

# Riesgo sanitario integrado por sustancias presentes en recursos hídricos de Tres Arroyos, Argentina

*Integrated health risk by substances in water resources of Tres Arroyos, Argentina*

*Risco sanitário integrado por substâncias presentes em recursos hídricos de Tres Arroyos, Argentina*

► Natalia Othax<sup>1</sup>, Fabio Peluso<sup>2</sup>, José González Castelain<sup>3</sup>, Lorena Rodríguez<sup>4</sup>, Sabrina Dubny<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Magister en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano. Becaria de CONICET.

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

<sup>3</sup> Licenciado en Biología.

<sup>4</sup> Magister en Ecohidrología.

<sup>5</sup> Licenciada en Biología.

Lugar donde se realizó el trabajo: Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff" (UNCPBA, CIC, MA). CC 44, CP B7300, Azul, prov. de Buenos Aires, Argentina.

## Resumen

El objetivo del trabajo fue analizar el riesgo sanitario no carcinogénico a partir de ciertas sustancias (inorgánicas, fenólicas, metales pesados y pesticidas) presentes en aguas superficiales y subterráneas de la ciudad de Tres Arroyos. El análisis se realizó utilizando el modelo básico de análisis de riesgo sanitario probabilístico de USEPA considerando tres estratos de edades infantiles (5, 10 y 15 años). Se integraron escenarios de tipo residencial con recreativo, sobre la base de la exposición por la ingesta y por el contacto dérmico con el agua. En los tres estratos de edad, los resultados indican que los valores del riesgo integrado (riesgo residencial + riesgo recreativo) fueron significativos y decrecientes con relación a la edad, siendo el arsénico el principal contribuyente a través de la vía de ingesta consuntiva del escenario residencial.

**Palabras clave:** Tres Arroyos \* aguas superficiales \* aguas subterráneas \* riesgo sanitario integrado \* riesgo residencial \* riesgo recreativo

## Summary

*The objective of this work was to analyze the non-carcinogenic health risk from certain substances (inorganic, phenolic, heavy metals and pesticides) in surface waters and groundwater in the town of Tres Arroyos. The analysis was performed using the basic model of health risk analysis considering probabilistic USEPA for children of three age groups (5, 10 and 15). Residential and recreational type scenarios were integrated, based on exposure through ingestion and dermal contact with water. In all three age strata, the*

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)

results indicate that the values of the integrated risk (residential risk + recreational risk) were significant and decreasing with respect to age, being arsenic the largest contributor through the residential ingestion pathway.

**Keywords:** Tres Arroyos \* freshwater \* groundwater \* integrated health risk \* residential risk \* recreational risk

## Resumo

O objetivo do trabalho foi analisar o risco sanitário não-carcinogênico a partir de determinadas substâncias (inorgânicas, fenólicas, metais pesados e pesticidas) presentes em águas superficiais e subterrâneas da cidade de Tres Arroyos. A análise foi feita utilizando o modelo básico de análise de risco sanitário probabilístico de USEPA, considerando crianças de três faixas etárias infantis (5, 10 e 15 anos). Foram integrados cenários do tipo residencial e recreativo, com base na exposição pela ingestão e pelo contato dérmico com a água. Nas três faixas etárias, os resultados indicam que os valores do risco integrado, (risco residencial + risco recreativo) foram significativos e decrescentes com relação à idade, sendo o arsênico o contribuinte principal através da via da ingestão consuntiva do cenário residencial.

**Palavras chave:** Tres Arroyos \* águas superficiais \* águas subterrâneas \* risco sanitário integrado \* risco residencial \* risco recreativo

## Introducción

La ciudad de Tres Arroyos, cabecera del partido homónimo, es una ciudad agrícola ganadera e industrial de 48.162 habitantes. Si bien el suministro de agua para consumo de la población se realiza a través de un amplio sistema en red abastecida por 20 pozos profundos (profundidad media de 85 metros) y de calidad controlada, existen pozos someros aún activos en la ciudad. Estos (de profundidad media de 16 metros) abastecen de agua a domicilios de manera exclusiva o complementaria a la provista por la red. Por otro lado, la ciudad está atravesada por el sistema de los Tres Arroyos (Primero, Segundo y Tercer Brazo) con varios puntos utilizados como balneario espontáneo durante la época estival, frecuentados, principalmente, por niños.

Muestreos de calidad del agua realizados en la zona de estudio (Proyecto ANPCyT PID 35765) han permitido detectar la presencia de sustancias tóxicas tanto en las superficiales como en las subterráneas. En la zona urbana-periurbana de la ciudad se localiza un parque industrial y una planta depuradora de efluentes cloacales que constituyen fuentes potenciales de contaminación de los cursos de agua superficiales con un potencial vertido de metales pesados, sustancias fenólicas, nitratos y nitritos (1). La cuenca de Tres Arroyos está situada en una zona con aguas subterráneas contaminadas naturalmente con As y F<sup>-</sup> (2-5), con concentraciones que varían de 0,009 a 0,5 mg/L<sup>-1</sup> de As, con una media igual a 0,07 y una desviación estándar de 0,06 mg/L<sup>-1</sup> (4), siendo 7 veces superior al límite de seguridad para el agua potable establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 0,01 mg/L<sup>-1</sup> (6). El aporte de las aguas subterráneas a los arroyos y lagunas poco

profundas de la cuenca, por tanto, puede ser la causa de la alta concentración de As y de F<sup>-</sup> (4) en los arroyos que se presentan en este documento (7).

La presencia de nitratos tiene origen antrópico y en zonas cercanas a la ciudad de Tres Arroyos está dada por la existencia de pozos ciegos (8). Por otra parte, se da el escurrimiento superficial de suelo agrícola dada la gran cantidad de superficie del partido cultivada altamente dependiente de agroquímicos (1) en una región donde se registró en los últimos años un aumento de la productividad de los cultivos sustentado, entre otros avances tecnológicos en su aplicación (9).

En el partido de Tres Arroyos, se ha desarrollado un estudio que ha analizado el riesgo sanitario recreativo por sustancias presentes en agua superficiales (1) para un niño de 10 años como representativo de la población expuesta. El presente trabajo apuntó ampliar aquel a a) analizar el riesgo considerando no sólo el escenario recreativo sino también uno residencial y la integración de ambos, b) evaluar el riesgo a diferentes tipos de individuos expuestos, y c) considerar un período más amplio de muestreo de aguas que en el trabajo antes citado.

A partir de la situación antes descrita se planteó como objetivo del trabajo analizar el riesgo sanitario no carcinogénico simultáneo por el contacto de tales sustancias con agua integrando un escenario residencial a uno recreativo, considerando en cada uno de ellos la exposición por ingesta y por el contacto dérmico. El análisis se realizó utilizando el modelo básico de análisis de riesgo sanitario probabilístico de USEPA (10) y considerando tres estratos de edades infantiles como representativos de los individuos expuestos. Este trabajo discute además, algunas posibilidades que ofrecen estas herramientas para la evaluación de la calidad del agua.

## Materiales y Métodos

### LOS ANÁLISIS DE RIESGO SANITARIO

El análisis de riesgo constituye una herramienta que permite caracterizar la naturaleza y magnitud de los riesgos para la salud de los seres humanos frente a contaminantes químicos y otros factores estresantes, que pueden estar presentes en el medio ambiente (11) caracterizando los efectos adversos potenciales y su probabilidad de ocurrencia, lo que permite identificar, evaluar, seleccionar e implementar acciones para reducirlos (12).

El riesgo es una función de la toxicidad de la sustancia peligrosa y de la magnitud de la exposición a la misma, que expresa la "calidad y cantidad" del contacto entre la sustancia y el organismo expuesto a partir de las rutas del contacto, los escenarios y los tiempos de la exposición (10) (13).

El riesgo sanitario se analizó a partir de dos escenarios de exposición a las sustancias en el agua monitoreada en la ciudad de Tres Arroyos, el residencial y el recreativo, y se calculó para tres tipos de individuos expuestos (de 5, 10 y 15 años) como representativos de parte de la población más vulnerables como son los niños.

El escenario residencial considera la ingesta de agua demandada por las actividades vitales del individuo y el contacto dérmico que ocurre durante un baño con fines higiénicos, en una ducha, sin tener en cuenta la ingesta accidental o deliberada de agua durante esta actividad. El escenario residencial se calculó a partir de las concentraciones de las distintas sustancias peligrosas que se encontraron presentes en los pozos someros de la ciudad. El escenario recreativo considera la ingesta accidental y el contacto dérmico con el agua ocasionados durante el baño recreativo, que se calculó a partir de las concentraciones de las sustancias que se encontraron presentes en las estaciones de monitoreo de aguas superficiales en el área urbana-periurbana de la ciudad.

Tanto para el escenario residencial como para el recreativo se calculó el riesgo por sustancia individual, y para todas las sustancias simultáneamente (riesgo acumulativo), por vía de contacto individual (ingesta y contacto dérmico) y agregada (ambas vías de contacto simultáneamente), y, también, acumulativo y agregado para los dos escenarios conjuntamente (riesgo residencial recreativo integrado).

El análisis de la exposición, tanto por la ingesta como por el contacto dérmico, se realizó utilizando los modelos cuantitativos de USEPA (13) probabilísticamente, que consisten en evaluaciones que utilizan modelos basados en probabilidades para representar cómo se distribuyen los niveles de riesgo a la salud en la población (14). Los modelos se presentan mediante las ecuaciones 1 y 2.

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

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

Siendo

ADDI = Dosis Diaria Promedio por Ingesta (en mg/kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

ADDC = Dosis Diaria Promedio por Contacto Directo (en mg /kg<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

C = Concentración de la sustancia peligrosa en el agua (en mg/L<sup>-1</sup>)

Ir = Tasa de ingesta diaria del agua (en L día<sup>-1</sup>)

ET = Duración diaria del evento de exposición (en h día<sup>-1</sup>)

EF = Frecuencia de la exposición (en día año<sup>-1</sup>)

ED = Duración de la exposición (en años)

Bw = Peso corporal de la persona expuesta (en kg)

AT = Factores de corrección por tiempo promedio (Duración estadística de la vida humana medida en días (70 años \* 365 días)

SA = Extensión de la superficie de contacto entre la piel y el agua (en cm<sup>2</sup>)

Kp = Coeficiente de permeabilidad dérmica de la sustancia (en cm h<sup>-1</sup>)

FC = Factor de corrección de unidades de superficie y volumen (10000 cm<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> \* 0.001 L cm<sup>-3</sup>)

Más adelante se presenta una explicación de los parámetros integrantes de estas ecuaciones.

La exposición participa en los ARS confrontando las dosis diarias promedio de cada sustancia con las dosis umbrales por debajo de la cual no existen efectos toxicológicos sobre el individuo expuesto para el período de exposición considerado. Esta proporción se denomina cociente de riesgo (10), y si su valor iguala o excede la unidad se considera que el nivel de riesgo es significativo. La dosis umbral toxicológica para efectos no carcinogénicos crónicos utilizada es la dosis de referencia oral y dérmica (RfD y RfDD), y se aprecian en la Tabla I.

Tanto para el escenario residencial como recreativo se calculó el riesgo por sustancia individual y de modo acumulativo. Este implica el riesgo combinado a la salud o al ambiente de múltiples agentes o factores de estrés (15), involucrando múltiples vías de exposición que reflejen las diferentes maneras en que los contaminantes pueden entrar en el cuerpo desde diferentes medios (16). En este caso, el riesgo acumulativo implicó la estimación de riesgo por las todas las sustancias simultáneamente y, agregado implicó la consideración de varias vías de exposición, en este caso ambas vías de exposición (ingesta y contacto dérmico).

Luego, se calculó el riesgo integrado, que se obtuvo a partir del cálculo simultáneo del riesgo acumulativo por ambos escenarios. Para ello se empleó un modelo aditivo y se conformó un Índice de Riesgo (15). El valor de riesgo significativo se mantuvo en la unidad.

Tabla I. Sustancias presentes en aguas superficiales y subterráneas de la ciudad de Tres Arroyos con su código identificatorio (CAS), límite de detección, tipo de distribución probabilística y sus estadísticos (Mín.: mínimo, Máx.: máximo, Med.: media, DE: desvío estándar), coeficiente de permeabilidad dérmica (Kp en  $\text{cm h}^{-1}$ ), dosis de referencia oral y dérmica (RfD y RfDD en  $\text{mg/L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ).

Sustancia	CAS	Lim. Det.	T. Dist.	Mín.	Máx.	Med.	DE	Kp	RfD	RfDD
<b>Agua superficial</b>										
NO3	84145-82-4	2,0E-01	Triangular	1,0E-01	2,9E+01	1,0E+01	7,1E+00	1,0E-03	7,0E+00	7,0E+00
F	7782-41-4	3,0E-02	T. de Student	1,5E+00	5,4E+00	3,4E+00	6,8E-01	1,0E-03	6,0E-02	6,0E-02
Pb	7439-92-1	2,0E-03	Triangular	4,4E-03	4,3E-02	2,2E-02	8,3E-03	1,0E-04	8,0E-04	8,0E-04
Cr III	16065-83-1	2,0E-03	Lognormal	5,0E-03	1,3E-02	1,9E-03	0,0E+00	1,0E-03	1,5E+00	2,0E-02
As	7440-38-2	3,0E-03	Logística	1,3E-02	3,1E-01	8,3E-02	3,9E-02	1,0E-03	3,0E-04	3,0E-04
Cd	7440-43-9	5,0E-04	Extremo mín.	1,9E-03	4,0E-03	2,7E-03	5,0E-04	1,0E-03	5,0E-04	2,5E-05
Cu	7440-50-8	5,0E-03	Lognormal	5,0E-03	6,3E+00	3,1E-01	9,0E-01	1,0E-03	4,0E-02	4,0E-02
Zn	7440-66-6	7,0E-03	Lognormal	1,4E-02	1,0E-01	2,8E-02	1,8E-02	6,0E-04	3,0E-01	3,0E-01
Hg	7439-97-6	2,0E-04	Triangular	4,0E-04	8,0E-04	5,7E-04	8,5E-05	1,0E-03	3,0E-05	3,0E-05
Al	7429-90-5	2,5E-02	Lognormal	1,8E-01	4,5E+00	1,4E+00	9,3E-01	1,0E-03	1,0E+00	3,0E-01
Ni	7440-02-0	6,0E-03	Triangular	6,0E-03	7,3E-03	1,4E+00	3,2E-04	2,0E-04	2,0E-02	8,0E-04
SF	108-95-2	4,0E-03	Triangular	4,0E-03	2,1E+01	1,3E+01	3,0E+00	1,0E-03	3,0E-01	1,8E-03
$\alpha$ - HCH	319-84-6	6,0E-07	Extremo máx.	9,0E-07	2,0E-05	8,7E-06	4,4E-06	2,5E-02	3,0E-04	3,0E-04
$\gamma$ - HCH	58-89-9	5,0E-07	Pareto	9,0E-07	1,7E-06	1,2E-06	2,2E-07	2,5E-02	3,0E-04	3,0E-04
$\delta$ - HCH	319-86-8	4,0E-08	Extremo mín.	7,2E-07	7,2E-07	7,2E-07	7,2E-07	1,7E-02	3,0E-04	3,0E-04
Ald	309-00-2	2,0E-07	Lognormal	2,7E-06	5,0E-06	2,8E-06	2,8E-07	1,4E-03	3,0E-05	3,0E-05
$\alpha$ - Endo	115-29-7	1,0E-07	Extremo mín.	1,1E-07	2,9E-05	1,2E-05	6,5E-06	2,3E-02	6,0E-03	6,0E-03
Ciperme	52315-07-8	1,0E-07	Extremo mín.	7,0E-05	9,8E-05	8,4E-05	8,2E-06	2,3E-02	6,0E-03	6,0E-03
<b>Agua subterránea</b>										
NO3	84145-82-4	2,0E-01	Lognormal	2,4E+01	2,3E+02	8,1E+01	3,7E+01	1,0E-03	7,0E+00	7,0E+00
NO2	14797-65-0	3,3E-02	Triangular	7,0E-03	2,1E-01	1,0E-01	4,3E-02	1,0E-03	1,0E-01	1,0E-01
F	7782-41-4	3,0E-02	Gama	9,9E-01	4,4E+00	1,9E+00	6,7E-01	1,0E-03	6,0E-02	6,0E-02
Pb	7439-92-1	2,0E-03	Extremo mín.	3,1E-03	8,7E-03	4,8E-03	1,1E-03	1,0E-04	8,0E-04	8,0E-04
Cr III	16065-83-1	2,0E-03	Extremo máx.	1,1E-03	3,9E-03	3,0E-03	6,2E-04	1,0E-03	1,5E+00	2,0E-02
Cr VI	18540-29-9	5,0E-03	Extremo mín.	6,6E-03	1,9E-02	9,9E-03	2,1E-03	2,0E-03	3,0E-03	7,5E-05
As	7440-38-2	3,0E-03	Lognormal	9,0E-03	2,7E-01	4,6E-02	2,8E-02	1,0E-03	3,0E-04	3,0E-04
Cd	7440-43-9	5,0E-04	Extremo máx.	6,0E-04	6,3E-04	6,2E-04	6,4E-06	1,0E-03	5,0E-04	2,5E-05
Cu	7440-50-8	5,0E-03	Weibull	2,5E-03	1,6E-01	3,5E-02	2,9E-02	1,0E-03	4,0E-02	4,0E-02
Zn	7440-66-6	7,0E-03	Lognormal	8,0E-03	7,4E-01	9,5E-02	1,1E-01	6,0E-04	3,0E-01	3,0E-01
Hg	7439-97-6	2,0E-04	Extremo mín.	3,1E-04	6,0E-04	4,2E-04	6,7E-05	1,0E-03	3,0E-05	3,0E-05
Al	7429-90-5	2,5E-02	Lognormal	5,0E-02	4,4E+00	4,8E-01	5,3E-01	1,0E-03	1,0E+00	3,0E-01
Mn	7439-96-5	8,0E-03	Triangular	8,3E-03	3,3E-02	2,3E-02	6,0E-03	1,0E-03	4,6E-02	1,0E+00
SF	108-95-2	4,0E-03	Extremo máx.	4,0E-03	4,7E-03	4,4E-03	1,6E-04	1,0E-03	3,0E-01	1,8E-03
$\alpha$ - HCH	319-84-6	6,0E-07	Extremo mín.	5,1E-05	3,0E-04	1,1E-04	4,4E-05	2,5E-02	3,0E-04	3,0E-04
$\beta$ - HCH	319-85-7	2,6E-06	Extremo mín.	1,0E-05	4,4E-05	2,0E-05	6,7E-06	2,5E-02	3,0E-04	3,0E-04
$\gamma$ - HCH	58-89-9	5,0E-07	Extremo mín.	1,1E-06	4,0E-06	1,9E-06	5,5E-07	2,5E-02	3,0E-04	3,0E-04
$\delta$ - HCH	319-86-8	4,0E-08	Extremo mín.	2,3E-07	9,3E-07	4,0E-07	1,2E-07	1,7E-02	3,0E-04	3,0E-04
Ald	309-00-2	2,0E-07	Extremo mín.	2,3E-07	3,6E-07	2,7E-07	2,4E-08	1,4E-03	3,0E-05	3,0E-05
$\gamma$ - Clor	5566-34-7	4,0E-07	Extremo mín.	4,4E-07	4,8E-07	4,5E-07	8,4E-09	5,0E-04	5,0E-04	4,0E-04
$\alpha$ - Endo	115-29-7	1,0E-07	Logística	7,5E-07	2,4E-06	9,9E-07	2,1E-07	2,3E-02	6,0E-03	6,0E-03
$\alpha$ - Clor	5103-71-9	1,0E-07	Lognormal	3,0E-07	1,8E-06	6,1E-07	1,9E-07	3,4E-02	5,0E-04	4,0E-04
Dield	60-57-1	1,0E-06	Logística	1,6E-06	3,0E-06	1,8E-06	1,9E-07	1,2E-02	5,0E-05	5,0E-05
$\beta$ Endo	115-29-7	9,0E-07	Extremo máx.	9,1E-07	1,3E-06	1,0E-06	4,6E-08	2,3E-02	6,0E-03	6,0E-03
EndoSul	1031-07-8	2,5E-06	Extremo mín.	2,9E-06	4,6E-06	3,4E-06	3,2E-07	6,5E-02	6,0E-03	6,0E-03

El riesgo se estimó probabilísticamente aplicando Monte Carlo (MC) para 5000 iteraciones en base a las distribuciones probabilísticas de cada variable de las ecuaciones 1 y 2. Si bien la mayoría son probabilísticas (concentración de la sustancia, tasa de ingesta y frecuencia de la exposición para el escenario residencial, duración de la exposición, peso corporal, altura corporal, superficie corporal), otras son determinísticas (tasa de ingesta para el escenario recreativo, frecuencia de la exposición para el escenario recreativo y por contacto dérmico residencial, y la duración del evento del baño recreativo e higiénico). En los casos en que se debieron realizar adiciones (para estimar el riesgo agregado, acumulativo e integrado), estas se realizaron iteración por iteración. De las distribuciones de valores de P resultantes en cada caso, se extrajeron los valores promedio, desvío estándar, máximo y percentilo 95 ( $P^{95}$ ) como estadísticos representativos del riesgo sanitario para facilitar el análisis. Todos los cálculos se realizaron con Crystal Ball v.7.1 (17).

## Parámetros del modelo

### CONCENTRACIÓN DE LAS SUSTANCIAS

La ciudad de Tres Arroyos se ubica al sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, (Figura 1) con coordenadas geográficas  $38^{\circ} 23' S$  y  $60^{\circ} 16' W$ . Las

muestras de las sustancias presentes en el agua subterránea fueron tomadas de 15 pozos domiciliarios activos distribuidos en la planta urbana en muestreos periódicos realizados entre los años 2007 a 2010. Para las mediciones de concentración de *sustancias inorgánicas*, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y fluoruro ( $\text{F}^-$ ) se tomaron un total de 7 muestras por pozo. En el caso de *metales pesados* incluyendo plomo (Pb), cromo (Cr III y Cr VI), cadmio (Cd), cobre (Cu), cinc (Zn), mercurio (Hg), aluminio (Al), manganeso (Mn) se relevaron 4 muestras por sitio de muestreo, excepto el arsénico (As) que contó con un total de 8 muestras. En el caso de los *agroquímicos organoclorados*, que incluye a los isómeros del hexaclorociclohexano ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  - HCH), aldrín (Ald), clordano ( $\alpha$ ,  $\gamma$  - Clor), dieldrín (Dield), endosulfan ( $\alpha$  y  $\beta$  Endo) y endosulfán sulfato (EndoSul) se tomaron también 4 muestras por sitio de muestreo. En el caso de las sustancias fenólicas (SF) se tomaron 2 muestras en cada pozo somero domiciliario. Las muestras de las sustancias presentes en el agua superficial fueron tomadas de 5 estaciones de muestreo ubicadas en distintos puntos de los arroyos dentro del área urbana-periurbana de la ciudad, en muestreos periódicos realizados entre los años 2007 a 2011. Para las mediciones de concentración de *sustancias inorgánicas*,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{F}^-$ , se tomaron un total de 9 muestras por estación. En el caso de *metales pesados*, que incluyeron Pb, Cr III, As, Cd, Cu, Zn, Ni, Al, Hg, se tomaron 3 muestras por estación, excepto el As que contó con 9 muestras por estación. En el caso de

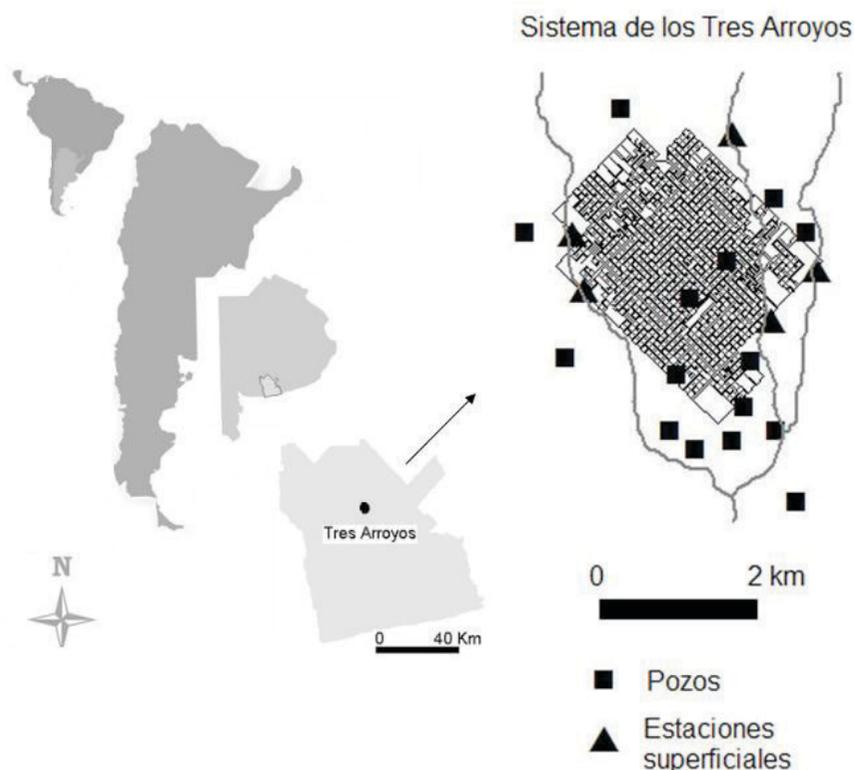


Figura 1. Ubicación de la ciudad de Tres Arroyos, pozos y estaciones superficiales muestreadas.

los agroquímicos organoclorados, que incluyeron  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ -HCH, Ald y  $\alpha$  Endo, y piretroides, que incluyó a la cipermetrina (Ciperme), se tomaron 3 muestras por sitio de muestreo. En la Figura 1 se presenta la ubicación de los 15 pozos someros y de las 5 estaciones de monitoreo de aguas superficiales de la ciudad.

Las muestras de agua fueron colectadas según técnicas estándares para las determinaciones analíticas a realizar, conservadas en frío hasta el momento del análisis a temperatura de hasta 4 °C y acidificadas a pH menor a 2 con ácido sulfúrico, en el caso de las sustancias fenólicas y con ácido nítrico, en el caso de los metales.

Las muestras de agua fueron colectadas y preservadas según técnicas estándar para las determinaciones analíticas a realizar. Se utilizaron botellas plásticas de polietileno de alta densidad en el caso de las *sustancias inorgánicas*,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{F}^-$ , y botellas de vidrio color ámbar con tapón interno de teflón para el caso de los metales, sustancias fenólicas, agroquímicos organoclorados y piretroides. Respecto de la preservación de las muestras, las mismas fueron refrigeradas hasta 4 °C y acidificadas a pH menor a 2 con ácido sulfúrico en el caso de las sustancias fenólicas y, con ácido nítrico en el caso de los metales.

Las determinaciones de las muestras se llevaron 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). Las muestras fueron determinadas analíticamente mediante técnicas estándares tal como se muestra en la Tabla I. En la misma tabla se presenta, también, el código identificador (CAS) y el límite de detección correspondiente a cada sustancia.

La determinación de metales pesados se realizó de acuerdo a USEPA SW 846 M 3010, 7196, 7130, 7470 y 7061. La determinación de sustancias fenólicas se llevó a cabo a partir de la técnica SW 846 M 9065 y en el caso de sustancias inorgánicas de acuerdo a SM 4500-NO<sub>3</sub> B, SM 4500-NO<sub>2</sub> B y SM 4500-F C. La determinación de pesticidas se realizó bajo el método de SW 846 M 8081 y USEPA 508 CG ECD.

Si bien el conjunto de sustancias muestreado fue más amplio, se seleccionaron las sustancias que se hallaron presentes con valores por encima del límite de detección (LD) en al menos un episodio de muestreo. En los casos en que entre los valores relevados se presentaron valores por debajo del LD, los mismos fueron reemplazados por el valor correspondiente al Límite Superior de Confianza 95% de la media aritmética (UCL). El mismo se define como el límite superior del rango que contendrá a la media aritmética real de todos los posibles datos de concentración el 95% de las veces (18). Su estimación es utilizada por USEPA para obtener una concentración representativa de una distribución de valores con incertidumbre para que participe del cálculo de la exposición y luego del riesgo sanitario por esa sus-

tancia (10) (18) (19). El UCL se computó utilizando el *software* Pro-UCL v. 3 (20) sobre los valores por encima del LD de cada sustancia.

La distribución de valores que presentó cada sustancia, compuesta por los valores de los muestreos encima del LD y los valores de UCL reemplazantes de los valores por debajo del LD, fue testeada para conocer su modelo de curva de distribución probabilística con Crystal Ball (17). En la Tabla I se presentan los modelos de distribución probabilística de cada sustancia (tipo de curva y estadísticos).

#### TASA DE INGESTA (*I<sub>r</sub>*), FRECUENCIA (*EF*), DURACIÓN DEL EVENTO (*ET*) Y DURACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (*ED*)

Se consideraron tres estratos de edades, 5, 10 y 15 años. Las distribuciones probabilísticas de las tasas de ingesta residencial por estrato de edad están basadas en USEPA (21). La tasa de ingesta asumida para el escenario recreativo fue un valor determinístico en  $\text{L h}^{-1}$  de duración del evento (10). En ambos casos, los valores de los descriptores estadísticos y el tipo de distribución de la variable tasa de ingesta de agua correspondiente a cada estrato de edad se presentan en la Tabla II.

La frecuencia de la exposición es la cantidad de eventos que se producen al año del escenario de exposición considerado. Se diferenció entre la exposición por vía de la ingesta y por el contacto dérmico, entre el escenario residencial y recreativo. Sólo para el escenario por ingesta residencial la frecuencia de la exposición es probabilística; en el resto de los casos se decidió por una variable determinística según criterio propio, tal como se aprecia en la Tabla II.

La duración del evento corresponde a la duración del proceso de contacto con el agua para el escenario dérmico. Esta variable representa la duración del baño higiénico y se la consideró equivalente para todos los estratos de edad, determinística e igual a 15 minutos. La duración del baño recreativo se la consideró determinística según criterio propio y de 0,5, 1 y 1,5  $\text{h d}^{-1}$  para los tres estratos de edad (5, 10 y 15) respectivamente.

La duración de la exposición es el lapso en años durante el cual se produce cada escenario de exposición. En este caso, tanto para el escenario residencial como recreativo (tanto por la vía de la ingesta como por el contacto dérmico) se adoptó una distribución probabilística triangular de entre 1 y 30 años, con 15 años como valor más probable, considerándose equivalentes para los tres estratos de edades, tal como se muestra en la Tabla II.

#### PESO Y SUPERFICIE CORPORAL (*B<sub>w</sub>* y *S<sub>A</sub>*)

El modelo de distribución de probabilidad con sus descriptores estadísticos correspondiente al peso por estrato de edad se presenta en la Tabla III, así como la altura. Ambas están basadas en Lejarraga y Orfila (22),

Tabla II. Descripción de las distribuciones de probabilidades de la tasa de ingesta de agua (Ir en L h<sup>-1</sup>), la frecuencia (EF en día año<sup>-1</sup>) y la duración de la exposición (ED en años) para los diferentes estratos de edad y vías de exposición. Log.: Lognormal; Det.: Determinística; Mo.: Moda.

Edad	Esc.	Ir					EF				ED			
		T. Dist.	Mín.	Máx.	Med.	Dst.	T. Dist.	Mín.	Máx.	Mo.	T. Dist.	Mín.	Máx.	Mo.
5	Ing. Res.	Log.	0,00	1,90	0,43	0,42	Tri.	300	360	330	Tri.	1	30	15
10			0,00	1,91	0,45	0,44								
15			0,00	2,54	0,60	0,57								
5	Ing. Res.	Det.	0,05			Det.	90							
10														
15														
5	CD Res.	—					Det.	350						
10														
15														
5	CD Res.	—					Det.	90						
10														
15														

Tabla III. Descripción de las distribuciones de probabilidades de peso (BW en Kg), altura (H en m) y superficie corporal (SC en m<sup>2</sup>) para los diferentes estratos de edad.

Edad	T. Dist.	BW				H				SC			
		Mín.	Máx.	Med.	Dst.	Mín.	Máx.	Med.	Dst.	Mín.	Máx.	Med.	Dst.
5	Normal	13,52	25,50	19,48	2,44	1,00	1,18	1,08	0,04	0,62	0,90	0,76	0,05
10		23,50	44,49	33,67	4,71	1,25	1,49	1,36	0,05	0,93	1,34	1,13	0,07
15		34,23	73,48	50,51	7,02	1,50	1,80	1,65	0,07	1,22	1,86	1,54	0,10

que provee datos antropométricos específicos para la población argentina. En la misma tabla se presentan los datos sobre la distribución probabilística y descriptores estadísticos de la superficie corporal por estrato de edad.

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 (23), que se basa en el peso y la talla para cada estrato de edad, tal como muestra la ecuación 3.

$$sc = H^{0,725} * BW^{0,425} * 0,0071843 \quad (3)$$

Donde

SC: Superficie Corporal (cm<sup>2</sup>)

H: Altura Corporal (cm)

BW: Peso Corporal (kg)

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DÉRMICA (Kp)

Los Kp para cada sustancia se estimaron aplicando la ecuación de Potts y Guy (24), la que se basa en el peso molecular (Mw) y en el log del coeficiente de partición octanol-agua (Kow), tal como muestra la ecuación 4. En la Tabla I se aprecian los valores de Kp.

$$\log Kp = 0,71 \log Kow - 0,0016Mw - 2,72 \quad (4)$$

Donde

Kp: Coeficiente de permeabilidad dérmica del compuesto en agua (en cm hr<sup>-1</sup>)

Kow: Coeficiente de partición octanol/agua (adimensional)

Mw: Peso molecular (g)

## Resultados

Los valores de riesgo para las diferentes edades (5, 10 y 15 años) y diferentes grupos de sustancias (inorgánicas, metales, sustancias fenólicas y pesticidas) se presentan en la Tabla IV.

El estrato de 5 años presentó valores significativos de riesgos para el escenario residencial a través de la vía de ingesta consuntiva por metales pesados (P<sup>95</sup>= 6,66) y por sustancias inorgánicas (P<sup>95</sup>= 1,61). El mayor contribuyente al riesgo dentro del grupo de los metales pesados corresponde al As (P<sup>95</sup>= 5,84) y dentro de las sustancias inorgánicas, la principal es F<sup>-</sup> (P<sup>95</sup>= 1,41). La vía de contacto dérmico bajo el escenario residencial presentó valores no significativos de riesgo para cada

Tabla IV. Valores de riesgo para los diferentes estratos de edades y diferentes grupos de sustancias bajo el escenario residencial (a través de la vía de ingesta y contacto dérmico y, agregadas) y recreativo (través de ingesta accidental y contacto dérmico recreativo y, agregadas), la integración de ambos escenarios y sus estadísticos (Med.: media; DE.: desvío estándar; Máx.: máximo; P95: percentilo 95).

Edad	Esc	Rutas	Sust.	Estadísticos				Edad	Esc	Rutas	Sust.	Estadísticos				Edad	Esc	Rutas	Sust.	Estadísticos				
				Med.	DE	Máx.	P95					Med.	DE	Máx.	P95					Med.	DE	Máx.	P95	
5	Res	Ing	Inorg	4,61E-01	5,44E-01	4,95E+00	1,61E+00	10	Ing	Ing	Inorg	2,90E-01	3,58E-01	3,82E+00	9,93E-01	15	Ing	Ing	Inorg	2,37E-01	2,93E-01	2,76E+00	8,29E-01	
			Met pes	1,90E+00	2,57E+00	3,18E+01	6,66E+00				Met pes	1,19E+00	1,64E+00	2,10E+01	4,32E+00				Met pes	9,72E-01	1,36E+00	2,39E+01	3,43E+00	
			Sust fen	1,54E-04	1,75E-04	1,44E-03	5,28E-04				Sust fen	9,59E-05	1,10E-04	8,89E-04	3,31E-04				Sust fen	2,69E-03	3,26E-03	2,58E-02	9,68E-03	
		Pest Org	5,23E-03	6,29E-03	5,77E-02	1,83E-02	Pest Org		3,28E-03	4,06E-03	3,72E-02	1,15E-02	Pest Org	2,68E-03	3,29E-03		3,28E-02	9,51E-03						
		IngAcum	2,36E+00	3,02E+00	3,36E+01	8,21E+00	IngAcum		1,48E+00	1,93E+00	2,28E+01	5,24E+00	IngAcum	1,21E+00	1,60E+00		2,63E+01	4,23E+00						
		Inorg	2,12E-03	1,04E-03	7,12E-03	4,08E-03	Inorg		1,84E-03	9,16E-04	6,62E-03	3,57E-03	Inorg	1,67E-03	8,19E-04		5,74E-03	3,17E-03						
	CD	CD	CD	Met pes	3,44E-02	2,06E-02	2,02E-01	7,21E-02	10	CD	CD	Met pes	1,92E-02	9,24E-03	7,89E-02	3,59E-02	15	CD	CD	Met pes	1,75E-02	8,17E-03	7,54E-02	3,24E-02
				Sust fen	3,70E-06	1,81E-06	1,05E-06	7,10E-06				Sust fen	5,22E-04	2,56E-04	1,48E-03	9,96E-04				Sust fen	9,06E-05	3,58E-05	2,20E-04	1,52E-04
				Pest Org	5,66E-04	2,98E-04	2,13E-03	1,13E-03				Pest Org	3,26E-05	1,66E-05	1,11E-04	6,41E-05				Pest Org	4,45E-04	2,31E-04	1,86E-03	8,88E-04
		CDAcum	3,71E-02	2,13E-02	2,06E-01	7,59E-02	CDAcum	2,16E-02		1,01E-02	6,62E-03	3,57E-03	CDAcum	1,97E-02	8,92E-03	7,95E-02		3,57E-02						
		AgrAcum	2,40E+00	3,02E+00	3,37E+01	8,24E+00	AgrAcum	1,51E+00		1,93E+00	2,28E+01	5,26E+00	AgrAcum	1,23E+00	1,60E+00	2,63E+01		4,25E+00						
		Inorg	9,55E-03	4,45E-03	3,37E-02	1,76E-02	Inorg	1,11E-02		5,20E-03	3,51E-02	2,06E-02	Inorg	1,10E-02	5,05E-03	3,97E-02		1,98E-02						
Ing acc	Ing acc	Ing acc	Met pes	5,54E-02	3,27E-02	2,62E-01	1,16E-01	10	Ing acc	Ing acc	Met pes	6,45E-02	3,88E-02	4,15E-01	1,37E-01	15	Ing acc	Ing acc	Met pes	6,38E-02	3,74E-02	2,99E-01	1,34E-01	
			Sust fen	2,61E-06	1,10E-06	6,41E-06	4,57E-06				Sust fen	3,03E-06	1,28E-06	7,87E-06	5,27E-06				Sust fen	2,99E-06	1,24E-06	7,56E-06	5,13E-06	
			Pest org	2,18E-05	9,52E-06	6,08E-05	3,86E-05				Pest org	2,53E-05	1,10E-05	7,58E-05	4,50E-05				Pest org	2,50E-05	1,07E-05	7,13E-05	4,41E-05	
	Ciperim	1,39E-06	9,52E-06	6,08E-05	3,86E-05	Ciperim	1,61E-06		6,96E-07	7,58E-05	2,83E-06	Ciperim	1,59E-06	6,71E-07	7,13E-05		4,41E-05							
	IngAcum	6,50E-02	3,56E-02	2,83E-01	1,30E-01	IngAcum	7,56E-02		4,22E-02	4,50E-01	1,54E-01	IngAcum	7,48E-02	4,07E-02	3,27E-01		1,51E-01							
	Inorg	1,42E-03	6,46E-04	4,43E-03	2,57E-03	Inorg	2,47E-03		1,11E-03	7,28E-03	4,43E-03	Inorg	3,37E-03	1,49E-03	9,59E-03		6,03E-03							
Rec	CD rec	CD rec	Met pes	1,03E-02	5,46E-03	3,86E-02	2,07E-02	10	CD rec	CD rec	Met pes	1,79E-02	9,39E-03	9,39E-02	3,49E-02	15	CD rec	CD rec	Met pes	2,44E-02	1,25E-02	8,57E-02	4,77E-02	
			Sust fen	3,89E-07	1,57E-07	9,19E-07	6,59E-07				Sust fen	6,78E-07	2,72E-07	1,56E-06	1,15E-06				Sust fen	9,23E-07	3,65E-07	2,19E-06	1,56E-06	
			Pest org	2,55E-05	1,42E-05	9,33E-05	5,24E-05				Pest org	4,49E-05	2,37E-05	1,74E-04	9,08E-05				Pest org	6,04E-05	3,31E-05	2,14E-04	1,24E-04	
	Ciperim	2,59E-05	1,07E-05	6,15E-05	4,44E-05	Ciperim	4,50E-05		1,84E-05	1,13E-04	7,69E-05	Ciperim	6,14E-05	2,48E-05	1,44E-04		1,05E-04							
	CDAcum	1,18E-02	5,94E-03	4,20E-02	2,29E-02	CDAcum	2,04E-02		1,02E-02	1,00E-01	3,87E-02	CDAcum	2,79E-02	1,36E-02	9,42E-02		5,27E-02							
	AgrAcum	3,77E-01	3,79E-02	6,09E-01	4,48E-01	AgrAcum	9,61E-02		4,68E-02	5,04E-01	1,82E-01	AgrAcum	1,03E-01	4,73E-02	3,94E-01		1,91E-01							
Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	2,47E+00	3,01E+00	3,38E+01	8,32E+00	10	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	1,60E+00	1,93E+00	2,29E+01	5,33E+00	15	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	Res-Rec Integ	1,34E+00	1,60E+00	2,65E+01	4,35E+00	

grupo de sustancias (inorgánicas, orgánicas, metales, pesticidas organoclorados), con valores más bajos que los correspondientes a la ingesta consuntiva (alrededor de 2 órdenes de magnitud). En el caso del escenario recreativo, tanto a partir de la ingesta accidental como del contacto dérmico, se obtuvieron valores de riesgo no significativos en cada grupo de sustancia (inorgánicas, orgánicas, metales, pesticidas organoclorados y cipermetrina) como de modo acumulativo. En este caso, el riesgo acumulado también presentó valores de riesgo no significativos e incluso más bajos que los correspondientes al escenario residencial (alrededor de 1 orden de magnitud).

En el estrato de 10 años, se presentaron valores significativos de riesgos en el escenario residencial a través de la vía de ingesta consuntiva sólo por metales pesados ( $P^{95} = 4,32$ ) y en este caso también sólo el As presentó valores de riesgo significativos ( $P^{95} = 3,82$ ). El escenario residencial vía contacto dérmico presentó valores no significativos, en cada grupo de sustancias como de modo acumulativo con valores más bajos que los correspondientes a la ingesta consuntiva (alrededor de 3 órdenes de magnitud). En el escenario recreativo, se obtuvieron valores de riesgo no significativos en cada grupo de sustancia como de modo acumulativo, tanto a partir de la ingesta accidental como del contacto dérmico. En este caso, la agregación de ambas vías de exposición junto con la acumulación de sustancias también presentó valores sin riesgo y más bajos que los correspondientes al escenario residencial (de alrededor de 1 orden de magnitud).

En el estrato de 15 años, como en el caso anterior, el escenario residencial presentó valores de riesgo por medio de la vía de ingesta consuntiva sólo por metales pesados ( $P^{95} = 3,43$ ) con valores significativos de As ( $P^{95} = 2,98$ ). En este caso, el escenario residencial vía contacto dérmico presentó valores no significativos, en cada grupo de sustancias como de modo acumulativo con valores más bajos que los correspondientes a la ingesta consuntiva (alrededor de 2 órdenes de magnitud). Los valores en el caso del escenario recreativo fueron no significativos en cada grupo de sustancia como de modo acumulativo tanto a partir de la ingesta accidental como del contacto dérmico. En este estrato, la agregación de ambas vías de exposición junto con la acumulación de sustancias también presentó valores sin riesgo siendo más bajos que los correspondientes al escenario residencial (de alrededor de 1 orden de magnitud).

En los tres estratos de edad, 5, 10 y 15 años, el escenario residencial presentó valores significativos a partir de la acumulación de sustancias por la ingesta y si bien no se presentaron valores con riesgo a partir del contacto dérmico higiénico, la agregación de ambas vías presentó valores significativos. En el escenario recreativo, tanto a partir de la ingesta accidental como del contacto dérmico, se obtuvieron valores de riesgo no

significativos en cada grupo de sustancias (inorgánicas, orgánicas, metales, pesticidas organoclorados y cipermetrina) como de modo acumulativo. Asimismo, para los tres estratos de edad se observó que los pesticidas y las sustancias fenólicas no presentaron valores de riesgo, tanto en el  $P^{95}$  como en el promedio, bajo los dos escenarios analizados, el escenario residencial como recreativo, tanto para la vía de ingesta como de contacto dérmico. Los valores del riesgo integrado, (riesgo residencial + riesgo recreativo) fueron significativos en los tres estratos de edad y decrecientes con relación a la edad. En el estrato de 10 años, se presentaron valores de riesgo integrado un 36% menor al estrato de 5 años y la reducción fue del 47% cuando se comparó el estrato de 15 con el de 5 años.

En el análisis de la contribución de cada escenario al valor de riesgo integrado se tomaron los valores promedios para los tres estratos de edad. El mismo indica que el escenario recreativo representa un 4,3%, representando el escenario residencial el principal aporte. Dentro del escenario residencial la vía de ingesta consuntiva aporta el 99% al valor de riesgo integrado, constituyendo el contacto dérmico el valor restante. En el escenario recreativo, la vía de ingesta accidental representa el 64% y el contacto dérmico el valor restante.

Respecto de las contribuciones de cada grupo de sustancia al valor de riesgo total se observa que en el escenario residencial por ingesta un alto porcentaje (81%) está compuesto por metales siguiendo en orden de importancia las sustancias inorgánicas, y en menor proporción pesticidas y sustancias fenólicas. El As contribuye en un 70% al valor de riesgo residencial por ingesta y representa un 86% del aporte de los metales.

## Discusión y Conclusiones

En Argentina, la calidad del agua es evaluada a partir de un análisis comparativo entre los valores de concentración de diversas especies químicas y/o parámetros bacteriológicos con los límites fijados en la normativa vigente, tal el caso del Código Alimentario Argentino (25) (26), el Decreto 831/93 de la Ley 24.051 de la Nación Argentina (27), la Ley 11.820 de la Provincia de Buenos Aires (28) y los Niveles Guía Nacionales para Calidad de Agua Ambiente para Fuente de provisión de agua para consumo humano (29). La evaluación de la calidad del agua para uso recreativo es evaluada por niveles guías en los que sólo se establecen parámetros microbiológicos como límites (1). Si bien existe una buena cantidad de niveles normativos para agua de bebida (apreciable por el número de sustancias listadas), estos empiezan a escasear cuando es necesario considerar otras rutas, el contacto dérmico por ejemplo. Esta metodología de evaluación por comparación no permite discriminar entre diferentes escenarios, rutas y tiempos

de exposición a sustancias peligrosas para la salud; tampoco diferenciar entre tipos de individuos expuestos a las mismas (niños, adultos).

Se ha considerado que si bien el uso de la normativa como herramienta para evaluar la calidad del agua garantiza el resguardo sanitario del consumidor, las evaluaciones de riesgo a la salud humana serían mecanismos alternativos para valorizar esa calidad con la ventaja que presentan cierta cantidad de beneficios respecto del análisis basado en el uso de tablas de la normativa (1). La evaluación del riesgo para la salud es considerada un enfoque efectivo para determinar los niveles de riesgo para la salud planteados por diversos contaminantes (30). Este método ha sido aplicado para evaluar los posibles efectos adversos para la salud a partir de la exposición al agua contaminada (30-33). Sin embargo, la práctica de evaluación de riesgo convencional tiene, a su vez, limitaciones que podrían llevar a subestimar el riesgo, como por ejemplo no considerar la exposición simultánea de una persona a múltiples rutas de exposición y a múltiples sustancias químicas (34). Los conceptos desarrollados recientemente de riesgos acumulativos y agregados responden a estas limitaciones. Existen muchos informes sobre los análisis de riesgo sanitarios acumulativos y agregados donde se ha desarrollado el marco conceptual de esta herramienta (16) (35) (36) y algunos ejemplos de aplicación de la herramienta (37-42), y asociando escenarios recreativos con residenciales (43) (44).

El estudio del riesgo sanitario por sustancias presentes en agua superficiales del partido de Tres Arroyos (1) constituye un antecedente respecto del presente estudio, existiendo algunas diferencias metodológicas. En el primer trabajo se usó el promedio como representativo de la distribución de valores de concentración de las sustancias, y se analizó del escenario recreativo considerando un niño de 10 años como representativo de la población expuesta. En el presente trabajo, se analizaron las concentraciones de las sustancias a partir de una mayor cantidad de muestras, se usaron las distribuciones probabilísticas de las mismas y se analizó no sólo el escenario recreativo a partir de sustancias presentes en aguas superficiales sino también un escenario residencial a partir de sustancias halladas en aguas subterráneas y la integración de ambos, evaluando el riesgo en diferentes estratos de edades (5, 10 y 15 años). Este desarrollo ha permitido conocer el valor de riesgo en diferentes estratos de edad, a partir de la agregación de diferentes vías de contacto (ingesta consuntiva y accidental y contacto higiénico y recreativo), bajo diferentes escenarios de exposición (residencial y recreativo) y a partir de la exposición a distintas sustancias presentes en los recursos hídricos utilizados con fines consuntivos y recreativos, constituyendo una mejora potenciada del anterior.

Los resultados indican que el escenario residencial presentó valores significativos a partir de la acumulación de sustancias por la ingesta y si bien no se presen-

taron valores con riesgo a partir del contacto dérmico higiénico, la agregación de ambas vías presentó valores significativos en los tres estratos de edad (5, 10 y 15 años). En el escenario recreativo, tanto a partir de la ingesta accidental como del contacto dérmico, se obtuvieron valores de riesgo no significativos en cada grupo de sustancias como de modo acumulativo. Además, se ha estimado las contribuciones al valor de riesgo, demostrando que la principal contribución del valor del riesgo integrado se da en el escenario residencial, como así también conocer el aporte minoritario del riesgo en el escenario recreativo. Dentro del escenario residencial, se observa que un importante aporte lo constituye el riesgo a través de la ingesta consuntiva (99%), principalmente por el aporte de metales (81%) y específicamente As (70%). Estos resultados son coincidentes con varios trabajos de la bibliografía donde la ingesta consuntiva residencial representó la principal vía de contribución al riesgo (43-50). Asimismo, se ha observado que en el escenario recreativo, la vía de ingesta accidental representa valores cercanos a los obtenidos en el estudio del riesgo sanitario por sustancias presentes en agua superficiales del partido de Tres Arroyos (1).

De los resultados del estudio queda claro que debe ser prioritario el abastecimiento de agua potable a la población infantil dado el riesgo a la salud que representaría el aporte de los metales a partir del consumo de agua de pozo (específicamente As), promoviendo, además, que se abandone dicha práctica. En el caso de las viviendas que disponen de pozos activos dentro del área de cobertura de agua de red, será necesario gestionar la conexión de la vivienda al sistema de red y la desactivación de los pozos. Por otro lado, dado el riesgo que existiría por sustancias como el As, será necesario maximizar la cobertura del sistema de agua de red y el control médico sobre la población. No obstante, es importante considerar que los resultados de los análisis de riesgo son un indicativo de una situación potencialmente problemática según las condiciones analizadas, y que requeriría un análisis posterior de mayor profundidad para establecer efectivamente la gravedad de la situación. Respecto de la calidad del agua para uso recreativo con contacto directo, se observa que la misma no presentaría riesgo para la salud de la población infantil.

Se puede concluir entonces que este estudio, al posibilitar conocer el valor de riesgo a partir de sustancias presentes en los recursos hídricos de la ciudad de Tres Arroyos, en diferentes estratos de edad, a partir de la agregación de diferentes vías de contacto, bajo diferentes escenarios de exposición y a partir de la integración de los mismos, contribuye en lograr la estimación del riesgo y la evaluación de la calidad del agua, de un modo más integral y más realista. Por otra parte, el conocimiento de la composición del riesgo contribuye a entender la importancia o relevancia de las distintas vías, sustancias y/o escenario en el valor de final de ries-

go, representando elementos de interés para la toma de decisiones respecto de la calidad sanitaria de los recursos hídricos.

#### CORRESPONDENCIA

NATALIA OTHAX

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

## Referencias bibliográficas

- Peluso F, González Castelain J, Othax N, Rodríguez L. Riesgo sanitario por sustancias tóxicas en aguas superficiales de Tres Arroyos, Argentina. *Acta Bioquím Clín Latinoam* 2011; 45 (2): 311-21.
- Paoloni JD, Fiorentino CE, Sequeira ME, Echeverría N. Spatial variability and concentration of arsenic in the groundwater of a region in southwest Buenos Aires Province, Argentina. *J Soil Water Conserv* 2000; 55 (4), 436-8.
- Del Blanco MDC, Blanco M del C, Paoloni JD, Morras HJM, Fiorentino CE, Sequeira M. Content and distribution of arsenic in soils, sediments and groundwater environments of the Southern Pampa Region, Argentina. *Environ Toxicol* 2006; 21 (6): 561-74.
- Varni M, Weinzettel 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.
- Nicolli HB, Bundschuh J, Blanco M del C, Tujchneider OC, Panarello HO, Dapeña C, *et al.* Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100 years of research. *Sci Total Environ* 2012; 429: 36-56.
- WHO. Guideline for drinking – water quality. Incorporating 1st and 2nd Addenda, Recommendations. 3rd ed, vol. 1. Geneva: World Health Organization; 2008.
- Peluso F, Othax N, Gonzalez Castelain J, Dubny S. Applying health risk analysis to assess the chemical quality of water for recreational bathing: Case of Tres Arroyos creek, Buenos Aires, Argentina. *Hum Ecol Risk Asses* 2014; 20: 45-68.
- Weinzettel P, Varni M, Usunoff E. Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. En: Blarasin M, Cabrera A, Matteoda E, editores. *Actas del IV Congreso Argentino de Hidrogeología*; 2005, octubre 25-28; Río Cuarto, Argentina; 2005. Tomo 2, p. 171-80.
- Manso L, Forján H, Zamora M. ¿Cómo afectan los sistemas de labranza las propiedades del suelo relacionadas con la economía del agua? *AgroBarrow* 2012; 50: 4-6. Disponible en: URL <http://inta.gov.ar/documentos/agrobarrow-no-50-junio-2012> [Fecha de acceso: 18 de diciembre de 2012].
- 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.
- USEPA. What is risk assessment? Disponible en: URL <http://www.epa.gov/risk/basicinformation.htm#risk> [Fecha de acceso: 5 de julio de 2008].
- CRARM. Risk Assessment and Risk Management in Regulatory Decision-Making (Final Report). U.S.A.: Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management; 1997.
- USEPA. Guidelines for exposure assessment. Washington (DC): Environmental Protection Agency; Risk Assessment Forum; 1992. EPA/600/Z-92/001.
- USEPA, 1999. Process for Conducting Probabilistic Risk Assessment. Environmental Protection Agency. Disponible en: URL <http://www.epa.gov/superfund/programs/risk/> [Fecha de acceso: 5 de julio de 2005].
- 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.
- USEPA. Concepts, Methods, and Data Sources for Cumulative Health Risk Assessment of Multiple Chemicals, Exposures and Effects: A Resource Document. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2007. Final Report. EPA/600/R-06/013F.
- Decisioneering. Crystal Ball 7.1 Software. Denver, CO, Decisioneering, Inc.; 2007.
- USEPA. Supplemental Guidance to RAGS: Calculating the Concentration Term. Intermittent Bulletin. Volume 1 Number 1. U.S. Environmental Protection Agency; 1992. Publication 9285.7-081.
- USEPA. Calculating Upper Confidence Limits for Exposure Point Concentrations at Hazardous Waste Sites. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response; 2002. OSWER 9285.6-10.
- USEPA. ProUCL Version 3.0 User Guide. Environmental Protection Agency; 2004. EPA/600/R-04/079.
- USEPA. Child-Specific Exposure Factors Handbook. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency; National Center for Environmental Assessment; 2002 EPA/600/P-00/002B.
- Lejarraga, H, Orfila G. Estándares de peso y estatura para niños y niñas argentinos desde el nacimiento hasta la madurez. *Arch Argent Pediatr* 1987; 85: 209-22.
- 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.
- Potts R, Guy R. Predicting skin permeability. *Pharmaceut Res* 1992; 9: 663-9.
- Ley 18.284. Código Alimentario Argentino. Anales de la Legislación Argentina. ADLA XXIX-B 1456 (18/7/69).

- Disponible en: URL [http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Ley\\_18284\\_1969.pdf](http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Ley_18284_1969.pdf) [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008].
26. Decreto 2126/71 de la Ley 18.284/69. Anales de la Legislación Argentina. ADLA XXXI-C 3086 (30/6/71). Disponible en: URL [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008]. [http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Decreto\\_2126\\_1971\\_Anejos.pdf](http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Decreto_2126_1971_Anejos.pdf).
  27. Decreto 831/93 sobre residuos peligrosos; reglamentación de la Ley No 24.051. Disponible en: URL [http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/residuos/dec831/dec831\\_93.htm](http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/residuos/dec831/dec831_93.htm) [Fecha de acceso: 17 de diciembre de 2012].
  28. 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). Disponible en: URL <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-11820.html> [Fecha de acceso: 17 de septiembre de 2008].
  29. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Niveles guía nacionales para calidad de agua ambiente. Disponible en: URL <http://www.hidricosargentina.gov.ar/NivelCalidad.html> [Fecha de acceso: 5 de septiembre de 2008].
  30. Wu B, Zhang Y, Zhang X, Cheng S. Health risk from exposure of organic pollutants through drinking water consumption in Nanjing, China. *Bull Environ Contam Toxicol* 2010; 84: 46–50.
  31. Hartley WR, Englande AJ, Harrington DJ. Health risk assessment of groundwater contaminated with methyl tertiary butyl ether (MTBE). *Water Sci Technol* 1999; 39: 305–10.
  32. Sun F, Chen J, Tong Q, Zeng S. Integrated risk assessment and screening analysis of drinking water safety of a conventional water supply system. *Water Sci Technol* 2007; 56: 47–56.
  33. Kavcar P, Sofuoglu A, Sofuoglu SC. A health risk assessment for exposure to trace metals via drinking water ingestion pathway. *Int J Hyg Environ Health* 2009; 212: 216–27.
  34. Moschandreas DJ, Karuchit S. Scenario- model-parameter: a new method of cumulative risk uncertainty analysis. *Environ Int* 2002; 28: 247–61.
  35. USEPA. Guidance on Cumulative Risk Assessment. Part 1. Planning and Scoping, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency; Science Policy Council; 1997.
  36. USEPA. Considerations for Developing a Dosimetry-Based Cumulative Risk Assessment Approach for Mixtures of Environmental Contaminants (Final Report). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; 2009. EPA/600/R-07/064.
  37. Chen JJ, Chen YJ, Rice GE, Teuschler LK, Hamernik K, Protzel A. *et al.* Using dose addition to estimate cumulative risks from exposures to multiple chemicals. *Regul Toxicol Pharmacol* 2001; 34: 35–41.
  38. Castorina R, Bradman A, McKone TE, Barr DB, Harnly ME, Eskenazi B. Cumulative organophosphate pesticide exposure and risk assessment among pregnant women living in an agricultural community: A case study from the CHAMACOS cohort. *Environ Health Perspect* 2003; 111: 1640–8.
  39. Fox MA, Tran NI, Groopman JD, Burke TA. Toxicological resources for cumulative risk: an example with hazardous air pollutants. *Regul Toxicol Pharmacol* 2004; 40: 305–11.
  40. Ragas AMJ, Oldenkamp R, Preekera NL, Wernickeb J, Schlinkb U. Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environ Int* 2001; 27: 872–81.
  41. Peluso F, González Castelain J, Othax N, Rodríguez ML. Diagnóstico Hidroambiental a Escala Rural y Urbana del Partido de Tres Arroyos. 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 N° 14. 2007.
  42. Peluso F, Gonzalez Castelain J, Rodriguez L, Othax, N. Análisis preliminar del riesgo sanitario por metales pesados en aguas superficiales del partido de Tres Arroyos sujetas a baño recreativo. *Biología Acuática* 2009; 26: 167-75.
  43. 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: Galindo G, Fernández-Turiel JL, Storniolo A, editores. Presencia de Fluor y Arsénico en aguas subterráneas. III Taller sobre arsénico en agua - VI Congreso Argentino de Hidrogeología; 2009 agosto 24 al 28; Santa Rosa, La Pampa, Argentina; 2009. p. 91-9.
  44. Othax N, Peluso F, González Castelain J, Rodríguez ML. Contaminantes presentes en el agua subterránea y superficial de la cuenca del Arroyo Azul y su riesgo sanitario integrado. En Varni M, Entraigas I, Vives L, editores. Actas del I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras; 2010, septiembre 21 al 24; Azul, Buenos Aires, Argentina; 2010. p. 669- 75.
  45. Chen YC, Ma H.W. Model comparison for risk assessment: a case study of contaminated groundwater. *Chemosphere* 2006; 63: 751–61.
  46. Fan C, Wang G, Chen Y, Ko C. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in groundwater in Taiwan. *Sci Total Environ* 2009; 407: 2165-74.
  47. Kuo H, Chiang T, Lo I, Lai J, Chan C, Wan J. Estimates of cancer risk from chloroform exposure during showering in Taiwan. *Sci Total Environ* 1998; 218: 1-7.
  48. Lee SC, Guo H, Lam SMJ, Lau SLA. Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong. *Environ Res* 2004; 94: 47–56.
  49. Karim Z. Risk assessment of dissolved trace metals in drinking water of Karachi, Pakistan. *Bull Environ Contam Toxicol* 2011; 86: 676-8.
  50. Wang G, Deng Y, Lin T. Cancer risk assessment from trihalomethanes in drinking water. *Sci Total Environ* 2007; 387: 86–9.

**Aceptado para su publicación el 12 de septiembre de 2013**