



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

Diciembre 2003

INDICE

	<i>pág.</i>
I) Aspectos generales	I.1
II) Niveles guía de calidad para fuentes de provision de agua para consumo humano correspondientes a benzo[a]pireno	II.1
II.1) <i>Introducción</i>	II.1
II.2) <i>Cálculo del nivel guía de calidad de agua para consumo humano</i>	II.2
II.3) <i>Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento</i>	II.2
II.4) <i>Especificación de niveles guía de calidad para la fuente de provisión</i>	II.3
II.4.1) <i>Fuente superficial con tratamiento convencional.....</i>	II.3
II.4.2) <i>Fuente superficial con tratamientos especiales</i>	II.3
II.4.3) <i>Fuente subterránea sin tratamiento o cuando éste consiste en una cloración (tratamiento convencional) u otra técnica de desinfección</i>	II.4
II.4.4) <i>Fuente subterránea con tratamientos especiales</i>	II.4
II.5) <i>Categorización de las aguas superficiales y subterráneas en cuanto a su uso como fuente de provisión para consumo humano</i>	II.4
IX) Técnicas analíticas asociadas a la determinación de benzo[a]pireno	IX.1
X) Referencias	X.1
XI) Historial del documento	XI.1



I) ASPECTOS GENERALES

El benzo[a]pireno (BaP), que responde a la fórmula molecular $C_{20}H_{12}$, es un compuesto perteneciente al grupo de los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), cuya presencia ambiental deriva de emisiones a la atmósfera generadas en combustiones incompletas y otros procesos comprendidos en diversas actividades de producción comprendidos en diversas actividades de producción industrial, a las que se suman las provenientes de otras fuentes tales como los vehículos automotores y los incendios forestales.

Mackay et al. (1992) desarrollaron un modelo sobre la base del cual clasificaron a los diversos PAHs de acuerdo a su persistencia en distintos medios, agrupándolos en clases según sus tiempos de vida medios. En este contexto, el comportamiento del BaP en el aire, el agua, el suelo y en sedimentos, determina la clasificación que se describe en el Cuadro I.1.

CUADRO I.1 – CLASIFICACION DEL BENZO[a]PIRENO DE ACUERDO AL MODELO DE MACKAY ET AL. (1992)

SEGUN PERSISTENCIA EN AIRE	CLASE 3	Tiempo de vida medio	
		Rango	Valor medio
		100 – 300 h	170 h
SEGUN PERSISTENCIA EN AGUA	CLASE 5	Tiempo de vida medio	
		Rango	Valor medio
		1000 – 3000 h	1700 h
SEGUN PERSISTENCIA EN SUELO	CLASE 7	Tiempo de vida medio	
		Rango	Valor medio
		10000 – 30000 h	17000 h
SEGUN PERSISTENCIA EN SEDIMENTOS	CLASE 8	Tiempo de vida medio	
		Rango	Valor medio
		> 30000 h	55000 h

La ocurrencia de los PAHs en los ambientes acuáticos proviene de la precipitación de sólidos suspendidos atmosféricos en donde tales compuestos se encuentran adsorbidos y de la incorporación de partículas generadas por la abrasión de materiales asfálticos. Los procesos más importantes de degradación de PAHs en el agua son la oxidación fotoquímica, la oxidación química y la biodegradación (IPCS, 1998).

En general, las mediciones de hidrocarburos aromáticos polinucleares en agua superficial no superan el nivel de 50 ng/l, pero en ríos muy contaminados se han registrado concentraciones que llegaron hasta 6 µg/l (IPCS, 1998). Para el río Rhine, en Holanda, se han reportado concentrado de PAHs ubicadas en el rango < 5 – 25 µg/l, estando incluidos en tales determinaciones los siguientes componentes: fluoranteno, benz[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno y benzo[a]pireno (Karrenbrock and Haberer, 1983).

Determinaciones efectuadas en el río Colorado de nuestro país durante el año 2000 han arrojado concentraciones de PAHs, como suma de valores detectados para los componentes investigados, comprendidas en el rango No detectado – 1,02 µg/l. Las determinaciones de benzo[a]pireno se ubicaron en el rango No detectado – 0,59 µg/l (COIRCO, 2000).



II) NIVELES GUIA DE CALIDAD PARA FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO CORRESPONDIENTES A BENZO[a]PIRENO

II.1) Introducción

La mayor parte de la evidencia científica asociada a la exposición crónica de mamíferos a hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) está relacionada con la manifestación de carcinogenicidad como efecto final. La generación de otros efectos deletéreos requiere una exposición a dosis por lo menos un orden de magnitud mayores que las que provocan lesiones neoplásicas (WHO, 1996).

Diversos estudios con animales de laboratorio han registrado el comportamiento carcinogénico del benzo[a]pireno (BaP) administrado por diferentes vías.

La exposición a BaP por vía dietaria por parte de ratones CFW-Swiss macho y hembra, de edades comprendidas entre 17 y 180 días, permitió observar la incidencia del BaP en el incremento de tumores del estómago anterior (Neal and Rigdon, 1967).

Un estudio realizado con ratas Sprague-Dawley expuestas en su dieta a BaP señaló su incidencia en el incremento de tumores en la laringe, el esófago y el estómago anterior (Brune et al., 1981). El estudio incluyó una experiencia de administración oral por gavage de BaP en una solución acuosa de cafeína.

En un estudio de exposición a BaP por inhalación, efectuado con hamsters Syria golden macho, se advirtió la incidencia del BaP en el incremento de tumores en el tracto respiratorio y en el tracto digestivo superior (Thyssen et al., 1981).

En la inyección intraperitoneal de BaP en ratones y ratas ha sido observado un aumento de tumores en los sitios de aplicación (U.S. EPA, 1991). Este aumento ha sido reportado también para la inyección subcutánea de BaP en ratones, ratas, cerdos de guinea, hamsters y algunos primates (IARC, 1983; U.S. EPA, 1991).

De acuerdo a la información concerniente a carcinogenicidad animal, la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. ha clasificado al BaP en la Categoría B2, que corresponde a los probables carcinógenos humanos. Por su parte, IARC (International Agency for Research on Cancer) ha ubicado al BaP en el Grupo 2A, que es análogo a la categoría antes mencionada (WHO, 1996).

La Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U. ha estimado el siguiente rango de factores de potencia carcinogénica asociados a la exposición oral al BaP: 4,5-11,7 kg*d/mg, estableciendo para estimar la concentración inherente al riesgo individual el factor 7,3 kg*d/mg, que es la media geométrica resultante de cuatro factores emergentes de diferentes modelaciones (U.S. EPA, IRIS, 1998).

La Organización Mundial de la Salud utiliza un factor de potencia carcinogénica igual a 0,46 kg*d/mg, que resulta de aplicar el modelo de dos etapas nacimiento-muerte a las observaciones surgidas del ya referido estudio de Neal y Rigdon, para calcular las



concentraciones de BaP en agua de bebida asociadas a distintos niveles de riesgo individual (WHO, 1996).

Sobre la base de lo expuesto precedentemente, la derivación del nivel guía de calidad de agua para consumo humano correspondiente a BaP se asienta en el procedimiento establecido para parámetros carcinogénicos, tomando como información básica el factor de potencia carcinogénica que resulta de las antes mencionadas elaboraciones de la Agencia de Protección Ambiental de los E.E.U.U.

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

Según la metodología definida para parámetros carcinogénicos, el nivel guía de calidad para agua de bebida (NGAB) se calcula según la siguiente expresión:

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

siendo:

R: riesgo individual, adimensional

MC: masa corporal [kg]

q_1 : factor de potencia carcinogénica [kg*d/mg o μ g]

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

Adoptándose para el cálculo:

R: 10^{-5}

MC: 60 kg

q_1 : 7,3 kg*d/mg

C: 2 l/d

resulta:

$$NGAB \text{ (BaP)} \leq 0,04 \mu\text{g/l}$$

II.3) Remoción esperable de las tecnologías de tratamiento

En el Cuadro II.1 se exponen eficiencias esperables en la remoción de BaP asociadas a algunas tecnologías de tratamiento.



CUADRO II.1 – REMOCION DE BENZO[a]PIRENO, EFICIENCIAS DE TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO

TRATAMIENTO	REMOCION ESPERABLE	OBSERVACIONES	REFERENCIAS
Convencional para agua superficial	99,7 %	La remoción está referida a la concentración influente total (96,5 ng/l) a una planta a escala completa que posee un pretratamiento biológico (concentración efluente: 0,3 ng/l). No obstante, se observó que el 96 % de los PAHs removidos se encontraban como sólidos suspendidos. Solamente un 40 % de la fracción disuelta fue removida por el tratamiento.	Malcon Pirnie, Inc., 1992
Carbón activado granular	93 – 100 %	Ensayos a escala laboratorio con pretratamiento del influente a la columna de carbón activado.	Malcon Pirnie, Inc., 1992
	33 %	La eficiencia está referida al pulido del efluente del tratamiento convencional a escala completa anteriormente mencionado (0,3 ng/l), llegándose a una concentración igual a 0,2 ng/l.	Malcon Pirnie, Inc., 1992
Oxidación química	55 – 60 %	Cloración en ensayos a escala laboratorio realizados en condiciones determinadas de reacción	Malcon Pirnie, Inc., 1992
	98 %	Aplicación de dióxido de cloro en ensayos a escala laboratorio realizados en condiciones determinadas de reacción.	Malcon Pirnie, Inc., 1992

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

Como puede apreciarse en el Cuadro II.1, la información sobre eficiencias en la remoción de benzo[a]pireno es limitada, proviniendo los datos disponibles en su mayor parte de ensayos a escala laboratorio. Asumiendo estas restricciones de información con criterio conservador, se especifican a continuación niveles guía de calidad para BaP en la fuente de provisión (NGFP) correspondientes a diversos escenarios.

II.4.1) Fuente superficial con tratamiento convencional:

Considerando la información restringida respecto a la remoción de BaP en forma disuelta en el tratamiento convencional, conservadoramente, se asigna eficiencia nula a éste en dicho sentido. De tal manera, se especifica el siguiente nivel guía para BaP en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (BaP)} \leq 0,04 \mu\text{g/l}$$



II.4.2) Fuente superficial con tratamientos especiales:

Para el caso en que se apliquen tratamientos especiales que verifiquen eficiencias de remoción de BaP disuelto no inferiores a 55 %, se especifica para el mismo el siguiente nivel guía de calidad en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (BaP)} \leq 0,09 \mu\text{g/l}$$

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

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

$$\text{NGFP (BaP)} \leq 0,04 \mu\text{g/l}$$

II.4.4) Fuente subterránea con tratamientos especiales:

Para el caso en que se apliquen tratamientos especiales que verifiquen eficiencias de remoción de BaP disuelto no inferiores a 55 %, se especifica para el mismo el siguiente nivel guía de calidad en la fuente de provisión, referido a la muestra de agua filtrada:

$$\text{NGFP (BaP)} \leq 0,09 \mu\text{g/l}$$

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

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



CUADRO II.2 . CATEGORIZACION DE LAS FUENTES DE PROVISION DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN FUNCION DE LAS CONCENTRACIONES DE BENZO[a]PIRENO (C_{BaP})

FUENTE	CATEGORIA	CONDICIONES DE CALIDAD
SUPERFICIAL	Calidad apropiada con tratamiento convencional	$C_{BaP} \leq 0,04 \mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de BaP no inferiores a 55 %	$0,04 \mu\text{g/l} < C_{BaP} \leq 0,09 \mu\text{g/l}$ (1)
SUPERFICIAL	Calidad inapropiada. Requerimiento de restauración de calidad de la fuente	$C_{BaP} > 0,09 \mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad apropiada para consumo directo o para cuando el uso esté condicionado a la aplicación de una técnica de desinfección	$C_{BaP} \leq 0,04 \mu\text{g/l}$ (2)
SUBTERRANEA	Calidad condicionada a la aplicación de tratamientos especiales que verifiquen remociones de BaP no inferiores a 55 %	$0,04 \mu\text{g/l} < C_{BaP} \leq 0,09 \mu\text{g/l}$ (1)
SUBTERRANEA	Calidad inapropiada. Requerimiento de acciones de restauración de calidad de la fuente	$C_{BaP} > 0,09 \mu\text{g/l}$ (1)

Notas:

(1): Referida a la muestra de agua filtrada

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



IX) TECNICAS ANALITICAS ASOCIADAS A LA DETERMINACION DE BENZO[A]PIRENO

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



X) REFERENCIAS

- Brune, H., R.P. Deutsch-Wenzel, M. Habs, S. Ivankovic and D. Schmahl. 1981. Investigation of the tumorigenic response to benzo[a]pyrene in aqueous caffeine solution applied orally to Sprague-Dawley rats. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* 102(2): 153-157. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- COIRCO (Comité Interjurisdiccional del Río Colorado). 2001. Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado. Año 2000
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 1983. Certain Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heterocyclic Compounds. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of the Chemical to Man, Vol. 3. Lyon, France. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 202. Polycyclic aromatic hydrocarbons, selected non-heterocyclic. World Health Organization. Geneva.
- Karrenbrock, F. and K. Haberer. 1983. Determination of volatile organic substances by GC/SIM. Results of an investigation on the Rivers Rhine and Main. In: *Analysis of Organic Micropollutants in Water*, G. Angeletti and A. Bjorseth [Eds] D. Reidel Publ. Co. Dordrecht, 179-188. En: WHO (World Health Organization)/UNEP (United Nations Environment Programme). 1990. Global Environment Monitoring System. Global Freshwater Quality. A First Assessment.
- Mackay D., W.Y. Shiu, & K.C. Ma. 1992. Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Volume II: Polynuclear aromatic hydrocarbons, polychlorinated dioxins and dibenzofurans. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers, pp 1-367. En: IPCS (International Programme on Chemical Safety). 1998. Environmental Health Criteria 202. Polycyclic aromatic hydrocarbons, selected non-heterocyclic. World Health Organization. Geneva.
- Malcon Pirnie, Inc. January 1992. Technologies and Costs for the Removal of Phase V Synthetic Organic Chemicals from Potable Water Supplies. Drinking Water Technology Branch. Drinking Water Standards Division. Office of Ground Water and Drinking Water. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- Neal, J. and R.H. Rigdon. 1967. Gastric tumors in mice fed benzo[a]pyrene - A quantitative study. *Tex. Rep. Biol. Med.* 25(4): 553-557. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- Thyssen, J., J. Althoff, G. Kimmerle and U. Mohr. 1981. Inhalation studies with benzo[a]pyrene in Syrian golden hamsters. *J. Natl. Cancer Inst.* 66: 575-577. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- U.S. EPA. 1991. Drinking Water Criteria Document for PAH. Prepared by the Office of Health and Environmental Assessment. Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH, for the Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC. En: U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). IRIS (Integrated Risk Information System). December 10, 1998. 0136-Benzo[a]pyrene (BaP).
- WHO (World Health Organization). 1996. Guidelines for drinking-water quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information.



XI) HISTORIAL DEL DOCUMENTO

Fecha de edición original	Junio 2003
Actualización diciembre 2003	Incorporación de Sección IX