Heavy metals and marine phytoplankton: correlation of toxicity and sulfhydryl-binding. *J. Phycol.* 17: 108. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Flik, G., J.G.J. Van de Winkel, P. Part, S.E. Wendelaar Bonga and R.A.C. Lock 1987. Calmodulin mediated cadmium inhibition of phosphodiesterase activity. *Arch. Toxicol.* 59: 352-359. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Frank, P.M. and P.B. Robertson. 1979. The influence of salinity on toxicity of cadmium and chromium to the blue crab, *Callinectes sapidus*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21: 74. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Freeman, H.C. and G.B. Sangalang. 1976. Changes in steroid hormone metabolism as a sensitive method of monitoring pollutants and contaminants. In Proc. 3rd Aquatic Toxicity Workshop, Halifax, Nova Scotia. Canada Environmental Protection Service Surv. Rep. EPS-5AR-77-1.
- Fritz D. and F. Venter (1988). Heavy metals in some vegetable crops as influenced by municipal waste composts. *Acta Horticulturæ* 222. Fertilization of vegetables.
- Gentile, J.H. and M. Johnson. 1982. Memorandum to John H. Gentile. U.S. EPA, Narragansett, Rhode Island. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- George, S.G. and T.L. Coombs. 1977. The effects of chelating agents on the uptake and accumulation of cadmium by *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 39: 261. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Green, A.S., G.T. Chandler and E.R. Blood. 1993. Aqueous, pore-water, and sediment-phase cadmium: toxicity relationships for a meiobenthic copepod. *Environ. Toxicol. Chem.* 12(8): 1497-1506. 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.
- Gunn, S.A., T.C. Gould & W.A.D. Anderson. 1967. Specific response of mesenchymal tissue to cancerogenesis by cadmium. *Arch. Pathol.* 83: 439-499. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Gzyl, J. 1990. Lead and cadmium contamination of soil and vegetables in the Upper Silesia Region of Poland. *The Science of the Total Environment*, 96: 199-203.
- Haddow, A., F.J.C. Roe, C.E. Dukes & B.C.V. Mitcheley. 1964. Cadmium neoplasia: sarcomatosis at the site for injection of cadmium sulfate in rats and mice. *Br. J. Cancer* 18: 667-673. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Han, D. H. and J. H. Lee. 1996. Effects of liming on uptake of lead and cadmium by *Raphanus sativus*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 31:488-493.
- Heath, J.C. & M. Webb. 1967. Content and intracellular distribution of the inducing metal in the primary rhabdomyosarcomata induced in the rat by cobalt, nickel and cadmium. *Br. J. Cancer* 21: 768-779. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Hilmy, A.M., M.B. Shabana and A.Y. Daabees. 1985. Bioaccumulation of cadmium: toxicity in *Mugil cephalus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 81(1): 139-143. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Hong, J.S. and D.J. Reish. 1987. Acute toxicity of cadmium to eight species of marine amphipod and isopod crustaceans from southern California. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 39: 884-888. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Huebert, D.B. and J.M. Shay. 1991. The Effect of Cadmium and Its Interaction with External Calcium in the Submerged Aquatic Macrophyte *Lemna trisulca* L. *Aquat. Toxicol.* 20: 57-72.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Ingersoll, C.G. and R.W. Winner. 1982. Effect on *Daphnia pulex* (DeGeer) of daily pulse exposures to copper and cadmium. Environ. Toxicol. Chem. 1: 321-327. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.
- Jensen A. and F. Bro-Rasmussen. 1992. Environmental cadmium in Europe. Rev. Env. Contam. Tox. 125:101-181. En: OECD/GD[94]97. 1994. Risk Reduction Monograph N° 5. Cadmium.
- Juste C. and M. Mench. 1992. Long-term application of sewage and its effects on metal uptake by crops. En: OECD/GD(94)97. 1994. Risk Reduction Monograph N° 5. Cadmium.
- Karam, N.S., Khalil I. Ereitej, Rida A. Shibili, Hani AbuKudais, Ahmad Alkofahi and Yahyah Malkawi. 1998. Metal concentrations, growth and yield of potato produced from in vitro plantlets or microtubers grown in Municipal solid waste amended substrates. Journal of Plant Nutrition, 21: 725-739.
- Kazantzis, G. & W.J. Hanbury. 1966. The induction of sarcoma in the rat by cadmium sulfide and by cadmium oxide. Br. J. Cancer 20: 190-199. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium World Health Organization. Geneva.
- Kazantzis, G., F.V. Flynn, J.S. Spowage & D.G. Trott. 1963. Renal tubular malfunction and pulmonary emphysema in cadmium pigment workers. Q. J. Med. 32: 165-192. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Khalid, R. A., R.P. Gambrell and W. H. Patrick, Jr. 1981. Chemical availability of cadmium in Mississippi River sediment. Jour. Environ. Qual. 10: 523-528. En: Eisler, R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85 (1.2). 46 pp.
- Klass, E. et al. 1974. The effect of cadmium on population growth of the green alga *Scenedesmus quadricauda*. Bull Environ. Contam. Toxicol. 12: 442. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.
- Kohn, N.P., J.Q. Word, D.K. Niyogi, L.T. Ross, T. Dillon and D.W. Moore. 1994. Acute toxicity of ammonia to four species of marine amphipod. Mar.Environ.Res. 38(1): 1-15. 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.
- Koller, L.D. 1973. Immunosuppression produced by lead, cadmium and mercury. Amer. J. Vet. Res. 34: 1457-1459.
- Korte, F. 1983. Ecotoxicology of cadmium: general overview. Ecotoxicol. Environ. Saf. 7: 3-8, En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 135. Cadmium, environmental aspects. World Health Organization. Geneva.
- Lagerwerff, J.V. 1972. Lead, mercury and cadmium as environmental contaminants, p. 593-636. In Micronutrients in Agriculture, ed. By J.J. Mortvedt, P.M. Giovdano and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc.America, Madison/USA. En: Influence of cadmium on the growth of *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Cupressus sempervirenas* seedlings grown in soil containing vesicular arbuscular mycorrhizae spores (Alex. J. Agric. Res. 38(1):229-241, 1993).
- Lázló, Simon. 1998. Cadmium accumulation and Distribution in sunflower plant. Journal of Plant Nutrition, 21(2), 341-352
- Leach, R.M., K.W Wang and D.E. Baker. 1979. Cadmium and the food chain: The effect of dietary cadmium on tissue composition in chicks and laying hens. J. Nutr. 109:437-443.
- Lussier, S.M., J.H. Gentile and J. Walker. 1985. Acute and chronic effects of heavy metals and cyanide on *Mysidopsis bahia* (Crustacea: Mysidacea). Aquat.Toxicol. 7(1-2): 25-35. 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.
- Lynch, G.P., D.F. Smith, M. Fisher, T.L. Pike and B.T. Weinland. 1976. Physiological responses of calves to cadmium and lead. J. Anim. Sci. 42:410-433.
- Mantoura, R.F.C., A. Dickson and J.F. Riley. 1978. The complexation of metals with humic substances in natural waters. Estuarine Coastal Mar. Sci. 6: 387-408. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.



- Markham, J.W. et al. 1980. Effects of cadmium on *Laminaria saccharina* in culture. Mar. Ecol. Prog. Ser. 3: 31. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Meador, J.P. 1993. The effect of laboratory holding on the toxicity response of marine infaunal amphipods to cadmium and tributyltin. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 174: 227-242. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Mench, M., J. Tancogne, A. Gomez and C. Juste. 1989. Cadmium bioavailability to *Nicotiana tabacum L.*, *Nicotiana rustica L.* and *Zea mays L.* grown in soil amended or not amended with cadmium nitrate. Biol. Fert. Soil 8: 48-53.
- Miller, W.J., B. Lampp, G.W. Powell, C.A. Salotti and D.M. Blackmon. 1967. Influence of a high level of dietary cadmium on cadmium content in milk excretion and cow performance. J. Dairy Sci. 50:1404-1408.
- 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/600/6-85/002a. U.S. Environmental Protection Agency.
- NAS. 1977. Drinking Water and Health. Safe Drinking Water Committee, National Academy of Sciences, U.S. National Research Council, Washington, D.C., 939 pp. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.
- Nazari, G., A. Favino & U. Pozzi. 1967. Effects of a single Subcutaneous injection of cadmium chloride in male rats. Riv. Anat. Pathol. Oncol. 31: 251-271 (in Italian). En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.
- Niederlehner, B. 1984. A comparison of techniques for estimating the hazard of chemicals in the aquatic environment. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.
- O'Hara, J. 1973a. The influence of temperature and salinity on the toxicity of cadmium to the fiddler crab, *Uca pugilator*. Fish. Bull. 71: 149. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- OECD/GD[94] 97. 1994. Risk Reduction Monography N° 5. Cadmium.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1995. Guías para la calidad del agua potable. Segunda Edición. Volumen I. Recomendaciones.
- Papathanassiou, E. 1983. Effects of cadmium and mercury ions on respiration and survival of the common prawn *Palaemon serratus* (Pennant). Rev. Int. Oceanogr. Med. 72: 21-35. 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.
- Part, P., O. Svanberg and A. Kiessling. 1985. The availability of cadmium to perfused rainbow trout gills in different water qualities. Wat. Res. 19: 427-434.
- Pickering, Q.H. and M.H. Gast. 1972. Acute and chronic toxicity of cadmium to the fathead minnow (*Pimephales promelas*). Jour. Fish. Res. Board. Can. 29: 1099. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.
- Powell, G.W., W.J. Miller, J.D. Morton and F.M. Clifton. 1964. Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc and cadmium toxicity in the Bovine. J. Nutr. 84:205-214.
- Randi, A.S., J.M. Monserrat, E.M. Rodriguez and L.A. Romano. 1996. Histopathological effects of cadmium on the gills of the freshwater fish *Macropsobrycon uruguayanae* Eigenman (Pisces, Atherinidae). Journal of Fish Diseases 19: 311-322.
- Ravera O. 1991. Influence of heavy metals on the reproduction and embryonic development of freshwater pulmonates (*Gastropoda*; *Mollusca*) and cladocerans (*Crustacea*; *Arthropoda*). Comparative Biochemistry and Physiology 100: 215-219.
- Reber, H.H. 1989. Threshold levels of cadmium for soil respiration and growth of spring wheat *Triticum aestivum L.* and difficulties with their determination. Biol. Fert. Soil. 7: 152-157.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Reeder, S.W., A. Demayo and M.S. Taylor. 1979. Cadmium. En: Guidelines for surface water quality. Vol. 1. Inorganic chemical substances. Water Quality Branch, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa.

Resolución MSyAS N° 184 del 30.5.95. Resoluciones MERCOSUR sobre contaminantes inorgánicos. Código Alimentario Argentino, Anexo MERCOSUR, E-287-289.

Rombough, P.J. and E.T. Garside. 1982. Cadmium toxicity and accumulation in eggs and alevins of Atlantic salmon *Salmo salar*. Can. J. Zool. 60: 2006-2014. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

Sangalang, G.B. and H.C. Freeman 1979. Tissue uptake of cadmium in brook trout during chronic sublethal exposure. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 8: 77. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC: EPA 440/5-84-032.

Schafer H., et al. 1994. Biotests Using Unicellular Algae and Ciliates for Predicting Long-Term Effects of Toxicants. Ecotoxicol. Environ. Saf. 27(1): 64-81. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Schumacher, M., J.L. Domingo, J. M Llobet and J. Corbella (1994). Cadmium, chromium, copper, and zinc in rice and rice field soil from Southern Catalonia, Spain. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 53: 54-60.

Sell, J.L. 1975. Cadmium and the laying hen: Apparent absorption, tissue distribution, and virtual absence of transfer to eggs. Poultry Sci. 54:1674-1678.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 1999. Plan Creha. Plan Anual 99 de Residuos y Toxinas en alimentos de origen animal.

SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria). 2004. Plan Creha. Plan Anual 2004 de Residuos y Toxinas en alimentos de origen animal.

Sharp, J.R. 1988. The effect of salinity on cadmium toxicity and fin regeneration of peñfish, *Lagodon rhomboides*. Trans. Mo. Acad. Sci. 22:136. 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.

Singh J., S. Devi, G. Chawla, M. Gupta and P.N. Viswanathan. 1991 Ultrastructural and Biochemical Effects of Cadmium on the Aquatic Fern *Marsilea minuta* Linn. Ecotoxicol. Environ. Saf. 21(2):171-181. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S. Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Singh, A.K. and R.K. Rattan. 1987. A new approach for estimating the phytotoxicity limits. Environ. Monit. Assess. 9: 269-284.

Smith, G.C. and E. Brennam. 1984. Response of silver maple seedlings to an acute dose of root applied cadmium. Forest Sci. 30 (3): 582-586.

Snell, T.W. and G. Persoone. 1989. Acute Toxicity Bioassays Using Rotifers. II. A Freshwater Test with *Brachionus rubens*. Aquat. Toxicol. 14(1): 81-92.

Sorahan, T. and J.A.H. Waterhouse. 1983. Mortality study of nickel.cadmium battery workers by the method of regression models in life tables. Br. J. Ind. Med. 40: 293-300. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). April 1, 1997. 0141. Cadmium.

Sorg, T.J., M. Csanady and G.S. Logsdon, 1978. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulations for inorganics: Part 3. J. Am. Water Works Assoc. 70: 680-691. En: CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). December 1996. Canadian Water Quality Guidelines.

Sosnowski, S.L. and J.H. Gentile. 1978. Toxicological comparison of natural and cultured populations of *Acartia tonsa* to cadmium, copper, and mercury. J. Fish. Res. Board Can. 35(10): 1366-1369. 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.

Spehar, R. L., R.L. Anderson and J.T. Fiandt. 1978. Toxicity and bioaccumulation cadmium and lead in aquatic invertebrates. Environ. Pollut. 15: 195-208. En: AQUIRE (Aquatic Toxicity Information Retrieval) database. U.S.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Mid-Continent Ecology Division.

Spehar, R.L. and A.R. Carlson. 1984a. Derivation of site-specific water quality criteria for cadmium and the St. Louis River Basin, Duluth, Minnesota. PB84-153196. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC: EPA 440/5-84-032.

Spehar, R.L. and A.R. Carlson. 1984b. Derivation of site-specific water quality criteria for cadmium and the St. Louis River Basin, Duluth, Minnesota. Environ. Toxicol. Chem. 3: 651. En: U.S. Environmental Protection Agency. 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC: EPA 440/5-84-032.

Steele, R.L. and G.B. Thursby. 1983. A toxicity test using life stages of *Champia parvula* (Rhodophyta). In: W.E. Bishop, et al. (eds.), Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Sixth Symposium. ASTM STP 802. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania. p. 73. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.

Stowe, H.D., M. Wilson and R.A. Goyer. 1972. Clinical and morphological effects of oral cadmium toxicity in rabbits. Arch. Pathol. 94:389-405.

Suedel, B.C., J.H. Rodgers, Jr. and E. Deaver. 1997. Experimental Factors that may Affect Toxicity of Cadmium to Freshwater Organisms. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 33(2): 188-193.

Sunda, W.G., D.W. Engel and R.M. Thuotte 1978. Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass shrimp, *Palaemonetes pugio*: Importance of free cadmium ion. Environ. Sci. Technol. 12: 409-413. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.

Thun, M.J., T.M. Schnorr, A.B. Smith and W.E. Halperin. 1985. Mortality among a cohort of U.S. cadmium production workers: An update. J. Natl. Cancer Inst. 74 (2): 325-333. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). April 1, 1997. 0141. Cadmium.

Timmermans et al. 1992. Cadmium and zinc uptake by two species of aquatic invertebrates predators from dietary and aqueous sources. Can. J. Fish. Aquatic. Sci., Vol. 49.

Torres, E., A. Cid, C. Herrero and J. Abalde. 1998. Removal of cadmium ions by the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin accumulation and long-term kinetics of uptake. Bioresource Techn. 63: 213-220. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1985. Ambient water quality criteria for cadmium-1984. Washington DC. EPA 440/5-84-032.

U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). April 1, 1997. 0141. Cadmium.

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-600/2-79-162a.

Van Leeuwen, C.J., W.J. Luttmmer and P.S. Griffioen 1985. The use of cohorts and populations in chronic toxicity studies with *Daphnia magna*: A cadmium example. Ecotoxicol. Environ. Saf. 9: 26-39. En: Suedel, B.C., J.H. Rodgers, Jr. and E. Deaver. 1997. Experimental factors that may affect toxicity of cadmium to freshwater organisms. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 33(2): 188-193.

Varner, M.O. 1983. Update epidemiologic study of cadmium smelter workers. Presented at the Fourth International Cadmium Conference. Unpublished. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). April 1, 1997. 0141. Cadmium.

Verboost, P.M., J. Van Rooij, G. Flik, R.A.C. Lock and S.E. Wendelaar Bonga. 1989. The movement of cadmium through freshwater trout branchial epithelium and its interference with calcium transport. J. Exp. Biol. 145: 185-197. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1992. Environmental Health Criteria 134. Cadmium. World Health Organization. Geneva.

Voyer, R.A. 1975. Effect of dissolved oxygen concentration on the acute toxicity of cadmium to the mummichog, *Fundulus heteroclitus*. Trans. Am. Fish. Soc. 104: 129. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.



República Argentina
Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

- Voyer, R.A. and G. Modica. 1990. Influence of salinity and temperature on acute toxicity of cadmium to *Mysidopsis bahia* Molenock. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 19(1):124-131. 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.
- Ward, S.H. 1989. The requirements for a balanced medium in toxicological experiments using *Mysidopsis bahia* with special reference to calcium carbonate. In: U.M.Cowgill and L.R.Williams (Eds.), Aquatic Toxicology and Hazard Assessment, ASTM STP 1027, Philadelphia, PA 12: 402-412. 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.
- White, D.H. and M.T. Finley. 1978. Uptake and retention of dietary cadmium in mallard ducks. Environ. Res. 17: 53-59.
- WHO (World Health Organization)/UNEP (United Nations Environment Programme). 1990. Global Environment Monitoring System. Global Freshwater Quality. A First Assessment.
- Williams, C. H. and C.J. Davis. 1973. The effect of superphosphate on the cadmium content of soil and plantas. Aust. J. Soil Res. 11: 43-56. En: Influence of cadmium on the growth of *Casuarina glauca*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Cupressus semprevirenas* seedlings grown in soil containing vesicular arbuscular mycorrhizae spores (Alex. J. Agric. Res. 38(1): 229-241, 1993.
- Wright, F.C., J.S. Palmer, J.C. Riner, M.M. Haufler, J.A. Miller and C.A. McBeth. 1977. Effects of dietary feeding of organocadmium to cattle and sheep. Agric. Food Chem. 25(2): 293-297.
- Yih, W., J.S. Yang, S.G. Jo and E.Y. Chung. 1994. Effects of suspended solid and cadmium on the shallow-sea foodweb ecosystem. 1. reduction of growth rate and biomass yield of coastal diatom clones. Bull. Korean Fish. Soc. 27(4): 373-379. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.
- Zar, J. H. 1984. Biostatistical analysis (2nd ed.), Prentice-Hall, 718 pp.
- Zarogian, G.E. and S. Cheer. 1976. Cadmium accumulation by the American oyster, *Crassostrea virginica*. Nature. 261: 408. En: U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Update Ambient water quality criteria for cadmium. Washington DC. EPA 822-R-01-001.



XI) HISTORIAL DEL DOCUMENTO

Fecha de edición original	diciembre 2001
Actualización diciembre 2002	Redefinición de la forma de expresión del nivel guía de Sección III
Actualización diciembre 2003	Incorporación de Sección IX
Actualización julio 2004	Incorporación de Sección IV Actualización de Sección VIII Actualización de Sección IX