

El Agua: su calidad, sus usos

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y SOCIALES (U.C.E.S.)

MAESTRÍA EN ESTUDIOS AMBIENTALES

EL AGUA: SU CALIDAD, SUS USOS

ΜΕΤΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΠΑΡΑ ΕΛ ΕΣΤΑΒΕΧΙΜΙΕΝΤΟ ΔΕ ζΑΛΟΡΕΣ ΓΥΙΑ

AUTOR: ING. CLAUDIA CAPELLO

TUTOR: DRA. INGE THIEL

BUENOS AIRES, NOVIEMBRE DE 2002

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	10
3. LAS SUSTANCIAS PRESENTES EN EL AGUA: SUS EFECTOS EN LA SALUD	12
4. COMO SE ESTABLECEN NIVELES GUÍA DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN SU USO	16
4.1 FUENTES DE PROVISIÓN PARA CONSUMO HUMANO	16
4.1.1 <i>Introducción</i>	16
4.1.2 <i>Caracterización toxicológica de un parámetro prioritario de calidad de agua</i>	18
4.1.3 <i>Derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua cuando el mismo ha sido caracterizado como tóxico con umbral</i>	18
a) Elección de valores de NOAEL o LOAEL y de FI para el cálculo de IDT:	19
b) Selección de la masa corporal (MC):	19
c) Selección del factor de asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida (F):	19
d) Selección del consumo diario de agua por persona (C):	20
4.1.4 <i>Derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua cuando el mismo ha sido caracterizado como cancerígeno</i>	20
a) Establecimiento del riesgo individual aceptable:	20
b) Selección de la masa corporal (MC):	21
c) Selección del factor de potencia cancerígena (q_1^*):	21
d) Selección del consumo diario de agua por persona (C):	21
4.1.5 <i>Evaluación de la remoción inherente a un parámetro prioritario de calidad de agua en el tratamiento de potabilización</i>	21
4.1.6 <i>Especificación de niveles guía para un parámetro prioritario de calidad de agua para fuentes de provisión para consumo humano</i>	22
4.1.7 <i>Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano</i>	23
4.2 PROTECCIÓN DE LA BIOTA ACUÁTICA	23
4.2.1 <i>Introducción</i>	23
4.2.2 <i>Descripción de la metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática (NGPBA)</i>	26
a) Especificación del parámetro de calidad para el que se establece el NGPBA	27
b) Selección de datos y especies a utilizar para la derivación del NGPBA para un parámetro de calidad	28
c) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos para ocho familias de animales	30
c1) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad crónica provenientes de estudios monoespecíficos, no estando la toxicidad del parámetro de calidad asociada a las características del agua: ..	32
c2) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad crónica provenientes de estudios monoespecíficos, estando la toxicidad del parámetro de calidad asociada a alguna característica del agua	33
c3) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad provenientes de estudios monoespecíficos utilizando relaciones de toxicidad aguda/crónica (ACR)	35

El Agua: su calidad, sus usos

c4) Identificación del Valor Final para Plantas (FPV) y comparación del mismo con FCV.....	36
c5) Especificación del NGPBA	36
d) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos para ocho familias de vegetales	37
e) Derivación del NGPBA cuando se cuenta con datos para menos de ocho familias	37
f) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos de ecosistemas simplificados	37
g) Derivación del NGPBA mediante factores de extrapolación	37
4.3 METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RIEGO .	39
4.3.1 Introducción	39
a) Criterios sustentados por la Agencia de Protección Ambiental de E.E.U.U. (U.S.EPA).....	39
a1) Efectos sobre el crecimiento de las plantas:	39
a2) Tolerancia del cultivo a la salinidad:.....	40
a3) Efectos nutricionales:	40
a4) Efectos sobre suelos:.....	41
a5) Requerimientos específicos de calidad de agua para zonas áridas y semiáridas:	43
b) Criterios sustentados por el Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME)	49
4.3.2 Metodología para establecer niveles guía de calidad de agua para riego.....	50
a) Secuencia de operaciones para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua de riego.....	51
a1) Selección de datos fitotoxicológicos.....	51
a2) Cálculo de la concentración máxima aceptable en el agua de riego de una sustancia considerada	53
a3) Especificación del nivel guía para una sustancia considerada en agua de riego.....	59
b) Consideración de riesgos para el suelo y el acuífero freático asociados al agua de riego	60
b1) Consideración de riesgos para el suelo	61
b2) Verificación de ausencia de impactos del agua de riego sobre el acuífero freático	62
4.4 METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA BEBIDA	
DE ESPECIES DE PRODUCCION ANIMAL	64
4.4.1 Introducción	64
4.4.2 Identificación de parámetros prioritarios de calidad de agua	65
4.4.3 Caracterización toxicológica de los parámetros prioritarios de calidad de agua	65
4.4.4 Derivación de niveles guía para parámetros prioritarios de calidad de agua de bebida para	
producción animal conformada por especies mamíferas.....	67
a) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral.....	67
b) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral como interino cuando no se cuenta con la información mínima especificada en 4.4.4. a)	70
c) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral cuando no existe la información mínima especificada en 4.4.4. b)	71
d) Derivación del nivel guía para un parámetro cancerígeno	71
4.4.5 Derivación de niveles guía para parámetros prioritarios de calidad de agua de bebida para	
producción animal conformada por especies aviarias.....	72
a) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral.....	72
b) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral como interino cuando no se cuenta con la información mínima especificada en 4.4.5.a)	72
c) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral cuando no existe la información mínima especificada en 4.4.5.b)	73
d) Derivación del nivel guía para un parámetro cancerígeno	73

El Agua: su calidad, sus usos

4.4.6	<i>Establecimiento de niveles guía para parámetros prioritarios de agua de bebida para producción animal con coexistencia de especies mamíferas y aviarias</i>	73
4.5	METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RECREACION HUMANA	73
4.5.1	<i>Introducción</i>	73
4.5.2	<i>Selección de los parámetros prioritarios de calidad de agua para el uso recreativo</i>	74
	a) Parámetros de calidad con significación para la salud humana	75
	b) Parámetros de calidad con significación estética	78
4.5.3	<i>Análisis de criterios básicos biológicos, fisicoquímicos y estéticos relacionados con el uso recreacional de las aguas</i>	78
	a) Con respecto a los parámetros biológicos:	78
	b) Con respecto a los parámetros fisicoquímicos:	78
	c) Con respecto a los parámetros con significación estética:	78
4.5.4	<i>Análisis de otros aspectos relacionados con la aptitud de las aguas para uso recreacional</i>	79
4.5.5	<i>Especificación de los niveles guía de calidad de agua ambiente para uso recreacional</i>	79
	a) Parámetros biológicos	79
	b) Parámetros fisicoquímicos	79
	c) Parámetros con significación estética	79
5.	ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS NIVELES GUÍA DE CALIDAD DEL AGUA SEGÚN SU USO	80
5.1	EL AGUA DE BEBIDA O AGUA POTABLE	80
5.1.1	<i>La calidad del agua potable en el mundo</i>	81
5.1.2	<i>La calidad del agua potable en nuestro país</i>	82
5.1.3	<i>Tecnologías disponibles y aplicables para la potabilización del agua en el país</i>	82
5.2	OTROS USOS	85
5.2.1	<i>Estudios comparativo de valores guía para distintos usos</i>	85
5.2.2	<i>El caso particular del MERCOSUR</i>	92
6.	HACIA DONDE SE DIRIGE LA ARGENTINA EN MATERIA DE CALIDAD DE AGUA	100
6.1	AGUA POTABLE	100
6.2	OTROS USOS	100
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
	ANEXO I - LAS SUSTANCIAS PRESENTES EN EL AGUA	106
	ANEXO II – FICHAS RESUMEN PARA LAS SUSTANCIAS PRESENTES EN EL AGUA	141
	ANEXO III – VALORES GUIA DE CALIDAD DE AGUA POTABLE EN ALGUNOS PAISES	168
8.	ACRÓNIMOS	196
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
10.	FE DE ERRATAS E INFORMACION COMPLEMENTARIA	199

Agradecimientos

Deseo agradecer fundamentalmente el apoyo y dedicación de la Dra. Inge Thiel, ya que de otro modo no hubiera sido posible alcanzar los objetivos planteados.

Asimismo agradezco a mi familia que supieron contenerme en cada momento de desazón y me dio la energía para continuar.

1. Introducción

Una afirmación trascendental de la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha sido la manifestación de que “el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica o social”.

Para la OMS la salud es un “estado de completo bienestar físico, mental y social” quedando fijado el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario o de recurso a su vida.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe esa armonía entre el hombre y su medio ambiente. Se requiere en consecuencia luchar contra ella para recuperar el equilibrio necesario.

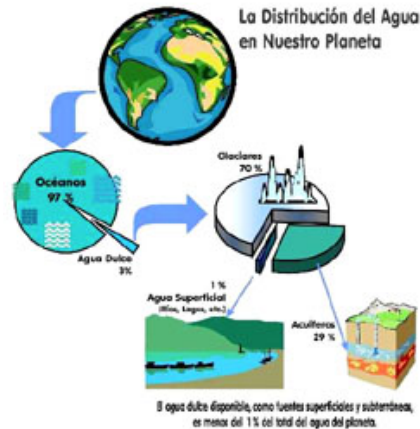
El agua es un recurso natural que se encuentra como una parte importante en cuanto a su proporción en la naturaleza, y que es afectada en sus constituyentes por las modificaciones derivadas de efectos como ser el cambio climático global. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos tanto animales como vegetales, y está presente en muchos minerales.

Apropiadamente se la denomina "el solvente universal" y es un raro caso de sustancia que está presente en nuestro entorno, en los tres estados físicos: gas, líquido y sólido.

Por estas razones y por muchas más aún, existen innumerables obras de todo tipo sobre ella. Hay bibliotecas enteras dedicadas al agua conteniendo manuales, documentos, trabajos técnicos, cartillas, etc.

Lo que a continuación se presenta, son algunos datos genéricos sobre el agua, sobre sus características y sus usos. ¹

DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA TIERRA



En la Tierra hay 1.500 km^3 de agua

- 97% está en los mares y océanos
- 2% está en los glaciares y zonas polares
- 0.06% está en los ríos y lagos
- 0.54 % está en las aguas subterráneas

Total de agua dulce en la Tierra $39 \text{ millones de km}^3$

Sólo el 0.12% del agua de la Tierra es fácilmente potabilizada.

DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE AGUA DULCE

De los $39 \text{ millones de km}^3$ de agua dulce:

- $27.3 \text{ millones de km}^3$ se encuentran en estado sólido en los casquetes polares. Aún cuando son de difícil acceso, constituyen las grandes reservas de agua dulce en el mundo.

El Agua: su calidad, sus usos

- 11.3 millones de km³ corresponden a aguas subterráneas.
- 0.4 millones de km³ a aguas superficiales.

LA CRISIS DEL AGUA EN EL TERCER MILENIO

Los problemas resultantes de las deficiencias de saneamiento básico (agua potable, remoción sanitaria y basura) ya son bien visibles, bastando observar las siguientes estadísticas en los países pobres y en desarrollo:

La pobreza, combinada con los bajos índices de saneamiento básico, es responsable por la muerte de un niño cada 10 segundos. Hoy mueren 10 millones de personas/año (la mitad con menos de 18 años) por causa de dolencias que serían evitadas si el agua fuese tratada.

25% de la población de los países en desarrollo no tienen acceso al agua potable y mucho menos a la red de alcantarillado.

80% de las dolencias y 33% de las muertes son debidas a la crisis de agua potable.

65% de las admisiones de los hospitales y 80% de las consultas médicas son motivadas por enfermedades de transmisión hídrica.

En los países en desarrollo (áreas urbanas) 82.5% tienen acceso a redes de agua y 63.1% a redes de alcantarillado, pero el 70% de los pobres no tienen agua tratada y 80% están sin redes cloacales.

En 1996, la demanda mundial por agua era de 5,692 km³/año contra una oferta de 3,745 km³/año (aprovechamiento del potencial viable estimado en 14,000 km³/año).

La oferta hídrica mundial sólo atiende a cerca de 66% de la demanda de los usos múltiples.

EL HOMBRE PERTURBA EL CICLO DEL AGUA

Mientras la población se cuadruplicó en un siglo, el consumo de agua se multiplicó por 9 y los consumos industriales por 40. La cantidad de agua en la tierra es limitada, y, sobre todo, mal repartida en el tiempo y en el espacio. Por ello, el hombre está condenado a almacenar, bombear, reciclar o desalinizar cantidades cada vez mayores de agua.

Es por todo lo enunciado que es importante y de vital importancia que estos datos se difundan y que cada ser humano desde el lugar que le compete, sume conocimientos, ayude a su divulgación, y ese espíritu es el que hoy inspira la realización de este trabajo y que humildemente quisiera que sirva para mejorar la calidad de vida de aunque sea uno y solamente uno de mis coterráneos, entendiéndolo por ello un ser viviente que comparte conmigo este bendito planeta Tierra.

2. Objetivos

El presente trabajo es fruto de una cuidadosa y prolongada investigación de muchas fuentes disponible, sobre el tema de agua y su calidad.

A partir de una primer revisión del tema, surgió la impresión sobre las superposiciones, o indeterminaciones en la normativa existente, lo que ha motivado la investigación y para lo que se ha recurrido a las siguientes fuentes:

- ❖ Información disponible en Internet, que en especial corresponde a las páginas de los distintos organismos e instituciones nacionales o internacionales entre los que podemos mencionar el Instituto Nacional del Agua y el Ambiente (INA), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CePIS), United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA), Fundación Argentina de Recursos Naturales (FARN).
- ❖ Bibliografía relativa al tema en especial en lo concerniente a los efectos de las distintas sustancias, como por ejemplo los Criterios relativos a la salud y otra Información de base de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- ❖ Fundamentos de las Guías de elaboración de Proyectos de Agua Potable del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSa).
- ❖ Entrevistas con expertos en el tema entre los que podemos incluir a la Lic. Nora Mendiburo del Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFESS) y la Dra. Alicia Fernández Cirelli del Comité Académico de Aguas del Grupo Montevideo.

A partir de esta búsqueda, se han fijado los objetivos a lograr con el estudio y que a continuación se detallan.

- Estudio de los avances científicos sobre los efectos de los diferentes compuestos orgánicos, inorgánicos, bacteriológicos etc. de posible presencia en el agua, sobre la salud y desarrollo de los distintos seres vivos, incluidos flora y fauna.
- Evaluación de los criterios existentes para la clasificación y definición de normativas de calidad de agua.

El Agua: su calidad, sus usos

- Análisis comparativo de los estándares de calidad del agua de bebida y demás usos en los distintos países del mundo.
- Recopilación de las tecnologías de tratamiento existentes para la potabilización del agua y las limitantes a su utilización. Experiencias en el mundo.
- Investigación de los avances en la materia en el país.

3. Las sustancias presentes en el agua: sus efectos en la salud

Se analizan en este punto los efectos que producen las distintas sustancias que pueden presentarse en el agua tanto natural, como tratada, sobre la salud humana, vegetal y animal.

Para ello se ha recurrido a la información recopilada por el ENOHSa² y la OPS³.

Se realiza un resumen de las posibles consecuencias que las diversas sustancias pueden presentar y para ello es importante considerar que los efectos y las limitaciones que se imponen pueden surgir a partir de diferentes consideraciones:

- Algunos valores límites se establecen meramente por temas estéticos, que hacen al color al olor y al sabor que pueden producir el rechazo de quien la consume.
- Otros se establecen por interferir con el tratamiento de las aguas, ya que muchas sustancias dificultan en especial la desinfección.
- La mayoría se determinan por la influencia que la presencia del compuesto puede ejercer sobre la salud.

En referencia a este último punto las enfermedades que pueden tener origen en el agua de bebida, son las siguientes:

- Efectos gastrointestinales, irritación gástrica, diarreas
- Efectos tóxicos, trastornos neurotóxicos
- Afecciones renales
- Cirrosis
- Fluorosis dental y esquelética
- Efectos cancerígenos o aparición de tumores
- Metahemoglobinemia

El Agua: su calidad, sus usos

Los efectos más frecuentes corresponden a los gastrointestinales.

En la mayoría de los casos los estudios se enfocan a la posibilidad que tiene la sustancia de desarrollar efectos cancerígenos.

Para que la comprensión de este punto no resulte árida se incorporó el Anexo I, en el cual se describen para los distintos compuestos sus efectos y paralelamente se elaboraron fichas resumen que rápidamente permiten conocer los principales datos de cada una de ellas (Anexo II).

Sin embargo, no debemos perder de vista la importancia de conocer los criterios de clasificación de las sustancias respecto de su potencial cancerígeno y por tanto a continuación se presentan los lineamientos sobre el tema a partir de criterios establecidos por la Internacional Agency for Research on Cancer (IARC).

La evaluación de la carcinogenicidad potencial de las sustancias químicas se basa, por lo general, en estudios a largo plazo realizados con animales; a veces se dispone de información sobre la carcinogenicidad para los seres humanos, procedente en su mayor parte de estudios sobre la exposición ocupacional. Sobre la base de pruebas disponibles, el IARC categorizó las sustancias químicas con respecto a su riesgo potencial cancerígeno en los siguientes grupos:

GRUPO 1. El agente es cancerígeno para los seres humanos

Esta categoría se utiliza cuando existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos. Excepcionalmente, un agente puede ser incluido en esta categoría cuando los datos referentes a seres humanos no llegan a ser suficientes, pero existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad en experiencias en animales y elementos de juicios sólidos que indican que en los seres humanos expuestos, el agente actúa a través de un mecanismo de carcinogenicidad pertinente.

GRUPO 2.

Esta categoría comprende agentes respecto de los cuales, en un extremo, las pruebas de la carcinogenicidad para los seres humanos son casi suficientes y, en el otro extremo, no se dispone de datos sobre seres humanos pero hay pruebas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Los agentes pueden clasificarse en el grupo 2A (probablemente cancerígeno para los seres humanos) o en el grupo 2B (posiblemente

El Agua: su calidad, sus usos

cancerígeno para los seres humanos) sobre la base de los datos epidemiológicos y experimentales favorables a la carcinogenicidad y de otros datos pertinentes.

•**GRUPO 2A.** El agente es probablemente cancerígeno para los seres humanos Esta categoría se utiliza cuando existen pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los seres humanos y pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, se puede clasificar en esta categoría a un agente cuando se dispone de pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos y pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, así como de elementos de juicio sólidos que indican que, en la carcinogénesis, actúa un mecanismo que también existe en los seres humanos.

Excepcionalmente, puede clasificarse en esta categoría un agente únicamente sobre la base de pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los seres humanos.

•**GRUPO 2B.** El agente es posiblemente cancerígeno para los seres humanos Esta categoría comprende los agentes respecto de los cuales existen pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los seres humanos y pruebas que no llegan a ser suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. Puede utilizarse también cuando hay pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos pero pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los animales de experimentación. En algunos casos, pueden clasificarse en este grupo agentes respecto de los cuales existen pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos pero pruebas limitadas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación, junto con otros elementos de juicio pertinentes que corroboran las pruebas.

GRUPO 3. El agente no puede clasificarse sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos Esta categoría se utiliza sobre todo para los agentes respecto de los cuales las pruebas de la carcinogenicidad son insuficientes para los seres humanos e insuficientes o limitadas para los animales de experimentación.

Excepcionalmente, se pueden clasificar en esta categoría los agentes respecto de los cuales las pruebas de carcinogenicidad son insuficientes para los seres humanos pero suficientes para los animales de experimentación, cuando existen también elementos de juicio sólidos que indican que el mecanismo de acción cancerígena que actúa en los animales de experimentación no existe en los seres humanos.

El Agua: su calidad, sus usos

Se clasifican asimismo en esta categoría los agentes que no quedan incluidos en otro grupo.

GRUPO 4. El agente probablemente no es cancerígeno para los seres humanos

Esta categoría se utiliza sobre todo para los agentes respecto de los cuales las pruebas parecen indicar una falta de carcinogenicidad para los seres humanos y los animales de experimentación. En algunos casos, pueden clasificarse en este grupo los agentes respecto de los cuales se dispone de pruebas insuficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos y de pruebas que parecen indicar una falta de carcinogenicidad para los animales de experimentación, corroboradas en forma firme y consistente por una amplia gama de otros elementos de juicio pertinentes.

4. Como se establecen Niveles Guía de Calidad de Agua según su uso

Antes de evaluar los valores guía propiamente dicho, ya sea en nuestro país tanto como en el resto del mundo, es importante revisar las metodologías que llevan a la asignación de dichos valores.

Si bien existen múltiples opciones para cada tipo de usos del agua, se describen a continuación los lineamientos de las metodologías utilizadas para los Niveles Guía de Calidad en el estudio realizado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos y el Instituto Nacional del Agua.⁶

4.1 Fuentes de Provisión para Consumo Humano

4.1.1 Introducción

La metodología para la derivación de niveles guía de calidad de agua ambiente para fuente de provisión para consumo humano observa los siguientes lineamientos centrales:

- Identificación de parámetros prioritarios de calidad de agua en función de la evaluación de su ubicuidad real o potencial en los ambientes hídricos del territorio argentino y de su significación deletérea sobre la salud humana.
- Caracterización toxicológica de los parámetros prioritarios de calidad de agua y cálculo en base a la misma de niveles guía de calidad de agua de bebida dentro del marco conceptual delineado en Bases Metodológicas para el Establecimiento de Normas Locales de Calidad de Agua para Consumo Humano (Goransky y Natale, 1996).⁶
- Consideración del grado de remoción inherente a los parámetros prioritarios de calidad de agua asignable a las tecnologías de potabilización.

La observancia de estos lineamientos centrales determina el cumplimiento de una serie de fases que se desarrollan a continuación y se esquematizan en la Figura 1.1.

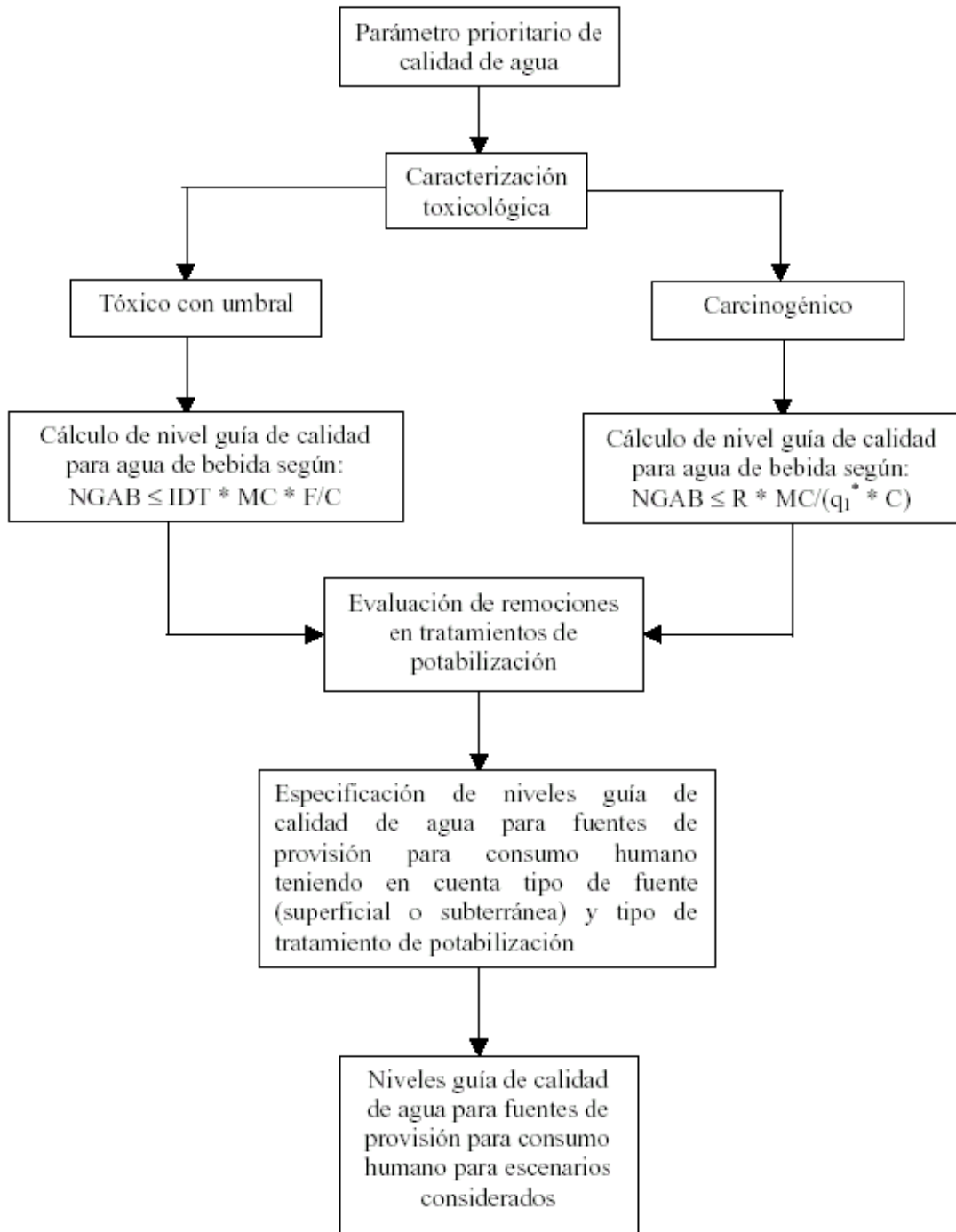


Figura 1.1-Secuencia operativa para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua para fuentes de provision para consumo humano.

4.1.2 Caracterización toxicológica de un parámetro prioritario de calidad de agua

Identificado un parámetro de calidad de agua como prioritario en base a su ubicuidad real o potencial en el agua ambiente y a su significación deletérea sobre la salud humana. Se consideran los efectos tóxicos, agudos y crónicos, y de naturaleza cancerígena, mutagénica y teratogénica, con el objeto de su caracterización como tóxico con umbral o como cancerígeno.

La caracterización antedicha conlleva una diferenciación de líneas de derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano, según se describe en 4.1.3 y 4.1.4.

4.1.3 Derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua cuando el mismo ha sido caracterizado como tóxico con umbral

En este caso, el nivel guía para el parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano se establece de acuerdo al siguiente algoritmo de cálculo:

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

donde:

NGAB: nivel guía para el parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano [mg o µg/L]

IDT: ingesta diaria tolerable inherente al parámetro prioritario de calidad [mg o µg/(kg. masa corporal x d)]

MC: masa corporal [kg.]

F: factor de asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida

C: consumo diario de agua por persona [L/d]

siendo:

$$\text{IDT} = \text{NOAEL} \text{ o } \text{LOAEL}/\text{FI}$$

y:

El Agua: su calidad, sus usos

NOAEL: acrónimo de la expresión en inglés que indica un nivel de exposición al parámetro de calidad sin efecto adverso observado [mg o µg/(kg. masa corporal x d)]

LOAEL: acrónimo de la expresión en inglés que indica el menor nivel de exposición al parámetro de calidad al cual un efecto adverso es observado [mg o µg/(kg. masa corporal d)]

FI: factor de incertidumbre

A los efectos del cálculo se observan las siguientes premisas:

a) Elección de valores de NOAEL o LOAEL y de FI para el cálculo de IDT:

Se consideran los valores de NOAEL o LOAEL disponibles provenientes de dos fuentes: la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1995) y la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. (U.S.EPA/IRIS) y los factores de incertidumbre aplicados por las mismas para el cálculo de la ingesta diaria tolerable. En el caso de contarse con más de un valor de IDT para un parámetro de calidad, se selecciona, conservadoramente, el menor de ellos para el cálculo.

b) Selección de la masa corporal (MC):

Se adopta a los efectos del cálculo una masa corporal igual a 60 kg, valor utilizado por la Organización Mundial de la Salud para una persona adulta en la elaboración de sus recomendaciones inherentes al agua de bebida (OMS, 1995).⁶

c) Selección del factor de asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida (F):

Se adopta el valor de F en consonancia con el criterio utilizado por las fuentes referenciales antes mencionadas. Las asignaciones efectuadas por la Organización Mundial de la Salud en este sentido están comprendidas usualmente en el rango 0,01-0,2 (OMS, 1995).⁶

d) Selección del consumo diario de agua por persona (C):

Se asume a los efectos del cálculo un consumo diario de agua por persona igual a 2 L/d, valor utilizado por la Organización Mundial de la Salud para una persona adulta en la elaboración de sus recomendaciones inherentes al agua de bebida (OMS, 1995).⁶

4.1.4 Derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua cuando el mismo ha sido caracterizado como cancerígeno

En este caso, el nivel guía para el parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano se establece de acuerdo al siguiente algoritmo de cálculo:

$$NGAB \leq R \times MC / (q_1^* \times C)$$

donde:

NGAB: nivel guía para el parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano [mg o µg/L]

R: riesgo individual, adimensional

MC: masa corporal [kg]

q_1^* : factor de potencia cancerígena o factor de pendiente [kg x d/mg o µg]

C: consumo diario de agua por persona [L/d]

La expresión anterior surge de asumir una relación lineal entre la concentración de exposición (dosis) y el riesgo individual (respuesta), dable en las bajas concentraciones ambientales esperables para los agentes cancerígenos.

A los efectos del cálculo se observan las siguientes premisas:

a) Establecimiento del riesgo individual aceptable:

Entendiéndose por riesgo individual (R) la probabilidad adicional de que un individuo contraiga cáncer luego de consumir agua conteniendo una determinada concentración de una sustancia cancerígena durante el tiempo promedio de vida (70 años), y por riesgo poblacional anualizado (Rpa), el calculado según:

$$Rpa = R \times \text{Población expuesta}/70 \text{ [casos de cáncer/año]}$$

se adopta como riesgo individual máximo de cálculo el valor 10^{-5} (1 caso de cáncer cada 100000 habitantes). Este resulta un valor intermedio entre los niveles de riesgo individual que acotan la Línea B del Diagrama de Travis, llamada línea de riesgo mínimo (Travis et al., 1987) ⁶ : $R = 10^{-4}$ y $R \sim 10^{-6}$. El diagrama antedicho es utilizado para definir la aceptabilidad del riesgo asociado a la exposición a un cancerígeno en la metodología mencionada anteriormente en relación al establecimiento de normas locales de calidad de agua para consumo humano (Goransky y Natale, 1996). ⁶

El riesgo individual adoptado es coincidente con el genéricamente asumido por la Organización Mundial de la Salud para la elaboración de sus recomendaciones sobre calidad de agua de bebida (OMS, 1995). ⁶

b) Selección de la masa corporal (MC):

Se adopta el valor 60 kg, de acuerdo a lo expuesto en 4.1.3. b)

c) Selección del factor de potencia cancerígena (q_1^*):

Se consideran los q_1^* aportados por las fuentes referenciales ya citadas. En el caso de disponerse de más de un q_1^* para un parámetro de calidad, se selecciona, conservadoramente, el mayor de ellos a los efectos del cálculo.

d) Selección del consumo diario de agua por persona (C):

Se adopta el valor 2 L/d, de acuerdo a lo expuesto en 4.1.3. d)

4.1.5 Evaluación de la remoción inherente a un parámetro prioritario de calidad de agua en el tratamiento de potabilización

Se evalúa la incidencia de las tecnologías de tratamiento en la modificación del tenor del parámetro prioritario de calidad en el agua cruda. En este sentido, se tiene en cuenta la información disponible sobre remociones esperables para tal parámetro correspondiente a tratamientos de potabilización convencionales y especiales, ya sea para agua superficial como para agua subterránea.

4.1.6 Especificación de niveles guía para un parámetro prioritario de calidad de agua para fuentes de provisión para consumo humano.

Los niveles guía para un parámetro prioritario de calidad de agua para fuentes de provisión para consumo humano se especifican ajustando el nivel guía para el parámetro antedicho en el agua de bebida en base a la remoción esperable para el mismo en cada escenario considerado.

Para ello es aplicable la expresión siguiente:

$$NGFP_i = NGAB / (1 - E_{pot_i})$$

donde:

NGFP_i: nivel guía para el parámetro prioritario de calidad de agua en la fuente de provisión para consumo humano correspondiente al escenario i [mg o µg/L]

NGAB: nivel guía para el parámetro prioritario de calidad en el agua para consumo humano [mg o µg/L]

E_{pot_i}: remoción esperable para el parámetro prioritario en el escenario i, adimensional

De tal manera, para los escenarios considerados, que están determinados por el tipo de fuente (superficial o subterránea) y por el tratamiento de potabilización aplicado, resultan sendos niveles guía para el parámetro prioritario de calidad de agua.

Los niveles guía correspondientes a la fuente de provisión para consumo humano se refieren a la muestra de agua filtrada, asumiéndose para ello un criterio conservador en la asignación a cada tratamiento de la eficiencia de remoción de la fracción disuelta del parámetro de calidad y considerándose, por otra parte, una remoción prácticamente total de la fracción suspendida del mismo. En el caso particular de aguas subterráneas aptas para el consumo humano en forma directa o en que el mismo está condicionado a una desinfección, el nivel guía es referido a la muestra de agua sin filtrar.

4.1.7 Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano

En base a los niveles guía establecidos según lo expuesto a 4.1.6, se definen rangos de calidad correspondientes, respectivamente, a condiciones apropiadas, condicionadas e inapropiadas para el uso de las aguas superficiales y subterráneas como fuente de provisión para consumo humano.

4.2 Protección de la Biota Acuática

4.2.1 Introducción

La incorporación de sustancias en los sistemas acuáticos y la alteración de condiciones físicas son perturbaciones que suelen desencadenar una serie de complicadas reacciones químicas y bioquímicas que pueden llegar a alterar de manera significativa el funcionamiento de estos sistemas e inclusive llevarlos al colapso.

La definición de estrategias apropiadas de protección de los organismos acuáticos demanda la especificación de niveles guía de calidad de agua a tal efecto. Se entienden como tales las estimaciones numéricas realizadas a partir de datos experimentales correspondientes a los diversos parámetros químicos, físicos y biológicos que tienen por objetivo la protección de la biodiversidad e integridad del ecosistema.

La metodología para la derivación de los niveles guía de protección de la biota acuática (NGPBA) debe tener en cuenta que los ecosistemas acuáticos son entidades extremadamente complejas en las que factores químicos, físicos y biológicos interaccionan constantemente.

Esta complejidad hace que el efecto de la incorporación de una sustancia en un sistema acuático no pueda ser evaluado de manera simple, ya que al ingresar al sistema, aquella comienza a interactuar con los componentes del mismo. De esta manera, la sustancia puede reaccionar con algunos de los componentes químicos formando otras sustancias. A su vez, puede ser incorporada por los seres vivos, los cuales pueden acumularla o biotransformarla.

El Agua: su calidad, sus usos

Los procesos antes mencionados constituyen un esquema complejo de destrucción y/o diversificación de la sustancia incorporada. En adición a ello, las propiedades físicas y químicas de la sustancia pueden determinar que la misma:

- tienda a pasar del sistema acuático hacia la atmósfera
- quede en el sistema adherida a partículas suspendidas en la columna de agua o del sedimento
- sea fotodegradada
- se mantenga en la columna de agua en forma disuelta
- se incorpore a los tejidos de los seres vivos

Así, el destino y el impacto de la sustancia evaluada pueden ser muy distintos, dependiendo de:

- sus características químicas y físicas
- la dinámica hídrica del cuerpo de agua analizado
- las características físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua

Si bien la incorporación de una sustancia al medio acuático puede afectar significativamente a los organismos presentes, sólo constituye un factor adicional a la amplia gama de factores responsables de la presencia y estado de salud de las distintas especies que habitan un cuerpo de agua. Estos factores, de naturaleza biótica (acción de predadores y parásitos, enfermedades, etc.) y abiótica (temperatura, pH, dureza, etc.), en su mayoría actúan al mismo tiempo y de manera continua, determinando que los efectos sobre los ecosistemas acuáticos resulten de uno o más factores o de sus interacciones. De tal forma, la introducción de una sustancia en un ecosistema particular puede ser considerada de manera general como un disturbio más, dependiendo su efecto de la estabilidad, la resiliencia y la resistencia del ecosistema considerado.

En base a lo expuesto, determinar si los daños a la biota de un cuerpo de agua se deben total o parcialmente a la acción de una sustancia dada es un trabajo arduo y complejo que no siempre proporciona resultados satisfactorios e involucra el relevamiento de gran cantidad de variables y la interacción de varias disciplinas científicas. A esta situación se

El Agua: su calidad, sus usos

suma el hecho de que dada la gran cantidad de sustancias que son aportadas, es imposible realizar experimentos del alcance y la profundidad necesarios para poder evaluar detalladamente todos los efectos deletéreos de una especie química particular. Es así que se recurre a experiencias simplificadas para evaluar ciertos aspectos de la totalidad de los posibles impactos.

Usualmente, los niveles guía de calidad de agua son calculados a partir de datos provenientes de ensayos de laboratorio realizados con una única especie. Estos ensayos, pueden ser de corta duración (estudios de toxicidad aguda) y de larga duración (estudios de toxicidad crónica).

El establecimiento del nivel guía de calidad para protección de vida acuática correspondiente a una sustancia determinada depende de la información existente sobre la sensibilidad de determinadas especies frente a aquélla. En la actualidad, prácticamente no se dispone de información desarrollada en el país sobre efectos de las sustancias en organismos acuáticos. Esto implica que es necesario utilizar información sobre biota acuática generada en el extranjero, lo cual involucra una complejidad adicional.

La metodología a continuación descrita observa la aplicación de procedimientos aceptados internacionalmente con un sentido aplicado a las especies representativas y las características específicas de los cuerpos de agua de la Argentina.

En cuanto a los ecosistemas acuáticos se asume el criterio de máxima protección de los mismos, enfoque aplicado actualmente por los Estados Unidos de Norteamérica [(Stephan et al. 1985), Canadá (CCME 1991), Holanda (Ten Brink y Wousdtra 1991), Australia (Hart et al. 1993), Sudáfrica (MacKay 1995, Roux et al. 1996) y por la OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development) (OECD, 1992, 1995)]⁶. El criterio para la protección de un ecosistema determinado no puede ser establecido a partir de todas y cada una de las especies asociadas al mismo; la única manera posible es mediante la utilización de especies representativas de los diferentes grupos taxonómicos o mediante ecosistemas simplificados (microcosmos, mesocosmos y/o macrocosmos). Esto se basa en la asunción de que si ciertas especies, funciones o propiedades del ecosistema están protegidas, el resto de la biota o del ecosistema también lo estará.

El nivel guía de calidad para una sustancia hace referencia a su presencia máxima admisible en los cuerpos superficiales de agua del territorio nacional en general. El

mismo, con criterio conservador, se expresa como concentración de la sustancia en la muestra de agua sin filtrar. Condiciones particulares de determinados ámbitos hídricos podrían demandar mayores restricciones de calidad para la sustancia en cuestión que la inherente al nivel guía nacional. Asimismo, ciertos sistemas hídricos pueden presentar situaciones muy especiales en las cuales el nivel guía establecido para una sustancia dada no sea directamente aplicable. Estas situaciones pueden ejemplificarse con el río Bermejo, caracterizado por una alta ocurrencia natural de hierro no disuelto, y con el río Pilcomayo, donde por factores naturales y antrópicos se han registrado concentraciones elevadas de metales pesados asociados principalmente a material suspendido en la columna de agua. En ambos casos, la mayor parte de la sustancia no se encontraría biodisponible y, consecuentemente, se requeriría una consideración diferenciada del nivel guía nacional.

4.2.2 Descripción de la metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática (NGPBA)

La metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para protección de la biota acuática asume las siguientes premisas básicas:

- Dada la diferencia existente entre las propiedades fisicoquímicas de los ambientes de agua dulce y marina (Rainbow y Dallinger, 1993)⁶, los niveles guía de calidad de agua para protección de la biota acuática para dichos ambientes se derivan independientemente.
- Fundamentalmente se utilizan datos generados en condiciones de laboratorio, asumiéndose, por lo tanto, que los efectos observados en el laboratorio generalmente representan los correspondientes a la situación de campo en condiciones similares.
- La distribución de la sensibilidad, tanto de las especies como de los ecosistemas simplificados, es de un tipo semejante a la log-triangular. Cuando se utiliza información derivada de ecosistemas simplificados, se adopta como premisa la protección del 95% de los ecosistemas acuáticos del país. En cuanto al 5% restante se considera que éstos poseen características particulares que hacen necesaria la elaboración de criterios más restrictivos para los mismos. Si se utiliza información derivada de estudios monoespecíficos, se adopta como premisa el

El Agua: su calidad, sus usos

criterio de protección del 95 % de las especies, lo cual significa que tal porcentaje preserva la estructura y la función del ecosistema en tanto y en cuanto el 5 % restante no incluya especies claves, entendiéndose como tales las que tienen influencia directa sobre otras especies. El criterio antedicho interpreta que la eventual afectación de algunas especies no es relevante, ya que la función de las mismas puede ser reemplazada total o parcialmente por otras (Van Leeuwen, 1990; Stephan, 1985).⁶

- Para los casos en que no se dispone de la cantidad de datos necesaria, se tiene en cuenta la incertidumbre asociada a este hecho en la elaboración del nivel guía.
- Si bien la biodisponibilidad, duración de los ensayos y otros factores pueden tener efectos significativos sobre la toxicidad, se asume que las mayores diferencias en cuanto a esta última se originan en diversidades en cuanto a la sensibilidad entre especies.
- La selección del efecto que una sustancia tóxica ejerce sobre los organismos tiene una implicancia directa sobre la interpretación de los resultados de los ensayos. A los efectos de la derivación de los NGPBA la presente metodología da prioridad a los ensayos de toxicidad crónica sobre los ensayos de toxicidad aguda, dado que su objetivo es establecer pautas de calidad asociadas a exposición continua.

El esquema metodológico involucra una secuencia operativa cuyas fases se desarrollan a continuación:

a) Especificación del parámetro de calidad para el que se establece el NGPBA

La selección de parámetros de calidad de agua para los cuales se establecen niveles guía para la protección de la biota acuática, resulta de la evaluación de su ocurrencia a nivel local, regional y mundial y de su significación deletérea para los organismos acuáticos.

El NGPBA para un parámetro de calidad dado se establece, con criterio conservador, referido a la muestra de agua sin filtrar.

b) Selección de datos y especies a utilizar para la derivación del NGPBA para un parámetro de calidad

b1) Selección de datos

Cuando la derivación del NGPBA se asienta en datos originados en estudios a nivel ecosistema simplificado, es decir, estudios de micro, meso y macrocosmos, se deberá contar como mínimo con cinco datos de toxicidad que observen las siguientes premisas:

- Los datos deben provenir de experiencias realizadas por duplicado que incluyan, al menos, dos concentraciones de ensayo y un control.
- Una de las concentraciones ensayadas, como mínimo, debe diferir significativamente del control.

Cuando la derivación del NGPBA se asienta en información originada en estudios monoespecíficos, se sigue el método denominado de las ocho familias, que se basa en la utilización de datos de toxicidad correspondientes a, por lo menos, ocho familias diferentes de animales y una de algas o plantas vasculares, o, alternativamente, dependiendo de las características tóxicas del parámetro considerado, o, por lo menos ocho familias de algas o plantas vasculares acuáticas y una de animales acuáticos, observando los siguientes requerimientos:

a) Cuando se utilizan ocho familias de animales:

- Disponer de datos de toxicidad crónica para especies pertenecientes a por lo menos ocho familias diferentes, que deben incluir: dos familias de la clase *Osteichthyes*, siendo una de ellas la *Salmonidae*, una familia del phylum *Chordata*, una familia de crustáceos planctónicos y otra de crustáceos bentónicos, una familia de insectos, una familia perteneciente a los phyla *Rotifera*, *Annelida* o *Mollusca* y otra familia.
- Disponer de datos de toxicidad para al menos una especie de alga o macrófita.

b) Cuando se utilizan ocho familias de vegetales:

- Disponer de datos de toxicidad crónica para especies pertenecientes a por lo menos ocho familias diferentes, incluyendo, al menos, dos datos de algas planctónicas y uno de plantas vasculares.
- Disponer de datos de toxicidad para al menos tres especies de animales, dos correspondientes a dos familias de peces y uno a la familia *Daphnidae*.

c) Los datos de toxicidad deben provenir de estudios que hayan observado las siguientes premisas:

- Inclusión de controles.
- Realización de experiencias en condiciones de ensayo que permitan registrar ausencia de efecto, 100 % de respuesta y, por lo menos, dos respuestas parciales correspondientes a los estadios de vida más sensibles de las especies.
- Determinación de concentraciones con una réplica, como mínimo.
- Medición de características del agua tales como pH, dureza y temperatura (condición preferencial para elección de datos).
- Medición de la concentración del tóxico ensayado a lo largo de la experiencia cuando haya posibilidad de variación de aquélla por las características químicas o físicas de la sustancia (condición preferencial para elección de datos).

b2) Selección de especies

Para la selección de especies, se procede según el siguiente esquema:

a) Se evalúa la disponibilidad de datos de ensayos de toxicidad realizados con especies locales.

b) Cuando no se dispone de datos correspondientes a especies locales se utilizan especies subrogantes, eligiéndose las mismas en base a su proximidad con las especies locales.

c) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos para ocho familias de animales

La línea central de esta derivación está constituida por el cálculo del Valor Crónico Final correspondiente al parámetro de calidad (FCV), entendiéndose como tal a aquél que describe la máxima condición de exposición continua que puede ser tolerada por la biota acuática observando el criterio de protección del 95 % de la misma.

El cálculo de FCV procede según las variantes que se desarrollan a continuación y se esquematizan en la Figura 2.1. ⁶

El Agua: su calidad, sus usos

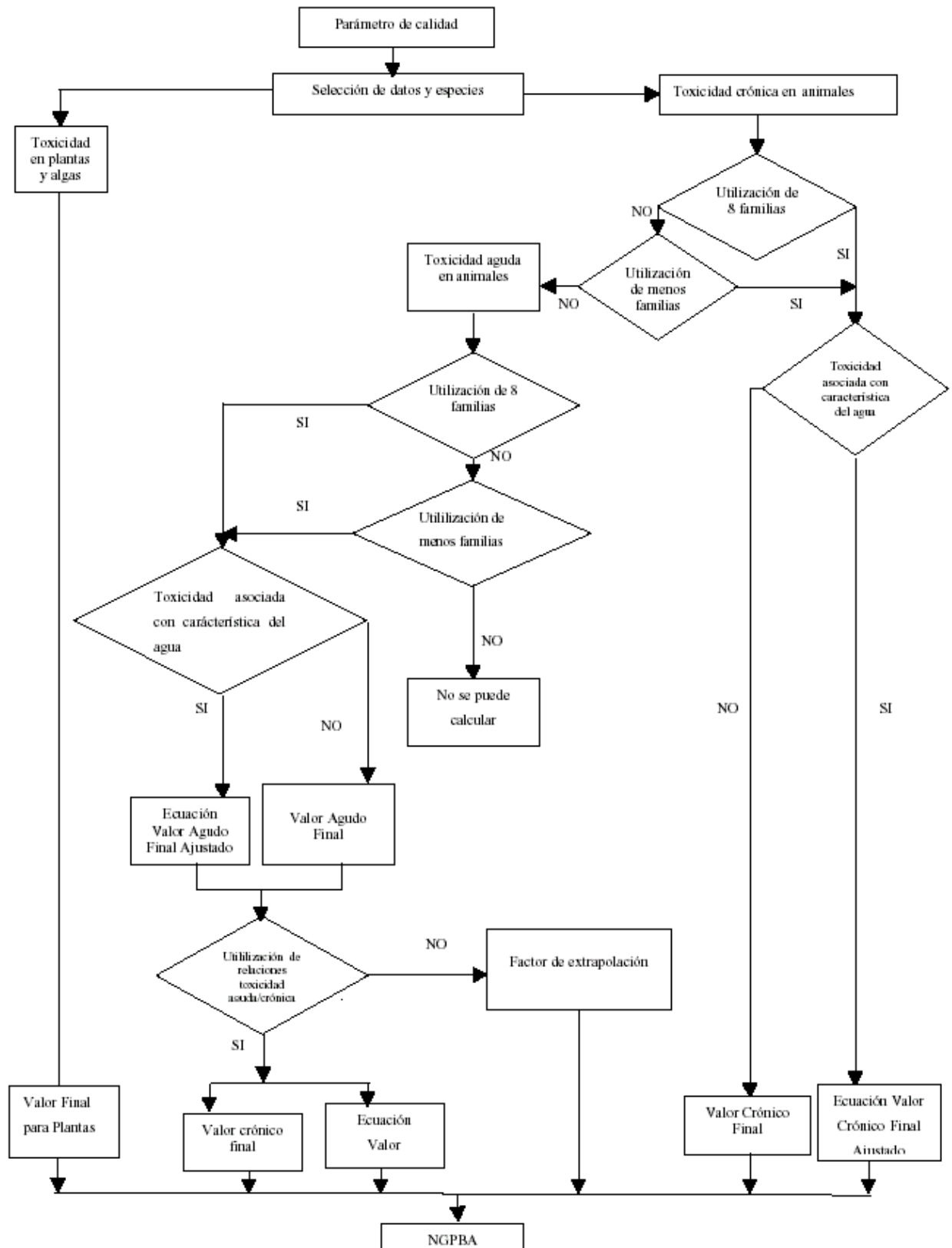


Figura 2.1-Secuencia operativa para derivar niveles guía de calidad de agua para protección de biota acuática (ngpba) cuando se utilizan datos para animales.

c1) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad crónica provenientes de estudios monoespecíficos, no estando la toxicidad del parámetro de calidad asociada a las características del agua:

En este caso, el cálculo de FCV se practica según la siguiente secuencia, que responde a los lineamientos de Stephan et al. (1985)⁶:

a) Se determina el Valor Crónico Medio del parámetro de calidad para cada especie (SMCV) mediante el cálculo de la media geométrica de los datos de toxicidad crónica respectivamente seleccionados. Cuando se presentan datos para una misma especie que difieren en más de un orden de magnitud con respecto al menor no son incluidos en el cálculo de SMCV.

b) Se determina el Valor Crónico Medio del parámetro de calidad para cada género (GMCV) mediante el cálculo de la media geométrica de los SMCV obtenidos. Cuando resultan valores de SMCV que difieren en más de un orden de magnitud con respecto al menor no son incluidos en el cálculo de GMCV.

c) Se confecciona un ranking de los GMCV determinados, asignándose números de orden (R) desde 1, para el menor, hasta N, para el mayor.

d) Se calcula la probabilidad acumulativa (PR) para cada GMCV determinado según:

$$PR = R/(N+1)$$

e) Se seleccionan los cuatro primeros GMCV del ranking antedicho.

f) A partir de los cuatro GMCV seleccionados y los valores de PR calculados para cada uno de los mismos, se efectúa un análisis de regresión lineal $\ln \text{GMCV vs } (PR)^{1/2}$ usando las siguientes expresiones para el cálculo del valor de la pendiente (b) y de la ordenada al origen (a):

$$b = \left[\frac{\sum_{i=1}^4 (\ln \text{GMCV})^2 - (\sum_{i=1}^4 \ln \text{GMCV})^2 / 4}{\sum_{i=1}^4 P_R - (\sum_{i=1}^4 P_R^{1/2})^2 / 4} \right]^{1/2}$$
$$a = (\sum_{i=1}^4 \ln \text{GMCV} - b \sum_{i=1}^4 P_R^{1/2}) / 4$$

El criterio utilizado para obtener la expresión para el cálculo de la pendiente es estrictamente empírico, obteniéndose así el valor de b más razonable.

g) Se calcula la constante k, a ser utilizada en el cálculo de FCV, mediante la siguiente expresión:

$$k = b (0,05)^{1/2} + a$$

h) Se calcula FCV según:

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

i) Si el SMCV correspondiente a una especie clave supera al FCV calculado, se utiliza el primero como FCV

c2) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad crónica provenientes de estudios monoespecíficos, estando la toxicidad del parámetro de calidad asociada a alguna característica del agua

En este caso, el cálculo de FCV observa los siguientes lineamientos:

a) Teniendo en consideración que la relación entre la toxicidad del parámetro de calidad y la dureza del agua es la asociación más documentada, se ilustra el procedimiento en base a esta variable, lo cual implica la transformación logarítmica de los datos de toxicidad y de dureza del agua. Para relaciones entre toxicidad y características del agua tales como pH, temperatura y salinidad, los datos no son transformados logarítmicamente o se aplica otro tipo de transformación.

El Agua: su calidad, sus usos

b) Para cada especie para la cual se dispone de dos o más valores comparables de toxicidad crónica para dos o más valores característicos de la dureza del agua, se realiza un análisis de regresión de los datos de toxicidad crónica vs. datos de dureza del agua, obteniéndose de este modo las pendientes correspondientes.

c) Se comparan los valores obtenidos para las pendientes de regresión mediante la utilización de la prueba de la homogeneidad de las pendientes (Zar, 1984). Si las mismas no difieren significativamente entre sí, para cada especie se normalizan los datos de toxicidad crónica utilizados dividiéndolos por la media geométrica de los mismos. Esta normalización se extiende a los datos de dureza considerados.

d) Utilizando la totalidad de los datos normalizados y transformados, se determina mediante el Modelo I de regresión la pendiente combinada (L).

e) Se adjuntan los datos de toxicidad crónica correspondientes a cada especie para un determinado valor Z de la dureza del agua mediante la siguiente expresión:

$$Y = \ln W - L (\ln X - \ln Z)$$

donde:

Y: dato de toxicidad crónica transformado ajustado para Z

W: dato de toxicidad crónica

L: valor de la pendiente combinada

X: dureza del agua correspondiente a W

Z: valor de la dureza al cual se ajustan los datos de toxicidad (por ejemplo: 50 mg CaCO₃/L)

De tal forma, resulta:

$$\text{Dato de toxicidad crónica ajustada para Z} = e^Y$$

El Agua: su calidad, sus usos

f) En base a los datos de toxicidad crónica ajustada para cada especie, siguiendo la secuencia de cálculo explicitada en 4.2.2 c1), se obtienen los correspondientes valores crónicos medios ajustados para cada especie (ASMCV) y género (AGMCV).

g) La ecuación final de toxicidad crónica que permite calcular el Valor Crónico Final Ajustado considerando la dureza del agua es la siguiente:

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

donde:

L: valor de la pendiente combinada

AFCV: Valor Crónico Final Ajustado para Z

h) Si el valor medio de toxicidad crónica ajustado para Z de una especie clave (SMCV ajustado para Z) es menor al AFCV calculado se utiliza el primero como AFCV.

c3) Cálculo del Valor Crónico Final basado en datos de toxicidad provenientes de estudios monoespecíficos utilizando relaciones de toxicidad aguda/crónica (ACR)

En el caso de no contar con el número de datos de toxicidad crónica requerido por el método de las ocho familias, FCV puede ser estimado en base a relaciones de toxicidad aguda/crónica (ACR). En este sentido, deben contarse, como mínimo, con relaciones correspondientes a un pez y a un invertebrado muy sensibles a la sustancia considerada. El procedimiento a seguir se desarrolla a continuación.

Cálculo para datos de toxicidad no asociados a las características del agua

a) Se seleccionan datos de toxicidad aguda y crónica observando los requerimientos descritos en la sección 4.2.2 b).

b) Para toxicidad aguda se utilizan datos correspondientes a ensayos de letalidad y efectos tales como inmovilidad y aletargamiento, según la especie.

c) Utilizando el mismo procedimiento descrito para FCV que en la sección 4.2.2 c), se calcula, a partir de los datos de toxicidad aguda, el Valor Agudo Final (FAV).

El Agua: su calidad, sus usos

d) En base a los datos de toxicidad crónica y aguda disponibles se practica la siguiente secuencia de cálculo:

d.1) Se calculan las ACR correspondientes a los respectivos pares de datos de toxicidad.

d.2) Se calcula la media geométrica de todas las ACR disponibles para cada especie (SMACR).

d.3) La Relación Final Toxicidad Aguda/Crónica (FACR) se obtiene mediante el cálculo de la media geométrica de las SMACR determinadas que no difieren en más de un orden de magnitud con respecto a la menor.

e) FCV se calcula dividiendo FAV por FACR.

f) Si el SMCV de una especie clave es menor al FCV calculado, en lugar de este último el SMCV antedicho es considerado como Valor Crónico Final.

Cálculo para datos de toxicidad asociados a las características del agua

Se aplica el procedimiento explicitado en ***Cálculo para datos de toxicidad no asociados a las características del agua*** ajustado a lo detallado en la sección 4.2.2 c2).

c4) Identificación del Valor Final para Plantas (FPV) y comparación del mismo con FCV

a) Se identifica entre los datos de toxicidad disponibles inherentes a algas y plantas vasculares el correspondiente a la especie más sensible, especificándose el mismo como Valor Final para Plantas (FPV).

b) Si FPV es menor que el FCV establecido, en lugar de este último se considera a FPV como Valor Crónico Final.

c5) Especificación del NGPBA

El nivel guía para la protección de la biota acuática correspondiente a un parámetro de calidad de agua se expresa de acuerdo a:

NGPBA = FCV, referido a la muestra de agua sin filtrar

d) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos para ocho familias de vegetales

La línea central de esta derivación esta constituida por el cálculo del Valor Crónico Final (FCV) correspondiente al parámetro de calidad utilizando el procedimiento descrito en la sección 4.2.2 c), pero utilizando datos de toxicidad correspondientes a vegetales. En este caso se identifica el Valor Final para Animales (AFV), que corresponde a la especie más sensible entre al menos tres especies, dos correspondientes a dos familias de peces y una a la familia de crustáceos *Daphnidae*.

e) Derivación del NGPBA cuando se cuenta con datos para menos de ocho familias

Cuando se cuenta con datos de toxicidad para menos de ocho familias de animales o vegetales, se evalúa la derivación del NGPBA a partir de dichos datos siguiendo las vías especificadas en las secciones 4.2.2 c) o 4.2.2 d), según corresponda. Tal derivación es procedente cuando los datos disponibles comprenden una razonable diversidad taxonómica y se incluyen especies muy sensibles al parámetro de calidad considerado.

f) Derivación del NGPBA cuando se utilizan datos de ecosistemas simplificados

En este caso, el Valor Crónico Final (FCV) se calcula utilizando el procedimiento descrito en la sección 4.2.2 c), reemplazando los valores correspondientes al Valor Crónico Medio para el género (GMCV) por los valores correspondientes a los estudios de los ecosistemas y aplicando la secuencia de cálculo descrita en la sección 4.2.2 c1) a partir del punto c, no correspondiendo en esta vía de derivación la identificación de FPV.

g) Derivación del NGPBA mediante factores de extrapolación

Caso a) Cuando se cuenta con suficientes datos de toxicidad aguda correspondientes a ensayos monoespecíficos como para calcular FAV utilizando el método de las ocho familias pero se carece de datos para calcular FACR, FCV se calcula dividiendo FAV por un factor de extrapolación adoptado en base a los rangos genéricos expuestos en la Tabla 2.1⁶ o establecido en forma ad hoc.

**TABLA 2.1 - FACTORES DE EXTRAPOLACION A UTILIZAR PARA DERIVAR NIVELES
 GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA PROTECCION DE LA BIOTA
 ACUATICA**

Información disponible a partir de la cual se extrapola		Factor de extrapolación
Ensayos monoespecíficos	Ensayos a nivel de ecosistemas simplificados	
Valor Final Agudo (FAV) obtenido a partir de datos que cumplen con los requisitos estipulados para el calculo del FAV.		2-10
Valor de toxicidad crónica más bajo para un grupo de especies que como mínimo comprende algas, crustáceos y peces.		10-20
Valor de toxicidad aguda más bajo para un grupo de especies que como mínimo comprende algas, crustáceos y peces .		20-100

**TABLA 2.1 - FACTORES DE EXTRAPOLACION A UTILIZAR PARA DERIVAR NIVELES
 GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA PROTECCION DE LA BIOTA
 ACUATICA (Cont.)**

Información disponible a partir de la cual se extrapola		Factor de extrapolación
Ensayos monoespecíficos	Ensayos a nivel de ecosistemas simplificados	
	Valor de toxicidad crónica más bajo para un grupo de tres estudios de micro o mesocosmos comprendiendo algas, crustaceos y peces.	2-5
	Valor de toxicidad crónica más bajo para un grupo de dos estudios de micro o mesocosmos incluyendo al menos dos grupos taxonómicos diferentes.	5-15

Caso b) Si se carece de información suficiente para derivar el NGPBA por las variantes hasta aquí descritas, se evalúa la realización de tal derivación dividiendo el dato de toxicidad más bajo disponible por un valor de extrapolación. En cuanto al valor de este último es aplicable lo expuesto en el Caso a.

4.3 Metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para riego

4.3.1 Introducción

Se pueden referir desarrollos de criterios y metodologías para la derivación de niveles guía y estándares de calidad de agua para irrigación de cultivos elaborados por agencias gubernamentales y universidades de diversos países. Se mencionarán, entre ellos, los sustentados por las autoridades ambientales de E.E.U.U. y Canadá.

a) Criterios sustentados por la Agencia de Protección Ambiental de E.E.U.U. (U.S.EPA)

En sus criterios para agua de irrigación, la U.S.EPA contempla diversos aspectos que son sucintamente expuestos a continuación.

a1) Efectos sobre el crecimiento de las plantas:

Las plantas pueden ser afectadas desfavorablemente tanto por condiciones de alta presión osmótica o por presencia de constituyentes fitotóxicos en el agua de irrigación . La presencia de constituyentes indeseables puede traducirse en:

- ✓ Supresión del crecimiento vegetativo
- ✓ Desarrollo reducido del fruto
- ✓ Calidad inadecuada del producto para el consumo
- ✓ Una combinación de estos efectos.

La presencia de sedimentos, plaguicidas o microorganismos patógenos en el agua de irrigación, que puede no influir específicamente sobre el crecimiento de la planta, puede afectar la aceptabilidad del producto. Otro aspecto a considerar es la presencia de sustancias en el agua de irrigación que aún no siendo adversas para los acumularse en ellos en niveles peligrosos para los animales o el hombre. Cuando se emplea riego por aspersión o inundación el efecto de la calidad del agua sobre cultivos pueden la planta es determinado por la composición de la solución del suelo (medio disponible para las raíces

El Agua: su calidad, sus usos

luego de que el agua y el suelo han entrado en contacto). El crecimiento de la planta puede ser afectado indirectamente a través de la influencia de la calidad del agua en el suelo. Por ejemplo, la adsorción de sodio del agua por el suelo resulta en la dispersión de la fracción arcillosa, disminuyendo la permeabilidad del suelo e impidiendo la germinación de la semilla. Los suelos irrigados con aguas salinas tienden a poseer altas tasas de infiltración.

a2) Tolerancia del cultivo a la salinidad:

El efecto de la salinidad o de la concentración de sólidos disueltos totales sobre la presión osmótica de la solución del suelo es una de las consideraciones más importantes relativas a la calidad del agua. La capacidad de la planta de extraer agua del suelo es determinada por la expresión:

$$STS = SM + SS$$

donde:

STS: succión total del suelo

SM: succión de la matriz (atracción física del agua por el suelo)

SS: succión del soluto (presión osmótica del agua del suelo)

La succión total del suelo representa la fuerza con la que se retiene el agua en el suelo, impidiendo la toma por la planta.

La salinidad del agua de riego puede expresarse en términos de la conductividad eléctrica (CE) y la del suelo por la conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe). Bernstein dio valores de CEe relacionados con 10 %, 25 % y 50 % de decrecimiento en el rendimiento de cultivos (cereales, oleaginosas, forrajeras y hortalizas). Estos datos indican que CEe comprendidos en el rango 8-10 mmhos/cm producen una disminución de 10 a 50 % en el rendimiento para la mayoría de los cultivos de una manera aproximadamente lineal (U.S.EPA, 1973).

a3) Efectos nutricionales:

Entre los parámetros de calidad de agua de riego que pueden tener efectos nutricionales sobre los cultivos cabe citar: temperatura, cloruros, carbonatos ácidos, sodio y nitratos. En 1972, la U.S. EPA sólo daba recomendaciones para el sodio por la posibilidad de afectar

tanto al cultivo como al suelo (U.S.EPA, 1973). Bernstein señala que aguas de riego con valores de relación de adsorción de sodio (RAS) de 4-8 pueden afectar a plantas sensibles al sodio (U.S.EPA, 1973).

a4) Efectos sobre suelos:

Peligro sódico:

El sodio en el agua de irrigación puede incrementar la presión osmótica en la solución del suelo y afectar específicamente a los frutales. Genera problemas en la estructura del suelo y altera la tasa de infiltración. Cuando la cantidad de sodio adsorbido excede a 10-15 % del total de cationes en el complejo de intercambio del suelo, la arcilla se dispersa y disminuye la permeabilidad.

Para estimar el grado en que el sodio del agua de irrigación será adsorbido por el suelo, el Laboratorio de Salinidad de E.E.U.U. propuso la relación de adsorción de sodio (RAS) (U.S.EPA, 1973):

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2}$$

que vincula las concentraciones iónicas de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en el agua de irrigación, expresadas en mequivalentes/L.

RAS puede vincularse con la cantidad de cationes intercambiables del suelo, la que se denomina porcentaje de sodio intercambiable del suelo (PSI). La ecuación para predecir PSI a partir de RAS, de origen empírico, es:

$$\text{PSI} = (100 a + b \text{RAS}) / (1 + a + b \text{RAS})$$

donde:

a (ordenada al origen que representa el error experimental): (-0,06) – 0,01

b (pendiente de la curva de regresión): 0,014 - 0,016

Para cultivos en general, dependiendo del tipo de arcilla, de la concentración de electrolitos en el agua y de otras variables, usualmente se considera tolerable una RAS comprendida entre 8 y 18. Para frutales sensibles, el valor de RAS tolerable se encuentra próximo a 4

(U.S.EPA, 1973).

Valores de PSI comprendidos entre 10 y 15 % se consideran excesivos si hay arcillas de tipo montmorillonita. Sin embargo, PSI comprendidos entre 60 y 70 % fueron satisfactorios para cultivos de alfalfa, algodón y aceitunas en suelos del Valle de San Joaquín California, E.E.U.U.) (U.S.EPA, 1973).

La predicción de los niveles de equilibrio de PSI a partir de los niveles de RAS del agua de riego es complicada debido a que el contenido de sales se concentra en la solución del suelo.

Dado que la RAS aumenta en proporción a la raíz cuadrada de las concentraciones de calcio y magnesio, la U.S.EPA emplea una RAS de 2-3 veces la correspondiente al agua de riego a los fines de estimar el peligro (U.S.EPA, 1973).

Demanda bioquímica de oxígeno y aeración del suelo:

Dada la necesidad de disponibilidad de oxígeno para la planta, se requiere que el agua de riego no posea alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), ni alta demanda química de oxígeno (DQO). Además de los efectos negativos sobre el cultivo por deficiencia de oxígeno, la reducción de elementos tales como hierro y manganeso a formas divalentes más solubles puede crear condiciones tóxicas. No obstante lo expuesto, la U.S.EPA no ha recomendado guías para DBO y DQO en el agua de riego.

Acidez y alcalinidad:

Dado que el suelo posee un pH regulado, éste puede ser solamente afectado por niveles extremos de pH en el agua de riego. Los efectos de la acidez y la alcalinidad en el agua de riego sobre el suelo y el crecimiento de las plantas son diversos. Entre ellos puede mencionarse el aumento de la movilidad de hierro, aluminio y manganeso desde el suelo y la generación de efectos tóxicos sobre los cultivos. La U.S.EPA cita el rango de pH: 4,5-9,0 como apropiado para el agua de riego en la medida que no sean detectados efectos adversos (U.S.EPA, 1973).

Sólidos suspendidos y coloidales:

La presencia de alta turbidez (coloides) y/o sólidos suspendidos en el agua de irrigación puede inhibir la infiltración del agua, reducir la aeración del suelo e impedir el desarrollo de la planta. Inversamente, aguas con alto contenido de limos pueden mejorar la textura, consistencia y capacidad de retener humedad en suelos arenosos. La U.S.EPA tampoco recomienda niveles guía para este parámetro de calidad de agua de riego.

a5) Requerimientos específicos de calidad de agua para zonas áridas y semiáridas:

Drenaje y requerimiento de percolado:

En toda agricultura de irrigación parte del agua de riego debe pasar a través del suelo para remover sales incorporadas al mismo por el agua; el volumen requerido de agua de drenaje está relacionado con la cantidad de sales en el agua de riego. Para estimar la fracción del agua de irrigación que debe percolar para controlar la salinidad, el Laboratorio de Salinidad de E.E.U.U. derivó la siguiente expresión aplicable a estado estacionario (U.S.EPA, 1973):

$$RP = D_{dw}/D_{iw} = CE_{iw}/CE_{dw}$$

donde:

RP: fracción del agua de irrigación requerida para percolar por debajo de la zona radicular

D_{dw} : agua de percolado [mm]

D_{iw} : agua de irrigación [mm]

CE_{iw} : conductividad eléctrica del agua de irrigación

CE_{dw} : conductividad eléctrica del agua percolando la zona radicular del cultivo

Bernstein⁶, por su parte, estableció la siguiente expresión de cálculo (U.S.EPA, 1973):

$$FP = 1 - (ET_c/I T_1)$$

donde:

El Agua: su calidad, sus usos

FP: fracción de agua aplicada percolante

E: tasa promedio de evapotranspiración durante el ciclo de riego, T_c

I: tasa de infiltración media durante el período de infiltración, T_1

Comparando la fracción del agua de irrigación requerida para percolar (RP) y la fracción de agua aplicada percolante (FP), es posible verificar si la condición de percolado es satisfactoria. No obstante, debe mencionarse que las expresiones mencionadas presentan limitaciones para su aplicación en la práctica real debido, por una parte, a las premisas en que se basan, y, por otra, a la variabilidad de los suelos y de las formas de riego (U.S.EPA, 1973).

Peligro de salinidad:

Para casos de riego de cultivos con un nivel estático del acuífero freático no alto, la U.S.EPA considera que concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua de irrigación comprendidas en el rango 500-5000 mg/L requieren algún tipo de consideración local. Por debajo de 500 mg/L no se reportan problemas y por arriba de 5000 mg/L el agua no se recomienda para riego (U.S.EPA, 1973).

De acuerdo a lo expuesto, la U.S.EPA clasifica las aguas para riego en zonas áridas y semiáridas teniendo en cuenta no sólo el contenido de sólidos disueltos totales (SDT) sino también los iones presentes a través de la conductividad eléctrica (CE), según se observa en la Tabla 3.1⁶ (U.S.EPA, 1973):

TABLA 3.1 – CLASIFICACION DE AGUAS DE RIEGO EN FUNCION DE LA SALINIDAD

Tipo de Agua	SDT [mg/l]	CE [mmhos/cm]
Aguas sin efectos detrimentales	500	0,75
Aguas que pueden ser perjudiciales para cultivos sensibles	500-1000	0,75-1,50
Aguas que pueden ser perjudiciales para muchos cultivos y que requieren prácticas de manejo cuidadosas	1000-2000	1,50-3,00
Aguas que pueden aplicarse para cultivos resistentes en suelos permeables con prácticas de manejo cuidadosas	2000-5000	3,00-7,50

Peligro de permeabilidad:

Los dos criterios utilizados en la evaluación del efecto de la salinidad del agua de irrigación sobre la permeabilidad del suelo son: a) RAS y su relación con PSI, y b) la presencia de carbonatos ácidos. Se ha reconocido que el peligro de permeabilidad de aguas de irrigación conteniendo carbonatos ácidos es mayor que el indicado por el valor de RAS. Bower y sus colaboradores⁶ realizaron elaboraciones relacionadas con el equilibrio carbonatos – carbonatos ácidos en el sistema suelo para evaluar el peligro de permeabilidad de este último. Así, modificaron el Índice de Langelier (PI) para el sistema antedicho (U.S.EPA, 1973). PI es calculable a partir de: $PI = 8,4 - pH_c$, donde 8,4 es el pH del suelo y pH_c es el pH de una suspensión de carbonato de calcio con las mismas concentraciones de calcio y carbonatos ácidos que la del agua de riego, calculándose pH_c para el sistema suelo según:

$$pH_c = pK_2 - pK_c + p(Ca + Mg) + pAlk$$

donde:

$pK_2 = -\log K_2$, siendo K_2 la constante correspondiente al equilibrio carbonatos ácidos-carbonatos: $HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$

$pK_c = -\log K_c$, siendo K_c la constante correspondiente al equilibrio de solubilidad del carbonato de calcio: $CaCO_3 \leftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$

$p(Ca + Mg) = -\log ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$

siendo:

$[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$: concentraciones molares de iones calcio y magnesio, respectivamente

$pAlk = -\log$ alcalinidad

Calculando PI con RAS y simplificando resulta:

$$RAS_{se} = 2 RAS_{iw} (1 + PI)$$

donde:

El Agua: su calidad, sus usos

RAS_{se}: corresponde al extracto saturado del suelo

RAS_{iw}: corresponde al agua de riego

La respuesta de cada suelo ante el incremento de RAS en cuanto a alteración de la permeabilidad es distinta. En general, la permeabilidad de los suelos comienza a verse disminuida a valores de RAS comprendidos en el rango 8-18. A RAS > 18, los efectos verificados son usualmente adversos (U.S.EPA, 1973).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en sus directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego, considera el peligro de reducción de infiltración (peligro de permeabilidad) estableciendo grados de restricción de uso en función de rangos de RAS vinculados a la conductividad eléctrica (CE) de dichas aguas, según se observa en la Tabla 3.2. ⁶

TABLA 3.2 – DIRECTRICES PARA INTERPRETAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS PARA EL RIEGO RESPECTO A PELIGRO DE REDUCCION DE INFILTRACION (FAO, 1987)

RAS	GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO DEL AGUA DE RIEGO EN FUNCIÓN DE LA RAS Y LA CE		
	NINGUNO	LIGERO A MODERADO	SEVERO
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA [mmhos/cm]		
0-3	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3-6	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6-12	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12-20	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20-40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

La FAO también considera la cuestión asociada a la presencia de carbonatos ácidos y a la estabilidad de los suelos a través de lo que se define como relación de adsorción de sodio corregida (RAS⁰). Esta puede calcularse mediante la siguiente expresión (FAO, 1987):

$$RAS^0 = Na / [(Ca^0 + Mg) / 2]^{1/2}$$

donde:

Na: contenido de sodio en el agua de riego, en miliequivalentes/L.

Ca⁰: concentración de calcio en el agua del suelo, contenida cerca de la superficie y que resulta del riego, en miliequivalentes/L.

Mg: contenido de magnesio en el agua del riego, en miliequivalentes/L.

El Agua: su calidad, sus usos

Ca⁰ es el contenido de calcio corregido respecto al contenido en el agua del riego. El mismo representa la concentración final de calcio que permanecería en solución en el suelo como resultado de aplicar un agua de determinada salinidad y contenido relativo de carbonatos ácidos/calcio (HCO₃⁻/Ca). Ca⁰ puede calcularse a través de los valores de las variables antedichas que se exponen en la Tabla 3.3.

TABLA 3.3 – CONCENTRACION DE CALCIO EN EL AGUA DEL SUELO CONTENIDA CERCA DE LA SUPERFICIE QUE RESULTARIA DE REGAR CON AGUAS DE DETERMINADO VALOR HCO₃⁻/Ca Y CONDUCTIVIDAD CE (Ca⁰), (FAO, 1987) (1) (2)

		Salinidad del agua aplicada expresada en términos de CE [mmhos/cm]											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
Valor de HCO ₃ ⁻ /Ca	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
	1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
	2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
	2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
	3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
	3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07	
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99	
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93	
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74	
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	
30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	

Notas:

- (1): Supone: a) una fuente de calcio proveniente de silicatos o caliza (Ca CO₃); b) no existe precipitación de magnesio; c) la presión relativa al CO₂ cerca de la superficie del suelo es 0,0007 atmósferas.
- (2): Ca⁰ y HCO₃⁻/Ca expresados en miliequivalentes/l.

A los efectos de evaluar el peligro de reducción de infiltración en relación a concentraciones relativamente altas de sodio o bajas de calcio en las aguas de riego, se aplica RAS⁰ para utilizar la Tabla 3.2.

Fitotoxicidad debida a trazas de elementos:

Las sustancias a niveles de trazas normalmente ocurren en aguas y suelo (solución) en concentraciones frecuentemente menores que 100 µg/L. Algunas pueden ser esenciales para el crecimiento de la planta mientras que otras, además de no ser esenciales, resultan tóxicas.

El Agua: su calidad, sus usos

Cuando una sustancia tóxica presente en el agua de riego es agregada al suelo, puede combinarse con él para disminuir la concentración de la forma tóxica e incrementar su almacenamiento en el suelo. Si el agregado de agua de irrigación conteniendo sustancias en niveles tóxicos continúa, la capacidad del suelo para reaccionar con las mismas será saturada.

Puede llegarse a un estado estacionario en el que la masa de la sustancia tóxica que abandona el estrato radicular del suelo con el agua de drenaje se hace igual a la masa agregada con el agua de irrigación sin ningún otro cambio en su concentración en el suelo. La sustancia tóxica se puede asimismo remover del estrato radicular del suelo a través de la acumulación en el cultivo y la posterior cosecha del mismo. En muchos casos, los suelos poseen altas capacidades para reaccionar con las sustancias tóxicas en concentraciones a niveles de trazas, por lo que se puede regar con agua conteniendo niveles tóxicos de aquéllas durante muchos años antes de alcanzarse el estado estacionario.

La U.S.EPA estableció un programa de trabajo para los elementos fitotóxicos (U.S.EPA, 1973) con el fin de determinar sus límites aceptables en el agua de riego, en el que resaltó tres cuestiones:

- Muchos son los factores que influyen sobre la captación y tolerancia de sustancias tóxicas por parte de las plantas. Los más importantes están vinculados a la variabilidad natural en la tolerancia de plantas y de sus consumidores, a las reacciones en el suelo y a las interacciones con nutrientes, particularmente en la planta misma.
- Los niveles de tolerancia para las sustancias fitotóxicas deben tener en cuenta las consideraciones antes señaladas respecto a salinidad, efectos nutricionales, peligro sódico, aeración del suelo, acidez-alcalinidad y sólidos suspendidos.
- Los límites aceptables para el agua de riego están sujetos a la limitada disponibilidad de información fitotoxicológica.

La U.S.EPA recomendó concentraciones máximas de sustancias en agua de riego teniendo en cuenta las concentraciones de las mismas en la solución del suelo, asumiendo estado estacionario y considerando los niveles en que tales sustancias mostraron efectos fitotóxicos (U.S.EPA, 1973). Se empleó una tasa de riego de 3 acre x

El Agua: su calidad, sus usos

pie/(acre x año) para calcular la captación anual de sustancias tóxicas susceptibles de incorporarse por riego sin efecto para el cultivo. Las correspondientes concentraciones máximas resultantes para un conjunto de 21 metales y no metales fueron asignadas para dos condiciones:

- Agua de riego usada continuamente en todo tipo de suelo.
- Agua de riego usada durante 20 años en suelos de textura fina de pH entre 6,0 y 8,5.

Ciertas características del suelo tales como pH, disponibilidad de fósforo y el coeficiente de partición de tóxicos (K_p) modifican la tolerancia de las plantas a los tóxicos presentes en el agua de riego. Así, el incremento del pH en el suelo disminuye la fitotoxicidad de compuestos de manganeso, cobalto, zinc, cobre y boro.

b) Criterios sustentados por el Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME)

CCME estableció un protocolo para derivar niveles guía de calidad de agua para riego en 1993 y lo actualizó en 1999 (CCME, 1999) ⁶, elaborando recomendaciones sobre concentraciones tolerables para aproximadamente 25 sustancias, no contemplando efectos de mezclas de tóxicos sino los efectos que los mismos causan en forma individual.

Anteriormente, los niveles guía canadienses para agua de irrigación, de carácter interino, se basaron en los criterios establecidos por la U.S.EPA (EPA, 1973).

Los principios asumidos por CCME en el mencionado protocolo son:

- Consideración de las sensibilidades de las especies cultivadas en Canadá.
- Establecimiento de un único valor como nivel guía para un parámetro de calidad de agua de riego basado en datos de fitotoxicidad para la especie más sensible, preferentemente referidos a estudios crónicos, si están disponibles.
- Consideración de tasas de irrigación máximas.

El Agua: su calidad, sus usos

- Referencia de los niveles guía a concentraciones totales del contaminante (sustancia original y productos de transformación en muestras no filtradas del agua de riego aplicada).

CCME establece como requerimiento mínimo para la derivación de niveles guía disponer de al menos tres estudios sobre tres o más especies de cereales, gramíneas o pasturas y de al menos tres estudios sobre cinco o más especies de otros cultivos que incluyan al menos dos especies de las siguientes familias: *Leguminosae* (no incluidas como pasturas), *Compositae*, *Cruciferae*, *Cucurbitaceae*, *Liliaceae*, *Solanaceae*, *Umbelliferae* y *Chenopodiaceae*, debiendo las especies consideradas ser cultivadas en Canadá. Se requiere que tanto para cereales, gramíneas y pasturas, como para el otro grupo de cultivos se cuente con al menos dos estudios que cubran el ciclo completo de la planta y consideren observaciones biológicamente relevantes. En el caso de no disponerse de los datos mínimos antes mencionados, CCME indica condiciones de derivación de niveles guía con carácter interino.

4.3.2 Metodología para establecer niveles guía de calidad de agua para riego

En base a los antecedentes presentados se ha considerado conveniente diseñar la metodología para establecer los niveles guía de calidad de agua para riego observando las siguientes premisas:

- Asumir como consideración central la fitotoxicidad de las sustancias presentes a niveles de trazas en el agua de riego sobre los cultivos más sensibles.
- Contemplar la diversidad presente y futura de cultivos regados.
- Contemplar la anisotropía de los suelos regados.
- Contemplar las diversas condiciones climáticas y geográficas del territorio argentino.
- Verificar que las concentraciones máximas aceptables de las sustancias tóxicas en el agua de riego no modifican la concentración preexistente en el agua subterránea freática.
- Verificar que las concentraciones totales de sales, sodio y acidez-alcalinidad en el agua de riego no alteran las características del suelo.

Estas premisas dan lugar a que se considere la información fitotoxicológica sobre especies cultivadas en la Argentina en general, no acotando el análisis a los cultivos actualmente bajo riego.

Se desarrollan a continuación los procedimientos para la derivación de niveles guía de calidad de agua para riego. Estos comprenden una secuencia de operaciones para establecer tales niveles y la ulterior verificación de la ausencia de riesgo asociado al agua de riego sobre el acuífero freático, según se ilustra en la Figura 3.1.⁶ . Se explicitan además pautas para la verificación de ausencia de riegos asociados al agua de riego sobre el suelo.

a) Secuencia de operaciones para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua de riego

a1) Selección de datos fitotoxicológicos

La consideración central de la fitotoxicidad de una sustancia presente en el agua de riego se traduce en el cálculo de una concentración máxima aceptable de dicha sustancia en el agua de riego que resulta protectora para la especie cultivada más sensible. Para tal cálculo se plantea como requerimiento contar con suficiente información fitotoxicológica relativa a las especies cultivadas en el territorio argentino, asignándose mayor relevancia a los estudios de irrigación de largo término, particularmente a aquéllos que cubren el período total de desarrollo de la planta y consideran efectos biológicamente significativos.

La concentración máxima aceptable es calculada con carácter pleno cuando se cuenta con información fitotoxicológica sobre por lo menos tres de las especies ubicadas en los doce primeros lugares del ranking productivo, que representan alrededor del 65 % de la superficie total cultivada y corresponden al Grupo Cereales para grano y Forrajeras anuales y perennes y al Grupo Oleaginosas e Industriales, según se exhibe en la Tabla 3.4, y con información fitotoxicológica sobre por lo menos cinco del resto de las especies cultivadas, debiendo como mínimo tres de ellas pertenecer al Grupo Hortalizas y Legumbres y al Grupo Frutales.

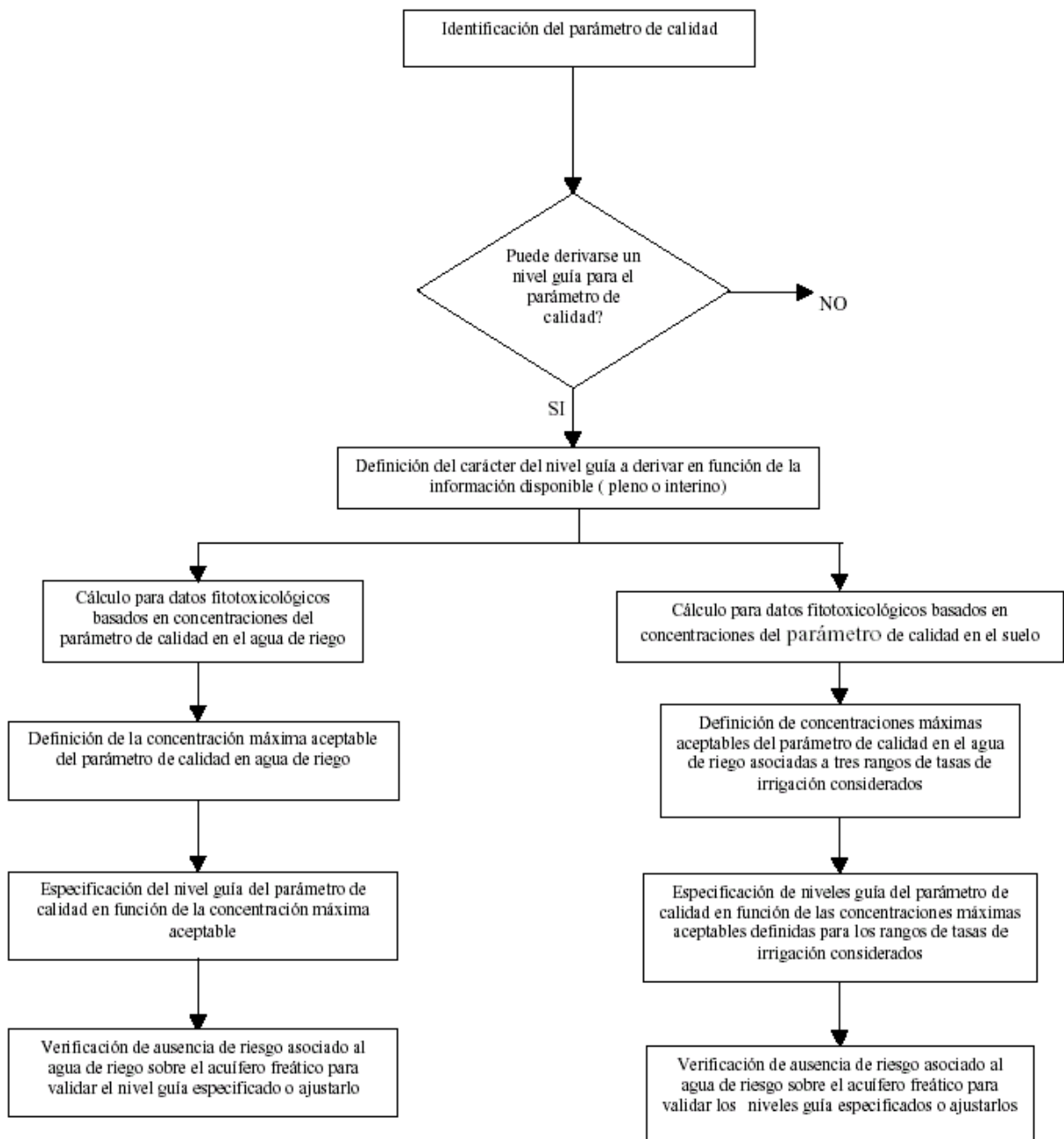


Figura 3.1- Secuencia operativa para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua para riego

TABLA 3.4 - RANKING DE CULTIVOS SEGUN LA INCIDENCIA EN LA SUPERFICIE CULTIVADA TOTAL

Nº de orden	Cultivo	Grupo	% Superficie Total Cultivada
1	Soja	Oleaginosas e Industriales	13,08
2	Trigo	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	11,97
3	Avena	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	10,16
4	Maíz	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	9,83
5	Sorgo	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	5,39
6	Alfalfa	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	4,00
7	Girasol	Oleaginosas e Industriales	3,40
8	Pasto llorón	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	2,71
9	Algodón	Oleaginosas e Industriales	1,37
10	Lino	Oleaginosas e Industriales	1,28
11	Centeno	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	1,18
12	Agropyro	Cereales para grano y Forrajas anuales y perennes	1,12

Nota:

Ranking elaborado en base a datos del Censo Nacional Agropecuario 1988 (INDEC, 1992)

De no contarse con suficiente información fitotoxicológica para definir la concentración máxima aceptable con carácter pleno, es procedente el establecimiento de tal concentración con carácter interino cuando se cuenta con información fitotoxicológica sobre por lo menos una de las especies ubicadas en los doce primeros lugares del ranking productivo, según se exhibe en la Tabla 3.4, y con información fitotoxicológica sobre por lo menos tres del resto de las especies cultivadas, debiendo como mínimo dos de ellas pertenecer al Grupo Hortalizas y Legumbres y al Grupo Frutales.

a2) Cálculo de la concentración máxima aceptable en el agua de riego de una sustancia considerada

Evaluada la información fitotoxicológica disponible, definida la posibilidad de determinación de la concentración máxima aceptable para un parámetro de calidad y establecido si su carácter es pleno o interino, se procede a calcular según se detalla a continuación.

Cálculo para datos fitotoxicológicos basados en concentraciones en el agua de riego:

Este cálculo es procedente para los casos donde los ensayos de fitotoxicidad vinculan concentraciones en el agua de riego con sus efectos sobre los cultivos.

El Agua: su calidad, sus usos

Para cada especie para la cual se dispone de datos de fitotoxicidad consistentes se calcula la concentración máxima aceptable de una sustancia considerada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{SMATC}_i = (\text{LOEC}_i \times \text{NOEC}_i)^{1/2} / \text{FI}$$

donde:

SMATC_i: concentración máxima aceptable de la sustancia en el agua de riego para la especie *i* [µg/L].

LOEC_i: mínima concentración de la sustancia en el agua de riego para la cual se registra un efecto para la especie *i* [µg/L].

NOEC_i: concentración de la sustancia en el agua de riego para la cual no se registra efecto para la especie *i* [µg/L].

FI: factor de incertidumbre.

Cuando no se conoce NOEC_i o ésta es igual a cero, a los efectos de calcular SMATC_i se hace la siguiente estimación:

$$\text{NOEC}_i = \text{LOEC}_i / 4,5$$

La expresión estimadora surge de evaluaciones estadísticas realizadas por Environment Canada sobre relaciones LOEC/NOEC para diversas plantas expuestas a un grupo de plaguicidas. 4,5 resulta el límite superior de un intervalo de confianza del 95 % (CCME, 1999).

El factor de incertidumbre es empleado para cubrir posibles errores de estimación de condiciones de protección atribuibles a diversas fuentes de imprecisión. El uso de un FI = 10 se considera recomendable en general, pudiendo aumentarse tal factor hasta 100 en situaciones particulares (CCME, 1999).⁶

Cuando no se conoce LOEC_i y se dispone de NOEC_i, el cálculo de SMATC_i se efectúa según la expresión siguiente:

$$SMATC_i = NOEC_i / FI$$

empleándose en general para FI un valor igual a 5.

La concentración máxima aceptable en agua de riego para la sustancia considerada queda definida por la menor SMATC_i calculada.

Cálculo para datos fitotoxicológicos basados en concentraciones en el suelo:

Este cálculo es procedente para los casos en que la información fitotoxicológica disponible proviene de ensayos que vinculan concentraciones totales en el suelo con efectos sobre los cultivos.

Para cada especie para la cual se dispone de datos de fitotoxicidad consistentes se calcula la concentración máxima aceptable en el suelo de una sustancia considerada de acuerdo a la siguiente expresión:

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

donde:

ASC_i: concentración máxima aceptable de la sustancia en el suelo para la especie i [mg/kg suelo].

LOEC_i: mínima concentración de la sustancia en el suelo para la cual se registra un efecto para la especie i [mg/kg suelo].

NOEC_i: concentración de la sustancia en el suelo para la cual no se registra efecto para la especie i [mg/kg suelo].

FI: factor de incertidumbre.

Para el cálculo de ASC_i son aplicables las consideraciones expuestas en 4.3.2 a2) en relación a la estimación de SMATC_i cuando no se conoce NOEC_i o cuando ésta es igual a cero y también cuando no se conoce LOEC_i y se dispone de NOEC_i; es asimismo aplicable lo comentado en 4.3.2 a2) respecto al factor de incertidumbre.

El Agua: su calidad, sus usos

Dado que los datos fitotoxicológicos están expresados sobre base seca (mg/kg sólidos), a los efectos de su aplicación para el cálculo de ASC_i y $SMATC_i$ se ajustan a condiciones de contenido de humedad a capacidad de campo según la expresión siguiente:

$$x \text{ [mg/kg suelo]} = x' \text{ [mg/kg sólidos]} / [1 + (\Theta_{Fc} \times d_w) / (1 - \Theta) \times dsól] \text{ [kg suelo/kg sólidos]}$$

donde:

x: $NOEC_i$ o $LOEC_i$ [mg/kg suelo]

x': $NOEC_i$ o $LOEC_i$ [mg/kg sólidos]

Θ_{Fc} : contenido de humedad a capacidad de campo [L agua/L suelo]

d_w : densidad del agua [kg agua/L agua]

Θ : porosidad [L fracción no sólida del suelo/L suelo]

$dsól$: densidad de sólidos del suelo [kg sólidos/L sólidos]

Empleándose para tal ajuste:

Θ_{Fc} : 0,29 L agua/L suelo

d_w : 1 kg agua/L agua

Θ : 0,47 L fracción no sólida del suelo/L suelo

$dsól$: 2,65 kg sólidos/L sólidos

resulta:

$$x \text{ [mg/kg suelo]} = x' \text{ [mg/kg sólidos]} / 1,21 \text{ [kg suelo/kg sólidos]}$$

Los valores de Θ_{Fc} y Θ antedichos corresponden a valores medios obtenidos para las doce clases texturales mediante el programa Calculadora de propiedades hidráulicas

El Agua: su calidad, sus usos

desarrollado a partir del trabajo de Saxton et al. (1986), que considera una $d_{sól} = 2,65$ kg sólidos/L sólidos. La concentración máxima aceptable de la sustancia en el agua de riego para la especie i se calcula de acuerdo a la expresión que se expone seguidamente, que es empleada en las estimaciones efectuadas por Environment Canada (CCME, 1999):

$$SMATC_i = ASC_i \times d_s \times V_s / T_r$$

donde:

SMATC_i: concentración máxima aceptable de la sustancia en el agua de riego para la especie i [$\mu\text{g/L}$]

ASC_i: concentración máxima aceptable de la sustancia en el suelo para la especie i [mg/kg suelo]

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

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

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

siendo:

$$V_s: h \text{ [m]} \times 104 \text{ [m}^2/\text{ha]}$$

donde:

h : profundidad típica de avance de la sustancia en el suelo [m]

Para h se utilizan datos empíricos de percolación de la sustancia en el suelo. En caso de no disponerse de ellos, se adopta el valor 0,15 m.

Para el cálculo de SMATC_i se adopta $d_s = 1300$ kg/ m^3 y se asumen los siguientes escenarios relativos a tasas de riego efectivas anuales:

- $T_r = 3500$ m^3/ha (contempla situaciones de riego hasta dicha tasa)
- $T_r = 7000$ m^3/ha (contempla situaciones de riego con $3500 \text{ m}^3/\text{ha} < T_r \leq 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$)
- $T_r = 12000$ m^3/ha (contempla situaciones de riego con $7000 \text{ m}^3/\text{ha} < T_r \leq 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$)

El Agua: su calidad, sus usos

Ello conlleva a la determinación de tres concentraciones máximas aceptables de la sustancia para la especie, asociadas a sendos escenarios de riego:

SMATC (1), para $T_r = 3500 \text{ m}^3/\text{ha}$

SMATC (2), para $T_r = 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$

SMATC (3), para $T_r = 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$

Para el caso particular de sustancias agroquímicas como los plaguicidas, para los cuales los datos fitotoxicológicos están referidos a las tasas de aplicación, en lugar de calcular ASC_i puede estimarse la tasa aceptable de aplicación del ingrediente activo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$AAR_i = (LOEAR_i \times NOEAR_i)^{1/2} / FI$$

donde:

AAR_i : tasa anual aceptable de aplicación del ingrediente activo sobre la especie i [kg ingrediente activo/ha]

$LOEAR_i$: tasa mínima de aplicación del ingrediente activo con efecto observado sobre la especie i [kg ingrediente activo/ha]

$NOEAR_i$: tasa de aplicación del ingrediente activo sin efecto observado sobre la especie i [kg ingrediente activo/ha]

FI : factor de incertidumbre

Para la estimación de AAR_i cuando no se conoce $NOEAR_i$ o ésta es igual a cero o bien cuando no se conoce $LOEAR_i$ y se dispone de $NOEAR_i$ son aplicables las consideraciones efectuadas para el cálculo de ASC_i con relación a $NOEC_i$ y $LOEC_i$. También son aplicables las consideraciones expuestas con anterioridad con relación al factor de incertidumbre.

La concentración máxima aceptable de la sustancia en el agua de riego para la especie i resulta en este caso de aplicar la expresión siguiente:

$$\text{SMATC}_i = \text{AAR}_i \times 10^6 / T_r$$

donde:

SMATC: concentración máxima aceptable de la sustancia en el agua de riego para la especie i [$\mu\text{g/L}$]

AAR: tasa anual aceptable de aplicación del ingrediente activo sobre la especie i [kg/ha]

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

Para el cálculo se asumen los escenarios potenciales planteados relativos a tasas de riego efectivas anuales. Ello conlleva la determinación de tres concentraciones máximas aceptables de la sustancia para la especie asociadas a sendos escenarios de riego.

Las concentraciones máximas aceptables para la sustancia considerada en agua de riego quedan definidas por las menores SMATC_i calculadas para los escenarios asumidos, que se identifican como:

SMATC (1'), para $T_r = 3500 \text{ m}^3/\text{ha}$

SMATC (2'), para $T_r = 7000 \text{ m}^3/\text{ha}$

SMATC (3'), para $T_r = 12000 \text{ m}^3/\text{ha}$

Esta modalidad de definición de las concentraciones máximas corresponde a los casos en que la única vía de exposición a la sustancia es el agua de riego.

a3) Especificación del nivel guía para una sustancia considerada en agua de riego

La especificación del nivel guía para una sustancia considerada depende de la forma en que se calcula la concentración máxima aceptable en el agua de riego, como se detalla a continuación.

Para datos fitotoxicológicos basados en concentraciones en el agua de riego:

En este caso el nivel guía para la sustancia en agua de riego (NGAR) queda especificado en función de la concentración máxima aceptable en el agua de riego, referido a la muestra de agua sin filtrar, según:

$$\text{NGAR} \leq (\text{menor SMATC}_i \text{ calculada})$$

Para datos fitotoxicológicos basados en concentraciones en el suelo:

En este caso resultan niveles guía diversos para la sustancia en agua de riego (NGAR) en función de las variantes planteadas para el cálculo de SMATC según se detalla a continuación.

Para cálculos basados en ASC_i se especifican los siguientes niveles guía para los escenarios de riego planteados, referidos a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGAR (1)} \leq \text{SMATC (1)} \text{ (para } T_r = 3500 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

$$\text{NGAR (2)} \leq \text{SMATC (2)} \text{ (para } T_r = 7000 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

$$\text{NGAR (3)} \leq \text{SMATC (3)} \text{ (para } T_r = 12000 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

Para cálculos basados en AAR_i se especifican los siguientes niveles guía para los escenarios de riego planteados, referidos a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGAR (1')} \leq \text{SMATC (1')} \text{ (para } T_r = 3500 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

$$\text{NGAR (2')} \leq \text{SMATC (2')} \text{ (para } T_r = 7000 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

$$\text{NGAR (3')} \leq \text{SMATC (3')} \text{ (para } T_r = 12000 \text{ m}^3/\text{ha)}$$

b) Consideración de riesgos para el suelo y el acuífero freático asociados al agua de riego

Esta consideración comprende evaluaciones inherentes a las condiciones de las áreas cultivadas bajo riego relacionadas con aspectos climáticos, la naturaleza de los suelos, la

El Agua: su calidad, sus usos

profundidad del acuífero freático, las características de los cultivos, las prácticas culturales y los sistemas de riego y drenaje.

Las evaluaciones antedichas deben asentarse en el análisis de información histórica de las diversas variables de riesgo involucradas y en determinaciones obtenidas en programas de seguimiento de tales variables.

b1) Consideración de riesgos para el suelo

Esta consideración comprende evaluaciones relativas a peligro de permeabilidad, alteración de la condición buffer del suelo y peligro de salinización, según se detalla a continuación.

Con respecto al peligro de permeabilidad

Se asume en este sentido para el agua de riego la observancia de las directrices establecidas por la FAO que se exponen en la Tabla 3.2.

La aplicación de estas directrices deberá estar en concordancia con la evaluación de las condiciones locales, lo cual involucra la consideración de las características físicas y químicas del suelo a los efectos de precisar el grado de restricción de uso del agua de riego.

Con respecto a la no alteración de la condición buffer del suelo

Se asume como condición aceptable para el agua de riego que los valores de pH estén comprendidos en el rango 4,5 – 9, en la medida que se verifique la no detección de efectos perjudiciales tales como desequilibrios de nutrición de los cultivos o aumentos significativos de la movilidad de iones tóxicos hacia la solución del suelo.

Con respecto al peligro de salinización

Para el agua de riego se asume la observancia de los criterios establecidos por la U.S.EPA que se exponen en la Tabla 3.1. (Pág. 44)

La aplicación de dichos criterios deberá estar en concordancia con la evaluación de las condiciones locales inherentes a tipo de suelo, condiciones climáticas, profundidad del acuífero freático, tipo de cultivos, prácticas de manejo de suelo y prácticas de riego,

adquiriendo particular relevancia la verificación de que la condición de percolado sea satisfactoria.

b2) Verificación de ausencia de impactos del agua de riego sobre el acuífero freático

Para verificar la ausencia de alteración de la calidad del agua subterránea en las zonas regadas, se fija como criterio que la concentración de la sustancia tóxica que alcanza el acuífero freático luego de percolar por la capa no saturada debe ser despreciable, preservando el nivel de concentración basal de la sustancia en el acuífero, supuesto éste no contaminado.

Asumiendo condiciones estacionarias de carga de la sustancia por riego y de concentración de la misma en el suelo y flujo pistón del frente de la sustancia percolando en el suelo, se realiza la verificación antedicha empleando un modelo de tamizado desarrollado por Rao et al. (1985) ⁶. Este modelo se basa en el hecho de que muchas sustancias atenúan su concentración a medida que van recorriendo la capa no saturada a través de procesos de retardo y decaimiento. Estos procesos pueden ser medidos, aplicando una serie de simplificaciones, mediante el factor de atenuación (AF), el cual se calcula según la siguiente expresión adimensional:

$$AF = \exp [-0,693 \times h_{fr} \times RF \times \Theta_{Fc} / (q \times t^{1/2})]$$

siendo:

$$RF = 1 + (d_s \times f_{oc} \times K_{oc}) / \Theta_{Fc} + (n_a \times K_H) / \Theta_{Fc} \text{ (para tóxicos orgánicos)}$$

$$RF = 1 + (d_s \times K_p) / \Theta_{Fc} \text{ (para tóxicos inorgánicos)}$$

donde:

h_{fr} : profundidad de la capa freática [m]

RF: factor de retardo en el suelo, adimensional

Θ_{Fc} : contenido de humedad del suelo a capacidad de campo [L agua/ L suelo]

El Agua: su calidad, sus usos

q: recarga neta anual del acuífero freático [m/año]

d_s : densidad bruta del suelo [kg suelo/m³ suelo]

f_{oc} : fracción de carbono orgánico del suelo [kg carbono orgánico/kg sólidos]

n_a : porosidad aérea del suelo [L aire/L suelo]

KH: constante de Henry de la sustancia [L agua/L aire]

K_p : coeficiente de partición sólido/Líquido de la sustancia inorgánicas en el suelo [L agua de poro/kg sólidos]

K_{oc} : coeficiente de partición normalizado por el contenido de carbono orgánico en el suelo [L agua de poro/kg carbono orgánico]

$t^{1/2}$: vida media de la sustancia en el suelo [años]

La recarga neta anual del acuífero freático se calcula en función del balance hídrico:

$$q \text{ [m/año]} = P + TR - ET - ES$$

donde:

P: precipitación anual media [m/año]

TR: tasa de riego anual [m/año]

ET: evapotranspiración anual [m/año]

ES: escurrimiento superficial [m/año] (en caso de desconocerse se asume igual a cero)

La tasa de riego anual a ser empleada en el cálculo adopta los siguientes valores, según el escenario de riego correspondiente:

- $T_R = 0,35$ m/año (contempla situaciones de riego hasta dicha tasa)
- $T_R = 0,7$ m/año (contempla situaciones con $0,35 \text{ m} < TR \leq 0,7 \text{ m}$)
- $T_R = 1,2$ m/año (contempla situaciones con $0,7 \text{ m} < TR \leq 1,2 \text{ m}$)

La concentración de la sustancia que alcanza la capa freática (CF) se calcula a partir de:

$$CF [\mu\text{g/L}] = C_o \times AF$$

donde:

C_o : concentración de la sustancia en el agua de poro de la superficie del suelo [$\mu\text{g/L}$]
calculándose C_o según:

$$C_o = \text{SMATC} \times T_r/q$$

Dado que es suficiente que AF sea muy pequeño para asegurar que la sustancia tóxica no alcanza el acuífero freático, la condición a satisfacer es:

$$AF \cong 0$$

Cabe señalar que para sustancias tóxicas muy persistentes (tiempo de vida medio > 1 año) y muy fuertemente adsorbidas por el suelo (constantes de partición $\geq 10^5$ L/kg), como es el caso de los metales pesados y los compuestos organoclorados, AF tiene valores próximos a 1.

Para estas sustancias se requiere verificar la preservación de la condición del acuífero freático a través de la aplicación de la expresión de cálculo:

$$CF [\mu\text{g/L}] = C_o \times AF$$

debiendo cumplirse que:

$$CF \leq \text{nivel guía asociado al destino especificado para el acuífero}$$

4.4 Metodología para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal

4.4.1 Introducción

Se adopta como lineamiento central de esta metodología el reconocimiento de las especies preponderantes en la producción animal de la República Argentina. La diversidad

El Agua: su calidad, sus usos

de especies animales y la existencia de variantes de modo productivo determinan la consideración de los siguientes escenarios para la producción animal terrestre:

- Producción animal conformada por especies mamíferas
- Producción animal conformada por especies aviarias
- Producción animal con coexistencia de especies mamíferas y aviarias

En base a lo antedicho, para los parámetros de calidad prioritarios se establecen niveles guía para el agua ambiente tendientes a evitar efectos adversos atribuibles al agua de bebida sobre las especies que conforman la producción animal terrestre de cada uno de los escenarios planteados.

El procedimiento para el establecimiento de tales niveles guía comprende una serie de operaciones cuya secuencia se ilustra en la Figura 4.1⁶ y se detalla a continuación.

4.4.2 Identificación de parámetros prioritarios de calidad de agua

La selección de parámetros prioritarios de calidad de agua se hace en base a la evaluación de su ocurrencia real o potencial en el territorio nacional y de su significación perjudicial sobre la producción animal terrestre.

4.4.3 Caracterización toxicológica de los parámetros prioritarios de calidad de agua

La derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua conlleva el análisis de la información toxicológica disponible relativa a su potencial deletéreo sobre las especies que integran la producción animal de cada escenario. Ello involucra la consideración de efectos tóxicos, agudos y crónicos, y de naturaleza cancerígena, mutagénica y teratogénica, a los efectos de la caracterización del parámetro como tóxico con umbral o cancerígeno.

El Agua: su calidad, sus usos

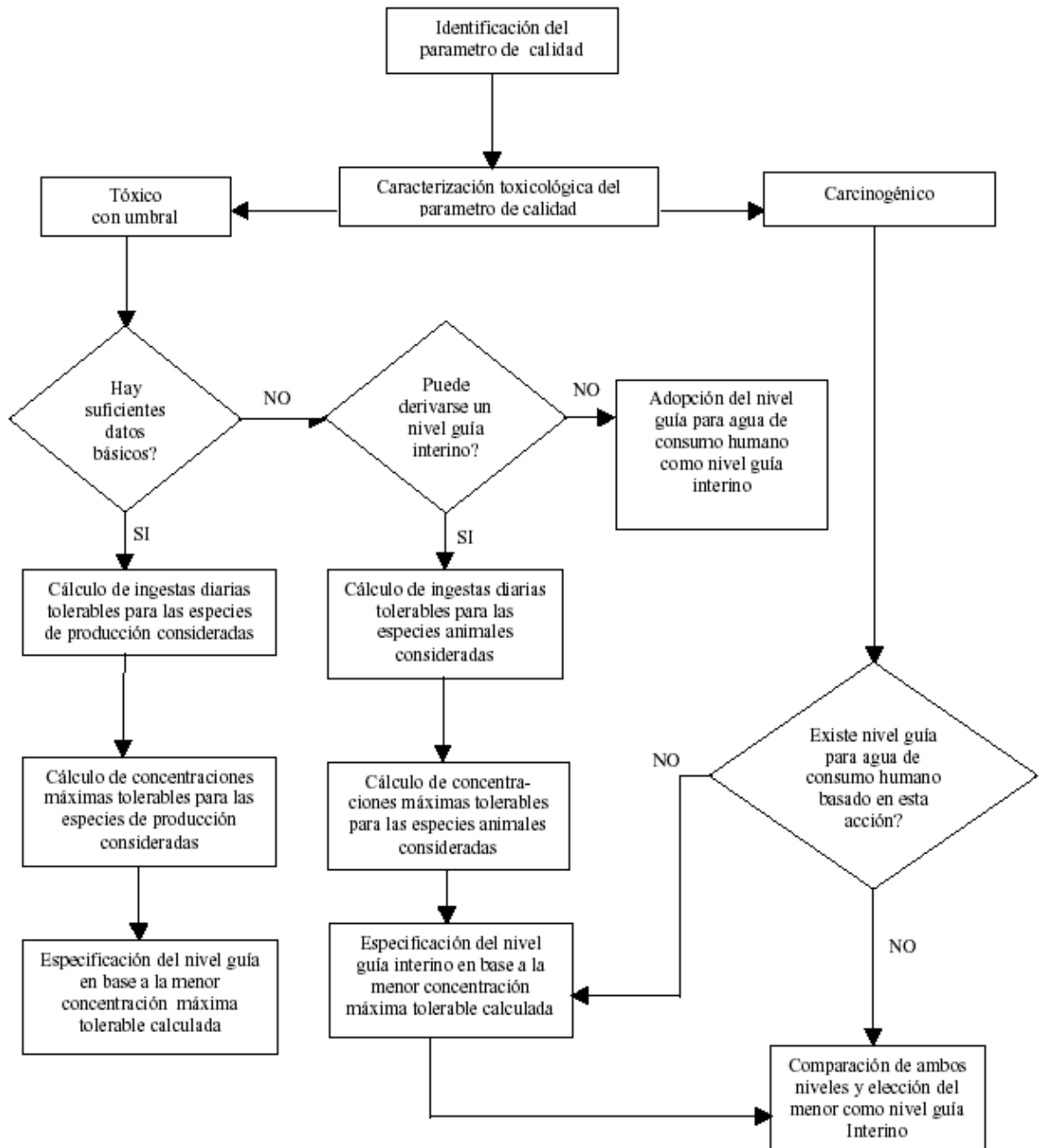


Figura 4.1-Secuencia operativa para el establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para bebida de especiesde producción animal.

4.4.4 Derivación de niveles guía para parámetros prioritarios de calidad de agua de bebida para producción animal conformada por especies mamíferas

La derivación del nivel guía para un parámetro prioritario de calidad procede según la disponibilidad y la consistencia de la información toxicológica, planteándose líneas de elaboración diferentes según se expone a continuación.

a) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral

Para esta derivación se estima como mínimo contar con tres estudios de toxicidad que aporten información sobre al menos tres especies mamíferas de producción animal, debiendo por lo menos dos de ellas ser rumiantes.

Con respecto a los datos toxicológicos, se requiere disponer de, al menos, dos estudios de toxicidad de largo término para mamíferos. Este requerimiento podría ser considerado no indispensable en el caso en que puedan ser estimados los niveles de toxicidad crónica en base a relaciones toxicidad aguda/crónica consistentes o en el caso en que se demostrara que la toxicidad no se incrementa significativamente con la exposición.

Evaluada la información toxicológica, se calcula para cada especie de producción animal para la que se dispone de datos consistentes la ingesta diaria tolerable del parámetro tóxico considerado, la cual se define como una cantidad del mismo, para la cual no se registran efectos adversos asociados a una exposición crónica. La ingesta diaria tolerable para cada especie se calcula según la expresión siguiente:

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

donde:

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

LOAEL_i: sigla de la expresión en inglés que indica el menor nivel de exposición al parámetro de calidad al cual un efecto adverso es observado para la especie i [mg/(kg masa corporal x d)]

NOAEL_i: sigla de la expresión en inglés que indica el mayor nivel de exposición al parámetro de calidad sin efecto adverso observado para la especie i [mg/(kg masa corporal x d)]

FI: factor de incertidumbre

LOAEL_i y NOAEL_i deben provenir de un estudio de toxicidad consistente sobre un efecto sensitivo. Cuando NOAEL_i no se conoce, puede ser estimado según la siguiente expresión:

$$\text{NOAEL}_i = \text{LOAEL}_i / 5,6$$

La expresión estimadora surge de evaluaciones estadísticas realizadas por Environment Canada de relaciones LOAEL/NOAEL para diferentes animales expuestos a un grupo de pesticidas. 5,6 resulta el límite superior de un intervalo de confianza del 95 % (CCME, 1999).⁶

El factor de incertidumbre es un coeficiente que toma en consideración la confiabilidad de la ingesta diaria tolerable estimada. Dicho factor contempla diferencias de sensibilidad asociadas a causas tales como variaciones dentro de la especie, efecto estudiado, sexo, estadio de vida y duración de la exposición. Se considera que un factor de incertidumbre igual a 10 cubre razonablemente estas diferencias potenciales de sensibilidad, pudiendo ser aceptable en determinados casos incrementar tal factor hasta 100 (CCME, 1999).⁶

Cuando no se conoce LOAEL_i y se dispone de NOAEL_i el cálculo de IDT se efectúa según la expresión siguiente:

$$\text{IDT}_i = \text{NOAEL}_i / \text{FI}$$

empleándose en general para FI un valor igual a 5.

En situaciones en que se dispone solamente de datos de toxicidad aguda, puede considerarse la estimación de NOAEL_i mediante el uso de la relación toxicidad aguda/crónica y, finalmente, calcularse la ingesta diaria tolerable de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{IDT}_i = (\text{DL}_{50} / \text{ACR}_i) / \text{FI}$$

donde:

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

DL₅₀: dosis letal para el 50% de la población para la especie i [mg/kg]

El Agua: su calidad, sus usos

ACR_i: relación de toxicidad aguda/crónica para la especie i

FI: factor de incertidumbre

Para ACR_i puede aplicarse el valor 70, que resulta del ajuste de la mediana de las relaciones toxicidad aguda/crónica para 17 sustancias evaluadas en ratas (CCME, 1999).

Para FI se aplica un valor igual a 10, pudiendo incrementarse en determinados casos dicho valor hasta 100.

Para cada especie de producción animal considerada, se calcula la concentración máxima tolerable para el parámetro tóxico según la siguiente expresión:

$$c_i = IDT_i \times MC_i \times F_i / C_i$$

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 xd)]

MC_i: masa corporal de la especie i [kg]

F_i: factor de asignación de la ingesta diaria tolerable al agua de bebida para la especie i

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

En la Tabla 4.1 se presentan rangos genéricos de masas corporales e ingestas diarias de agua individuales correspondientes a especies de producción animal (CCME, 1999)⁶ a los efectos de su utilización en el cálculo de las concentraciones máximas tolerables en el agua de bebida (c_i).

Para el factor de asignación de la ingesta diaria tolerable agua de bebida (F_i), salvo en el caso de poseer una información más apropiada, se emplea el valor 0,2. Este criterio es concordante con el asumido por Canadá para la derivación de niveles guía de calidad para agua de bebida para producción animal (CCME, 1999).⁶

TABLA 4.1 – RANGOS DE MASAS CORPORALES E INGESTAS DIARIAS DE AGUA PARA ESPECIES DE PRODUCCION ANIMAL (1)

Animal	Masa Corporal (MC) [kg]	Ingesta diaria de agua (C) [l/d]	Ingesta de alimento [kg/d]	Relación MC/C [kg/(l/d)]
BOVINO LECHERO EN LACTANCIA	540-862	38-137	11-26	6,3-14,2
BOVINO PARA PRODUCCION CARNICA	730	80		9,1-12
PORCINO				
destetado	10-25	1-2	0,7	10-12
en engorde	50-100	2-11	1,92-2,88	8,3-9,1
adulto	136-159	11-14	2,27	11-12
adulto en lactancia	170-181	18-25	6,80	7,9-9,4
OVINO	120	15	2,4	8
CAPRINO				
mantenimiento	59-68	3,52	2,1-2,4	17-19
en lactancia	59-68	6,38	3-3,4	9,2-11
EQUINO	500-600	15-42	13-25	10-13,3
CONEJO	1,4-5	0,17-0,45	0,05-0,15	8,2-11
GALLINA				
White Leghorn	1,6-2,3	0,12-0,61	0,11-0,15	3,8-13
Ross broiler	6,5	0,38-0,85	0,39	7,6-17
PAVO	7,23	1-1,6		4,5-7,2
PATO	2,1-4,3	0,45-0,64	0,09-0,14	4,7-6,7
GANSO	5,1-7,1	0,60-0,62	0,19-0,29	8,5-11

Nota:

(1): Rangos considerados por Canadá para la derivación de niveles guía de calidad para agua de bebida para ganado (CCME, 1999)

El nivel guía para el parámetro tóxico con umbral en agua de bebida para producción animal (NGABPA) se establece como una concentración igual o menor a la menor de las concentraciones máximas tolerables calculadas para las especies de producción animal consideradas (Especie de producción animal más sensible), referida a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA} \leq \text{Especie de producción animal más sensible}$$

b) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral como interino cuando no se cuenta con la información mínima especificada en 4.4.4. a)

Cuando no se dispone de la información toxicológica indicada en 4.4.4. a), se puede considerar la derivación del nivel guía como interino. Esta alternativa, que admite la posibilidad de incluir el uso de información sobre especies no comprendidas en la producción animal, requiere contar, como mínimo, con dos estudios sobre, al menos, dos especies que se desarrollan en la Argentina, debiendo ser una de ellas una especie de producción animal. La derivación sigue la secuencia de cálculo de ingestas diarias

El Agua: su calidad, sus usos

tolerables y concentraciones máximas tolerables para las especies animales consideradas de manera análoga a lo explicado en 4.4.4. a).

El nivel guía interino para el parámetro tóxico con umbral en agua de bebida para producción animal (NGABPA_{int.}) se establece como una concentración igual o menor a la menor de las concentraciones máximas tolerables calculadas para las especies animales consideradas (C_{especie animal más sensible}), referida a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA}_{\text{int.}} \leq \text{C}_{\text{especie animal más sensible}}$$

c) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral cuando no existe la información mínima especificada en 4.4.4. b)

Cuando no se dispone de la información toxicológica mínima especificada en 4.4.4.b), se establece como nivel guía interino para el parámetro tóxico con umbral el correspondiente a agua para consumo humano (NGAB), referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA}_{\text{int.}}: \text{NGAB}$$

d) Derivación del nivel guía para un parámetro cancerígeno

Para el caso de parámetros caracterizados como cancerígenos para los cuales existe cuantificación de tal acción, es decir, cuando existen datos del factor de potencia cancerígena (q_1^*) y estimaciones en base a ellos de niveles guía para protección de la salud humana, se evalúa la aplicación a producción animal de niveles guía de calidad de agua para consumo humano.

En este sentido, el nivel guía de calidad de agua para consumo humano correspondiente un parámetro cancerígeno, que procura una protección razonable durante el tiempo promedio de vida del ser humano, puede resultar demasiado conservador para la producción animal.

En función de lo expuesto, cuando existe suficiente información toxicológica para derivar el nivel guía de agua de bebida para producción animal según lo especificado en 4.4.4.a), no se consideran las elaboraciones basadas en el factor de potencia cancerígena para protección de salud humana. Cuando la información toxicológica solamente permite derivar el nivel guía como interino, según lo especificado en 4.4.4.b), se compara el nivel guía resultante con el que aporta el calculado para salud humana basado en el factor de

potencia cancerígena y se adopta el menor de ambos valores como nivel guía interino de calidad de agua de bebida para producción animal para el parámetro cancerígeno.

4.4.5 Derivación de niveles guía para parámetros prioritarios de calidad de agua de bebida para producción animal conformada por especies aviarias

Se aplican las mismas líneas de elaboración detalladas en el punto 4.4.4 para especies mamíferas.

a) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral

Para esta derivación se estima como mínimo contar con dos estudios de toxicidad que aporten información sobre al menos dos especies de producción animal, debiendo por lo menos una de ellas tener existencia en la Argentina.

Con respecto a los datos toxicológicos, se requiere disponer, por lo menos, de un estudio de largo término. Este requerimiento podría ser considerado no indispensable en el caso en que puedan ser estimados los niveles de toxicidad crónica en base a relaciones toxicidad aguda/crónica consistentes o en el caso en que se demostrara que la toxicidad no se incrementa significativamente con la exposición.

El procedimiento de cálculo sigue las mismas pautas detalladas en 4.4.4. a)

b) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral como interino cuando no se cuenta con la información mínima especificada en 4.4.5.a)

Cuando no se dispone de la información toxicológica indicada en 4.4.5.a), se puede considerar la derivación del nivel guía como interino. Esta alternativa, que admite la posibilidad de incluir el uso de información sobre especies no comprendidas en la producción animal, requiere contar, por lo menos, con un estudio sobre una especie de producción animal existente en la Argentina.

El procedimiento de cálculo sigue las mismas pautas detalladas en 4.4.4.b)

c) Derivación del nivel guía para un parámetro tóxico con umbral cuando no existe la información mínima especificada en 4.4.5.b)

Cuando no se dispone de la información toxicológica mínima especificada en 4.4.5.b), se adopta como nivel guía interino para el parámetro tóxico con umbral el correspondiente a agua de bebida para consumo humano (NGAB), referido a la muestra de agua sin filtrar:

$$\text{NGABPA}_{\text{int.}}: \text{NGAB}$$

d) Derivación del nivel guía para un parámetro cancerígeno

Son extensivas a esta derivación las consideraciones y pautas explicitadas en 4.4.4.d)

4.4.6 Establecimiento de niveles guía para parámetros prioritarios de agua de bebida para producción animal con coexistencia de especies mamíferas y aviarias

En el caso de coexistencia de especies mamíferas y aviarias, el nivel guía para un parámetro prioritario de calidad de agua ambiente para bebida de especies de producción animal se establece en correspondencia con el menor de los niveles guía resultantes, para los grupos de especies animales antedichos en base a las pautas detalladas en los puntos 4.4.4 y 4.4.5.

4.5 METODOLOGIA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE PARA RECREACION HUMANA

4.5.1 Introducción

Las aguas destinadas a uso recreacional pertenecen a cuerpos superficiales que se utilizan principalmente para baño y actividades deportivas.

El uso del agua con fines recreacionales puede revestir dos formas:

a) Con contacto directo o primario:

Este engloba a las actividades que involucran inmersión en agua con potencial ingestión de la misma. El contacto primario incluye, entre otras actividades, natación, ski acuático, buceo y surfing.

b) Con contacto indirecto o secundario:

Este no involucra inmersión e incluye, entre otras actividades, remo, navegación en sus diferentes formas, vadeo, pesca y rafting.

Pueden señalarse los siguientes requerimientos generales para las aguas destinadas al uso recreacional:

- Su calidad debe observar pautas microbiológicas y fisicoquímicas que no involucren riesgo para la salud de las personas expuestas
- Deben estar libres de organismos vectores de enfermedades que aporten riesgo para la salud de las personas antedichas
- Deben reunir condiciones que proveen a su calidad estética

El procedimiento de establecimiento de niveles guía de calidad de agua ambiente para uso recreacional sigue la secuencia operativa que se describen a continuación y se esquematiza en la Figura 5.1.⁶

4.5.2 Selección de los parámetros prioritarios de calidad de agua para el uso recreativo

Esta selección se basa en el reconocimiento de dos tipos de parámetros de calidad de agua:

- Parámetros de calidad con significación para la salud humana.
- Parámetros de calidad con significación estética.

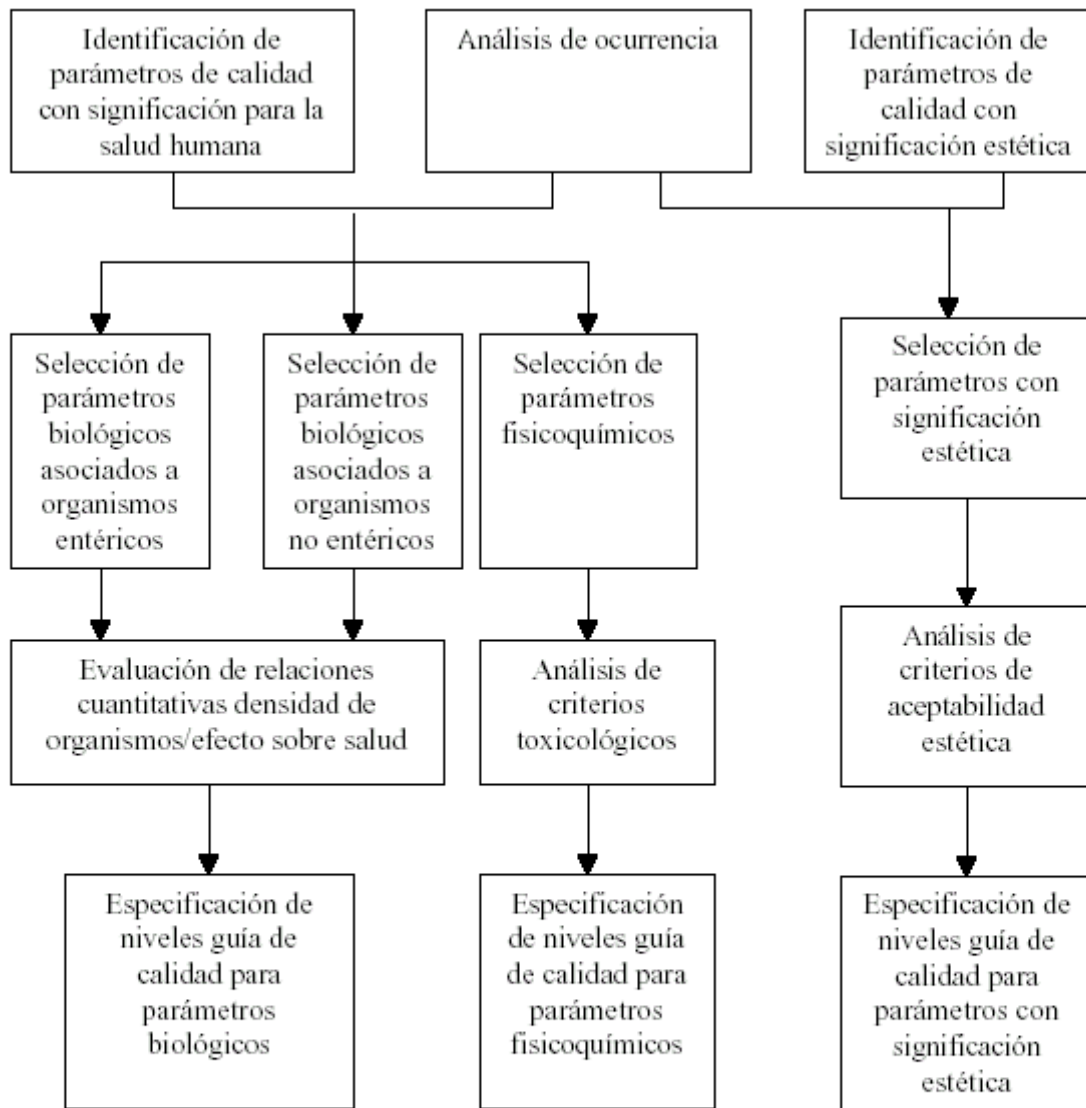


Figura 5.1 – Secuencia Operativa para el Establecimiento de Niveles Guía de Calidad de Agua Ambiente para Recreación Humana

a) Parámetros de calidad con significación para la salud humana

Parámetros biológicos

La selección de parámetros biológicos de significación para la salud de las personas expuestas recreacionalmente involucra la consideración de organismos con potencial para ejercer acciones deletéreas, entre ellas, desencadenar enfermedades infecciosas y producir efectos tóxicos asociados a la secreción de productos de su metabolismo.

El Agua: su calidad, sus usos

Se tienen en cuenta los siguientes grupos de organismos:

a) Organismos entéricos

Una parte sustantiva del riesgo biológico asociado al uso recreativo de las aguas es generado por los organismos patógenos vehiculizados en los aportes de materia fecal de origen humano y animal, estando incluidos bacterias, virus y parásitos.

El establecimiento de niveles guía de calidad de agua relacionados con los organismos entéricos contempla la elección de las siguientes alternativas:

- elección de un organismo patógeno como parámetro de calidad
- elección de un agente indicador del organismo patógeno como parámetro de calidad
Hay varias razones por las que no se utilizan los microorganismos patógenos en sí mismos a fin de establecer la calidad del agua, empleándose en cambio indicadores, que son microorganismos cuyas densidades en agua pueden relacionarse cuantitativamente con un riesgo potencial para la salud de las personas, a saber:
 - Hay una gran variedad de agentes infecciosos potencialmente transmisibles por el agua y como la densidad de cada uno puede variar temporal y espacialmente independientemente de los demás, las mediciones deberían hacerse para cada agente.
 - No se poseen métodos sencillos y confiables para la detección de la mayoría de los organismos patógenos, entre ellos los que pueden ser considerados como los más importantes y prevalecientes agentes causales de enfermedades entéricas (Cabelli, 1983)⁶.
 - Como la densidad de organismos patógenos varía temporalmente en heces y efluentes y por ende en las aguas receptoras, el seguimiento analítico de estos organismos en sí mismos podría no reflejar su potencial infeccioso.

Se conceptúan como organismos ideales para ser indicadores de contaminación fecal aquéllos que reúnen las siguientes características principales (NAS, 1977)⁶:

- Que puedan ser utilizados en todo tipo de aguas

El Agua: su calidad, sus usos

- Que estén presentes en aguas contaminadas y residuales cuando los organismos patógenos estén presentes
- Que estén presentes en un número que se correlacione con el grado de contaminación
- Que estén presentes en mayor número que los organismos patógenos
- Que no proliferen en el ambiente acuático
- Que sobrevivan por períodos más prolongados que los organismos patógenos en el ambiente
- Que estén ausentes en aguas no contaminadas
- Que se detecten por métodos simples y certeros
- Que no ofrezcan riesgos para el ser humano durante su manipulación en las tareas analíticas

Forma parte de la etapa de selección de parámetros para los cuales se considera conveniente establecer niveles guía de calidad, el análisis de la correlación de los indicadores con los diversos organismos patógenos de origen entérico, particularmente con virus y parásitos.

En la selección de los organismos infecciosos e indicadores de aquéllos como parámetros de calidad se aplica un criterio de prioridad basado en la evaluación de su ocurrencia en las áreas recreacionales y de su potencial patogénico.

Se analizan las diferencias de comportamiento entre los organismos infecciosos de significación y sus indicadores en agua dulce y agua de mar, y en base a la consideración de la supervivencia de los organismos en ambos ambientes se define la conveniencia de establecer niveles guía de calidad de agua diferenciados para agua dulce y agua de mar.

b) Organismos no entéricos

La fase de selección de parámetros biológicos de calidad involucra la consideración de la ocurrencia en ambientes hídricos de organismos no entéricos con potencial deletéreo sobre las personas expuestas recreacionalmente. Ello comprende la evaluación de la acción de microorganismos y organismos macroscópicos.

Parámetros físicoquímicos

La selección de los parámetros físicoquímicos se asienta en pautas de prioridad que observan sus niveles de ocurrencia en las áreas de uso recreativo y los potenciales efectos tóxicos sobre las personas expuestas.

b) Parámetros de calidad con significación estética

La selección de parámetros de calidad en este caso conlleva la consideración de los diversos aspectos asociados a la preservación de las cualidades estéticas de los ambientes hídricos destinados a actividades recreacionales, teniéndose en cuenta en dicho sentido tanto a los cuerpos de agua en sí mismos como a su entorno.

4.5.3 Análisis de criterios básicos biológicos, físicoquímicos y estéticos relacionados con el uso recreacional de las aguas

a) Con respecto a los parámetros biológicos:

Se realiza el análisis de criterios disponibles basados en relaciones cuantificables entre densidades de organismos con potencial deletéreo o de indicadores de los mismos y su incidencia sobre la salud de las personas expuestas a nivel recreacional.

b) Con respecto a los parámetros físicoquímicos:

Se analizan criterios de toxicidad humana disponibles, aportados por estudios epidemiológicos e investigaciones experimentales, relacionados con las vías y tiempos de exposición inherentes al uso recreativo de las aguas.

c) Con respecto a los parámetros con significación estética:

Se consideran criterios disponibles de aceptabilidad vinculados a las variables estéticas de percepción organoléptica. Se analizan, asimismo, pautas de aceptabilidad de condiciones relacionadas con la preservación de formas de vida de valor estético típicas de los cuerpos de agua y su entorno.

4.5.4 Análisis de otros aspectos relacionados con la aptitud de las aguas para uso recreacional

Se evalúan los efectos asociados a la presencia de organismos no acuáticos que pudieren ser vectores de enfermedades y/o generadores de molestias para el ser humano a los efectos de establecer, si se considera necesario, pautas inherentes a tales organismos en las áreas recreativas.

4.5.5 Especificación de los niveles guía de calidad de agua ambiente para uso recreacional

a) Parámetros biológicos

El nivel guía para un organismo con potencial deletéreo o para un indicador del mismo se especifica cuantitativamente mediante un valor máximo para su densidad asociado a una condición de riesgo aceptable para la salud de las personas expuestas.

b) Parámetros fisicoquímicos

El nivel guía para un parámetro fisicoquímico se establece cuantitativamente mediante un valor máximo asociado a una condición de riesgo aceptable o un rango de valores que se corresponde con tal condición.

c) Parámetros con significación estética

El nivel guía para un parámetro con significación estética es especificado análogamente a lo expresado en 4.5.5.b) o, en su defecto, de manera narrativa.

5. Estudio comparativo de los Niveles Guía de calidad del Agua según su uso

5.1 *El agua de bebida o agua potable*

El principal objetivo del establecimiento de criterios de calidad para el agua potable es proteger la salud pública limitando al mínimo aquellos componentes que puedan implicar un riesgo para la salud de los consumidores y el bienestar de la comunidad en general. Los criterios de calidad para el agua potable son establecidos por organismos nacionales o internacionales y se basan en datos científicos y en la experiencia de expertos, y permiten establecer un listado de contaminantes y las concentraciones que no deben sobrepasarse, sin tener en cuenta aspectos de factibilidad técnica y económica. Los criterios tienen la forma de recomendaciones o sugerencias pero no tienen forma regulatoria.

Las normas de calidad o standard son establecidas sobre la base de los criterios antes mencionados, y tienen fuerza legal. Por otra parte, podrán existir objetivos de calidad a alcanzar, que son las concentraciones de contaminantes que una agencia o el proveedor el servicio de agua elegirá para poder cumplir en forma consistente con las normas vigentes. Las concentraciones elegidas son más bajas que las exigidas por las normas y pueden incluirse contaminantes que no figuren en ellas.

Para establecer límites de ese tipo, es necesario considerar esos valores en el contexto de las condiciones locales o nacionales de carácter ambiental, social económico y cultural.

La principal razón de que no se preconice la adopción de normas internacionales para la calidad del agua potable radica en las ventajas que presenta para el establecimiento de normas y reglamentaciones nacionales la aplicación de un enfoque basado en la relación (cualitativa o cuantitativa) entre riesgos y beneficios, ya que un enfoque de ese tipo permitirá adoptar normas y reglamentos fáciles de aplicar y hacer cumplir. Por ejemplo, la adopción de normas excesivamente estrictas sobre el agua potable podría limitar el abastecimiento disponible, lo cual sería un problema importante en las regiones donde exista escasez.

5.1.1 La calidad del agua potable en el mundo

La comparación de las Guías de Calidad de Agua Potable del país, que corresponden al Código Alimentario Argentino y que constituyen los niveles mínimos de calidad para el suministro de agua potable, con los niveles establecidos en el otros países, han arrojado los siguientes resultados: (Ver Tablas en Anexo III)

- Si bien se han establecido límites de calidad para menor cantidad de sustancias, en general el rango abarcado es consistente con la mayoría de los países.
- En referencia a los compuestos orgánicos, plaguicidas y desinfectantes, los límites están muy bien desagregados.
- No presentan en general los valores adoptados, los valores máximos respecto del resto de los países estudiados.
- Si es importante mencionar que en muchos casos la normativa nacional presenta los valores guía más restrictivos.
- Como particularidad debemos mencionar que Guatemala sería de los países que menor calidad exige para el agua de distribución.
- Los países con mayor cantidad de parámetros reglamentados son Costa Rica, Nicaragua, Estados Unidos y Canadá y debe destacarse en el caso de estos dos últimos que presentan los valores más restrictivos en general.

Se ha analizado separadamente la normativa nacional respecto de dos países del MERCOSUR como Uruguay y Brasil y a su vez este grupo respecto de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (Ver Tabla en Anexo III). Se han comparado en este caso solamente los parámetros que abarcan todas las normativas, ya que Argentina es la que más parámetros abarca, siguiendo Brasil y por último Uruguay.

Del análisis se desprende que para los parámetros evaluados, Argentina no presenta los mejores valores guía, siendo Brasil el más restrictivo. Los valores guía Argentinos son más flexibles que los nuevos valores de la OMS del año 1995.

El Agua: su calidad, sus usos

En el Anexo III se incluyen dos tablas en las cuales se ha compaginado toda la información y se indican los valores máximos y mínimos para cada parámetros, y una tabla reducida que es la base para el análisis precedente sobre MERCOSUR.

5.1.2 La calidad del agua potable en nuestro país

En el Anexo III se incluye una Tabla, en la que se indican los valores guías propuestos por el Código Alimentario Argentino ⁷, que es la única norma legal de aplicación nacional que existe en el país y los vigentes en algunas provincias de acuerdo a los respectivos contratos de concesión.

Muchas provincias tienen sus propias normas, que en general se han establecido a partir de los procesos de privatización. En la Pcia. de Santa Fe, por ejemplo, las normas están incluidas en la Ley 11.220 que regula la prestación de los servicios de agua potable y cloacas en el ámbito provincial.

A nivel nacional se debe respetar la normativa del Código Alimentario Argentino. No obstante ello, se considera que pueden admitirse valores más estrictos en algunos parámetros si así lo exigieran las normas provinciales y las tecnologías aplicadas permitieran alcanzarlos.

Por otra parte, podrán admitirse valores mayores que los límites establecidos para algunos parámetros si se asegura que la instalación de una planta de tratamiento mejorará sustancialmente la calidad del agua que consume actualmente la población.

De las tablas se desprende que en general las normas provinciales son bastante más restrictivas, que la nacional y se destaca la normativa vigente en Corrientes como la que establece los mejores criterios de calidad, aunque no presenta valores guía para sustancias tóxicas orgánicas y pesticidas.

5.1.3 Tecnologías disponibles y aplicables para la potabilización del agua en el país

La selección de la tecnología de tratamiento de un agua depende, entre otros factores, del uso que se le desea dar y de la calidad de la fuente. En este punto se incluye en forma resumida información sobre las tecnologías de tratamiento necesarias para corregir la calidad de un agua dada en función de su aplicación.

El Agua: su calidad, sus usos

Las tecnologías de tratamiento pueden dividirse en dos categorías: tratamiento convencional y especializado. Se define como tratamiento convencional a los procesos que se utilizan comúnmente para acondicionar fuentes de agua superficial y subterránea. El tratamiento especializado se utiliza para alcanzar niveles de tratamiento muy exigentes, particularmente para el control de contaminantes específicos, tales como trazas de compuestos orgánicos.

Para el tratamiento especializado las tecnologías más utilizadas son: adsorción, aeración, intercambio iónico/remoción y oxidación. La adsorción emplea materiales tales como carbón activado o resinas sintéticas específicas para separar del agua sustancias particulares, como pueden ser ciertos compuestos orgánicos con efectos adversos sobre la salud. La aeración se emplea para eliminar compuestos volátiles a través del uso de una corriente de aire. La oxidación se refiere a la aplicación de oxidantes fuertes, tales como por ejemplo el ozono, para lograr la destrucción de un contaminante particular. Otro tipo de tratamientos especiales son el intercambio iónico y la ósmosis inversa, que se utilizan para la remoción de sales disueltas.

En la tabla siguiente se resumen los tratamientos disponibles y se detalla el objetivo de cada uno de ellos.

El Agua: su calidad, sus usos

Proceso/Operación	Objetivos
Aeración	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de compuestos volátiles causantes de olor y sabor y gases disueltos (ej: H₂S, CH₄, compuestos orgánicos volátiles -COV-), descarbonatación Oxigenación y desoxigenación ✓ Oxidación (hierro)
Prefiltración con grava	<i>Presedimentación - Remoción de materia particulada</i> <i>Fácilmente sedimentable</i>
Oxidación Química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desinfección, control biológico ✓ Control de olores y sabores ✓ Oxidación de metales disueltos (hierro y manganeso) ✓ Oxidación de compuestos orgánicos, mejoramiento en la remoción de color
Coagulación – Floculación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desestabilización de la materia coloidal y macromoléculas y aglomeración de partículas sedimentables o filtrables para la remoción de turbidez y color, eliminación de arsénico.
Sedimentación (decantación)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de partículas floculentas sedimentables Como paso previo a la filtración
Flotación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de algas.
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción final de partículas, luego de procesos de Tratamiento fisicoquímico y/o biológico
Denitrificación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de nitratos (NO₃⁻)
Ablandamiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción de dureza debida a la presencia de calcio y magnesio por precipitación o intercambio iónico
Adsorción con carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Control de olores, sabores y materia orgánica ✓ Reducción de color ✓ Remoción de compuestos orgánicos y precursores de Trihalometano
Intercambio iónico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de dureza, arsénico y nitratos (NO₃⁻)
Membranas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Remoción de sólidos disueltos totales, incluyendo Nitratos, arsénico y dureza

En el país estas tecnologías se encuentran disponibles, pero en la mayoría de los casos solamente tecnologías tradicionales son las que se utilizan, es decir los procesos de sedimentación-filtración y cloración

El Agua: su calidad, sus usos

En la zona del Noroeste y Sur de la Provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y Córdoba, las aguas presentan niveles considerables de flúor y arsénico de origen natural. En estas zonas en general, si bien la tecnología disponible permitiría la remoción de los mismos, los costos actuales de puesta en marcha y de operación y mantenimiento hacen prohibitivo en la mayoría de los casos, en especial pequeñas poblaciones, el acceso a esta tecnología, limitando los tratamientos al carbón activado, que no ofrece una solución adecuada. Se han encontrado en esos casos, gran cantidad de afectados que muestran como ya se ha indicado en el punto precedente, cáncer de piel y problemas óseos y de dentición.

Hay otros casos como el de Mendoza en donde el Arsénico que se encuentra en el agua proviene del tratamiento que se efectúa en los viñedos con arseniato de plomo.

5.2 Otros Usos

Se analizan ahora los demás usos del agua y en este sentido existen divergencias importantes en cuanto a la clasificación realizada.

No se dispone en este caso de tanta información como para el agua potable, pero si la suficiente como para establecer un análisis y formular algunas apreciaciones y conclusiones.

En primera instancia y como la normativa más importante del país hemos analizado las Valores Guía de Calidad de Aguas para la Cuenca del Plata, las Normas para la Clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos de Venezuela, Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente desarrollados conjuntamente por la Dirección Nacional de Políticas, Coordinación y Desarrollo Hídrico (DNPCyDH) y el INA.

También incluimos algunos aspectos de la normativa vigente en Brasil, Estados Unidos y Comunidad Económica Europea.

5.2.1 Estudios comparativo de valores guía para distintos usos

Cuenca del Plata

Los Niveles Guía de Calidad de Agua para Diferentes Usos Propuestos para La Cuenca del Plata, se han establecido según la siguiente clasificación:

El Agua: su calidad, sus usos

USO I: agua para consumo humano con tratamiento convencional

USO II: agua para actividades recreativas con contacto directo

USO III: agua para actividades agropecuarias

USO IV: protección de vida acuática

Secretaría de Recursos Hídricos – Instituto Nacional del Agua

Los Niveles Guía de Calidad de Agua Ambiente, actividad multi e interdisciplinaria desarrollada conjuntamente por la DNPCyDH y el INA han asignado los siguientes destinos sustantivos asignados al agua ambiente en la República Argentina:

- Fuente de provisión de agua para consumo humano
- Protección de la biota acuática
- Irrigación de cultivos
- Bebida de especies de producción animal
- Recreación humana

Dado que los Niveles Guía de la Secretaría de Recursos Hídricos están en elaboración, se comparan a continuación los valores para parámetros comunes, respecto de los vigentes para la Cuenca del Plata que son los más destacados por el momento.

En la Tabla que se incluye en el Anexo III, puede observarse que en muchos casos se han adoptado valores guía más restrictivos que los existentes para la Cuenca del Plata, en otros pocos casos ha sucedido lo contrario en donde se ha disminuido la exigencia, en algunos los límites se han conservado. Es de notar que aún deben adoptarse valores guía para muchos parámetros y usos.

Ley de Residuos Peligrosos N° 24051⁴

La Ley de Residuos Peligrosos N° 24051 en su Decreto Reglamentario 831 del año 1993, han adoptado Niveles Guía de Calidad de Agua para distintos usos, a partir de las siguientes fuentes:

El Agua: su calidad, sus usos

1. Guías para la Calidad del Agua Potable. Organización Mundial de la Salud - 1985 - (Valor Guía).
2. Canadian Water Quality Guidelines. Canadian Council of Resource and Environmental Ministers 1987. (Concentración máxima aceptable)
3. EC Drinking Water Directive. List of parameters. Tomado de: Michael Carney, 1991. European Drinking Waters Standars. Journal of the American of the American Water Works Association. Junio 1991, pags. 48-55.
4. U.S.EPA.
5. Legislación Federal de Brasil. Res. CoNaMA (Consejo Nacional de Medio Ambiente). Junio, 1986. Tomado de Coletânea de Legislação Ambiental Federal - Estadual, Governo do Estado Paraná. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e do Medio Ambiente, 1991.
6. Analyse des Trinkwassers im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Düsseldorf AG, 1991.
7. Obras Sanitarias de la Nación. Normas mínimas de Calidad de Agua Producida y Liberada al Servicio. Metas Futuras.
8. Selección de los niveles guía de calidad de agua en función de los diferentes usos del recurso. Cuenca del Plata, República Argentina, 1987.
9. FAO, 1985 - Máximas concentraciones de elementos trazas en agua de irrigación. Tomado de: Kandiah, A. 1987. - Water Quality in Food Production - Water Quality Bulletin. - Water for Agriculture - Part. 1, Vol. 12, pp 3 - 8.

Los usos que se incluyen en la Ley N° 24051 son los siguientes:

- Agua para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional.
- Protección de vida acuática. Agua dulce superficial.
- Protección de vida acuática. Aguas saladas superficiales.

El Agua: su calidad, sus usos

- Protección de vida acuática. Aguas salobres superficiales.
- Agua para irrigación.
- Agua para bebida de ganado.
- Agua para recreación.
- Agua para pesca industrial.

Normativa Venezolana

En su artículo tercero la norma Venezolana establece que las aguas se clasifican en:

Tipo 1: Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.

Las aguas del tipo I se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub-Tipo 1A:	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
Sub-Tipo 1B:	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
Sub-Tipo 1C:	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.

Tipo 2: Aguas destinadas a usos agropecuarios.

Las aguas del Tipo 2 se desagregan en los siguientes sub-tipos:

Sub Tipo 2A:	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
Sub Tipo 2B:	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.

Tipo 3: Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.

Tipo 4: Aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia.

El Agua: su calidad, sus usos

Las aguas del Tipo 4 se desagregan en los siguientes subtipos:

Sub Tipo 4A:	Aguas para el contacto humano total.
Sub Tipo 4B:	Aguas para el contacto humano parcial.

Tipo 5: Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.

Tipo 6: Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.

Tipo 7: Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.

Otras Normativas

Debido a que resultan interesantes algunos aspectos considerados en el Estudio Calidad del Agua - Programa Buenos Aires Sustentable - Hacia la construcción de regímenes jurídicos de calidad ambiental en la ciudad de Buenos Aires de la FARN, se incluyen en este punto las consideraciones acerca de la regulación comparada que allí figuran.

“La regulación comparada ofrece distintos ejemplos acerca de la relación y distribución de roles entre los diversos niveles jurisdiccionales en materia de calidad de agua.

- Estados Unidos de América presenta ciertas pautas en su desarrollo legislativo en cuanto a la relación entre el estado federal y los estados.
- La Comunidad Económica Europea señala directivas base que los estados miembros deberán respetar como requisito sustancial.
- La república Federativa de Brasil presenta asimismo criterios de relación entre el estado federal y los gobiernos estatales en la formulación de estándares de calidad de agua.

El concepto de presupuesto mínimo de protección ambiental se encuentra presente en los ejemplos referidos.

Estados Unidos de América

En Estados Unidos de América, la Ley de Agua Limpia (LAL), es una norma emanada del gobierno federal, que plantea un marco regulatorio, en el cual se establecen criterios de relación entre el estado federal y los estados.

El objetivo principal de la LAL es restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas navegables. Esta es una tarea que deben coordinar el estado federal y los estados. Estos últimos son invitados a tomar las facultades y responsabilidades de la LAL, incluyendo la administración de un Sistema Nacional de Permisos de Eliminación y Descarga de Contaminantes llamado National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES).

Actualmente treinta y nueve estados de EEUU administran su sistema de permisos en el marco del NPDES con la aprobación de U.S.EPA.

Cada estado posee la facultad de designar el o los usos prioritarios para un curso de agua en su ámbito territorial, y asimismo establecer estándares para cada segmento de un curso de agua, señalando las máximas concentraciones de contaminantes que pueden realizarse sin alterar el o los usos del curso. Tanto la asignación y redesignación de usos, como los estándares que establece cada estado por segmento son sometidos a revisión de la U.S.EPA. Los criterios que debe utilizar la U.S.EPA para realizar tal revisión deben basarse en los principios de la LAL, y la coordinación interjurisdiccional de los estándares.

Comunidad Económica Europea

La Comunidad Económica Europea (CEE) ha considerado objetivos de calidad ambiental desde su Primer Programa de Acción para el Medio Ambiente. En virtud de éste, el Consejo Directivo de la Unión, establece directivas con objetivos específicos en relación a los distintos usos del agua:

- ✓ aguas superficiales con uso como fuente de agua potable,
- ✓ aguas continentales, corrientes o estancadas
- ✓ aguas de mar cuyo uso esté destinado prioritariamente al baño (excluidas las aguas para uso terapéutico y las aguas de piscina)

El Agua: su calidad, sus usos

✓ aguas piscícolas.

Es menester tener en cuenta que la técnica utilizada por todas las directivas es muy similar, estableciéndose valores guía y valores imperativos para dichas aguas, y la coordinación de los estados miembros para alcanzar los referidos valores. Los valores imperativos se constituyen como presupuestos mínimos que los estados miembros deben respetar y utilizar, para el diseño de su propia normativa como así también para la aplicación de la legislación nacional. Por otra parte, los valores guía no son obligatorios, sin embargo, en la práctica, son tomados en cuenta como objetivos frente a los cuales los estados deben procurar su cumplimiento. Asimismo, los valores guía son tomados como referencia para la aprobación de los planes nacionales en el ámbito comunitario.

La Directiva de “Calidad de Aguas Superficiales Destinadas a la Producción de Agua Potable en los Estados Miembros”, excluye de su ámbito de aplicación a las aguas subterráneas y salobres. Por otra parte, categoriza las aguas según el tratamiento que requieran para convertirse en potables.

Los estados miembros deben procurar hacer cumplir los valores establecidos por la norma y para ello deben diseñar un plan de saneamiento para las aguas.

Los países cuentan con un plazo de adecuación para instrumentar las medidas pertinentes en su marco jurídico e institucional, para cumplir con la directiva.

La Directiva de “Calidad de Aguas de Baño” determina un plazo de diez años para que los estados miembros alcancen los objetivos de calidad y los parámetros que caracterizan este tipo de agua. Fija valores guía e imperativos en sus anexos.

Por su parte, la Directiva sobre “Contaminación Causada por Determinadas Sustancias Peligrosas Vertidas en el Medio Acuático de la Comunidad”, alcanza en su ámbito de aplicación a las aguas interiores superficiales, aguas marinas territoriales, aguas interiores del litoral y aguas subterráneas de los países miembros.

Los valores fijados por la directiva referida se encuentran plasmados en diversas listas, y todo vertido de las referidas sustancias debe someterse a autorización.

Se establece un método de programas de reducción de contaminación de las aguas, que cada estado miembro debe establecer e implementar, incluyendo objetivos de calidad de agua, y respetando las directivas del consejo, en plazos de ejecución previstos.

República Federativa de Brasil

La República Federativa de Brasil establece, en cuanto a la protección del medio ambiente, respecto de la calidad del agua, que corresponde a la competencia federal promover la elaboración y el establecimiento de normas y padrones relativos a la preservación del medio ambiente, atinentes a los recursos hídricos. Sin embargo para expresar dichos objetivos, dispone un régimen para la clasificación estadual de cursos interiores de agua según los diversos usos que se les otorgue a los mismos. Para cada una de las clases de usos del agua se fijan estándares de calidad, los cuales deben ser considerados como exigencias mínimas para la totalidad de los demás estados brasileños.

5.2.2 El caso particular del MERCOSUR

Se ha recurrido para efectuar un marco de referencia la bibliografía correspondiente al Taller "Normas de calidad de aguas para distintos usos en el MERCOSUR", (Comité Académico Agua) de la Universidad Nacional de Rosario, efectuado en Rosario, Argentina, los días 9 y 10 de setiembre de 1999. En el mismo se ha evaluado distintos aspectos sobre el establecimiento de niveles guía para distintos usos y se han fijado pautas y lineamientos de acción hacia el futuro. Sin embargo no se han advertido, debido a la ausencia de participantes de los países miembros, estudios o trabajos en relación con Normativa Común en el MERCOSUR.

Paralelamente se ha analizado el contenido del trabajo Análisis Normativo y Consideraciones para Formular Propuestas de Armonización - FARN ⁵

Se resumen a continuación, los conceptos fundamentales respecto de la normativa de los países miembros del MERCOSUR.

Para este punto se consideró estándares de calidad de agua aquellos que se relacionan a la calidad normada para los cursos o cuerpos de agua, tal como se debe encontrar en el ambiente natural. En cambio, se consideró estándares de efluentes –valores límites– aquellos que determinan las características que deben ser cumplidas antes de su ingreso al ambiente natural, o antes de su ingreso a un sistema de tratamiento colectivo (estándares de pre-tratamiento).

El Agua: su calidad, sus usos

Ambos tipos de estándares pueden contener parámetros físico-químicos y biológicos además de descripciones narrativas respecto a situaciones que deben ser logradas. El uso combinado de estos estándares, con los demás estándares (tecnológicos, de productos, de rendimientos, de desempeño y de procesos) e instrumentos de gestión ambiental, permiten organizar gradualmente el conjunto de actividades humanas y sus incidencias al entorno en función del logro de objetivos y metas ambientales.

Por ello, resulta imprescindible que las legislaciones de los cuatro países del MERCOSUR tiendan a abordar este campo a partir del marco de un ambiente deseado (objetivos) que luego será alcanzado distribuyendo las responsabilidades entre las diversas categorías de fuentes aportantes (ej. municipales, industriales, agrícolas, etc.) y, a su vez, entre cada uno de los subsectores (ej. cloacales, de curtiembres, industrias químicas, escorrentía agrícola, por pesticidas o fertilizantes, etc.).

Situación relevada

El desarrollo jurídico relativo a los estándares de calidad y de efluentes ha sido dispar en los cuatro países miembros. Se observa un mejor tratamiento jurídico y uso práctico respecto a los estándares de efluentes que respecto a los estándares de calidad. Incluso, en aquellos casos en los que se cuenta con estándares de calidad de aguas de cuerpos o cursos receptores, parecería que aún resta efectivizarlos a fin de que la realidad natural sea reflejo veraz de lo contenido por los estándares de calidad.

Aun cuando las normas relacionadas con la protección de la calidad de las aguas tienen larga data en las legislaciones ambientales, sólo Uruguay presenta a nivel nacional un régimen amplio y armónico. El mismo, parte del Código de Aguas (Decreto-Ley 14.859 del 11 de enero de 1979) que deja sin efecto en la materia, el Título III del viejo Código Rural (Ley 1.259 del 17 de julio de 1875) y algunas normas más de menor importancia. Sin perjuicio de ello, la normativa que más habrá de interesar surge de la reglamentación de dicho Código, encabezada por el Decreto 253/979 del 31 de mayo de 1979, cuyo título es representativo de su alcance (“Se aprueban normas reglamentarias para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas”).

Algo similar puede afirmarse del Brasil, teniendo en cuenta su organización federal, en donde el régimen de protección de la calidad del agua se completa entre la legislación nacional y las normas estatales. Dado que el Proyecto no contempló el análisis de estas

El Agua: su calidad, sus usos

últimas, el abordaje ha sido centrado en la Resolución del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CoNaMA) N° 020 del 30 de julio de 1986, que establece la clasificación de las aguas dulces, salinas y salobres del territorio nacional, según sus usos preponderantes.

Argentina, también por su naturaleza federal, contempla estándares de calidad de las aguas y de efluentes, a partir de legislaciones provinciales. Queda pendiente aún la adopción de legislación federal que adopte los presupuestos mínimos de calidad de aguas para toda la Nación, en virtud del nuevo artículo 41 de la Constitución Nacional de 1994. En tanto que Paraguay no presenta aún en su legislación los instrumentos jurídicos nacionales necesarios en la materia.

Clasificación de los cuerpos receptores

Uruguay, Brasil y Argentina, presentan clasificaciones de los cuerpos de agua según sus principales usos. Ello permitirá la fijación de estándares de calidad para cada clase y condiciones para los vertidos.

En Uruguay, los artículos 3° y 6° del Decreto 253/79, establecen que el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente clasificará los cursos o cuerpos de agua del país según sus usos preponderantes actuales o potenciales en cuatro clases :

CLASE 1:

Aguas destinadas o que puedan ser destinadas al abastecimiento de agua potable a poblaciones con el tratamiento convencional.

CLASE 2:

A su vez comprende dos subclases; las aguas destinadas a:

- a) riego de productos agrícolas que se consumen en forma natural, cuando éstas son usadas a través del sistema de riego que provocan el mojado del producto; y,
- b) recreación de contacto directo con el cuerpo humano.

CLASE 3:

Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y otros integrantes de la flora y de la fauna hídrica, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyo producto no se

El Agua: su calidad, sus usos

consume en forma natural o en aquellos casos que siendo consumidos en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto.

CLASE 4:

Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma.

Con respecto a Brasil, el artículo 1º de la Resolución 020/86 del Co.Na.M.A., establece ocho clases comunes y una novena clase especial, para clasificar los tres tipos de aguas, según sus usos preponderantes:

a) Aguas dulces (salinidad igual o inferior a 0,50 por mil):

CLASE Especial:

aguas destinadas al abastecimiento doméstico, sin previo o con simple desinfección y a la preservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.

CLASE 1:

aguas destinadas al abastecimiento doméstico después de tratamiento simplificado; a la protección de las comunidades acuáticas; a la recreación de contacto primario (natación, esquí acuático y buceo); al riego de hortalizas que son consumidas crudas y frutas que se desarrollan a ras del suelo y que son ingeridas crudas sin remoción de cáscara; y, a la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a alimentación humana.

CLASE 2:

aguas destinadas al abastecimiento doméstico después del tratamiento convencional; a la recreación de contacto primario; al riego de hortalizas y plantas frutales; y, a la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana.

CLASE 3:

aguas destinadas al abastecimiento doméstico después de tratamiento convencional; al riego de cultivos arbóreos, cerealeros y forrajeros; y, a la desinfectación de animales.

CLASE 4:

aguas destinadas a la navegación; a la armonía paisajística; y, usos menos exigentes.

b) Aguas salinas (salinidad de entre 0,5 y 30 por mil):

CLASE 5:

aguas destinadas a la recreación de contacto primario; a la protección de las comunidades acuáticas; y, a la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a alimentación humana.

CLASE 6:

aguas destinadas a la navegación comercial; la armonía paisajística; y, la recreación de contacto secundario.

c) Aguas salobres (salinidad igual o superior a 30 por mil):

CLASE 7:

aguas destinadas a la recreación de contacto primario; a la protección de las comunidades acuáticas; y, a la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a alimentación humana.

CLASE 8:

aguas destinadas a la navegación comercial; la armonía paisajística; y, la recreación de contacto secundario.

El artículo 20 de la resolución del CoNaMA establece que, teniendo en cuenta los usos fijados para las distintas clases, los órganos competentes encuadrarán las aguas y establecerán programas de control de la contaminación a fin de efectivizar los respectivos encuadres. Para las aguas federales se cita a la Secretaría de Medio Ambiente (SEMA), que hoy probablemente correspondería al Instituto del Medio Ambiente y Recursos

El Agua: su calidad, sus usos

Naturales Renovables de Brasil (IBAMA); y, para las aguas estadales, genéricamente al órgano estadual competente.

Finalmente, en el régimen jurídico de los residuos peligrosos de Argentina, el Anexo Ib del Decreto 831/93 del 3 de mayo de 1993 (Reglamentario de la Ley 24.051 del 17 de febrero de 1992), establece una clasificación de los cuerpos receptores, en tanto los mismos pueden ser destinatarios finales de tales residuos, una vez sometidos al tratamiento obligatorio determinado por la ley.

En lo que se refiere al agua, el aludido decreto prevé la siguiente clasificación según sus usos presentes y futuros para las aguas dulces superficiales:

1. Fuentes de agua potable con tratamiento convencional. Protección de la vida acuática. Pesca. Acuicultura. Bebida de ganado. Recreación con contacto directo.
2. Fuentes de agua potable con plantas de potabilización avanzada. Irrigación en general.
3. Fuente de agua industrial.
4. Cuerpos sujetos a saneamiento y recuperación de la calidad del agua.

Para las aguas salobres:

Fuente de agua potable con tratamiento avanzado. Uso agropecuario posible. Uso industrial. Recreación. Protección de la vida acuática.

Para las aguas saladas:

Fuente de agua potable con tratamiento avanzado. Recreación. Protección de la vida acuática.

Estándares de calidad

Tanto las normas mencionadas para el Brasil como las de Uruguay, establecen estándares de calidad de las aguas, numéricos y narrativos, para cada una de las clases en que se clasifican los cursos o cuerpos de agua.

Tomemos por ejemplo, algunos parámetros respecto de las aguas destinadas al riego de cultivos para el consumo humano en forma natural.

El Agua: su calidad, sus usos

Parámetros	Estándares (numéricos)	
	Brasil	Uruguay
pH	6,0 a 9	6,5 a 9
Cianuro	0,01 mg/L	0,005 mg/L
Arsénico	0,05 mg/L	0,05 mg/L
Mercurio	0,0002 mg/L	0,0002 mg/L
Níquel	0,025 mg/L	0,002 mg/L
Zinc	0,018 mg/L	0,03 mg/L
Parámetros	Estándares (narrativos)	
	Brasil	Uruguay
Materiales flotantes y espumas no naturales	virtualmente ausentes	ausentes
Color no natural	virtualmente ausente	ausente

Tales estándares de calidad de las aguas, tienen en ambas legislaciones, un doble objetivo:

a) en aquellas clases en que genéricamente no se prohíben los vertimientos, los mismos no podrán perjudicar la calidad de las aguas del cuerpo receptor (artículo 9º del Decreto 253/979 y artículos 19 y 23 de la Resolución del CoNaMA 020/86); y, b) cuando un cuerpo de agua no cumpla los estándares establecidos para la clase en que hubiera sido clasificado, se deberán establecer programas de recuperación (artículo 10 del Decreto 253/979, en la redacción dada por el artículo 4º del Decreto 579/989 del 6 de abril de 1989, y literal “a” del artículo 20 de la resolución del CoNaMA 020/86).

Por último, suele señalarse que Argentina no cuenta en el ámbito nacional con estándares de calidad de aguas, aun cuando el artículo 33 del decreto reglamentario de la Ley de

El Agua: su calidad, sus usos

Residuos Peligrosos (Ley N° 24051) establece que la autoridad de aplicación determinará y revisará estándares de calidad ambiental en general, incluyendo los de agua.

En realidad, el concepto previsto por las otras legislaciones se asemeja en Argentina, a lo que se denomina “niveles guía de calidad ambiental” (recomendaciones), que para las aguas se fijan en las tablas contenidas en el Anexo II del Decreto 831/93, según sus usos. En este punto, resulta conveniente que sean advertidas ciertas discrepancias en los conceptos manejados por las legislaciones.

Si bien Brasil y Uruguay no presentan una definición de “estándar de calidad”, ni tampoco de “estándar de efluentes”, su noción y finalidad son expuestas en el presente, por cuanto surgen claramente de las disposiciones analizadas.

6. Hacia donde se dirige la Argentina en materia de calidad de agua

6.1 Agua Potable

El COFESS es una Organización no Gubernamental que si bien no tiene incumbencias para el dictado de una Norma de cumplimiento obligatorio, ha elaborado y está en estudio permanente una normativa que puede ser utilizada a modo de recomendación para su adhesión.

Como las provincias tienen adhesión total o parcial al Código Alimentario Argentino en algunos casos han adoptado las normas COFESS por tener valores más exigentes que los del Código.

Esta organización está actualmente intentando que las autoridades nacionales competentes en el tema (Código Alimentario Argentino) las adopte total o parcialmente.

6.2 Otros Usos

Con respecto a los demás usos del agua en el Instituto Nacional del Agua y el Ambiente a partir de un convenio suscripto con la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación se está investigando de manera de conformar niveles guías de calidad a nivel nacional⁶.

Se transcribe a continuación un resumen del capítulo introductorio del documento, y que se encuentra en constante evolución y ajuste.

Objetivo de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente

A partir de 1998, en el ámbito de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación se inició la elaboración de niveles guía de calidad de agua ambiente, actividad multi e interdisciplinaria desarrollada conjuntamente por la DNPCyDH y el INA.

La elaboración antedicha tiene como propósito esencial contar con pautas referenciales de calidad asociadas a la salvaguarda de los componentes bióticos involucrados en los siguientes destinos sustantivos asignados al agua ambiente en la República Argentina:

- Fuente de provisión de agua para consumo humano
- Protección de la biota acuática

El Agua: su calidad, sus usos

- Irrigación de cultivos
- Bebida de especies de producción animal
- Recreación humana

Características principales de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente

Los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente presentan las siguientes características distintivas:

- consideran el carácter esencial del agua para los seres vivos (característica biológica)
- protegen la salud y la calidad de vida de la población humana (característica sanitaria)
- protegen la supervivencia y la biodiversidad de la biota acuática (característica ecológica)
- están derivados a partir de información proveniente de estudios toxicológicos, ecotoxicológicos y epidemiológicos desarrollados en condiciones experimentales estandarizadas (característica científica)
- contemplan eficiencias de remoción de contaminantes en la potabilización (característica tecnológica)
- son aplicables, a priori, a todos los cuerpos de agua del territorio argentino (característica universal), requiriendo su aplicación particular a un cuerpo de agua la contrastación de las condiciones naturales específicas de este último consideran que los efectos de los parámetros de calidad de agua sobre los organismos son independientes entre sí (característica paramétrica independiente)
- protegen a los usos del agua que están relacionados con la supervivencia, desarrollo y bienestar de los seres vivos (característica utilitaria)

Las características señaladas configuran a los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente como un instrumento de gestión de los recursos hídricos de naturaleza biológica, sanitaria, ecológica, científica, tecnológica, universal y utilitaria cuyas aplicaciones están dirigidas a la protección de la calidad de las aguas del territorio

El Agua: su calidad, sus usos

argentino. Cabe destacar que en ningún caso las magnitudes de estos niveles guía constituyen cupos admisibles de alteración de la calidad natural de los cuerpos de agua, ya que en cualquier consideración de destino para los mismos se adopta como premisa básica el principio de protección de sus condiciones cualitativas naturales.

El nivel guía de calidad es una expresión cuantitativa o narrativa emergente de un requerimiento científico inherente a un parámetro de calidad respecto a un destino específico asignado al agua ambiente.

El objetivo de calidad es una expresión cuantitativa o narrativa inherente a un parámetro de calidad en un programa de manejo del agua ambiente respecto a un destino específico asignado a la misma que resulta de considerar, además del requerimiento científico antes mencionado, su calidad actual y las restricciones tecnológicas y socioeconómicas.

El estándar de calidad es una expresión cuantitativa o narrativa fijada con carácter de cumplimiento obligatorio para un parámetro de calidad con relación a un destino específico asignado al agua ambiente.

Aplicaciones de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente

El marco conceptual en el que se elaboran los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente posibilita las aplicaciones que a continuación se señalan, con sus respectivos fundamentos y alcances.

1. Aplicación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente como instrumento de los presupuestos mínimos de protección ambiental
2. Aplicación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente como herramienta para la especificación de objetivos y estándares de calidad de los recursos hídricos y para la clasificación de los cuerpos de agua
3. Aplicación de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente como herramienta para la evaluación de impacto ambiental de obras y acciones de aprovechamiento hídrico y para el control de la contaminación hídrica.

7. Conclusiones y recomendaciones

Como marco inicial de las conclusiones y recomendaciones finales a partir de la investigación realizada, parece oportuno incluir las conclusiones técnicas del Taller de Normas de Calidad de Aguas para Distintos Usos en el Mercosur, según las cuales resumidamente para todos los grupos de estudio y discusión (Agua para consumo humano, usos recreacionales, usos medicinales, uso agropecuario y riego), han sido básicamente las mismas.

Han detectado en primer lugar los siguientes problemas prioritarios

- Falta de legislación clara
- Diversidad de Normativas
- Desconocimiento de los mecanismos idóneos para producir una norma

En base a esta problemática se han establecido las siguientes líneas de acción:

- Recopilación de la legislación en todos los niveles
- Unificar en la medida de lo posible la Normativa existente
- Convocar la mayor cantidad de Organismos relacionados con el tema para el Establecimiento de Valores Guía para distintos usos.
- Difundir la problemática del agua en el país.

Es muy importante mencionar que algunas líneas de acción han comenzado a dar sus frutos, que como hemos mencionado se han plasmado en los Valores Guía que están elaborando la Secretaría de Recursos Hídricos y el INA, y la recopilación que el COFESS ha realizado resumiendo la Normativa Nacional y tendiendo al establecimiento de una norma única.

Como corolario de este estudio resulta interesante recordar las conclusiones del II Encuentro de las Aguas del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura realizado en Uruguay:

El Agua: su calidad, sus usos

Existe una necesidad imperiosa que los países fijen sus políticas nacionales integrales sobre Recursos Hídricos.

Dicha política global sobre agua debe imprescindiblemente resolver diferentes cuestiones para definirse como tal y debe contener:

- Relevamiento, Diagnóstico, Análisis y Evaluación de la disponibilidad actual del recurso y su balance o contraste con la demanda para sus múltiples usos.
- Planes de gestión de Recursos Hídricos a nivel nacional, regional, de cuencas hidrográficas con evaluaciones periódicas, que deberán tener presente las proyecciones de las necesidades y la identificación de la anomalía detectada en el balance entre oferta y demanda que permitan efectuar previsiones que sean la base de líneas de acción concretas.
- Análisis y evaluación del impacto en el Medio Ambiente que produce tanto el inadecuado manejo del recurso, como las medidas que se adopten para paliar esta situación.
- Un Marco Jurídico Regulatorio Global del Agua como bien público jurídicamente protegido que concilie tanto el interés general como el privado.

En este contexto deben considerarse los siguientes puntos:

- Asimilar el concepto de valor económico del agua, contemplando su sustentabilidad, no solo por su condición de recurso finito, escaso en algunas regiones e inexistente definitivamente en otras partes del planeta, sino también como un indicador más de la rentabilidad o no de su uso y utilización.
- Sin embargo, esa asignación de valor económico deberá contemplar las desigualdades sociales inherentes a toda sociedad.
- Buscar la igualdad en el goce del recurso hídrico en todo el planeta, respetando una premisa elemental de cooperación y solidaridad internacional: la extracción y utilización del agua deberá efectuarse en forma responsable a la existencia del mismo, priorizando la satisfacción de las necesidades básicas del ser humano.

El Agua: su calidad, sus usos

- Desarrollar una cultura del agua que permita una participación responsable de la sociedad en su conjunto en la toma de decisiones con respecto al uso y manejo del recurso.
- La capacitación profesional es uno de los requisitos más importantes para lograr el desarrollo de los recursos humanos con que cuenta una institución. En especial debe fomentarse la realización de eventos de formación profesional, con la participación de los funcionarios encargados de instrumentar la gestión de los recursos hídricos en los mismos.
- Reconocer que las universidades y centros de investigación aportan herramientas y metodologías que permiten facilitar las tareas a ser llevadas a cabo en el proceso de toma de decisiones. En este sentido se sugiere afianzar los vínculos de coordinación existente ente dichos centros y las instituciones vinculadas a la gestión y manejo de los recursos hídricos.
- La utilización de nuevas tecnologías como los sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica potencian las posibilidades de planificación, control y monitoreo de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Se sugiere a los servicios públicos y privados, una mayor utilización de estas herramientas en la región.

Estamos transitando un camino correcto hacia una nueva e innovadora normativa en materia de calidad de agua, pero el camino es largo e interminable, los cambios lógicos, ambientales, etc. hacen que esta labor sea constante y que el ajuste de ideas y metodologías sea permanente. Debemos velar entonces porque cada uno de nosotros aporte lo mejor de sí para que este itinerario no se detenga, para que cada resultado nos aliente a la búsqueda del siguiente, y que los obstáculos no nos impidan continuar. Sino ellos más bien nos lleven a redoblar esfuerzos contra cada revés, porque seguramente en el final de nuestro camino dejaremos en la posta un aporte sin duda valioso para que el que nos siga en ese camino, mantenga viva la posibilidad de que la calidad de vida de los que vengan detrás, sea un poco mejor que la que nos han dejado nuestros antepasados.

ANEXO I - LAS SUSTANCIAS PRESENTES EN EL AGUA

Turbiedad

La turbiedad del agua de bebida se debe a la presencia de partículas de tamaño coloidal que no han sido removidas. Ha sido definida como la propiedad óptica del agua que causa la dispersión de la luz y no su transmisión y por lo tanto se mide en equipos que tienen una fuente de luz y un sensor para detectar los rayos dispersados.

Aunque tradicionalmente ha sido considerado un parámetro relacionado con aspectos estéticos, tiene importancia sanitaria por las siguientes razones:

Se ha demostrado la relación entre los valores de turbiedad y la presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium* en el agua tratada. Estudios realizados en los Estados Unidos demostraron que existía relación entre la aparición de *Giardia* en el agua filtrada y los picos de turbiedad y que la concentración de quistes podía incrementarse en 50 veces con sólo un aumento de 0,1 UNT (Unidad Nefelométrica de Turbiedad) en la turbiedad. Por tal motivo, las agencias regulatorias, recomiendan tener como objetivo mantener una turbiedad de 0,1 UNT en el efluente de cada uno de los filtros.

La presencia de turbiedad interfiere en el proceso de desinfección, aumentando la demanda de cloro y protegiendo a las bacterias que pudieran quedar adheridas a las superficies de las partículas.

Teniendo en cuenta lo expuesto, los valores establecidos en las distintas Normas para la turbiedad han disminuido desde valores de 5 UNT a 1 o 0,5 UNT. La U.S.E.P.A. lo incluye dentro de los parámetros de significado sanitario y establece un valor de 0,5 UNT, pudiéndose aceptar un valor de hasta 5 sólo en ciertas condiciones. Puede asegurarse que no es admisible aceptar valores superiores a 1 UNT en el agua potable, sobre todo cuando se trata de fuentes provisión no bien protegidas respecto a la contaminación de origen cloacal.

Componentes Inorgánicos

Los componentes inorgánicos que pueden afectar la aceptabilidad del agua potable son los siguientes: ácido sulfhídrico, aluminio, amoníaco, cloruros, cobre, dureza, hierro, manganeso, oxígeno disuelto, pH, sodio, sulfato, sólidos disueltos y zinc.

Respecto a los contenidos mínimos necesarios de algunos elementos para que el agua sea considerada apta para el consumo humano (sales, alcalinidad, etc.) no existen muchos datos al respecto. Se puede decir que un agua con extremadamente bajas concentraciones de Sólidos Disueltos Totales puede ser inaceptable por su gusto insípido.

La Comunidad Económica Europea (C.E.E.), únicamente cita como concentraciones mínimas requeridas los parámetros Dureza Total (60 mg/L) y Alcalinidad (30 mg/L).

A continuación se analizarán los distintos componentes inorgánicos que pueden estar presentes en las aguas tratadas.

- **Ácido Sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno)**

El ácido sulfhídrico es un gas de olor desagradable, a “huevos podridos”, que se percibe incluso con concentraciones muy bajas, inferiores a $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el aire. No obstante, la concentración de ácido sulfhídrico en el agua de bebida será generalmente reducida porque los sulfuros se oxidan fácilmente en el agua bien aireada.

Aunque no se dispone de datos sobre la toxicidad por vía oral, es poco probable que pueda consumirse una dosis perjudicial de ácido sulfhídrico en el agua de bebida. Por consiguiente, la OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios.

Se estima que los umbrales de sabor y olor del ácido sulfhídrico oscilan entre 0,05 y 0,1 mg/L.

El olor a “huevos podridos” de este compuesto se percibe especialmente en algunas aguas subterráneas y en el agua de bebida estancada en el sistema de distribución, de resultas del agotamiento del oxígeno y de la consiguiente reducción de sulfato por acción bacteriana.

- **Alcalinidad**

Representa la demanda de ácido de un volumen dado de agua para alcanzar la neutralización frente a un indicador apropiado. Es impartida por los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) e hidróxidos (OH^-) contenidos en las aguas naturales o tratadas; ocasionalmente pueden contribuir (escasamente) boratos, silicatos, fosfatos.

La alcalinidad es útil en el agua porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH: asimismo dado que no tiene un significado sanitario en general no se fijan valores límites.

Como referencia un agua superficial puede tener valores de alcalinidad cercanos a los 35 mg/L (como CaCO_3) y un agua subterránea valores entre 400 y 600 mg/L (como CaCO_3)

- **Aluminio**

El aluminio es un elemento abundante y difundido, que representa alrededor del 8% de la corteza terrestre. En el tratamiento del agua utilizada para el abastecimiento público se usan ampliamente compuestos de aluminio, y la presencia de éste en el agua de bebida se debe con frecuencia a deficiencias del control y el funcionamiento del proceso. La exposición de los seres humanos puede producirse por diversas vías, y probablemente corresponde al agua potable menos del 5% de la ingesta total.

En algunos estudios, se ha observado una relación entre la presencia de aluminio y la aparición de lesiones cerebrales características de la enfermedad de Alzheimer. Son necesarios nuevos estudios, pero, por el momento, el conjunto de los datos epidemiológicos y fisiológicos disponibles no parece corroborar la idea de que el aluminio tiene una función causal en la enfermedad de Alzheimer.

Por lo tanto, la OMS no recomienda un valor guía basado en los efectos sanitarios. La presencia de aluminio en concentraciones superiores a 0,2 mg/L a menudo provoca quejas de los consumidores, debido a que causa la aparición de depósitos de una masa floculenta de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y acentúa la coloración del agua por el hierro.

- **Amianto**

El amianto presente en el agua procede de la disolución de minerales que lo contienen, de efluentes industriales, de la contaminación atmosférica y de la existencia en el sistema de distribución de tuberías de fibrocemento.

Se sabe que el amianto absorbido por inhalación es cancerígeno para los seres humanos. Aunque la cuestión se ha examinado a fondo, los estudios epidemiológicos realizados en poblaciones cuyo abastecimiento de agua contiene altas concentraciones de amianto no han proporcionado pruebas convincentes de la carcinogenicidad de esta sustancia por vía de ingestión.

Por consiguiente, no existen pruebas consistentes de que el amianto ingerido sea peligroso para la salud, por lo que la OMS llegó a la conclusión de que no es necesario establecer un valor guía basado en criterios sanitarios para el amianto presente en agua potable.

- **Amoníaco**

El amoníaco que existe en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agrícolas e industriales y de la desinfección con cloramina. Las concentraciones naturalmente existentes en las aguas subterráneas y superficiales se sitúan, por lo común, por debajo de 0,2 mg/L.

La presencia de amoníaco en el agua es un indicador de una posible contaminación por bacterias, aguas residuales o desechos de origen animal. El amoníaco presente en el agua potable no tiene una importancia inmediata para la salud, por lo que la OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el amoníaco puede poner en peligro la eficacia de la desinfección, dar lugar a la formación de nitritos en los sistemas de distribución, deteriorar los filtros para la eliminación de manganeso y crear problemas de sabor y de olor.

Con un pH alcalino, la concentración umbral del olor a amoníaco es aproximadamente de 1,5 mg/L.

- **Antimonio**

Las sales de antimonio y los complejos orgánicos de este elemento se hallan habitualmente en los alimentos y en el agua en bajas concentraciones. Las concentraciones observadas en el agua potable son generalmente inferiores a 4 µg/L.

En su evaluación global basada en la exposición por inhalación, el I.A.R.C. llegó a la conclusión de que el trióxido de antimonio es posiblemente cancerígeno para los seres humanos (Grupo 2B) y el trisulfuro de antimonio no es clasificable sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos (Grupo 3).

En un estudio realizado con ratas, los efectos observados fueron un descenso de la longevidad y alteraciones de las concentraciones de glucosa y colesterol en sangre. No se detectaron efectos en la incidencia de tumores benignos o malignos.

A partir de dichos estudios se llega a una CMA de 0,003 mg/L, que se sitúa en la práctica por debajo del límite del análisis cuantitativo. Por lo tanto, el valor guía provisional ha sido fijado por la OMS en una concentración cuantificable en la práctica de 0,005 mg/L.

- **Arsénico**

El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y se utiliza comercialmente. El que está presente en el agua puede proceder de la disolución de minerales, de efluentes industriales y de la atmósfera.

Está demostrado que el arsénico inorgánico es cancerígeno para los seres humanos, y el Internacional Agency for Research on Cancer (I.A.R.C.) lo ha clasificado en el Grupo 1. En poblaciones que consumen agua con altas concentraciones de arsénico, se ha observado una incidencia relativamente elevada de cáncer de la piel y posiblemente de otros tipos de cáncer, incidencia que aumenta con la dosis y la edad.

En las biovaloraciones limitadas realizadas con especies animales no se ha demostrado que el arsénico sea cancerígeno pero, se han obtenido resultados positivos en estudios encaminados a evaluar el potencial de promoción tumoral.

No se ha comprobado que el arsénico sea mutagénico en valoraciones efectuadas con bacterias y mamíferos, aunque se ha confirmado que provoca aberraciones

El Agua: su calidad, sus usos

cromosómicas en diversos tipos de cultivos celulares, en particular de células humanas; esos efectos no se han observado in vivo.

Los datos disponibles sobre la relación entre el cáncer de órganos internos y la ingestión de arsénico en el agua de bebida son insuficientes para realizar una estimación cuantitativa de la relación exposición-respuesta.

Sin embargo, basándose en el incremento de la incidencia de cáncer de piel observada en una población de China (Taiwán), la U.S.EPA ha usado un modelo multietapas para estimar el riesgo de cáncer de piel durante toda la vida asociado con la ingestión de arsénico en agua de bebida. Con este modelo y datos proveniente de seres humanos masculinos, la U.S.EPA estimó las concentraciones de arsénico en agua de bebida asociadas con un riesgo adicional de cáncer de piel durante toda la vida de 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} , las que resultaron ser respectivamente de 1,7 µg/L, 0,17 µg/L y 0,017 µg/L.

Sin embargo, debería acotarse que estos valores pueden sobrestimar el riesgo real, debido a la posible contribución de otros factores en la incidencia de esa enfermedad en la población tomada como referencia y a posibles variaciones metabólicas dependientes de la dosis, que no pudieron tenerse en cuenta.

La OMS ha establecido un valor guía provisional (se utiliza esta expresión para los componentes respecto de los cuales algunos elementos de juicio parecen indicar la existencia de un posible riesgo, pero la información disponible sobre los efectos en la salud es limitada) para el arsénico en el agua potable de 0,01 mg/L, teniendo en cuenta que el riesgo adicional estimado de cáncer de la piel durante toda la vida asociado con la exposición a esa concentración sería de 6×10^{-4} .

- **Bario**

El bario está presente en varios compuestos que forman parte de la corteza terrestre y se utiliza en aplicaciones industriales muy diversas; el que se encuentra en el agua procede principalmente de fuentes naturales.

En un estudio de corta duración realizado con un pequeño número de voluntarios, no se obtuvieron datos que indicaran consistentemente la aparición de efectos cardiovasculares negativos tras la exposición a concentraciones de bario de hasta 10 mg/L de agua. No

obstante, en ratas expuestas a concentraciones relativamente bajas de bario en el agua de bebida, se observó un aumento de la presión sanguínea sistólica.

A partir de los resultados toxicológicos con especies animales se llega a calcular una CMA de 0,3 mg/L, tomando una IDA de 51 µg/kg de peso corporal y una asignación del 20% al agua potable.

La OMS adopta un valor guía para el bario en el agua potable de 0,7 mg/L.

- **Berilio**

El berilio tiene algunos usos de cierta importancia, debido sobre todo a su resistencia al calor. En el agua se encuentra con poca frecuencia y sólo en concentraciones muy bajas, por lo común inferiores a 1 µg/L.

El IARC lo ha clasificado, junto con sus compuestos, como probable cancerígeno para los seres humanos (Grupo 2A), sobre la base de estudios de la exposición ocupacional y estudios de la inhalación realizados con animales de laboratorio.

No se poseen datos suficientes para determinar si este elemento es cancerígeno por vía oral y tampoco para proporcionar una base toxicológica para la adopción de un valor guía. No obstante, parece poco probable que las bajísimas concentraciones de berilio que suelen hallarse en el agua potable representen un riesgo para los consumidores.

- **Boro**

Los compuestos del boro se usan en algunos detergentes y procesos industriales y llegan al agua en los efluentes industriales y domésticos. Las concentraciones de boro que suelen hallarse en el agua de bebida son inferiores a 1 mg/L.

Cuando se administra en forma de borato o ácido bórico, el boro se absorbe rápida y casi completamente a través del tracto gastrointestinal. La excreción tiene lugar sobre todo por el riñón.

La exposición prolongada de los seres humanos a compuestos del boro produce irritación gastrointestinal leve. En estudios a corto y largo plazo realizados con animales y en estudios de la reproducción con ratas, se ha observado atrofia testicular.

El Agua: su calidad, sus usos

En diversos sistemas de pruebas in vitro, no se demostró que el ácido bórico y los boratos sean mutagénicos.

A partir de una IDA de 88 µg/kg de peso corporal y una asignación del 10% al agua potable la OMS llega a un valor guía de 0,3 mg/L.

Debe señalarse que la ingesta de boro procedente de los alimentos no es bien conocida y, al parecer, el tratamiento del agua de bebida no elimina adecuadamente este elemento.

- **Cadmio**

Este metal se utiliza en la industria siderúrgica y en los plásticos. También se usan ampliamente sus compuestos en las pilas. La contaminación del agua de bebida puede deberse asimismo a impurezas del zinc que contienen las tuberías galvanizadas y las soldaduras, así como algunos accesorios de metal, aunque, en el agua potable, las concentraciones son por lo general inferiores a 1 µg/L.

Los alimentos son la principal fuente de exposición cotidiana al cadmio, aún cuando el hábito de fumar es una importante fuente adicional.

Hay pruebas de que el cadmio es cancerígeno por vía de inhalación, y el IARC lo ha clasificado, junto con sus compuestos, en el Grupo 2A. No obstante, no se ha demostrado la carcinogenicidad por vía oral y no existen pruebas claras de la genotoxicidad.

El riñón es el órgano más afectado por la toxicidad del cadmio. La OMS ha establecido un valor guía de 0,003 mg/L sobre la base de la asignación del 10% al agua potable.

- **Cianuro**

Los cianuros tienen una toxicidad aguda elevada. Pueden hallarse en ciertos alimentos, en particular en algunos países en desarrollo, y ocasionalmente se detectan en el agua de bebida, debido sobre todo a contaminación industrial.

El número de estudios toxicológicos que pueden utilizarse para calcular un valor guía es muy limitado.

La OMS ha establecido un valor guía de 0,07 mg/L, que se cree ofrece una protección suficiente contra la exposición tanto aguda como prolongada, asignando al agua potable

el 20% de la IDA porque la exposición debida a otras fuentes es generalmente reducida y la exposición al cianuro presente en el agua es sólo intermitente.

- **Cloruro**

El cloruro presente en el agua de bebida procede de fuentes naturales, de las aguas residuales y los efluentes industriales, de la escorrentía urbana que contiene sales y de intrusiones salinas.

La principal fuente de exposición humana a este compuesto es la sal agregada a las comidas, cuya ingesta es por lo general mucho mayor que la procedente del agua potable.

La excesiva concentración de cloruro eleva la tasa de corrosión de los metales del sistema de distribución, en función de la alcalinidad del agua, y puede hacer que aumenten las concentraciones de metales en ésta.

La OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el cloruro presente en el agua potable.

Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua y las bebidas tengan un sabor desagradable. Los umbrales de sabor del anión cloruro dependen del catión asociado y son del orden de 200 a 300 mg/L para el cloruro sódico, potásico y cálcico.

- **Cobre**

Las concentraciones de cobre en el agua de bebida son por lo general bajas, de sólo unos microgramos por litro, pero la existencia de tuberías de cobre puede aumentarlas considerablemente, hasta varios miligramos por litro, tras un período de retención del agua en las tuberías.

Contrariamente a lo que ocurre en los adultos, en los lactantes el metabolismo del cobre no está bien desarrollado, habiendo cierta inquietud ante la posible participación del cobre presente en el agua de bebida en la aparición de cirrosis hepática durante la primera infancia en lactantes alimentados a biberón, aunque el temor no se ha confirmado.

La OMS asigna un valor guía basado en criterios sanitarios de 2 mg/L. Este valor proporciona un margen de seguridad suficiente para los lactantes alimentados a biberón.

El Agua: su calidad, sus usos

Dado que sigue habiendo incertidumbre sobre la toxicidad del cobre para los seres humanos, el valor guía propuesto por la OMS se considera provisional.

La presencia de cobre en el agua puede dificultar el uso de ésta para fines domésticos. El cobre en el sistema de abastecimiento público aumenta la corrosión de los accesorios de hierro galvanizado y acero.

Cuando las concentraciones de cobre son superiores a 1 mg/L, ocasionan la aparición de manchas en la ropa lavada y las instalaciones sanitarias. En concentraciones superiores a 5 mg/L, el cobre también colorea el agua y le da un sabor amargo poco agradable.

- **Conductividad Específica o Conductividad Eléctrica (CE)**

Es un parámetro relacionado a los Sólidos Disueltos Totales (SDT). La conductividad es actualmente una medición (en microsiemens por centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente.

En soluciones diluidas, las dos mediciones son razonablemente comparables; es decir. $\text{SDT}=0,5\times\text{CE}$. Sin embargo, a medida que la solución se vuelve mas concentrada ($\text{SDT}>1000\text{mg}/\text{L}$, $\text{CE}>2000\mu\text{S}/\text{cm}$), la proximidad en la solución de los iones entre sí, reduce su actividad y consecuentemente su capacidad para transmitir corriente. Luego, la relación de SDT-CE se incrementa y la relación tiende a $\text{SDT}=0,9\times\text{CE}$.

Estos valores de relación SDT-CE no pueden ser estandarizados y variarán de una muestra de agua a otra, por lo que los valores citados son sólo orientativos.

La importancia de estas dos determinaciones (SDT y CE) radica en sus efectos en la corrosividad del agua y sus efectos en la solubilidad de compuestos ligeramente solubles tales como CaCO_3 .

En general, a medida que los SDT y la CE se incrementan, también se incrementa la corrosividad del agua; además con el incremento de los SDT y la CE, la actividad de los iones individualmente disminuye y ocurre un aparejamiento de iones. El aparejamiento de iones son interacciones entre iones, mas débiles que las fuerzas intermoleculares, pero suficientemente fuertes para disminuir otras reacciones tales como la formación y precipitación de carbonato de calcio; siendo el resultado final un incremento de la solubilidad efectiva de potenciales precipitados.

El Agua: su calidad, sus usos

La C.E.E. ubica a la Conductividad como parámetro operacional. Estos parámetros operacionales son de importancia secundaria para la salud y confort del consumidor. Sin embargo, se ha comprobado que estos parámetros son muy útiles en el proceso de preparación y distribución del agua. Por lo expuesto se cree no justificable poner a estos parámetros un límite máximo de concentración.

Para la Conductividad la C.E.E. establece un valor guía de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- **Cromo**

El cromo está ampliamente distribuido en la corteza terrestre, con valencias de +2 a +6. En general, los alimentos parecen ser la principal fuente de la ingesta de este elemento. En un estudio a largo plazo de la carcinogenicidad, en el que se administró a las ratas cromo (III) por vía oral, no se observó un aumento de la incidencia de tumores. El cromo (VI) es cancerígeno para las ratas por inhalación, aunque los datos limitados con que se cuenta no indican que sea cancerígeno por vía oral.

El IARC ha clasificado el cromo (VI) en el Grupo 1 y el cromo (III) en el Grupo 3. En un principio, se consideró que debían determinarse valores guía distintos para el cromo (III) y el cromo (VI); sin embargo los actuales métodos de análisis favorecen el establecimiento de un solo valor guía para el total de cromo.

Dada la carcinogenicidad del cromo (VI) cuando se absorbe por inhalación y su genotoxicidad, se ha puesto en duda el actual valor guía de la OMS de 0,05 mg/L (provisional), pero los datos toxicológicos disponibles no parecen justificar el cálculo de un nuevo valor.

- **Dureza**

La dureza del agua es causada por el calcio y, en menor grado, el magnesio, disueltos en ella. Generalmente se expresa por la cantidad equivalente de carbonato cálcico.

El agua de dureza superior a 200 mg/L puede causar la aparición de incrustaciones en el sistema de distribución, según cual sea la interacción con otros factores, como el pH y la alcalinidad, dando además lugar a un consumo excesivo de jabón y a la consiguiente formación de espuma. Cuando se calientan, las aguas duras causan incrustaciones de carbonato cálcico.

El Agua: su calidad, sus usos

Por otra parte, el agua blanda, cuya dureza es inferior a 100 mg/L, puede tener una capacidad amortiguante reducida y resultar, por lo tanto, más corrosiva para las tuberías. La aceptación de la dureza del agua por el público puede ser muy variable según las comunidades, en función de las condiciones locales. El umbral de sabor del ion calcio es del orden de 100 a 300 mg/L, según el anión asociado, y el umbral de sabor del magnesio es probablemente inferior al del calcio.

En algunos casos, los consumidores toleran una dureza de más de 500 mg/L.

La OMS no propone un valor guía para la dureza basado en criterios sanitarios.

- **Estaño**

El estaño se utiliza principalmente en los revestimientos que emplea la industria alimentaria. Por lo tanto, los alimentos, en particular los enlatados, representan la principal vía de exposición de los seres humanos a este metal.

Para la población en general, el agua de bebida no es una fuente importante de estaño, ya que las concentraciones superiores a 1 ó 2 µg/L son excepcionales.

En estudios sobre la carcinogenicidad a largo plazo realizados con ratones y ratas a los que se administró cloruro estañoso no se observó un aumento de la incidencia de tumores.

El principal efecto negativo observado en seres humanos como resultado de concentraciones excesivas de estaño (mayores a 150 mg/kg) en los alimentos, por ejemplo en frutas enlatadas, ha sido irritación gástrica aguda. No existen pruebas de que la exposición crónica al estaño tenga efectos perjudiciales en los seres humanos. La presencia de estaño en el agua de bebida no representa un riesgo para la salud humana. Por este motivo, la OMS no consideró necesario establecer un valor guía para el estaño inorgánico.

- **Fluoruro**

El flúor representa aproximadamente 0,3 g/kg de la corteza terrestre.

Los niveles de exposición diaria a este compuesto dependen de la zona geográfica. Si el pescado y el té forman parte del régimen de alimentación, la exposición alimentaria puede

El Agua: su calidad, sus usos

ser especialmente alta. El uso de pasta de dientes fluorada da lugar a una ingesta adicional.

La exposición al fluoruro presente en el agua de bebida depende considerablemente de circunstancias naturales. En el agua no tratada, las concentraciones son, por lo común, inferiores a 1,5 mg/L pero en las zonas ricas en minerales que contienen flúor, las aguas subterráneas pueden contener unos 10 mg/L.

El IARC clasificó los fluoruros inorgánicos en el Grupo 3. Extensos estudios epidemiológicos realizados no han aportado ninguna prueba de que el fluoruro sea cancerígeno para los seres humanos.

La OMS propone un valor guía de 1,5 mg/L. Las concentraciones superiores a ese valor llevan consigo un riesgo creciente de fluorosis dental (insuficiencia cálcica del esmalte y la dentina de los dientes que produce manchado de los mismos) y concentraciones muchos mayores provocan fluorosis esquelética (modificación en la composición externa de la estructura del hueso, tornándolos frágiles y quebradizos).

El valor guía es superior al recomendado para la fluoración artificial del abastecimiento de agua. Al establecer normas nacionales para el fluoruro, es especialmente importante tener en cuenta las condiciones climáticas, la cantidad de agua consumida y el aporte de fluoruro por otras fuentes.

Sobre la necesidad de agregar y asegurar una buena dosificación de flúor se puede indicar que las caries dentales constituyen una de las enfermedades mas frecuentes que afectan al ser humano, dado que mas del 95% de la población la padece o ha tenido experiencia de ella.

La pérdida múltiple de piezas dentales altera la armonía y el equilibrio entre los maxilares, consecuentemente modifica la oclusión produciendo dolor en los músculos masticadores, alteración de la articulación témporo-mandibular, dolor de cabeza, hipoacusia, etc. Por lo tanto las enfermedades del aparato masticatorio constituyen una grave amenaza para el bienestar de la población demandando un elevado costo económico su recuperación y rehabilitación.

El Agua: su calidad, sus usos

Con la prevención de las caries dental y sus consecuencias, se puede lograr un mejoramiento de la nutrición, mantener naturalmente la armonía cualitativa y cuantitativa del aparato masticatorio y así obtener una mejor calidad de vida.

Considerando que el problema de las caries dentales no puede solucionarse con los recursos odontológicos con que se cuenta al presente, y que el aumento de población tiende a agravarlo, se hace necesario reafirmar la política de fluoración de los sistemas de abastecimiento de agua como un medio eficaz, económico y seguro para la prevención de esta enfermedad.

En el año 1961, la Federación Dental Internacional, en la cual estuvieron representadas 20 naciones, recomendó la fluoruración de las aguas de consumo. La aplicación de fluoruros puede realizarse de distintas formas, con distintas concentraciones, frecuencia de uso y a través de distintas vías como el agregado al agua potable de consumo, complementación de la dieta con fluoruros, agregado de flúor a la sal de mesa o a la leche.

En algunos países de Centroamérica se utiliza sal fluorada, aunque este sistema de fluoración requiere un riguroso control en la distribución regional de la sal, a fin de evitar que llegue a ser utilizada por poblaciones donde naturalmente las aguas de consumo poseen altas concentraciones de flúor.

- **Hierro**

El hierro es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre. Se encuentra en las aguas corrientes naturales, en concentraciones que varían de 0,5 a 50 mg/L.

También puede estar presente en el agua de bebida debido a la utilización de coagulantes de hierro o a corrosión de las tuberías de acero y hierro fundido durante el proceso de distribución.

El hierro es un elemento indispensable de la nutrición humana. Las necesidades diarias mínimas de este metal dependen de la edad, el sexo, el estado fisiológico y la biodisponibilidad del hierro y oscilan entre 10 y 50 mg diarios.

Como precaución contra la acumulación de un volumen excesivo de hierro en el organismo, la OMS llega a un valor de unos 2 mg/L, que no representa un riesgo para la

El Agua: su calidad, sus usos

salud. Por lo general, concentraciones inferiores afectan ya al sabor y la apariencia del agua.

Las aguas subterráneas anaeróbicas pueden contener hierro ferroso en concentraciones de hasta varios miligramos por litro sin que el agua, cuando se bombea directamente de un pozo, esté coloreada o turbia. Sin embargo, al quedar expuesto a la atmósfera, el hierro ferroso se oxida, transformándose en hierro férrico, que da al agua un color marrón rojizo desagradable.

El hierro favorece también el desarrollo de bacterias del hierro que obtienen su energía de la oxidación que transforma el hierro ferroso en hierro férrico y, durante el proceso, depositan un revestimiento viscoso en las tuberías.

En concentraciones superiores a 0,3 mg/L, el hierro mancha la ropa lavada y las instalaciones sanitarias. Cuando la concentración es inferior a 0,3 mg/L, el sabor no suele ser perceptible, aunque el agua puede enturbiarse y colorearse.

La OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el hierro presente en el agua potable.

- **Manganeso**

El manganeso es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre y, por lo general, se presenta junto con el hierro. Las concentraciones de manganeso disuelto en las aguas subterráneas y superficiales pobres en oxígeno pueden alcanzar varios miligramos por litro.

En presencia de oxígeno, el manganeso formará óxidos insolubles que pueden provocar la aparición de depósitos no deseables y causar problemas de color en los sistemas de distribución. Una concentración de 0,02 mg/L ocasiona con frecuencia la aparición en las tuberías de un revestimiento que puede desprenderse en forma de un precipitado negro, además, ciertos organismos de efectos molestos concentran el manganeso, lo cual hace que el agua distribuida presente problemas de sabor, olor y turbiedad.

El manganeso es un oligoelemento indispensable, del que, según las estimaciones, se necesitan diariamente de 30 a 50 µg/kg de peso corporal.

El Agua: su calidad, sus usos

Se ha observado que el manganeso parece ser neurotóxico para los mineros, tras una prolongada exposición a polvo que lo contiene. No hay datos convincentes que indiquen la aparición de efectos tóxicos en los seres humanos debido al consumo de manganeso en el agua de bebida, pero sólo se dispone de estudios limitados.

Teniendo en cuenta que la ingesta de manganeso puede llegar 20 mg diarios sin efectos perjudiciales aparentes se obtiene un valor límite de 0,4 mg/L. Aunque no existe ningún estudio que permita por sí solo calcular un valor guía, el conjunto de datos obtenidos de estudios realizados con animales de laboratorio, apoya la idea de que un valor guía provisional según la OMS, basado en criterios sanitarios de 0,5 mg/L debería ser suficiente para proteger la salud pública.

Aunque las concentraciones de manganeso inferiores a 0,1 mg/L resultan generalmente aceptables para los consumidores, esto puede variar según las circunstancias locales. En concentraciones superiores a 0,1 mg/L, el manganeso contenido en el agua mancha las instalaciones sanitarias y la ropa lavada, y da a las bebidas un sabor desagradable.

- **Magnesio**

El magnesio es el octavo elemento natural mas abundante.

Las sales de magnesio son más solubles que el calcio; sin embargo, ellas son menos abundantes en las rocas que el calcio y por lo tanto menos disponibles para intervenir en reacciones.

La forma predominante de Magnesio en aguas naturales es el ion libre Mg^{+2} . El Sulfato de Magnesio y el Cloruro de Magnesio se encuentran en solución y pueden derivar ya sea de depósitos naturales o de industrias.

El Magnesio es un mineral esencial para los humanos y no hay evidencia de que tenga efectos adversos a la salud; en altas concentraciones (400 mg/L para personas sensibles, 1000 mg/L para la población normal) las sales de Magnesio pueden tener un efecto laxante.

La mayoría de las aguas naturales duras contienen Calcio y Magnesio juntos. La U.S.EPA y las Normas de Canadá no limitan el contenido de Magnesio en aguas de suministro, aunque la OMS y CEE sugieren que el nivel mas alto deseable es de 30 mg/L y el máximo permisible debería ser de 50 mg/L.

El magnesio es un problema para las industrias en unos pocos casos; como componente de la dureza los tratamientos para los casos mas problemáticos de Calcio también reducirán generalmente las concentraciones de Magnesio a niveles aceptables.

- **Mercurio**

Se encuentra mercurio en su forma inorgánica en las aguas superficiales y subterráneas, en concentraciones generalmente inferiores a 0,5 µg/L.

El órgano más afectado por el mercurio inorgánico es el riñón; el metilmercurio actúa principalmente sobre el sistema nervioso central. El valor guía propuesto por la OMS para el total de mercurio es de 0,001 mg/L.

- **Molibdeno**

La concentración de molibdeno en el agua de bebida es generalmente inferior a 0,01 mg/L. No obstante, en las zonas próximas a minas, se ha notificado la presencia de concentraciones de hasta 200 µg/L.

Se considera que el molibdeno es un elemento indispensable, del que los adultos necesitan, según las estimaciones, de 0,1 a 0,3 mg diarios.

No se dispone de datos sobre la carcinogenicidad del molibdeno por vía oral. La OMS propone un valor guía de 0,07 mg/L.

- **Níquel**

La concentración de este metal en el agua de bebida es generalmente inferior a 0,02 mg/L. La contribución del níquel liberado por grifos y accesorios puede ser de hasta 1 mg/L.

La OMS indica un valor guía basado en criterios sanitarios de 0,02 mg/L, que debería proporcionar protección suficiente para las personas sensibles al níquel.

- **Nitrato y Nitrito**

Los nitratos y nitritos son iones presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones de nitratos naturales ascienden generalmente a unos pocos miligramos por litro.

El Agua: su calidad, sus usos

En muchas aguas subterráneas, se ha observado en numerosas ocasiones, debido a la intensificación de las prácticas agrícolas, un aumento de las concentraciones de nitratos, que pueden llegar a varios centenares de miligramos por litro. En algunos países, hasta el 10% de la población puede estar expuesto a concentraciones de nitratos superiores a 50 mg/L en el agua de bebida.

Por lo común, cuando las concentraciones en el agua potable son inferiores a 10 mg/L, la principal fuente de la ingesta total de nitratos son las verduras. Cuando las concentraciones son superiores a 50 mg/L, el agua es la fuente principal.

Los experimentos realizados parecen indicar que ni los nitratos ni los nitritos son directamente cancerígenos para los animales, pero existe cierta inquietud acerca del aumento del riesgo de cáncer en los seres humanos debido a la formación endógena y exógena de compuestos N-nitrosos, muchos de los cuales son cancerígenos para los animales.

En resumen, los datos epidemiológicos favorables a la existencia de una relación entre los nitratos alimentarios y el cáncer son insuficientes, y el valor guía para los nitratos presentes en el agua potable se establece exclusivamente para prevenir la metahemoglobinemia, que depende de la transformación del nitrato en nitrito.

El nitrato es rápidamente distribuido a través de los tejidos. Aproximadamente el 25% del nitrato ingerido es reducido a nitritos en la saliva a través de la microflora oral. La reducción bacteriana de los nitratos puede producirse también en otras partes del tracto intestinal, pero no normalmente en el estómago, salvo en pacientes en los cuales la secreción gástrica es menor que la normal o en los infantes.

La metahemoglobinemia consiste la formación de metahemoglobina a partir de la reacción de los nitritos con la hemoglobina. Los síntomas relacionados con esta enfermedad son similares a los asociados con una anemia funcional y la asfixia, pudiendo llegar a ocasionar la muerte. El signo clínico característico de la metahemoglobinemia es la cianosis que no mejora con el suministro de oxígeno, acompañado de un color chocolatado de la sangre. Aunque el grupo más vulnerable a la metahemoglobinemia son los lactantes menores de tres meses alimentados con biberón, se han notificado ocasionalmente casos en algunas poblaciones adultas.

El Agua: su calidad, sus usos

Como se citó, los lactantes menores de tres meses de edad constituyen el grupo más vulnerable, ya que en ellos coexisten determinados factores que influyen en su mayor susceptibilidad:

- 1). la menor acidez gástrica, lo que permite el desarrollo de microorganismos reductores de nitratos a nitritos.
- 2). el déficit relativo del sistema enzimático reductor de la metahemoglobina
- 3). una ingestión de agua por peso corporal relativamente mayor que en el adulto.

Se dispone de amplia información epidemiológica que apoya el actual valor guía

propuesto por la OMS de 10 mg/L establecido para el nitrógeno en forma de nitrato. No obstante, el valor no debe expresarse sobre esta base sino sobre la del propio nitrato, por lo que se establece un valor guía para el nitrato de 50 mg/L; además la OMS propone como valor guía provisional para el nitrito de 3 mg/L.

- **Oxígeno disuelto**

La OMS no recomienda un valor guía basado en criterios sanitarios para el oxígeno disuelto en el agua potable. No obstante, un contenido de oxígeno disuelto considerablemente inferior al nivel de saturación, puede indicar una mala calidad del agua.

En el contenido de oxígeno disuelto influyen la temperatura y la composición del agua no tratada, el tratamiento y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución. El agotamiento del oxígeno disuelto puede facilitar la reducción microbiana del nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro, creando problemas de olor. Puede provocar también un aumento de la concentración de hierro ferroso disuelto.

- **pH**

La OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el pH, aunque valores superiores a 11 se han asociado a la irritación ocular y agravación de trastornos cutáneos.

Aunque el pH no tiene, por lo común, efectos directos en los consumidores, es uno de los principales parámetros operativos de la calidad del agua al que se debe prestar gran

El Agua: su calidad, sus usos

atención en todas las fases del tratamiento, a fin de que el agua se clarifique y desinfecte satisfactoriamente.

Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea inferior a 8. Por otra parte, se debe controlar el pH del agua que llega al sistema de distribución, a fin de reducir al mínimo la corrosión de las tuberías maestras y domésticas.

El pH óptimo varía según la composición del agua y el tipo de materiales de construcción utilizados en el sistema de distribución, pero con frecuencia se sitúa entre 6,5 y 9,5. Plata

La plata está presente en la naturaleza en forma sobre todo de sulfuros, algunas sales y óxidos muy insolubles y estables. A veces se encuentra en aguas subterráneas y superficiales y en el agua de bebida, en concentraciones superiores a 5 µg/L.

Existen situaciones especiales en las que pueden utilizarse sales de plata para mantener la calidad bacteriológica del agua. En esos casos, pueden tolerarse concentraciones más altas, de hasta 0,1 mg/L sin riesgo para la salud.

Cuando se utiliza plata para la desinfección, pueden alcanzarse concentraciones de más de 50 µg/L en el agua tratada.

Sólo se absorbe un pequeño porcentaje de la plata ingerida; el único signo evidente de la absorción de una cantidad excesiva de plata es la argirosis, trastorno que altera marcadamente el color de la piel y el cabello, debido a la presencia de plata en los tejidos.

La OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios para la plata presente en el agua potable.

- **Plomo**

El plomo se usa principalmente para producción de acumuladores de plomo-ácido, soldaduras y aleaciones. Los compuestos orgánicos del plomo tetraetilplomo y tetrametilplomo se han utilizado también ampliamente en la gasolina, como agentes antidetonantes y lubricantes, aunque ese uso está desapareciendo en muchos países.

El plomo presente en el agua de los grifos procede, en cierta medida, de fuentes naturales por disolución pero, sobre todo, de los sistemas sanitarios domésticos antiguos, cuyas tuberías, soldaduras y accesorios contienen este elemento. La cantidad de plomo disuelta

El Agua: su calidad, sus usos

en el agua proveniente de las instalaciones sanitarias depende de varios factores, en particular del pH, la temperatura, la dureza del agua y el tiempo que ésta permanece en las tuberías; el agua blanda y ácida es la que mejor disuelve el plomo.

Los niños pequeños absorben de 4 a 5 veces más plomo que los adultos, y es posible que la vida biológica de este elemento sea considerablemente más prolongada en la infancia. El plomo es un tóxico general, que se acumula en el esqueleto; los lactantes, los niños hasta los 6 años de edad y las mujeres embarazadas son los más vulnerables a sus efectos negativos para la salud.

El plomo es tóxico para el sistema nervioso, tanto central como periférico, y tiene efectos neurológicos subencefalopáticos y comportamentales.

En animales de experimentación expuestos a elevadas concentraciones de compuestos del plomo en la alimentación se han inducido tumores renales, y el IARC ha clasificado el plomo y sus compuestos inorgánicos en el Grupo 2B. No obstante, los estudios realizados con seres humanos parecen demostrar que concentraciones muy bajas de plomo tienen efectos neurotóxicos perjudiciales distintos del cáncer y que un valor guía calculado sobre esa base protegería también de los efectos cancerígenos.

La OMS propone un valor guía basado en criterios sanitarios de 0,01 mg/L, calculado para un lactante alimentado a biberón. Como se considera que los lactantes son el subgrupo más sensible, este valor guía protege a los demás grupos de edad.

El plomo representa un problema particular, puesto que la mayor parte del existente en el agua de bebida procede, como se ha indicado, de las instalaciones sanitarias de los edificios, y el remedio consiste principalmente en eliminar las tuberías y accesorios que lo contienen. Como paliativo se suele recomendar dejar correr el agua por las cañerías antes de su uso para ingestión.

- **Selenio**

Las concentraciones de selenio en el agua de bebida son muy variables según la zona geográfica pero, por lo común, se sitúan muy por debajo de 0,01 mg/L. La principal fuente de selenio para la población en general son los alimentos como los cereales, la carne y el pescado.

El Agua: su calidad, sus usos

El selenio es un elemento indispensable para los seres humanos; su toxicidad parece ser del mismo orden en los seres humanos y los animales de laboratorio.

Los datos experimentales no indican que el selenio sea cancerígeno, salvo en forma de sulfuro de selenio, que no está presente en el agua potable. El IARC ha clasificado el selenio y sus compuestos en el Grupo 3; se ha demostrado la genotoxicidad de esos compuestos en sistemas in vitro con activación metabólica, pero no en los seres humanos.

En los seres humanos, los efectos tóxicos de la exposición prolongada al selenio se manifiestan en las uñas, el pelo y el hígado.

A partir de datos obtenidos en distintos países sobre efectos en seres humanos la OMS propone un valor guía de 0,01 mg/L basado en criterios sanitarios.

- **Sodio**

Prácticamente todos los alimentos (que son la principal fuente de exposición cotidiana) y el agua de bebida contienen sales de sodio (por ejemplo, cloruro sódico). Aunque las concentraciones típicas de sodio en el agua consumida son inferiores a 20 mg/L, en algunos países pueden ser mucho mayores.

Debe señalarse que algunos ablandadores del agua pueden aumentar apreciablemente el contenido de sodio de ésta.

No se ha podido llegar a una conclusión firme sobre la posible relación entre el sodio contenido en el agua potable y la hipertensión. Por lo tanto, la OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios.

Sin embargo, las concentraciones superiores a 200 mg/L pueden dar lugar a un sabor inaceptable.

- **Sulfato**

Los sulfatos están presentes en forma natural en numerosos minerales y se utilizan comercialmente, sobre todo en la industria química. Se descargan en el agua a través de los desechos industriales; no obstante, las mayores concentraciones se dan, por lo común, en las aguas subterráneas y proceden de fuentes naturales.

El Agua: su calidad, sus usos

En general, los alimentos son la fuente principal de exposición a los sulfatos, aunque, en las zonas con niveles altos, la ingesta procedente del agua de bebida puede sobrepasar la alimentación.

El sulfato es uno de los aniones menos tóxicos; sin embargo, en grandes concentraciones, se han observado catarsis, deshidratación e irritación gastrointestinal. El sulfato magnésico, se ha utilizado como purgante durante muchos años.

La OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios para el sulfato. No obstante, dados los efectos gastrointestinales resultantes de la ingestión de agua que lo contiene en elevadas concentraciones, se recomienda que se notifique a las autoridades sanitarias la existencia de fuentes de agua de bebida que contengan concentraciones de sulfato superiores a 500 mg/L.

La presencia de sulfato en el agua potable puede causar también un sabor perceptible y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución. El deterioro a este respecto es variable, según el tipo de catión asociado; se ha comprobado que los umbrales de sabor oscilan entre 250 mg/L en el caso de sulfato sódico y 1000 mg/L en el del sulfato cálcico, considerándose que la alteración del sabor es mínima para concentraciones inferiores a 250 mg/L.

- **Total de sólidos disueltos**

El total de sólidos disueltos (TSD) en el agua comprende sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica. El total de sólidos disueltos en el agua potable procede de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentías urbanas y desechos industriales.

Las concentraciones del total de sólidos disueltos en el agua varían considerablemente en diferentes regiones geológicas, debido a la distinta solubilidad de los minerales.

No se dispone de datos fiables sobre los posibles efectos en la salud de la ingestión del total de sólidos disueltos en el agua de bebida y la OMS no propone un valor guía basado en criterios sanitarios.

Se considera generalmente que, con concentraciones del total de sólidos disueltos inferiores a 600 mg/L, el agua tiene un sabor agradable, que se deteriora progresivamente

cuando la concentración sobrepasa 1200 mg/L. El agua con concentraciones del TSD muy reducidas puede resultar inaceptable debido a su insipidez. La presencia de altas concentraciones del total de sólidos disueltos puede provocar quejas de los consumidores, ya que causa excesivas incrustaciones en las tuberías, calderas y aparatos domésticos.

- **Uranio**

El uranio está presente en la corteza terrestre, sobre todo en su forma hexavalente. Se utiliza principalmente como combustible para las plantas de energía nuclear, y el que llega a los sistemas de abastecimiento de agua procede de la lixiviación de fuentes naturales, de residuos de fábricas, de emisiones de la industria nuclear, de la combustión del carbón y otros combustibles y de los fertilizantes fosfatados.

El uranio se acumula en el riñón, y su principal efecto en seres humanos y animales es la aparición de nefropatías.

No se dispone de estudios adecuados a corto y a largo plazo sobre la toxicidad química del uranio, por lo que la OMS no calculó un valor guía para este elemento en el agua potable. Hasta que se obtenga esa información, la OMS recomienda se utilicen los límites relacionados con las características radiactivas de este elemento; sobre esas bases, el equivalente para el uranio natural se sitúa alrededor de 140 µg/L.

- **Zinc**

El zinc es un oligoelemento indispensable, que se encuentra prácticamente en todos los alimentos y en el agua de bebida en forma de sales o complejos orgánicos. La principal fuente de zinc es, por lo general, la alimentación.

Aunque las concentraciones de este metal en las aguas superficiales y subterráneas no sobrepasan, por lo común, 0,01 y 0,05 mg/L, respectivamente, en el agua de los grifos pueden ser mucho más alta debido a la disolución del zinc de las tuberías.

La OMS llegó a la conclusión de que, teniendo en cuenta los estudios recientemente realizados con seres humanos, no es necesario en estos momentos establecer un valor guía basado en criterios sanitarios. No obstante, el agua de bebida que contiene zinc en concentraciones superiores a 3 mg/L puede no ser aceptable para los consumidores.

El Agua: su calidad, sus usos

El zinc da al agua un sabor astringente desagradable. Las pruebas realizadas indican que la concentración umbral del sabor de este elemento es de 4 mg/L. El agua que contiene más de 5 mg/L puede tener una apariencia opalescente y quedar cubierta, al hervir, de una película grasosa, si bien estos efectos también pueden ser perceptibles para concentraciones menores, de hasta 3 mg/L.

Componentes Orgánicos

Los componentes orgánicos relacionados con la aceptabilidad del agua son entre otros los siguientes: tolueno, isleño, metilbenceno, estireno, monoclorbenceno, diclorobenceno, triclorobenceno y detergentes sintéticos.

En muchos casos el umbral de olor para los mismos es inferior al valor guía establecido por la OMS según criterios sanitarios. Por ejemplo, para el tolueno, la OMS indica que las concentraciones que pueden originar quejas de los consumidores varían entre 24 y 170 µg/L mientras que el valor guía según criterios sanitarios es de 700µg/L.

A partir de la década de los setenta, existe un gran interés en el mundo científico debido a la presencia de compuestos orgánicos en el agua potable.

En 1980, habían sido detectados setecientos compuestos de los cuales 458 fueron identificados. Un año después, debido al desarrollo de nuevas técnicas, el número de compuestos aumentó a 1200; desde entonces la lista de compuestos identificados en el agua potable no ha cesado de aumentar.

A los efectos de dar una idea general sobre los efectos de los componentes químicos orgánicos sólo se describen a continuación los efectos que pueden derivar de algunos otros de ellos.

- **Tetracloruro de carbono**

Se encuentra dentro del grupo de los alcanos clorados, se utiliza principalmente para producir refrigerantes de clorofluorcarbono y se libera en el aire y el agua durante la fabricación y el uso de éstos.

El tetracloruro de carbono ha sido clasificado por el IARC en el Grupo 2B. Se ha demostrado que es causa de tumores hepáticos y de otro tipo en ratas, ratones y hamsters tras la exposición por vía oral o subcutánea o por inhalación. El lapso

transcurrido hasta la aparición del primer tumor ha sido en ocasiones muy breve, de 12 a 16 semanas en algunos experimentos.

A partir de la mayor parte de los estudios disponibles, no se han hallado pruebas de la genotoxicidad del tetracloruro de carbono, que posiblemente actúe como cancerígeno no genotóxico.

El valor guía propuesto por la OMS es de 2 µg/L.

- **Cloruro de vinilo**

Se encuentra dentro del grupo de los etenos clorados. Se utiliza principalmente para la producción de cloruro de polivinilo.

Este compuesto tiene una toxicidad aguda reducida pero es tóxico para el hígado tras la exposición breve o prolongada a concentraciones bajas. Se ha demostrado que es mutagénico en diversos sistemas de pruebas.

Hay suficientes pruebas de la carcinogenicidad del cloruro de vinilo en los seres humanos, obtenidas mediante el estudio de poblaciones industriales expuestas a elevadas concentraciones, y el IARC lo ha clasificado en el Grupo 1. Está suficientemente demostrado que existe una relación causal entre la exposición a él y el angiosarcoma hepático.

Como no se dispone de datos sobre riesgo de carcinogénesis en seres humanos tras la exposición al cloruro de vinilo por vía oral, la estimación de ese riesgo se basó en biovaloraciones de la carcinogenicidad en animales expuestos a esa vía. La OMS calcula un valor guía de 5 µg/L para un riesgo adicional de angiosarcoma hepático de 10^{-5} .

- **Benceno**

Se encuentra dentro del grupo de los hidrocarburos aromáticos. Se utiliza principalmente para fabricar otros productos químicos orgánicos. Está presente en la gasolina, y las emisiones de los vehículos son la principal fuente del existente en el medio ambiente.

La exposición aguda de seres humanos a elevadas concentraciones de benceno afecta principalmente al sistema nervioso central. Como es cancerígeno para los seres humanos, el IARC lo ha clasificado en el Grupo 1.

El Agua: su calidad, sus usos

En estudios realizados con animales, se demostró que el benceno es cancerígeno, tanto por inhalación como por ingestión. Como no se dispone de datos sobre el riesgo de carcinogénesis para los seres humanos tras la ingestión de benceno, se efectuaron estimaciones de riesgo sobre la base de un estudio realizado con ratas y ratones.

La OMS propone un valor guía de 10 µg/L para un riesgo adicional de cáncer de 10⁻⁵.

- **Acrilamida**

El monómero residual acrilamida está presente en los coagulantes de poliacrilamida que se utilizan para el tratamiento del agua de bebida. En general la dosis máxima autorizada del polímero es de 1 mg/L.

Debido a la utilización de poliacrilamida en la elaboración de los alimentos, éstos pueden ser una fuente adicional de exposición de los seres humanos.

En un estudio a largo plazo de la carcinogenicidad realizado con ratas expuestas a través del agua de bebida, la acrilamida provocó la aparición de tumores en el escroto, tiroides y glándulas suprarrenales de los machos y en las glándulas mamarias, tiroides y útero de las hembras. El IARC ha clasificado esta sustancia en el Grupo 2B.

A partir de la información disponible, se llegó a la conclusión de que la acrilamida es un cancerígeno genotóxico. Por lo tanto, la evaluación del riesgo no se realizó utilizando el método del umbral.

La OMS propone un valor guía de 0,5 µg/L con un riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10⁻⁵.

- **Epiclorhidrina**

La epiclorhidrina (ECH) se utiliza en la fabricación de glicerol, resinas epóxido no modificadas y resinas para el tratamiento de agua.

Los principales efectos tóxicos son irritación local y lesiones del sistema nervioso central. La ECH provoca la aparición de carcinomas de las células escamosas de la cavidad nasal por inhalación y de tumores del estómago anterior. Se ha demostrado que es genotóxica, el IARC la ha clasificado en el Grupo 2A. La OMS propone un valor guía provisional de 0,4 µg/L.

Plaguicidas

Existen gran cantidad de plaguicidas que pueden ser clasificados de distintas maneras, una de ellas se basa en su estructura química: clorados, clorofenoxiácidos, organofosforados, carbamatos y piretroides. En el grupo de los clorados se incluyen entre los mas difundidos al DDT, dieldrín, lindano, clordano, heptacloro, etc. La mayoría de estos productos que fueron utilizados durante mucho tiempo, se encuentran prohibidos en la actualidad.

El mecanismo por el cual los compuestos organoclorados ejercen efectos sobre los organismos no se conoce con exactitud, pero provocan trastornos neurotóxicos con temblores y convulsiones.

Los clorofenoxiácidos son utilizados como herbicidas siendo los más conocidos el 2,4 D y el 2,4 T.

Los organofosforados son compuestos orgánicos, complejos que contienen fósforo. Son mas tóxicos para el hombre que los clorados, pero se degradan en el ambiente con mayor rapidez. Los más comunes de este grupo son el paratión, malatión, diazinón, disulfotón, etc. El efecto tóxico sobre el hombre de estos compuestos se produce a nivel neurológico, no se acumula en los seres humanos ni en las cadenas tróficas.

Los carbamatos son derivados del ácido carbónico, se emplean como insecticidas, funguicidas y molusquisidas. Los mas conocidos son el Carboril, 1-naftil N-metilcarbonato, 2-exopropoxifenil. En cuanto a la persistencia en el ambiente son similares a los organofosforados. Sus toxicidades oscilan mucho; algunos son menos tóxicos que el DDT y otros son cuatro o cinco veces más tóxicos.

Los piretroides como la deltametrina pueden ser tóxicos para la vida acuática A continuación se detallan aquellos compuestos cuyos límites se proponen a partir de criterios sanitarios:

- **Aldrín y Dieldrín**

El Aldrín y el Dieldrín son plaguicidas clorados que se utilizan contra plagas que viven en el suelo, para la protección de la madera y, en el caso del dieldrín, contra insectos de importancia para la salud pública.

El aldrín y el dieldrín son muy tóxicos para los animales de experimentación, y se han producido casos de envenenamiento de seres humanos. Ambos ejercen más de un tipo de acción tóxica, los órganos más afectados son el sistema nervioso central y el hígado.

El IARC ha clasificado al aldrín y al dieldrín en el Grupo 3. Toda la información disponible sobre ambos compuestos, incluidos los estudios realizados con seres humanos, corrobora la idea de que, a efectos prácticos, su contribución a la incidencia del cáncer en los seres humanos es escasa o nula; por lo tanto se puede utilizar el método de la IDA para calcular un valor guía.

La OMS propone un valor guía de 0,03 µg/L para ambas especies.

- **Clordano**

El clordano es un insecticida de amplio espectro que se utiliza desde 1947. En los últimos tiempos su uso se está limitando cada vez más en muchos países, y ahora se emplea sobre todo para destruir termitas mediante inyección subsuperficial en el suelo.

En los animales de experimentación, la exposición prolongada a este compuesto a través de los alimentos causa lesiones hepáticas. El clordano provoca la aparición de tumores hepáticos en los ratones, pero el conjunto de los datos disponibles indica que no es genotóxico.

El IARC reevaluó el clordano en 1991, llegando a la conclusión de que su carcinogenicidad no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en el de los animales, por lo que se lo clasificó en el Grupo 2B. La OMS proporciona un valor guía de 0,2 µg/L.

- **DDT**

En algunos países el DDT se ha restringido o incluso prohibido su utilización, pero en otros aún se emplea ampliamente, tanto en la agricultura como en la lucha antivectorial.

El IARC ha llegado a la conclusión de que la carcinogenicidad del DDT no está suficientemente demostrada en el caso de los seres humanos pero sí en el de los animales de experimentación (Grupo 2B), ya que se ha observado la aparición de tumores hepáticos en ratas y ratones expuestos a él. La OMS propone un valor guía de 2 µg/L.

- **Heptacloro y heptaclorepóxido**

El heptacloro es un insecticida de amplio espectro, cuyo uso se ha prohibido o restringido en muchos países; en la actualidad, se utiliza sobre todo para la lucha contra las termitas mediante inyección subsuperficial en el suelo. La exposición prolongada al heptacloro se ha asociado con lesiones hepáticas y efectos tóxicos en el sistema nervioso central.

En 1991, el IARC examinó de nuevo la información disponible sobre este compuesto y llegó a la conclusión de que los datos en favor de la carcinogenicidad eran suficientes en el caso de los animales e insuficientes en el de los seres humanos, por lo que lo clasificó en el Grupo 2B. La OMS ha propuesto un valor guía de 0,03 µg/L.

- **Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)**

El 2,4-D es un herbicida clorofenóxido ampliamente utilizado para el control de las malezas de hoja ancha. El IARC ha clasificado los herbicidas clorofenoxiacidos en el Grupo 2-B; en el reducido número de estudios realizados, el 2,4-D resultó no genotóxico.

Como los datos sobre el potencial cancerígeno del 2,4-D son insuficientes y no se ha descubierto que este compuesto sea genotóxico, el valor guía propuesto por la OMS para otros resultados tóxicos finales se obtuvo mediante el método de la IDA, llegándose a un valor de 30 µg/L.

- **Lindano**

El lindano (-HCH) es un insecticida utilizado desde hace mucho tiempo. Aparte de sus usos agrícolas con plantas y animales, se emplea también en salud pública y como conservante de la madera.

Cuando se administra a ratones en dosis muy altas, el lindano provoca la aparición de tumores hepáticos, pero existen datos que parecen demostrar que la acción que ejerce es de promoción tumoral. En 1987, el IARC clasificó este compuesto en el Grupo 2B. La OMS propone un valor guía de 2 µg/L.

- **Metoxicloro**

El metoxicloro es un insecticida utilizado en las hortalizas, las frutas, los árboles, el forraje y los animales de granja.

El potencial genotóxico del metoxicloro parece ser insignificante. En 1979, el IARC lo clasificó en el Grupo 3; la OMS propone un valor guía de 20 µg/L.

- **Pentaclorofenol**

El pentaclorofenol (PCF) se utiliza principalmente como conservante de la madera. Se ha demostrado que este compuesto es fetotóxico, ya que retrasa el desarrollo de los embriones de rata y reduce el tamaño de las camadas, el peso corporal al nacer, la supervivencia neonatal y el desarrollo de las crías destetadas. No se considera que este compuesto sea teratogénico, además no parece que el PCF puro sea mutagénico. La OMS propone un valor guía provisional de 9 µg/L.

Desinfectantes

Han sido analizados en el punto 2.4.8 tanto desde el punto de vista sanitario como organoléptico.

- **Cloro**

Es el desinfectante y oxidante más común para el tratamiento de agua de bebida. En el agua se combina para formar ácido hipocloroso e hipoclorito.

En los seres humanos y los animales expuestos a cloro en el agua de bebida no se han observado efectos adversos. El IARC ha clasificado el hipoclorito en el grupo III.

Los umbrales de sabor y olor del cloro en el agua destilada son de 5 y 2 mg/L. La mayor parte de las personas perciben el sabor del cloro o de sus productos secundarios (por ejemplo, las cloraminas) en concentraciones inferiores a 5 mg/L, y algunas incluso en concentraciones mucho más bajas, de hasta 0,3 mg/L, aunque una concentración de cloro residual de 0,6 a 1,0 mg/L comenzará, por lo general, a crear problemas de aceptación.

El Agua: su calidad, sus usos

El valor guía de la OMS de 15 mg/L, adoptado con criterio sanitario, resulta inadmisibles en cuanto al gusto y olor para la mayoría de los consumidores.

- **Cloraminas**

Se forman por la reacción del cloro con el amoníaco o con las aminas orgánicas pudiendo formarse mono, di y tricloraminas. En el tratamiento de agua, la concentración de cloraminas es generalmente de 0.5 a 2.0 mg/L.

Para la monocloramina se ha recomendado un valor guía de 3 mg/L no pudiendo establecerse valor guía para la di y tricloraminas compuestos olorosos y no deseables en el tratamiento del agua potable. La monocloramina es entre 2.000 y 100.000 veces menos eficaz que el cloro libre por lo que no puede dependerse de este producto como desinfectante primario, pero se lo considera útil para mantener un desinfectante residual en los sistemas de distribución.

- **Dióxido de cloro**

Es altamente explosivo, se lo debe elaborar en el lugar donde va a ser utilizado. Este producto cuando reacciona con sustancias húmicas, por lo general, no produce niveles significativos de Trihalometanos.

No se lo recomienda por su rápida descomposición en otros productos. Durante su aplicación puede generar cloritos y cloratos variando la concentración de éstos subproductos entre 0.1 a 3 mg/L.

Para el clorito se recomienda un valor guía provisorio de 0.2 mg/L, no disponiéndose de datos para recomendar un valor guía para el clorato. Las concentraciones de clorito y clorato en el agua varían de 0.1 a 3.0 mg/L.

- **Ozono**

La OMS no ha propuesto ningún valor guía porque se descompone muy rápidamente luego de su aplicación. El ozono es el desinfectante más eficaz para todo tipo de microorganismos, pero su principal desventaja es la ausencia de un residual desinfectante, además de elevado costo y limitada información sobre la naturaleza y la toxicidad de sus subproductos.

Aspectos radiológicos

La exposición a la radiación tanto natural como artificial, puede causar dos tipos de efectos sobre la salud: efectos para los cuales existe un nivel umbral de exposición; y efectos relacionados con la producción de cáncer, para los cuales el valor umbral no existe.

En condiciones normales, la dosis resultante de la radioactividad natural y de la exposición habitual debida a prácticas reglamentadas se sitúa por debajo del umbral, por lo que los valores guías recomendados por la OMS no se refieren a las mismas. Como los diferentes tipos de radiación producen diferentes efectos biológicos y los diferentes tejidos y órganos humanos tienen distinta sensibilidad a la radiación, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) ha introducido factores de ponderación según el tipo de radiación y el tipo de tejido, que permiten establecer medidas de efecto equivalente. La suma de la dosis doblemente ponderada recibida por todos los tejidos y órganos del cuerpo da una medida del daño total y es la llamada dosis efectiva.

Como los radionucleidos pueden persistir en el organismo y en algunos casos por meses o años, la dosis efectiva concertada es la dosis efectiva total recibida durante todo el transcurso de la vida, luego de haber ingerido un radionucleido y se expresa en Sieverts. El Sievert (Sv) es la unidad de dosis de radiación actualmente utilizada y reemplaza a la antigua unidad, el rem ($1\text{rem} = 0,01\text{Sv}$)

Aspectos microbiológicos

Es tal la gravedad de las posibles consecuencias de la contaminación microbiana que su control deberá ser de primordial importancia. Es necesario evitar especialmente los brotes de enfermedades transmitidos por el agua porque pueden dar lugar a la infección simultánea de gran parte de la comunidad.

- **Coliformes Totales**

Los organismos coliformes han sido reconocidos como un indicador adecuado de la calidad microbiológica porque son fáciles de detectar y enumerar. El término coliformes se refiere a bacterias Gram-negativas, capaces de crecer en presencia de sales biliares y de fermentar la lactosa a 35-37°C con la producción de ácido, gas y aldehído dentro de las 24-48 horas.

Tradicionalmente las bacterias coliformes se consideraban pertenecientes a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, pero en los modernos métodos taxonómicos, es definido como un grupo heterogéneo que incluye bacterias fermentadoras de la lactosa que pueden ser encontradas en las heces y en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, vegetación en descomposición. Las bacterias coliformes no deben encontrarse en las aguas tratadas y si se encuentran sugieren un tratamiento inadecuado, una contaminación posterior o excesivos nutrientes. En este sentido, puede usarse para evaluar el funcionamiento de una planta de tratamiento y de lo que ocurre en el sistema de distribución.

- **Coliformes Termotolerantes**

Este grupo se define como el grupo de organismos coliformes que son capaces de fermentar la lactosa a 44-45°C. Comprende los géneros *Escherichia* y en menor medida especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. La *Escherichia coli* es una bacteria perteneciente a este grupo. Las bacterias coliformes termotolerantes antes conocidas como bacterias coliformes fecales, pueden estar presentes, sobre todo en países tropicales y subtropicales en aguas que no tienen ninguna relación con contaminación de origen humano o animal. Son bacterias indicadoras menos confiables de la contaminación fecal que la *Escherichia coli*, aunque en la mayoría de los casos sus concentraciones están relacionadas a las de esta bacteria, por lo que todavía se las sigue incluyendo en las normas de calidad bacteriológica.

- ***Escherichia Coli***

Esta bacteria está presente en forma abundante en las heces humanas y en la de animales de sangre caliente, donde puede llegar a valores de 10^9 organismos por gramo de heces. Se encuentra en los líquidos cloacales frescos y en los suelos y aguas naturales sometidas a contaminación fecal reciente.

La identificación completa de esta bacteria es muy complicada para análisis de rutina y por lo tanto se han desarrollado en los últimos años tests que permiten su identificación rápida con un alto grado de seguridad. Algunos de los métodos han sido aceptados por los organismos internacionales y otros están en proceso de evaluación.

- **Estreptococos Fecales**

El término estreptococo fecal se refiere a aquellos estreptococos presentes en las heces humanas y animales.

Los estreptococos fecales rara vez se multiplican en agua contaminada y son más persistentes que la *Escherichia coli* y las bacterias coliformes. Por lo tanto, en los exámenes de la calidad del agua, sirven sobre todo como indicadores suplementarios de la eficiencia de los tratamientos.

Los estreptococos son resistentes al secado y pueden ser útiles para realizar controles sistemáticos después de la colocación de nuevas tuberías o luego de tareas de reparación de los conductos existentes. También se usa como parámetro complementario.

- **Bacterias Aerobias Heterotróficas**

Este grupo comprende todas las bacterias aerobias que se desarrollan en medio agar nutritivo a 37 grados durante 24 horas. Puede constituir un indicador complementario para detectar la contaminación de agua sin tratar y tratada, pero no tiene gran significación y se lo ha excluido de los valores guías de la OMS.

**ANEXO II – FICHAS RESUMEN PARA LAS SUSTANCIAS PRESENTES
EN EL AGUA**

**ANEXO III – VALORES GUIA DE CALIDAD DE AGUA POTABLE EN
ALGUNOS PAISES**

8. Acrónimos

CEE: Comunidad Económica Europea

CePIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria

COFESS: Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios

CoNaMA: Consejo Nacional de Medio Ambiente (Brasil)

DNPCyDH: Dirección Nacional de Políticas, Coordinación y Desarrollo Hídrico

EC: European Community

ENOHSa: Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FARN: Fundación Argentina de Recursos Naturales

IARC: Internacional Agency for Research on Cancer

IBAMA: Instituto del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables de Brasil

INA: Instituto Nacional del Agua y el Ambiente

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

U.S.EPA: United States Environmental Protection Agency

OECD: Organisation for Economic Co-Operation and Development

CCME: Canadian Council of Ministers of the Environment - Conseil canadien des ministres de L'environnement

9. Referencias Bibliográficas

Bibliografía de cita en el texto del estudio

¹ El agua - <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/elagua.html> - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria – C.E.P.I.S.

² República Argentina. Ministerio de Infraestructura y Vivienda. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (E.N.O.H.Sa.). Guías para la Formulación de Proyectos. Fundamentación de Normas.

³ Guías para la Calidad del Agua Potable – Vol 2 Criterios relativos a la salud y otra información de base – OPS 1987

⁴ Decreto Nacional 831/93 – Decreto Reglamentario de la Ley 24051 sobre régimen de desechos Peligrosos – http://www.medioambiente.gov.ar/mlegal/residuos/dec831/dec831_referencia.htm - Ministerio de Desarrollo Social - Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable – República Argentina

⁵ Análisis Normativo y Consideraciones para Formular Propuestas de Armonización - <http://www.farn.org.ar/docs/p03/publicaciones3-3.html#mercosurIII-4> - Fundación Ambiente y Recursos Naturales

⁶ Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. Marzo 2002. - <http://www.mecon.gov.ar/hidricos/calidad/page2.html> - Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. República Argentina y trabajos originales utilizados para dicha elaboración

⁷ Código Alimentario Argentino. Año 1994

Bibliografía complementaria

Hernandez Muñoz, Aurelio *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1998. 1006 p.

Degremont *Manual Técnico del Agua*. Bilbao: Grafo SA, 1979. 1215 p.

Nikunen, Esa; Leinonen, Riitta; Kultamaa, Arto *Environmental Properties of Chemicals-Research Report*. Ministry of the Environment - Finlandia, 19910. 1096 p.

Amdur, Mary O.; Doull, John; Klaassen, Curtis D. *Toxicology The basic science of poisons*. U.S.A: 1991. 1033 p.

UNESCO *Agua, Vida y Desarrollo*. Mendoza: INCA Editorial, 1986. 3v.

Fernandez Cirelli, Alicia *Agua "Problemática Regional"*. Buenos Aires: EUDEBA, 1998. 256 p.

Seminario Internacional-Asociación de Universidades-Grupo Montevideo *Agua: Uso y Manejo Sustentable*. Buenos Aires: EUDEBA, 1997. 363 p.

U.S.EPA. Arsenic in drinking water. *Revista Interamericana Ambiente y Saneamiento*, Año 4 N° 11- 2001. 2 p.

Holme, Rod. Drinking water trends. *Revista Interamericana Ambiente y Saneamiento*, Año 3 N° 8- 2000. 6 p.

Nalco, France. Metales Pesados en el Agua. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, N° 49-2000. 1 p.