

Riesgo sanitario por sustancias tóxicas en aguas superficiales de Tres Arroyos, Argentina

Health risk by toxic substances in freshwater of Tres Arroyos, Argentina

Risco sanitário por substâncias tóxicas em águas superficiais de Tres Arroyos, Argentina

► Fabio Peluso^{1*}, José González Castelain^{2*}, Natalia Othax^{3*}, Lorena Rodríguez^{4*}

¹ Doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental

² Licenciado en Biología

³ Magister en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano

⁴ Magister en Ecohidrología

* Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (UNCPBA, CIC, MA). CC 44, CP B7300, Azul, prov. de Buenos Aires, Argentina. fpeluso@faa.unicen.edu.ar

Resumen

En cursos de agua del partido de Tres Arroyos (provincia de Buenos Aires, Argentina) se encontraron sustancias tóxicas (metales pesados, nitratos, nitritos, fluoruros, sustancias fenólicas y pesticidas organoclorados). El objetivo del trabajo fue estimar el riesgo sanitario para el baño recreativo en esas aguas. El análisis se basó en el modelo USEPA probabilístico para riesgo agregado y acumulativo, tanto para efectos no carcinogénicos (ENC) como carcinogénicos (EC), considerando la ingesta accidental de agua y el contacto dérmico. Se planteó un escenario de exposición basado en datos propios y de la literatura para un niño de 10 años como representativo de la población expuesta. Los resultados indican que no existiría riesgo relevante para la actividad recreativa para las concentraciones consideradas. De todos los cuerpos de agua el de mayor riesgo es el Arroyo Claromecó, pero sólo alcanza al 20% del valor limitante. Los metales contribuyen con un 82 y 99% del riesgo total acumulado por ENC y EC, respectivamente, seguidos por las sustancias inorgánicas. Y de los metales, el mayor contribuyente al riesgo es el arsénico, quien aporta el 78 y 99% del riesgo agregado y acumulado por todas las sustancias para ENC y EC, respectivamente.

Palabras clave: Tres Arroyos * aguas superficiales * riesgo por uso recreativo * metales pesados * arsénico

Summary

Toxic substances (heavy metals, nitrate, nitrite, fluoride, phenolic substances and organochlorine pesticides) were detected in Tres Arroyos county freshwaters (Buenos Aires province, Argentina). The aim of this study was estimate the human health risk (HR) associated with these substances during recreational bathing. The probabilistic HR assessment was based on aggregated and cumulative USEPA models. Cancer (CE) and non-cancer (NCE) risk were estimated for accidental drinking and dermal contact during the recreational activity.

Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana

Incorporada al Chemical Abstract Service.

Código bibliográfico: ABCLDL.

ISSN 0325-2957

ISSN 1851-6114 en línea

ISSN 1852-396X (CD-ROM)

The exposure scenario considered was based on own and literature data, and a ten year-old child was selected as representative of the exposed population. The results indicated that surveyed substances do not generate any health risk for recreational bathing with direct contact at the specified concentrations and exposure conditions. Claromecó creek station was the riskiest point of whole water bodies, but it reaches only 20% of the limiting value. Metals were the major contributors to overall aggregated and cumulative risk (82% for NCE and 99% for CE), followed by inorganic substances. Arsenic was the most dangerous metal, responsible for the 78 and 99% of the aggregate and cumulative risks for all substances for NCE and CE, respectively.

Key words: *Tres Arroyos * freshwaters * health risk by recreational use * heavy metals * arsenic*

Resumo

Em cursos d'água da localidade de Tres Arroyos (Província de Buenos Aires, Argentina) foram encontradas substâncias tóxicas (metais pesados, nitratos, nitritos, fluoretos, substâncias fenólicas e pesticidas organoclorados). O objetivo do trabalho foi calcular o risco sanitário para o banho com fins recreativos nessas águas. A análise foi realizada com base no modelo USEPA probabilístico para risco agregado e acumulativo, tanto para efeitos não carcinogênicos (ENC) como carcinogênicos (EC), considerando a ingestão acidental de água e o contato dérmico. Foi apresentado um cenário de exposição com base em dados próprios e da literatura para um menino de dez anos como representativo da população exposta. Os resultados indicam que não existiria risco relevante para a atividade recreativa para as concentrações consideradas. De todos os corpos de água aquele de maior risco é o Arroyo Claromecó mas só atinge 20% do valor limitante. Os metais contribuem com 82 e 99% do risco total acumulado por ENC e EC, respectivamente, seguidos pelas substâncias inorgânicas. E dos metais, o maior contribuinte ao risco é o arsênico, que oferece 78 e 99% do risco agregado e acumulado por todas as substâncias para ENC e EC, respectivamente.

Palavras chave: *Tres Arroyos * águas superficiais * risco de uso para recreação * metais pesados * arsênico*

Introducción

El partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires (57.000 habitantes), posee varios cursos de agua que son utilizados como balneario espontáneo durante el verano. Estos son el sistema de los Tres Arroyos (primero, segundo y tercer brazo), en la zona urbana-periurbana de la ciudad homónima, y el Arroyo Claromecó, que recibe las aguas de los anteriores y desagua en el mar. Además, se encuentran el arroyo Cristiano Muerto y el río Quequén Salado, que son límites del partido. Estos cuerpos de agua poseen, en ciertos puntos de su recorrido, potenciales fuentes de contaminación. Por ejemplo, un parque industrial y una planta depuradora de efluentes cloacales, en el caso del sistema de los Tres Arroyos en la zona urbana-periurbana de la ciudad homónima, con el potencial vertido de metales pesados, sustancias fenólicas, nitratos y nitritos. O, también, el escurrimiento superficial de suelo agrícola, dada la gran superficie del partido cultivada con trigo, girasol, maíz y soja (1), producción altamente dependiente de agroquímicos. Además, debe destacarse la presencia de sustancias tales como fluoruro y arsénico en las aguas de los cursos antes mencionados, que estaría explicada por la hidrogeología particular del partido, por las características mineralógicas naturales de sus aguas subterráneas (que poseen concentraciones elevadas de estas sustan-

cias), y por el hecho de que los cuerpos de agua superficial reciben aportes de las subterráneas (2).

Análisis de calidad del agua demostraron la presencia de sustancias potencialmente tóxicas en distintos puntos de esos cursos, entre ellas, inorgánicas (incluyendo metales pesados) y orgánicas (incluyendo pesticidas organoclorados). El objetivo del trabajo fue estimar el riesgo sanitario (ARS) por el uso recreativo con contacto directo de esas aguas aplicando los modelos probabilísticos de USEPA. La peligrosidad del baño recreativo se calculó en base al riesgo acumulativo y agregado, es decir, dado por exposición simultánea a las diferentes sustancias del agua y por dos diferentes vías de contacto -la ingesta accidental y el contacto dérmico-.

Materiales y Métodos

1) CONCENTRACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PELIGROSAS EN AGUAS SUPERFICIALES (C) DEL PARTIDO DE TRES ARROYOS

El muestreo se realizó entre enero de 2007 y enero de 2009. Los 16 puntos relevados corresponden al sistema de los Tres Arroyos y Arroyo Claromecó (A1 a A10), al arroyo Cristiano Muerto (CM1 y CM2), al río Quequén Salado (Q1, Q2 y Q3) y a una pequeña laguna cercana a la

planta urbana de la ciudad de Tres Arroyos (L2) (Fig. 1). Las muestras de agua fueron colectadas según técnicas estándar para las determinaciones analíticas a realizar (botellas de vidrio color ámbar con tapón interno de teflón) y fueron refrigeradas (4-8 °C) hasta el momento del análisis. Este se llevó a cabo en un laboratorio habilitado por la autoridad de aplicación en materia ambiental de la provincia de Buenos Aires (Reg. 017 Res. 640/02 del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, ex Secretaría de Política Ambiental).

El muestreo fue periódico, bimestral para las mediciones de concentración de sustancias inorgánicas, fluoruro (F), nitrato (NO₃) y nitrito (NO₂), con un total de 12 muestras. Y semestral, 5 muestras, para metales pesados, incluyendo plomo (Pb), cromo (Cr III y Cr VI), cadmio (Cd), cobre (Cu), zinc (Zn), aluminio (Al), manganeso (Mn), mercurio (Hg) y arsénico (As), sustancias fenólicas (SF), y agroquímicos organoclorados, abarcando los isómeros del hexaclorociclohexano (α , δ , γ -HCH), aldrín (Ald), γ -clordano (γ -Clor), diclorodifenildicloroetano (DDD) y endosulfán sulfato (EndoSul).

El conjunto de sustancias monitoreadas fue más amplio, descartándose aquellas que en ningún caso (ni espacial ni temporalmente) arrojaron valores superiores al límite de detección de las técnicas analíticas empleadas. Las sustancias intervinientes en el ARS, con su código de identificación (CAS) y la técnica analítica empleada para su determinación así como su límite de detección en mg L⁻¹, se

presentan en la Tabla I. En la Tabla II se pueden apreciar las concentraciones promedio por punto de muestreo, en mg L⁻¹. Si bien USEPA aconseja utilizar la media aritmética corregida como parámetro representativo de un nivel de exposición lo “razonablemente máximo (límite de confianza superior de la media aritmética, cuya sigla es UCL) (3-5), se usó la media aritmética debido a que el bajo número de datos no permitiría una adecuada representatividad estadística en el cálculo del UCL.

2) MODELO DE ANÁLISIS DE RIESGO SANITARIO

El ARS se realizó para dos rutas de exposición: la ingesta accidental y el contacto dérmico con el agua durante el baño recreativo, aplicando los modelos de USEPA (6). La ecuación 1 estima la exposición crónica a una sustancia peligrosa por ingesta accidental, y la ecuación 2, por contacto dérmico.

$$ADDI = \frac{[C * Ir * ET * EF * ED]}{[Bw * AT]} \quad (1)$$

$$ADDC = \frac{[C * SA * Kp * ET * EF * ED * AT1]}{[Bw * AT]} \quad (2)$$

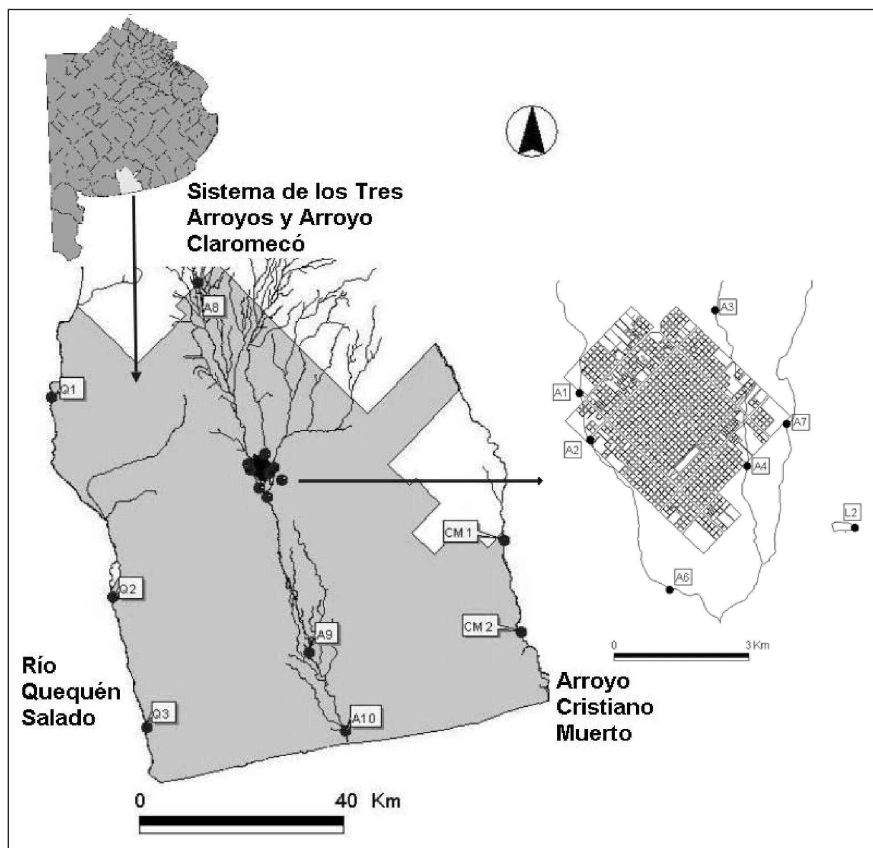


Figura 1. Sitios de muestreo en las aguas superficiales del Partido de Tres Arroyos

Siendo:

ADDI =	Dosis Diaria Promedio por Ingesta (en mg kg ⁻¹ d ⁻¹)
C =	Concentración de la sustancia peligrosa en el agua (en mg L ⁻¹)
Ir =	Tasa de ingesta diaria del agua (en L d ⁻¹)
ET =	Duración diaria del evento de exposición (en h d ⁻¹)
EF =	Frecuencia de la exposición (en d a ⁻¹)
ED =	Duración de la exposición (en a)
Bw =	Peso corporal de la persona expuesta (en kg)
AT =	Factores de corrección por tiempo promedio (ED * 365 días para sustancias no carcinogénicas; duración estadística de la vida humana (70) * 365 días para sustancias carcinogénicas)
ADDC =	Dosis Diaria Promedio por Contacto Directo (en mg kg ⁻¹ d ⁻¹)
SA =	Extensión de la superficie de contacto entre la piel y el agua (en cm ²)
Kp =	Coefficiente de permeabilidad dérmica de la sustancia (en cm h ⁻¹)
AT1 =	Factor de corrección de unidades de superficie y volumen (10.000 cm ² m ⁻² * 0,001 L cm ⁻³)

En el apartado siguiente se describen numéricamente estas variables.

El riesgo para las sustancias de efectos tóxicos no carcinogénicos (ENC) se estimó a partir del cociente entre el valor de la exposición por ruta (ADDI y ADDC) y la Dosis de Referencia (RfD) (3). Existe riesgo cuando el valor de este cociente excede la unidad. El riesgo para las sustancias de efectos tóxicos carcinogénicos (EC) se calculó a partir del producto de los ADD por el Factor de Pendiente (SF) (7) (8). En estos ADD la duración de la exposición considerada en el factor de corrección AT fue de 70 años.

Las normas argentinas de calidad de agua para uso recreativo no establecen límites de riesgo aceptable (ni para ingesta accidental ni para contacto dérmico), y en las de consumo humano, sólo se establecen para EC, que es de 10E⁻⁵. Este valor es el equivalente a un nuevo caso de cáncer asimilable a esa causa por cada 100.000 habitantes (9) (10).

La estimación del riesgo agregado y del acumulativo, se realizó empleando un modelo aditivo conformando un Índice de Riesgo, utilizado por USEPA para evaluaciones ARS de prospección inicial (3) (11) (12).

3) PARÁMETROS DE LA EXPOSICIÓN

Se consideró como individuo expuesto a un niño de 10 años. La tasa de ingesta accidental considerada fue de 0,05 L h⁻¹ (3) (13) y fue, junto con la concentración de la sustancia, las únicas variables determinísticas de los modelos cuantitativos. El resto de las variables integrantes de las ecuaciones 1 y 2 (duración diaria del evento, frecuencia y duración de la exposición, el peso, la talla y la superficie corporal del individuo expuesto) fueron tratadas probabilísticamente. Los descriptores estadísticos de las distribuciones de probabilidad de cada variable se presentan en la Tabla III, lo mismo que la fuente de la información utilizada.

La superficie corporal, que se utilizó en reemplazo de SA de la ecuación 2 al asumirse un contacto total con el agua, se estimó aplicando la fórmula de DuBois y DuBois (14) basada en el peso y la talla para ese estrato de edad, tal como muestra la ecuación 3.

Tabla I. Sustancias relevadas en aguas superficiales del Partido de Tres Arroyos, con su código identificador (CAS) y la técnica analítica empleada para su determinación con su límite de detección.

Sustancia	CAS	Lim. Det.	Técnica Analítica
Pb	7439-92-1	2,00E-03	EPA SW 846 M 3010
Cr III	16065-83-1	2,00E-03	EPA SW 846 M 3010
Cr VI	18540-29-9	5,00E-03	EPA SW 846 M 7196
Cd	7440-43-9	5,00E-04	EPA SW 846 M 7130
Cu	7440-50-8	5,00E-03	EPA SW 846 M 3010
Zn	7440-66-6	7,00E-03	EPA SW 846 M 3010
Al	7429-90-5	2,50E-02	EPA SW 846 M 3010
Mn	7439-96-5	6,00E-03	EPA SW 846 M 3010
Hg	7439-97-6	2,00E-04	EPA SW 846 M 7470
As	7440-38-2	3,00E-03	EPA SW 846 M 7061
SF	108-95-2	4,00E-03	EPA SW 846 M 9065
α - HCH	319-84-6	6,00E-07	EPA SW 846 M 8081
γ - HCH	58-89-9	5,00E-07	EPA SW 846 M 8081
δ - HCH	319-86-8	4,00E-08	EPA SW 846 M 8081
Ald	309-00-2	2,00E-07	EPA SW 846 M 8081
γ - Clor	5566-34-7	4,00E-07	EPA SW 846 M 8081
DDD	72-54-8	1,00E-07	EPA SW 846 M 8081
EndoSul	1031-07-8	2,50E-06	EPA SW 846 M 8081
F	7782-41-4	3,00E-02	SM 4500-F C
NO3	84145-82-4	2,00E-01	SM 4500-NO3 B
NO2	14797-65-0	3,30E-02	SM 4500-NO2 B

Sustancia	Sistema de los Tres Arroyos									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Pb	2,00E-03	1,00E-03	1,50E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03
Cr III	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	--	3,45E-02
Cr VI	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	--	6,75E-03
Cd	2,50E-04	2,75E-04	2,75E-04	2,75E-04	2,50E-04	2,75E-04	2,75E-04	2,50E-04	--	7,50E-04
Cu	6,00E-03	6,00E-03	4,25E-03	4,25E-03	6,00E-03	7,00E-03	5,50E-03	6,00E-03	--	1,50E-02
Zn	1,60E-02	1,75E-02	2,05E-02	1,45E-02	1,50E-02	3,40E-02	2,20E-02	2,00E-02	--	2,30E-02
Al	--	1,35E+00	1,75E+00	3,00E-01	--	8,50E-01	1,63E+00	--	--	5,38E-01
Mn	--	7,00E-02	1,10E-01	1,40E-02	--	4,30E-02	8,40E-02	--	--	5,10E-02
Hg	5,00E-04	3,00E-04	4,50E-04	2,50E-04	1,00E-04	2,50E-04	3,00E-04	4,00E-04	--	3,00E-04
As	6,53E-02	7,35E-02	5,70E-02	6,15E-02	5,25E-02	4,93E-02	4,49E-02	5,30E-02	5,57E-02	8,28E-02
SF	4,00E-03	3,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	--	6,50E-03	2,00E-03	--	--	2,00E-03
α - HCH	1,36E-05	1,30E-06	1,06E-05	--	1,06E-05	--	5,50E-06	7,65E-06	2,70E-06	2,45E-06
γ - HCH	1,25E-06	9,00E-07	7,50E-07	--	2,50E-07	--	7,50E-07	7,50E-07	2,50E-07	2,50E-07
δ - HCH	2,00E-08	7,00E-07	2,00E-08	--	2,00E-08	--	2,00E-08	2,00E-08	2,00E-08	2,00E-08
Ald	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	--	1,00E-07	--	1,00E-07	2,50E-07	5,00E-07	1,00E-07
γ - Clor	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07	--	2,00E-07	--	2,00E-07	2,00E-07	3,00E-07	3,00E-07
DDD	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	--	5,00E-08	--	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08
EndoSul	1,25E-06	1,25E-06	1,25E-06	--	1,25E-06	--	1,25E-06	1,25E-06	6,48E-06	1,25E-06
F	3,18	3,22	3,05	3,05	2,93	2,76	2,93	2,86	2,77	3,04
NO3	16,63	12,69	14,41	15,96	23,02	27,71	16,90	16,08	17,86	11,96
NO2	0,11	0,09	0,04	0,04	0,66	1,76	0,06	0,32	0,09	0,13

Sustancia	Arroyo Quequén Salado			Arroyo Cristiano Muerto		Laguna
	Q1	Q2	Q3	CM1	CM2	L2
Pb	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	2,00E-03
Cr III	--	--	--	--	--	--
Cr VI	--	--	--	--	--	--
Cd	--	--	--	--	--	--
Cu	--	--	--	--	--	--
Zn	--	--	--	--	--	--
Al	--	--	--	--	--	--
Mn	--	--	--	--	--	--
Hg	--	--	--	--	--	--
As	8,58E-02	7,93E-02	7,70E-02	5,55E-02	4,65E-02	3,77E-02
SF	--	--	--	--	--	--
α - HCH	1,18E-05	1,00E-05	6,55E-06	5,70E-06	3,20E-06	2,79E-05
γ - HCH	7,50E-07	2,50E-07	2,50E-07	2,50E-07	2,50E-07	2,80E-06
δ - HCH	2,00E-08	2,00E-08	1,60E-07	2,00E-08	2,00E-08	2,00E-08
Ald	2,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07	1,00E-07
γ - Clor	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07	2,00E-07
DDD	5,00E-08	5,00E-08	2,75E-07	5,00E-08	5,00E-08	5,00E-08
EndoSul	1,25E-06	1,00E-05	5,58E-06	1,14E-05	4,68E-06	7,50E-06
F	2,27	2,52	2,53	2,82	2,86	2,60
NO3	4,46	5,37	17,11	20,77	16,89	9,64
NO2	0,02	0,01	0,08	0,04	0,04	0,50

Tabla II. Concentraciones (en mg L⁻¹) de las sustancias halladas en las estaciones de los Tres Arroyos, del Quequén Salado, del Cristiano Muerto y laguna periurbana. Referencias del nombre de las sustancias: ver en el texto.

$$SC = H^{0,725} * P^{0,425} * 0,007184 \tag{3}$$

Donde:

SC: superficie corporal (en m²)

H: altura (en cm)

P: peso (en kg)

La estimación de los Coeficientes de Permeabilidad Dérmica (Kp) se efectuó según USEPA (15) (16), en base a la ecuación que relaciona el peso molecular (Mw) y en el coeficiente de partición octanol-agua (Kow), tal

como muestra la ecuación 4. En la Tabla IV se aprecian los Kp de las distintas sustancias.

$$\log Kp = 0,71 \log Kow - 0,0061Mw - 2,72 \tag{4}$$

4) ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO

Tanto para ENC como EC, el riesgo se calculó individualmente por sustancia y por vía de contacto, y luego para ambas vías simultáneamente (riesgo agregado). También por grupos de sustancias por vía de exposi-

ción (riesgo acumulativo por vía de exposición), y para ambas vías simultáneamente (riesgo agregado acumulativo).

El cálculo se realizó probabilísticamente con Crystal Ball 7.1 (17), aplicando Monte Carlo (MC) para 5.000 iteraciones (18). De las distribuciones probabilísticas de valores de riesgo resultante en cada caso, se extrajeron como estadísticos representativos, la media aritmética, el desvío estándar, el 95 percentilo y el valor máximo.

Cada modelo aditivo se realizó como la suma de los valores de las variables involucradas en cada iteración del procedimiento de MC, generándose finalmente una distribución de valores de la que se extraen los mismos estadísticos representativos que para las variables individuales.

Los grupos de sustancias se conformaron asumiendo idéntico efecto toxicológico para los constituyentes del mismo. Los grupos fueron: metales pesados (Pb, Cr III, Cr VI, Cd, Cu, Zn, Al, Mn, Hg y As), sustancias orgánicas (sustancias fenólicas), agroquímicos organoclorados (α , δ , γ - HCH, Ald, γ - Clor, DDD y EndoSul), sustancias inorgánicas (F, NO₃ y NO₂), y el conjunto de sustancias completo (todas las sustancias). Este último grupo intenta convertirse en una referencia de una hipotética "peor situación posible".

En la Tabla IV se presentan los referenciales toxicológicos tanto para los efectos no carcinogénicos (RfDs) como para los carcinogénicos (SFs), por ingesta y por contacto directo.

5) ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Inicialmente, se realizó un estudio de los resultados probabilísticos obtenidos del ARS acumulativo por el conjunto de todas las sustancias por efectos no carcinogénicos (ENC) y de las carcinogénicas (EC), por la vía de la ingesta accidental y del contacto dérmico durante la actividad recreativa. Esto se realizó por estación individual y para el conjunto de todas las estaciones, lo que se realizó aplicando la media aritmética, el desvío estándar y el coeficiente de variación sobre el conjunto de los estadísticos resultantes (media aritmética, desvío estándar, valor máximo y percentilo 95) de las distribuciones probabilísticas de cada estación. De esta manera se puede evidenciar cuál es la estación más riesgosa bajo una hipotética peor situación posible (exposición agre-

gada y acumulativa a todas las sustancias) y cuál es el nivel de riesgo recreativo medio y con qué nivel de variabilidad.

Posteriormente se realizó, para el conjunto de todas las estaciones, un estudio particularizado de la importancia del riesgo por grupo de sustancias, a los fines de evidenciar cuál es el que mayormente contribuye al riesgo acumulativo de todas las sustancias. Este se calculó aplicando la media aritmética, el desvío estándar y el coeficiente de variación sobre el conjunto de los estadísticos resultantes (media aritmética, desvío estándar, valor máximo y percentilo 95) de las distribuciones probabilísticas de los riesgos agregados acumulativos, tanto para ENC como EC, de todas las sustancias integrantes del grupo.

También se efectuó, para el conjunto de todas las estaciones, un estudio de los riesgos generados específicamente por los diferentes metales pesados, con el objetivo de identificar la sustancia que mayormente contribuye al riesgo acumulativo. La estimación de los estadísticos (media, desvío estándar, valor máximo y percentilo 95) se realizó sobre la base de las medias aritméticas de los riesgos agregados por sustancia por estación de muestreo, efectuándose esta para ENC y EC.

Resultados

Los resultados probabilísticos obtenidos del ARS por ENC y EC debido a la ingesta accidental, al contacto dérmico y por exposición agregada por el conjunto de todas las sustancias (hipotética peor situación posible) para cada estación de muestreo, se presentan en la Tabla V. De la tabla se desprende que, ni siquiera en los valores máximos de las distribuciones probabilísticas del riesgo agregado, existe riesgo sanitario que supere los valores limitantes para ENC (límite = 1). Si se considera al conjunto de todas las estaciones, la media de los valores máximos (MAAc. Agregada) es igual a 0,16. Y para el caso de EC (límite = 10⁻⁵), apenas lo alcanza (MAAc. agregada igual a 5,66E-05). La estación con el mayor riesgo sanitario acumulativo agregado por ENC y EC es A10, la estación en el arroyo Clarmecó, en la desembocadura del sistema de los Tres Arroyos. (Ac.A10; el valor máximo por exposición agregada es de 2,19E-01 para ENC y 7,96E-05 por EC). Le

Parámetro	Det-prob	Tipo curva	Min	Max	MA	DE	Fuente inf.
Ir (L h ⁻¹)		Det		0,05			USEPA (1989, 1995)
ET (h)		Triangular	0,5	2	1		Juicio propio
EF (d a ⁻¹)		Beta	0,82	45,71	20,7	11,07	Peluso <i>et al.</i> , 2006
ED (a)		Triangular	1	30	15		Juicio propio
BW (kg)		normal	24	44	32	3,33	Lejarraga y Orfila, 1987
Talla (m)		normal	1,25	1,48	1,36	0,04	Lejarraga y Orfila, 1987
Sup. Corp. (m ²)		normal	0,93	1,28	1,10	0,05	Estimado

Tabla III. Descripción de las distribuciones de probabilidades de las distintas variables integrantes del cálculo de la exposición, con indicación del tipo de curva y estadísticos (Min: mínimo; Max: Máximo; MA: media aritmética; DE: Desvío estándar). Referencias parámetros: ver en el texto.

Sustancia	KP	RFD ing	RFD derm	SFing	SFderm
Pb	N.A.	3,00E-04	N.A.	N.A.	N.A.
Cr III	1,00E-03	1,50E+00	7,50E-03	N.A.	N.A.
Cr VI	1,00E-03	3,00E-03	6,00E-05	N.A.	N.A.
Cd	3,50E-04	5,00E-04	5,00E-06	N.A.	N.A.
Cu	3,07E-04	4,00E-02	1,20E-02	N.A.	N.A.
Zn	3,42E-04	3,00E-01	6,00E-02	N.A.	N.A.
Al	2,14E-03	1,00E+00	1,00E-01	N.A.	N.A.
Mn	1,28E-03	4,60E-02	1,84E-03	N.A.	N.A.
Hg	3,14E-04	3,00E-04	2,10E-05	N.A.	N.A.
As	1,93E-03	3,00E-04	1,23E-04	1,50E+00	3,66E+00
SF	5,53E-03	3,00E-01	2,70E-01	N.A.	N.A.
α - HCH	2,97E-02	3,00E-04	2,91E-04	6,30E+00	6,49E+00
γ - HCH	2,97E-02	3,00E-04	2,91E-04	1,30E+00	1,34E+00
δ - HCH	2,97E-02	3,00E-04	2,91E-04	1,30E+00	1,34E+00
Ald	4,67E-01	3,00E-05	1,50E-05	1,70E+01	3,40E+01
γ - Clor	1,57E-01	5,00E-04	3,50E-01	2,50E-04	7,00E-01
DDD	4,00E-01	N.A.	N.A.	2,40E-01	3,43E-01
EndoSul	3,29E-03	6,00E-03	3,00E-03	N.A.	N.A.
F	1,61E-03	6,00E-02	5,82E-02	N.A.	N.A.
NO3	1,12E-03	7,08E+00	8,00E-01	N.A.	N.A.
NO2	1,08E-03	3,20E-01	5,00E-02	N.A.	N.A.

Tabla IV. Constantes de permeabilidad de las sustancias (K_p , en cm h^{-1}) y referenciales toxicológicos de las sustancias para los efectos no carcinogénicos (RfD) y carcinogénicos (SF) (en $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$) según las rutas de contacto (ingestión y contacto dérmico).

siguen Q1, Q2 y Q3, las tres estaciones en el río Quequén Salado. De los resultados también puede decirse que, si bien esas estaciones son las de los mayores valores, no resaltan en demasía de resto, tal como se aprecia al comparar éstos con los promedios para todas las estaciones, o al apreciar los bajos desvíos estándar (DSAc.) y coeficientes de variación (CVAc. alrededor de 0,20), que evidencian una baja variabilidad en el conjunto de las estaciones.

La misma tabla también permite estimar que el riesgo promedio para el conjunto de las estaciones por ingesta accidental representa alrededor del 50% del riesgo promedio por exposición agregada, tanto para ENC (53,6%) como para EC (52,6%).

En la Tabla VI pueden apreciarse los resultados del estudio particularizado de la importancia del riesgo acumulativo por grupo de sustancias para el conjunto de todas las estaciones. El análisis de la tabla indica que de los cuatro conjuntos de sustancias (metales, orgánicas, pesticidas organoclorados e inorgánicas), los metales son los que en mayor proporción contribuyen al riesgo acumulativo en general, seguidos por las sustancias inorgánicas. Así, en el caso de los primeros, el valor máximo del riesgo agregado acumulativo que producen por ENC fue de 0,13, mientras que por EC fue de 5,64E-05. Los metales por exposición agregada por ENC y EC representan el 82% y más del 99%, respectivamente, del riesgo total acumulativo (MAAc. de Tabla V). En el caso de las sustancias inorgánicas, el valor máximo de riesgo agregado acumulativo por ENC fue de 0,024, no generando riesgo por EC. Las sustan-

cias inorgánicas, en este estudio, alcanzan aproximadamente un 15% del riesgo total acumulado por ENC. Los agroquímicos organoclorados y las sustancias orgánicas poseen valores de riesgo del orden de 10E-04 y 10E-06, respectivamente, para ENC (además, la participación en el riesgo acumulado es muy baja, del orden del 10E-03 y 10E-05, respectivamente). Por EC, el riesgo agregado de los clorados es del orden 10E-07. Los valores brindados son los valores promedio para el conjunto de las estaciones, aunque son bastante representativos de cada estación de muestreo en particular dados los bajos coeficientes de variación en todos los casos (menores a 1). Esto refleja una relativamente baja dispersión de valores. La menor variabilidad corresponde a las sustancias inorgánicas (el CV por exposición agregada es igual a 0,11) y la mayor a los clorados (con un CV alrededor de 0,7 para el mismo tipo de exposición). La explicación de esto radica en que las sustancias inorgánicas fueron determinadas en todas las estaciones siempre y durante mayor número de episodios de muestreo (12 contra 5).

La Tabla VII profundiza el análisis sobre los riesgos ocasionados, particularmente, por el grupo de los metales para el conjunto de todas las estaciones de muestreo. La sustancia que mayormente contribuye al riesgo es el As, explicando el 95% del riesgo acumulativo por metales para ENC, y el 100% por EC (obviamente, dado que es el único metal con ese tipo de efectos). El riesgo máximo por As por exposición agregada es de 1,24E-01 por ENC y 5,59E-05 por EC. Estos valores representan el 78 y 99% del riesgo agregado y acumulativo.

Efecto	Vía Exp.	Est.DP	Est. Ind.										Conj. Est.								
			Ac. A1	Ac. A2	Ac. A3	Ac. A4	Ac. A5	Ac. A6	Ac. A7	Ac. A8	Ac. A9	Ac. A10	Ac. Q1	Ac. Q2	Ac. Q3	Ac. CM1	Ac. CM2	Ac. I2	MAAc.	DSAc.	CVAc.
INGESTA	MA	2,88E-02	3,15E-02	2,56E-02	2,67E-02	2,37E-02	2,32E-02	2,12E-02	2,38E-02	2,37E-02	3,42E-02	3,31E-02	3,11E-02	3,12E-02	2,42E-02	2,10E-02	2,10E-02	1,79E-02	2,63E-02	4,66E-03	1,77E-01
	DS	1,79E-02	2,03E-02	1,64E-02	1,74E-02	1,50E-02	1,49E-02	1,37E-02	1,52E-02	1,53E-02	2,23E-02	2,10E-02	2,01E-02	2,03E-02	1,54E-02	1,34E-02	1,34E-02	1,14E-02			
	Max	1,07E-01	1,20E-01	1,06E-01	1,12E-01	1,01E-01	8,76E-02	8,84E-02	8,74E-02	8,84E-02	1,45E-01	1,33E-01	1,23E-01	1,18E-01	9,97E-02	8,18E-02	8,98E-02	1,05E-01	1,92E-02	1,98E-01	
	P95	6,20E-02	7,06E-02	5,62E-02	6,00E-02	5,13E-02	5,12E-02	4,74E-02	5,16E-02	5,28E-02	1,76E-02	1,77E-02	6,93E-02	6,93E-02	5,34E-02	4,65E-02	3,99E-02	5,82E-02	5,82E-02	1,05E-02	1,81E-01
	P99	2,30E-02	2,69E-02	2,25E-02	2,20E-02	1,95E-02	1,84E-02	1,93E-02	1,87E-02	1,87E-02	3,08E-02	2,70E-02	2,50E-02	2,50E-02	1,88E-02	1,59E-02	1,32E-02	2,16E-02	2,16E-02	4,42E-03	2,04E-01
C.DERMICO	MA	1,26E-02	1,48E-02	1,26E-02	1,24E-02	1,08E-02	1,10E-02	1,03E-02	1,07E-02	1,05E-02	1,73E-02	1,50E-02	1,41E-02	1,41E-02	1,03E-02	8,70E-03	7,25E-03				
	DS	5,76E-02	6,90E-02	5,57E-02	5,59E-02	5,13E-02	4,88E-02	4,64E-02	4,78E-02	4,77E-02	7,02E-02	6,28E-02	6,17E-02	6,17E-02	4,75E-02	3,94E-02	3,42E-02	5,45E-02	1,10E-02	2,03E-01	
	Max	4,49E-02	5,23E-02	4,42E-02	4,32E-02	3,79E-02	3,86E-02	3,63E-02	3,80E-02	3,67E-02	6,12E-02	5,31E-02	4,99E-02	4,91E-02	3,65E-02	3,07E-02	2,57E-02	4,24E-02	8,84E-03	2,08E-01	
	P95	5,15E-02	5,84E-02	4,81E-02	4,87E-02	4,31E-02	4,31E-02	3,96E-02	4,29E-02	4,24E-02	6,50E-02	5,61E-02	5,62E-02	5,62E-02	4,30E-02	3,68E-02	3,11E-02	4,90E-02	4,90E-02	8,17E-03	1,67E-01
	P99	2,96E-02	3,40E-02	2,80E-02	2,90E-02	2,49E-02	2,50E-02	2,32E-02	2,51E-02	2,50E-02	3,84E-02	3,48E-02	3,32E-02	3,32E-02	2,50E-02	2,14E-02	1,81E-02				
AGREGADA	MA	1,59E-01	1,85E-01	1,59E-01	1,65E-01	1,52E-01	1,36E-01	1,31E-01	1,33E-01	1,46E-01	2,19E-01	1,94E-01	1,85E-01	1,75E-01	1,43E-01	1,17E-01	1,02E-01	1,60E-01	2,67E-02	1,67E-01	
	DS	1,04E-01	1,20E-01	9,74E-02	1,00E-01	8,71E-02	8,69E-02	8,21E-02	8,80E-02	8,80E-02	1,34E-01	1,22E-01	1,16E-01	1,15E-01	8,71E-02	7,53E-02	6,34E-02	9,80E-02	1,87E-02	1,91E-01	
	Max	9,88E-06	1,12E-05	8,57E-06	9,30E-06	7,96E-06	7,56E-06	6,80E-06	6,80E-06	6,80E-06	8,33E-06	1,25E-05	1,19E-05	1,18E-05	8,47E-06	7,01E-06	5,67E-06	9,21E-06	2,22E-06	2,41E-01	
	P95	6,19E-06	7,23E-06	5,50E-06	6,08E-06	5,03E-06	4,83E-06	4,38E-06	5,16E-06	5,37E-06	8,17E-06	8,25E-06	7,69E-06	7,70E-06	5,39E-06	4,48E-06	3,62E-06				
	P99	3,69E-05	4,29E-05	3,57E-05	3,90E-05	3,40E-05	2,85E-05	2,78E-05	3,01E-05	3,44E-05	5,30E-05	5,24E-05	4,70E-05	4,46E-05	3,49E-05	2,74E-05	2,21E-05	3,69E-05	9,06E-06	2,45E-01	
EC	MA	2,15E-05	2,51E-05	1,88E-05	2,09E-05	1,72E-05	1,66E-05	1,52E-05	1,75E-05	1,85E-05	2,81E-05	2,85E-05	2,66E-05	2,65E-05	1,87E-05	1,58E-05	1,26E-05	2,10E-05	4,55E-06	2,17E-01	
	DS	8,85E-06	9,94E-06	7,2E-06	8,28E-06	7,18E-06	6,64E-06	6,05E-06	7,21E-06	7,57E-06	1,11E-05	1,16E-05	1,06E-05	1,05E-05	7,54E-06	6,27E-06	5,20E-06	8,27E-06	1,90E-06	2,29E-01	
	Max	4,86E-06	5,48E-06	4,30E-06	4,69E-06	3,97E-06	3,67E-06	3,37E-06	4,02E-06	4,26E-06	6,25E-06	6,44E-06	6,02E-06	5,89E-06	4,15E-06	3,44E-06	2,88E-06				
	P95	1,73E-05	1,94E-05	1,52E-05	1,63E-05	1,40E-05	1,29E-05	1,19E-05	1,42E-05	1,42E-05	2,21E-05	2,28E-05	2,12E-05	2,05E-05	1,47E-05	1,22E-05	1,01E-05	1,61E-05	3,90E-06	2,42E-01	
	P99	1,87E-05	2,12E-05	1,63E-05	1,76E-05	1,51E-05	1,42E-05	1,28E-05	1,53E-05	1,59E-05	2,36E-05	2,46E-05	2,26E-05	2,23E-05	1,60E-05	1,33E-05	1,09E-05	1,75E-05	4,06E-06	2,31E-01	
AGREGADA	MA	1,07E-05	1,23E-05	9,48E-06	1,04E-05	8,71E-06	8,23E-06	7,52E-06	8,90E-06	9,33E-06	1,40E-05	1,42E-05	1,35E-05	1,32E-05	9,25E-06	7,67E-06	6,28E-06				
	DS	5,69E-05	6,69E-05	5,38E-05	5,91E-05	5,29E-05	4,45E-05	4,22E-05	4,70E-05	5,37E-05	7,96E-05	7,86E-05	7,36E-05	7,64E-05	5,21E-05	4,13E-05	3,47E-05	5,66E-05	1,31E-05	2,32E-01	
	Max	3,77E-05	4,34E-05	3,30E-05	3,62E-05	3,04E-05	2,86E-05	2,66E-05	3,12E-05	3,28E-05	4,89E-05	4,99E-05	4,64E-05	4,55E-05	3,23E-05	2,69E-05	2,20E-05	3,57E-05	8,39E-06	2,35E-01	
	P95	1,07E-05	1,23E-05	9,48E-06	1,04E-05	8,71E-06	8,23E-06	7,52E-06	8,90E-06	9,33E-06	1,40E-05	1,42E-05	1,35E-05	1,32E-05	9,25E-06	7,67E-06	6,28E-06				
	P99	1,87E-05	2,12E-05	1,63E-05	1,76E-05	1,51E-05	1,42E-05	1,28E-05	1,53E-05	1,59E-05	2,36E-05	2,46E-05	2,26E-05	2,23E-05	1,60E-05	1,33E-05	1,09E-05	1,75E-05	4,06E-06	2,31E-01	

Tabla V. Riesgo acumulativo (Ac.) por efectos no carcinogénico (ENC) y carcinogénico (EC) por ingesta accidental, contacto dérmico y agregadas para cada una (Est. Ind.) y para el conjunto de las estaciones de muestreo (Conj. Est.). Est.DP: estadísticos de la distribución probabilística por estación; MA: Media aritmética; DS: Desvío estándar; CV: Coeficiente de variación. Max: valor máximo; P95: Percentilo 95 de la distribución. MAAC., DSAC. y CVAc. Media aritmética, Desvío estándar y Coeficiente de variación acumulativos para el conjunto de todas las estaciones.

Efecto	Est.	Metales			Sust. Orgánicas			Organoclorados			Sust. Inorgánicas		
		MA	DS	CV	MA	DS	CV	MA	DS	CV	MA	DS	CV
ENC	MA	4,15E-02	8,96E-03	2,16E-01	2,24E-06	1,15E-06	5,14E-01	9,70E-05	7,04E-05	7,26E-01	7,09E-03	8,16E-04	1,15E-01
	DS	2,42E-02			1,29E-06			5,40E-05			4,28E-03		
	Max	1,31E-01	2,80E-02	2,14E-01	6,69E-06	3,30E-06	4,93E-01	2,47E-04	1,78E-04	7,20E-01	2,45E-02	2,56E-03	1,05E-01
EC	MA	8,46E-02	1,84E-02	2,18E-01	4,51E-06	2,31E-06	5,13E-01	1,90E-04	1,39E-04	7,29E-01	1,49E-02	1,67E-03	1,12E-01
	DS	1,75E-05	4,06E-06	2,33E-01	N.A.	N.A.	N.A.	7,42E-08	4,62E-08	6,22E-01	N.A.	N.A.	N.A.
	Max	1,02E-05			N.A.	N.A.	N.A.	4,13E-08			N.A.	N.A.	N.A.
P95	MA	5,64E-05	1,32E-05	2,33E-01	N.A.	N.A.	N.A.	1,91E-07	1,19E-07	6,25E-01	N.A.	N.A.	N.A.
	DS	3,56E-05	8,40E-06	2,36E-01	N.A.	N.A.	N.A.	1,46E-07	9,09E-08	6,23E-01	N.A.	N.A.	N.A.
	Max												

Tabla VI. Riesgo acumulativo por efectos no carcinogénico (ENC) y carcinogénico (EC) agregados para el conjunto de todas las estaciones de muestreo discriminando entre grupos de sustancias. Est. estadísticos de la distribución probabilística para el conjunto de todas las estaciones.

		Conj. Est.									
Efecto	Est.	Pb	Cr	CrVI	Cd	Cu	Zn	Al	Mn	Hg	As
ENC	MA	3,88E-04	6,88E-06	5,86E-04	2,75E-04	1,13E-05	5,08E-06	2,04E-04	3,60E-04	1,11E-04	3,87E-02
	DS	2,50E-04	3,86E-06	3,27E-04	1,54E-04	6,99E-06	3,09E-06	8,35E-06	2,01E-04	6,47E-05	2,26E-02
	Max	1,53E-03	1,75E-05	1,52E-03	7,24E-04	4,05E-05	1,76E-05	4,02E-04	9,38E-04	3,52E-04	1,24E-01
	P95	8,59E-04	1,35E-05	1,15E-03	5,40E-04	2,43E-05	1,07E-05	1,15E-04	7,07E-04	2,27E-04	7,90E-02
EC	MA	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,74E-05
	DS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,02E-05
	Max	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5,59E-05
	P95	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	3,55E-05

Tabla VII. Riesgo agregado por efectos no carcinogénico (ENC) y carcinogénico (EC) por metales pesados para el conjunto de las estaciones de muestreo.

Discusión

Los resultados de este trabajo muestran que los riesgos por efectos no carcinogénicos debidos a la ingesta accidental y al contacto dérmico por el conjunto de todas las sustancias en la peor estación (hipotética peor situación posible) sólo alcanzan el 20% del valor limitante. Sin embargo, para efectos carcinogénicos por ingesta, sí lo alcanza si se considera el valor protectivo para agua de bebida ($10E-05$). Pero usar este valor referencial tiene sus limitaciones y sólo sirve a los fines comparativos.

La calidad del agua para uso recreativo con contacto directo es evaluada por niveles guías (10) en los que sólo se establecen parámetros microbiológicos como límites. Ante la presencia, como en este caso, de sustancias potencialmente tóxicas en las aguas, los órganos de gestión suelen confrontar sus concentraciones guía pero para el agua de consumo humano, usando para ello los Niveles Guía Nacionales para Calidad de Agua Ambiente para Fuente de provisión de agua para consumo humano (10), el Código Alimentario Argentino (19) (20), o la Ley 11820 de la Provincia de Buenos Aires (21). Sin embargo, a pesar de esas herramientas, la gestión a menudo enfrenta igualmente inconvenientes. Un ejemplo de ello es no poseer valores límites para DDD o para Endosulfán sulfato, sustancias que aparecieron en las aguas analizadas. Por otro lado, esa metodología no permite un análisis ni siquiera de modo preliminar, de las posibles interacciones toxicológicas de las sustancias presentes en el agua, ni la exposición simultánea por otra vía distinta a la de la ingesta, lo que en este trabajo se consideró al aplicar el ARS agregado y acumulativo. Respecto de esto último, en este trabajo se vio que la ingesta explica sólo el 50% del valor del riesgo agregado acumulativo promedio.

Con relación a las implicancias de usar los valores limitantes para el uso consuntivo del agua como equivalente a los del uso recreativo puede señalarse que, por ejemplo, el uso consuntivo asume una ingesta diaria de 1 L de agua para un niño como el hipotético individuo expuesto de este trabajo, contra 0,1 L, lo que se da en ciertos escenarios extremos en este trabajo. Este co-

responde al caso en que la duración del evento coincide con el extremo derecho de su distribución de P (2 horas). Es decir, el caso extremo de ingesta accidental sólo representa el 10% de la ingesta consuntiva, por lo que el valor limitante resulta extremadamente conservador.

Además, asimilar la ingesta accidental a la ingesta consuntiva asumiría como idénticas condiciones diferentes en el proceso de exposición. La caracterización del escenario recreativo (específicamente Ir, ED y EF de ecuaciones 1 y 2) es claramente diferente de un escenario residencial, tal como puede apreciarse en Othax *et al.* (22). Por otro lado, el uso de los niveles guía no podría considerar las contribuciones relativas de cada grupo de sustancias, ni de cada vía de exposición, al riesgo sanitario acumulativo generado por la actividad recreativa. Estudios realizados en la ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires, encontraron que el escenario recreativo explicó sólo un 7% del riesgo acumulativo y agregado por F y As al considerar como escenarios a la ingesta consuntiva de agua de pozo domiciliario, la ingesta accidental y el contacto dérmico por baño recreativo en aguas de Arroyo del Azul, y el baño higiénico en la ducha con el agua del mismo pozo (23). Y de ese 7%, el 5% aproximadamente, corresponde a la ingesta accidental.

Resumiendo, desconocer la importancia del escenario recreativo frente al consuntivo al considerar el contacto de ciertas sustancias con la población, implicaría una posible subestimación del riesgo sanitario que esa sustancia podría generar. Por otro lado, reconocerlo pero asimilando la ingesta consuntiva a la ingesta accidental tal como se realiza al utilizar los niveles guía, conlleva una sobreestimación muy importante del riesgo.

Algunos ejemplos de la utilización de los ARS como herramienta de evaluación de la calidad del agua con fines recreativos puede encontrarse en Peluso *et al.* (24) (25).

El presente trabajo muestra que, ante la falta de otra herramienta más acorde para el control de la calidad físico-química del agua para uso recreativo con contacto directo, los ARS pueden actuar como estrategias de gestión sustituta.

Conclusiones

Las sustancias relevadas en las aguas de los Tres Arroyos, Arroyo Claromecó, Arroyo Cristiano Muerto y Río Quequén Salado, no generarían riesgo sanitario para la actividad recreativa con contacto directo para las concentraciones especificadas en ninguna estación y las condiciones asumidas de exposición. La estación que presenta mayor valor de riesgo sanitario es la desembocadura del Arroyo Claromecó, que alcanza un 20% del valor limitante, aún considerándose el riesgo agregado (la ingesta accidental y el contacto dérmico durante el baño) y acumulativo (todas las sustancias simultáneamente).

De los cuatro conjuntos de sustancias (metales pesados, sustancias fenólicas, pesticidas organoclorados e inorgánicas), los metales son los que en mayor proporción contribuyen al riesgo acumulativo en general (82 y 99 % del riesgo total acumulado por ENC y EC, respectivamente), seguidos por las sustancias inorgánicas. De los metales, la sustancia que mayormente contribuye al riesgo es el As. Esta sustancia contribuye con el 78 y 99 % del riesgo agregado y acumulado por ENC y EC, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se financió con fondos del proyecto AR PID 35765 *Desarrollo de criterios y pautas para el gerenciamento de recursos hídricos en áreas de llanura* de la ANPCyT. Se agradecen los aportes brindados por la Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Buenos Aires, la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. De Buenos Aires y la Municipalidad de Azul.

CORRESPONDENCIA

DR. FABIO PELUSO
Instituto de Hidrología de Llanuras
"Dr. Eduardo Jorge Usunoff"
UNCPBA - CIC - Municip. de Azul
Av. Italia 780
CC 47
7300 AZUL, provincia de Buenos Aires
f_peluso@yahoo.com

Referencias bibliográficas

1. SAGPyA. Series y estadísticas. Sistema integrado de información agropecuaria (SIIA). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. [Fecha de acceso: 5 de Julio de 2010]. Disponible en: URL <http://www.siaa.gov.ar/index.jsp/series-por-tema/agricultura>
2. Varni M, Weinzette I P, Usunoff E. Hidrogeología del Partido de Tres Arroyos, Provincia de Buenos Aires. Azul (prov. de Buenos Aires): Instituto de Hidrología de Llanuras; Programa Integral de Gestión Sustentable de los Recursos Hídricos del Partido de Tres Arroyos, Documento 9. 2006.
3. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Volume 1: human health evaluation manual. Part A. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Emergency and Remedial Response; 1989. EPA/540/1-89/002.
4. USEPA. Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term. Washington (DC): Environmental Protection Agency; 1992. Intermittent Bulletin. Volume 1 Number 1. Publication 9285.7-081.
5. USEPA. Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Emergency and Remedial Response; 2002. OSWER 9285.6 -10.
6. USEPA. Guidelines for exposure assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Risk Assessment Forum; 1992. EPA/600/Z-92/001.
7. USEPA. Proposed guidelines for carcinogen risk assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Research and Development; 1996. EPA/600/P-92/003C.
8. USEPA. Guidelines for carcinogen risk assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Risk Assessment Forum; 2005. EPA/630/P-03/001F.
9. Goransky R, Natale O. Bases metodológicas para el establecimiento de normas locales de calidad de agua para consumo humano. Informe Final. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina; Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas; 1996.
10. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Niveles guía nacionales para calidad de agua ambiente. [Fecha de acceso: 5 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL <http://www.hidricosargentina.gov.ar/NivelCalidad.html>.
11. USEPA. General principles for performing aggregate exposure and risk assessments, Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Pesticide Programs. [Fecha de acceso: 5 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL <http://www.epa.gov/pesticides/trac/science>.
12. USEPA. Framework for cumulative risk assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; National Center for Environmental Assessment; Office of Research and Development; 2003. EPA/630/P-02/001F.
13. USEPA. Human health risk assessment bulletins. Supplement RAGS. Environmental Protection Agency Region 4: USEPA; Waste Management Division; Office of Health Assessment. 1995. [Fecha de acceso: 1 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL <http://www.epa.gov/Region4/waste/ots/healthbul.htm>.
14. DuBois D, DuBois DF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Int Med 1916; 17: 863-71.
15. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual. Part E: Supplemental guidance for dermal risk assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Superfund Remediation and Technology Innovation; 2004. EPA/540/R/99/005.

16. USEPA. Dermal exposure assessment: A summary of EPA approaches. Washington (DC): Environmental Protection Agency; 2007. EPA 600/R-07/040F.
17. Crystal Ball software: [computer program]. Version 7.1. Denver (CO): Decisioneering, Inc.; 2007.
18. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Volume III. Part A: Process for conducting probabilistic risk assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Office of Emergency and Remedial Response; 2001. EPA 540-R-02-002.
19. Ley 18.284. Código Alimentario Argentino. Anales de la Legislación Argentina. ADLA XXIX-B 1456 (18/7/69). [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Ley_18284_1969.pdf.
20. Decreto 2126/71 de la Ley 18.284/69. Anales de la Legislación Argentina. ADLA XXXI-C 3086 (30/6/71). [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Decreto_2126_1971_A_nexos.pdf.
21. Ley 11.820. Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires, y las Condiciones Particulares de Regulación para la Concesión de los Servicios Sanitarios de Jurisdicción Provincial. Boletín Oficial BO 23.199 (11/09/96). [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008]. Disponible en: URL <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-11820.html>.
22. Othax N., Peluso F., Usunoff E. Los análisis de riesgo sanitario como herramientas para la gestión de los recursos hídricos en Argentina. REGA 2007; 4(2): 39-50.
23. Peluso F, Othax N, González Castelain J. Riesgo sanitario por arsénico y fluoruro en Azul, prov. de Buenos Aires. Comparación de escenarios de exposición. En: Actas del VI Congreso Argentino de Hidrogeología; 2009 ago 24-28 [On CD-Room]; Santa Rosa, La Pampa, Argentina; 2009.
24. Peluso F, González Castelain J., Varela C., Usunoff E. Evaluación preliminar del riesgo sanitario por agroquímicos en aguas del Arroyo Azul, provincia de Buenos Aires. Biol Acuática 2008; 24: 123-30.
25. Peluso F, Grosman F, González Castelain J. Riesgo sanitario por pesticidas organoclorados en aguas de una laguna pampeana argentina. Acta Bioquím Clín Latinoam 2009; 43 (2): 233-40.
26. Peluso F, Gonzalez Castelain J, Cazenave G, Usunoff E. Estimación de la tasa de ingesta y de la frecuencia de exposición en aguas recreativas naturales para su uso en análisis probabilístico de riesgo sanitario. Cuadernos del CURIHAM 2006; 12: 1 – 7.
27. Lejarraga H, Orfila G. Estándares de peso y estatura para niños y niñas argentinos desde el nacimiento hasta la madurez. Arch Argent Ped 1987; 85: 209-22.

Aceptado para su publicación 13 de agosto de 2010