

## Estudio epidemiológico de arsénico en agua subterránea para consumo humano en el territorio del Cluster Lechero Regional, Argentina

### Epidemiological study of arsenic in groundwater for human consumption in the territory of the Cluster Lechero Regional, Argentina

Revelli, Germán Roberto<sup>1,2,3\*</sup>; Sbodio, Oscar Alberto<sup>3,4</sup>; Costa, Gabriel Valentín<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Escuela de la Familia Agrícola LL 76. Colonia Alpina (2341), Santiago del Estero, Argentina. <sup>2</sup>Laboratorio Integral de Servicios Analíticos (L.I.S.A.). Ceres (2340), Santa Fe, Argentina. <sup>3</sup>Cluster Lechero Regional. San Guillermo (2347), Santa Fe, Argentina. <sup>4</sup>Instituto de Tecnología de Alimentos (I.T.A.), Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe (3000), Santa Fe, Argentina. <sup>5</sup>GRUMAN S.R.L. Tratamiento de Aguas. Del Recado 241. Paraná (3100), Entre Ríos, Argentina.

\*email: lisa@cotana.com.ar

Recibido: 15 de agosto de 2015

Aceptado: 29 de agosto de 2016

**Resumen.** En diversas regiones del mundo se han encontrado acuíferos, destinados para el consumo humano, con niveles de arsénico que sobrepasan los límites recomendados por las agencias ambientales o fijados por la legislación, lo que representa un grave problema de salud pública. En el noroeste de la provincia de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, área en estudio, los antecedentes indican la existencia de acuíferos con concentraciones de minerales que superan ampliamente los valores recomendados para consumo humano. Estos niveles de salinidad aumentan con la profundidad, y se detecta además, la presencia de tóxicos como el arsénico, siendo un factor condicionante para el aprovechamiento del agua subterránea. En el territorio del Cluster Lechero Regional, se estudió la composición salina del agua subterránea y, en particular, la concentración de arsénico, con el objetivo de establecer niveles de toxicidad y el potencial desarrollo de enfermedades crónicas. Los resultados muestran elevada salinidad y una concentración media de arsénico en la zona de 0,203 mg/L. Estimamos que, para una población de riesgo de 57.436 habitantes que no tienen acceso a sistemas de agua de red, expuestos teóricamente a la concentración de arsénico hallada en este estudio, se manifiesten 500 casos de cáncer atribuibles a este nivel de exposición en los próximos años. La población infantil comprendida entre 0 y 2 años de edad (3.690 niños de la región) podría desarrollar lesiones dérmicas y efectos neurológicos de distinta magnitud.

**Palabras clave:** Estudio epidemiológico; Arsénico en agua subterránea; HACRE; Cluster Lechero Regional.

**Abstract.** In various regions of the world, it has been found aquifers, destined for human consumption, with arsenic levels that exceed the limits recommended by the environmental agencies or required by law, so that represents a serious public health problem. In the northwest of the province of Santa Fe and the south of Santiago del Estero, defined study area, the background information indicates the existence of aquifers with concentrations of minerals that far exceeded the recommended values for human consumption. These levels of salinity increases with depth and, in addition, it was detected the presence of toxic substances such as arsenic, being a conditioning factor for the groundwater use. In the territory of the Cluster Lechero Regional, the composition of the saline groundwater was analyzed and, in particular, the concentration of arsenic was assessed, with the aim of setting levels of toxicity and the potential development of chronic diseases. Results showed high salinity and an average concentration of arsenic in the area of 0.203 mg/L. We believe that for a high risk population of 57,436 inhabitants, with no access to a water system network, and theoretically exposed to the concentration of arsenic found in this study, it would be expected 500 cases of cancer attributable to this level of exposure, in the next years. Children between 0 and 2 years old (3,690 children from the region) could develop skin lesions and neurological effects of different magnitude.

**Keywords:** Epidemiological study; Arsenic in groundwater; Hydroarsenicism; Cluster Lechero Regional.

### Introducción

El planeta Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluye a más de 7.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo XXI con una grave crisis del agua. En la actualidad es escasa para millones de personas en todo el mun-

do y muchas mueren a diario (especialmente niños), según la Organización Mundial de la Salud, por enfermedades transmitidas por el agua, no teniendo acceso al derecho alimentario más básico: consumir agua segura (Organización Mundial de la Salud 2004).

La distribución de agua potable y servicios de saneamiento sigue un modelo de desigualdad característico de las regiones con agudas disparidades socioeconómicas, donde más de 1.000 millones de personas carecen de agua potable de fuentes mejoradas y 2.600 millones no cuentan con servicios básicos de saneamiento. En la región de América Latina y el Caribe, la cobertura de agua potable en el medio urbano es muy elevada, un 96 %. Pero el medio rural se encuentra a la zaga con un 73 %, y 34 millones de los 50 millones de personas que viven en zonas rurales no tienen acceso a fuentes mejoradas de agua para consumo (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia 2006). El arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza que se encuentra aproximadamente en un  $5 \cdot 10^{-4}$  % de la corteza terrestre. El origen natural del arsénico en el agua subterránea está ligado a la litología de los materiales geológicos que conforman el acuífero y a los procesos de oxidación-reducción que afectan a este elemento (Smedley y Kinninbuerg 2002). Otras causas están relacionadas a factores antropogénicos como son los lixiviados de residuos de minas (Armenta y col. 1997) o el uso de plaguicidas (ATSDR 2007). En diversas regiones del mundo se han encontrado acuíferos destinados para el consumo humano con niveles de arsénico que sobrepasan los límites recomendados por las agencias ambientales o requeridos por la legislación (Mandal y Suzuki 2002), por lo que la población sintomática expuesta representa un grave problema potencial de salud pública. Actualmente, tanto la Organización Mundial de la Salud (2004) como el Código Alimentario Argentino (1994), establecen como máximo tolerable 0,010 mg/L de arsénico en el agua de bebida para consumo humano. En América Latina, las estimaciones indican que por lo menos 4 millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. La cantidad de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, llega en algunos casos a superar la concentración de 1 mg/L. Experiencias realizadas en Argentina, muestran limitaciones con respecto a la calidad de agua y su uso para consumo humano, en especial por elevados niveles de arsénico (Tello 1951; Biagini 1974; Astolfi y col. 1981; 1982; Farías y col. 2003; Blanco y col. 2006), observándose signos y síntomas de hidroarsenicismo en poblaciones expuestas.

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) se conoce en nuestro país desde el año 1913, ocupando después de EE.UU., el segundo lugar en el mundo entre los países más afectados (Gilardi 1999). Por causa de esta enfermedad endémica, poblaciones enteras se encuentran con alto riesgo de adquirir patologías neurológicas, cardiovasculares, pulmonares, cirrosis hepática, hiperqueratosis, melanosis, teratogenicidad, cáncer pulmonar y de piel. Un millón y medio de personas distribuidas en 11 provincias de la República Argentina consumen agua con niveles de arsénico que superan valores de 0,050 mg/L (Navoni y col. 2007). En el noroeste de la provincia de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, área en estudio, los antecedentes indican la existencia de acuíferos con concentraciones de minerales que superan ampliamente los valores recomendados para consumo humano. Estos niveles de salinidad aumentan con la profundidad, y se detectan además, la presencia de tóxicos como el arsénico, siendo un factor condicionante para el aprovechamiento del agua subterránea (Kacsan y col. 1994; Bolzico y col. 1997; Kleinsorge y col. 2001; Bundschuh y col. 2004; Revelli y col. 2008). Existe en la zona una población constituida por familias en el medio rural que en sus actividades cotidianas consumen agua subterránea proveniente de la napa freática con elevadas concentraciones de arsénico, lo cual implica un potencial riesgo para la salud. Esto llevó al desarrollo y aplicación de un método económico de remoción de arsénico en aguas para comunidades rurales (Revelli y col. 2014). El objetivo de esta experiencia fue estimar epidemiológicamente el impacto del arsénico en agua subterránea para consumo humano en el territorio del Cluster Lechero Regional, Argentina.

## **Materiales y métodos**

### *Cluster Lechero Regional*

El Cluster Lechero Regional comprende los departamentos San Cristóbal (Santa Fe) y Rivadavia (Santiago del Estero), abarcando una superficie de 18.252 km<sup>2</sup> y una población total de 73.893 habitantes.

En las condiciones agroecológicas del territorio, es posible el desarrollo de establecimientos dedicados a la producción láctea, teniendo como actividad principal la producción de leche fluida. En general, asociados en cooperativas y empresas que además intervienen

en las etapas de industrialización, provisión de servicios y asistencia.

Se encuentran en producción 987 tambos, distribuidos 755 en el departamento San Cristóbal, Santa Fe y 232 en el departamento Rivadavia, Santiago del Estero, procesando en su conjunto 1,2 millones de litros de leche diarios. Se trata, fundamentalmente, de productores medianos (de entre 100 a 300 ha de superficie y dentro del rango de 101 a 200 cabezas), con rindes promedio de 17 litros/vaca ordeño/día (L/VO/día), inferiores a la media nacional (19,5 L/VO/día).

Según datos de los Ministerios de Producción de ambas provincias, relevados en el año 2012, se estima que el aporte al PBI que la actividad realiza en la región supera los 1.056 millones de pesos anuales, tan sólo por la comercialización de leche cruda.

Cuenta con una institucionalidad denominada "Asociación para el Desarrollo Regional de la Cadena Láctea del Noroeste de Santa Fe y Sureste de Santiago del Estero", integrada por representantes de los sectores públicos, privados y científico-tecnológicos, la cual otorga el marco institucional apropiado para canalizar metas, propuestas y futuros desafíos. Entre ellos, propender a mejorar no solo los aspectos productivos, sino también la calidad de vida de la población rural, de manera de lograr su desarrollo y estabilidad en la actividad.

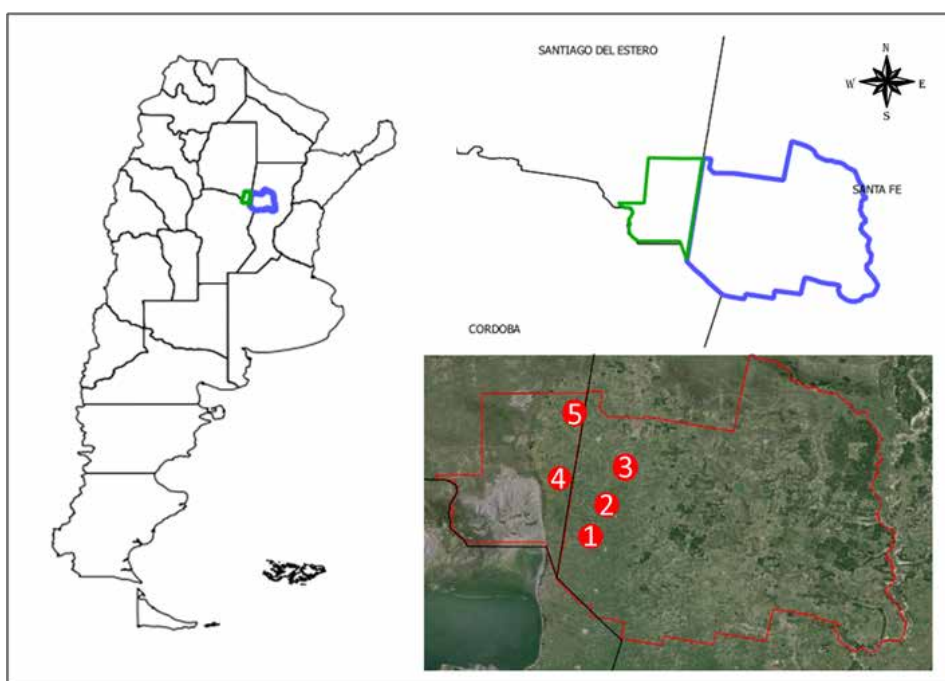
En colaboración con las Iniciativas de Desarrollo de Clusters (IDC) del Área de Competitividad del Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP) del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca Presidencia de la Nación (MAGyP), se pautaron una serie de lineamientos estratégicos (PMC: Plan de Mejora Competitiva) que pondera, principalmente, el desarrollo institucional, sistemas de información geográfica, mejoramiento genético, modelos productivos, creación de un laboratorio regional con una red de servicios analíticos territoriales y formación de recursos humanos locales. Además prevé la promoción de obras de infraestructura para la competitividad sectorial.

#### Área de estudio

La experiencia se realizó bajo la coordinación general del "Programa Calidad de Agua = + Salud" desarrollado por la Escuela de la Familia Agrícola LL 76 ubicada en Colonia Alpina, departamento Rivadavia, provincia de Santiago del Estero, Argentina ( $30^{\circ} 4' S - 62^{\circ} 6' W - 95$  msnm).

La zona en estudio abarcó las localidades de Colonia Rosa, Colonia Ana y Hersilia (provincia de Santa Fe), y Colonia Alpina y Selva (provincia de Santiago del Estero).

En la *Figura 1*, se muestra la ubicación geográfica del territorio del Cluster Lechero Regional con las distintas zonas de muestreo.



**Figura 1.** Zonificación del territorio del Cluster Lechero Regional. ① Colonia Rosa, ② Colonia Ana y ③ Hersilia (provincia de Santa Fe), y ④ Colonia Alpina y ⑤ Selva (provincia de Santiago del Estero).

### Metodología analítica

Para la toma de muestra se dejó purgar la descarga de agua durante un lapso de 3 minutos y luego se recogió en recipientes de plástico esterilizados con tapa a rosca de 1.000 ml de capacidad. Se transportaron al laboratorio en forma refrigerada a 7 °C y se procesaron dentro de las 48 horas de su recolección.

Los parámetros medidos en el agua fueron los siguientes: pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto y temperatura, aplicando el protocolo de análisis de Water Quality Checker U-10 Horiba (Kyoto, Japón). También se midieron sulfato, nitrato, nitrito y dureza total por métodos colorimétricos y volumétricos Merck (Darmstadt, Alemania). El residuo seco se determinó por el método gravimétrico y las determinaciones de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica (APHA, AWWA, WPCF 1979), con un límite de detección de 0,001 mg/L.

### Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos fue realizado con el programa STATISTICA 8.0 (2008) utilizando los módulos *Basic Statistics and Tables* (Estadística Descriptiva – Correlación de Matrices), *Nonparametrics Statistics* y *Distribution Fitting* (Estadística Inferencial – Test de Hipótesis) (Snedecor y Cochran 1977).

### Resultados y discusión

#### Encuestas en familias rurales

Previamente, se realizaron encuestas sobre un total de 124 familias con una densidad promedio de 4,4 habitantes/vivienda (546 personas) involucradas en el consumo de agua subterránea y que residen en zonas rurales, las cuales mostraron que el 98 % nunca evaluó mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos el agua de bebida que consumen. El 76 % desconocía las posibles patologías que se pueden transmitir por el agua contaminada con arsénico, lo cual genera la urgente necesidad de difundir en forma más efectiva el conocimiento de enfermedades hídricas y sus implicancias para la salud. Al analizar qué tipos de enfermedades conocían, el 24 % restante mencionó: cáncer (71 %) y HACRE (29 %). Referente a los métodos tecnológicos que se pueden aplicar para eliminar el arsénico del agua, la gran mayoría (87 %) declaró no conocer ninguno, mientras que el 13 % restante mencionó la tecnología de ósmosis inversa.

#### Calidad de agua subterránea

La *Tabla 1* ilustra los niveles de los diferentes parámetros analizados.

**Tabla 1.** Indicadores de calidad de agua subterránea (número de observaciones, valores medios (V.M.), desvíos estándares (D.E.) y valores máximos y mínimos).

Parámetros	n	V.M.	D.E.	V.Mínimo	V.Máximo
pH	10	7,56	0,23	7,02	7,77
Conductividad (mS/cm)	10	5,723	3,120	2,440	12,900
Turbidez (NTU)	10	20	38,8	0	100
Oxígeno Disuelto (mg/L)	10	8,62	0,29	7,99	8,85
Temperatura (°C)	10	23,5	0,7	22,1	24,6
Residuo Seco (mg/L)	10	4.213	2.563,8	1.685	10.449
Sulfato (mg/L)	10	1.177	865	450	3.250
Nitrato (mg/L)	10	63	70,4	ND	230
Nitrito (mg/L)	10	ND			
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	10	396	294,8	120	970
Arsénico (mg/L)	10	0,203	0,189	0,031	0,608

ND: No Detectado, para Nitrato: <1 mg/L, para Nitrito: <0,01 mg/L.

El 100 % de las aguas analizadas eran incoloras e inodoras y el 80 % poseían sólidos en suspensión. En la *Tabla 1*, se observaron valores medios de residuo seco, sulfato, nitrato y arsénico de  $4.213 \pm 2.563,824$  mg/L,  $1.177 \pm 864,988$  mg/L,  $63 \pm 70,371$  mg/L y  $0,203 \pm 0,189$  mg/L, respectivamente, niveles muy superiores a los reglamentarios, y similares a los encontrados por Kacsan y col. (1994), Kleinsorge y col. (2001) y Revelli y col. (2008) para la misma zona. Esto significó que la totalidad de las aguas analizadas no fueran aptas para consumo humano, adquiriendo especial relevancia los niveles de arsénico encontrados con un valor medio 20 veces superior al admitido, si lo referenciamos con la reciente modificación del Código Alimentario Argentino en mayo de 2007 (Resolución Conjunta 68/2007 – SPRRS y 196/2007 – SAGPyA), que toma un valor de referencia para el arsénico de 0,010 mg/L, coincidente con el recomendado por la Organización Mundial de la Salud (2004).

Las concentraciones medias de arsénico determinadas en agua subterránea en las diferentes zonas analizadas mostraron diferencias, a saber: Colonia Rosa (As: 0,411 mg/L), Colonia Alpina (As: 0,297 mg/L), Hersilia (As: 0,166 mg/L), Colonia Ana (As: 0,154 mg/L) y Selva (As: 0,040 mg/L). Si consideramos que en el ámbito rural un alto porcentaje de familias consumen únicamente agua de fuente subterránea, y teniendo en cuenta que los efectos tóxicos pueden observarse tardíamente, pudiendo comenzar los síntomas entre los 9 y 12 años de exposición y las lesiones malignizarse a los 50 años (Enríquez y col. 1988), es de vital importancia detener urgente la ingesta de este tipo de agua, alertando y concientizando a toda la población. Por otro lado, Revelli y col. (2009), observaron que existe en la zona una elevada contaminación en las aguas subterráneas, reportando altos recuentos de coliformes totales y presencia de *Pseudomonas aeruginosa*. Este antecedente genera la necesidad de clorar el agua antes de su consumo, con el fin de asegurar una calidad bacteriológica aceptable y acorde a la reglamentación del Código Alimentario Argentino.

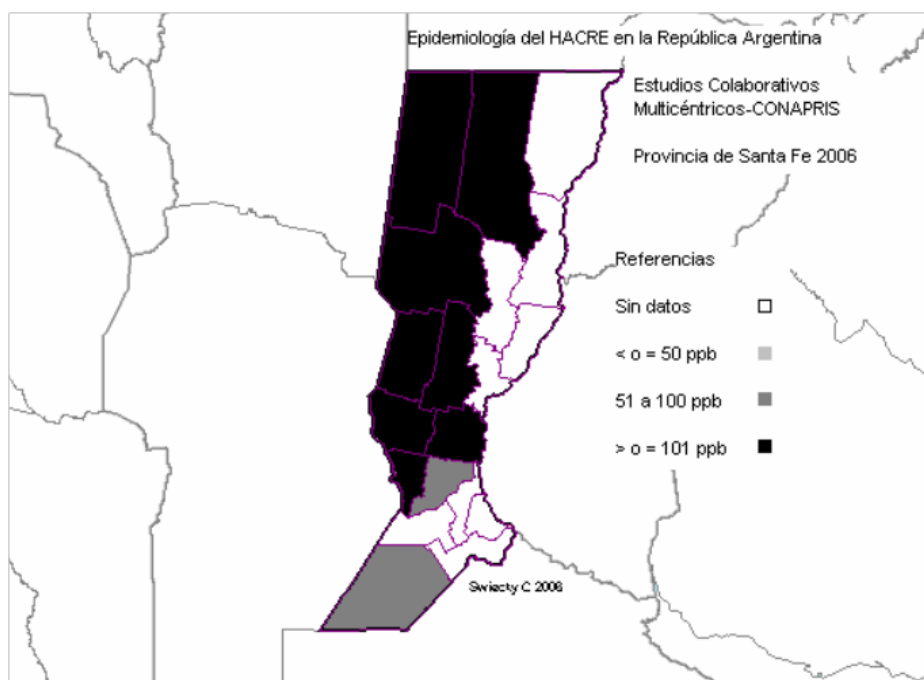
### *Caracterización del riesgo individual y poblacional*

Al evaluar el potencial riesgo de Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) o cáncer en la población, se debe tener presente que con las sustancias sin umbral, en general las de tipo carcinogénico como el arsénico, un probable impacto biológico adverso se puede producir a cualquier dosis, incluso a concentraciones extremadamente bajas. En la práctica, la exposición a cualquier concentración ambiental de un carcinógeno va a representar una posibilidad concreta de desarrollar cáncer u otras patologías. La evaluación de la exposición es un proceso complejo de carácter ambiental y epidemiológico, efectuado en la población local de interés para conocer el nivel de contaminación y determinar en lo posible una dosis promedio a través de una o varias vías de exposición.

Teniendo en cuenta el valor medio de la concentración de arsénico hallada en el estudio, y considerando que es representativa del área del Cluster Lechero Regional, se planteó un modelo de análisis de riesgo sanitario, definido como una función de la toxicidad de la sustancia peligrosa y la magnitud de la exposición a la misma, siendo esta última una medida de la calidad y cantidad del contacto entre la sustancia y el organismo expuesto (USEPA 1989; 1992).

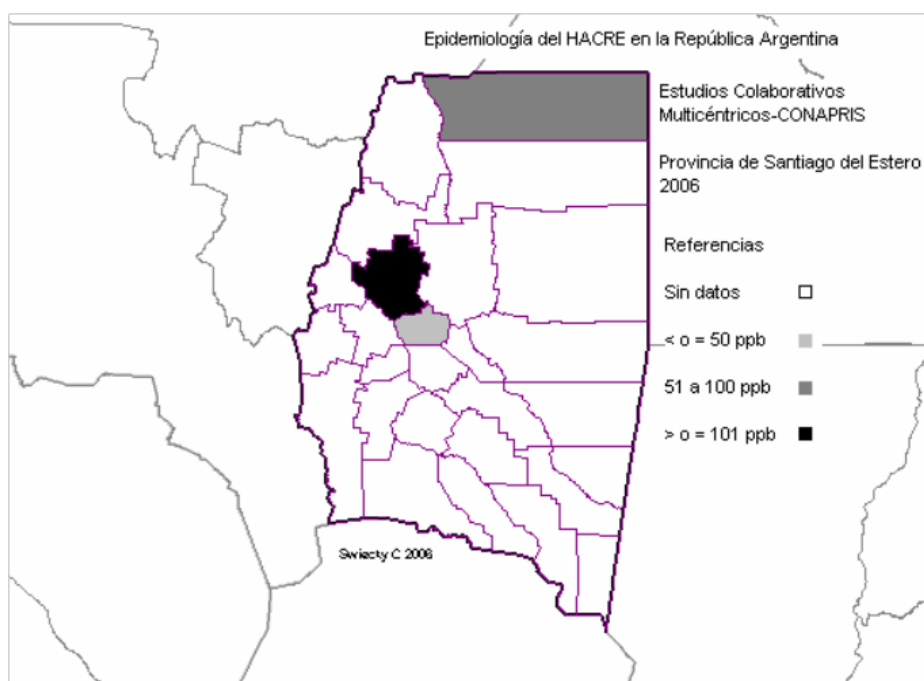
En las *Figuras 2 y 3*, se detallan los rangos de concentraciones de arsénico por departamentos para las provincias de Santa Fe y Santiago del Estero, datos recopilados del trabajo Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico en la República Argentina, Estudio Colaborativo Multicéntrico (2006).

En el presente trabajo, el riesgo se evaluó por efectos tóxicos carcinogénicos, basándose en los modelos de la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), y se calculó para una población de 57.436 habitantes residentes en el territorio del Cluster Lechero Regional, que no tienen acceso al servicio de agua potable. La población con situaciones deficitarias en servicios de agua potable y saneamiento se considera como "población en riesgo sanitario" o expuesta a contraer enfermedades relacionadas con el agua.



Elaboración propia en base a:  
Departamento de Salud Ambiental. Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación. Argentina.

**Figura 2.** Provincia de Santa Fe según rango de concentraciones de arsénico por departamento. Abril 2006.



Elaboración propia en base a:  
Claesson M. Arsenic in groundwater of Santiago del Estero, Argentina. Department of Land and Water Resources Engineering. (KTH). Sweden. 2003.  
Mellano F. Estudio hidrogeoquímico y de remediación de arsénico en aguas subterráneas de María Elena, provincia de Santiago del Estero, Argentina. 4° Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. 2003.  
Herrera H. Origen y dinámica del arsénico en el agua subterránea del departamento Robles, provincia de Santiago del Estero. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 2000.

**Figura 3.** Provincia de Santiago del Estero según rango de concentraciones de arsénico por departamento. Abril 2006.

### Riesgo cancerígeno individual

El cálculo del Riesgo Cancerígeno Individual (RCI) se realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$RCI = FPC \times (CAAB \times TIDA / PP)$$

RCI: Riesgo Cancerígeno Individual.

FPC: Factor de Potencial Cancerígeno.

CAAB: Concentración de Arsénico en Agua de Bebida.

TIDA: Tasa de Ingestión Diaria de Agua.

PP: Peso Promedio.

### Riesgo cancerígeno poblacional

El cálculo del Riesgo Cancerígeno Poblacional (RCP) se realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$RCP \text{ (Incidencia de Cáncer)} = RCI \times NHA$$

RCP: Riesgo Cancerígeno Poblacional.

RCI: Riesgo Cancerígeno Individual.

NHA: Número de Habitantes Afectados.

El valor aceptado de riesgo individual máximo por exposición a arsénico en agua de bebida es 0,00005, el equivalente a un nuevo caso de cáncer asimilable a esa causa por cada 20.000 habitantes (USEPA 1998).

Se analizaron los riesgos cancerígenos y no cancerígenos en la población en estudio, incluyendo los departamentos San Cristóbal (provincia de Santa Fe) y Rivadavia (provincia de Santiago del Estero). Se consideró como individuo expuesto a un poblador que durante toda su vida consumió agua de pozo de su localidad. La tasa de ingesta diaria tomada como referencia fue de 2 L/día promedio para un adulto, la frecuencia de exposición de los pobladores comprendería los 365 días del año, la duración de la exposición en este caso fue de 70 años en promedio y el peso de una persona expuesta promedio considerado fue de 70 kg (USEPA 1989; OMS 1995; USEPA 2000). Los resultados finales, utilizando datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) a través del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, y tomando como referencia indicadores hallados en el presente trabajo, se ilustran a continuación:

### Caracterización del riesgo cancerígeno del arsénico. Cluster Lechero Regional. Año 2014

Factor de Potencial Cancerígeno	1,5 (por cada mg/kg/día)
Unidad de Riesgo	0,00005 (por cada µg/L)
Concentración de arsénico en agua de bebida	0,203 mg/L
Tasa de ingestión diaria de agua en adultos	2 L/día
Tasa de absorción digestiva	90 %
Peso promedio del adulto	70 kg
Población total de la zona	57.436 <sup>(1+2)</sup>

Exposición sólo por vía digestiva.

<sup>1</sup>Departamento San Cristóbal, Santa Fe: población: 68.878, superficie: 14.850 km<sup>2</sup>, hogares sin agua de red: 76,0 % (16.557 familias) x 3,3 (promedio nacional de personas por hogar) = 54.638.

<sup>2</sup>Departamento Rivadavia, Santiago del Estero: población: 5.015, superficie: 3.402 km<sup>2</sup>, hogares sin agua de red: 57,8 % (848 familias) x 3,3 (promedio nacional de personas por hogar) = 2.798. Fuente: INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

### Cálculo del Riesgo Cancerígeno Individual

Según FPC

$$\begin{aligned} \text{(FPC x dosis medida):} &= 1,5 \times (0,203 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L} / 70 \text{ kg}) \\ &= 1,5 \times 0,0058 \\ &= 0,0087 \end{aligned}$$

Según UR (UR x

$$\begin{aligned} \text{concentración medida):} &= 0,00005 \times 0,203 \\ &= 0,0000101 \end{aligned}$$

### Cálculo del Riesgo Cancerígeno Poblacional

$$\text{Incidencia de cáncer} = 0,0087 \times 57.436 = 500 \text{ casos}$$

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha establecido la carcinogenicidad del arsénico en los seres humanos, otorgándole clasificación de carcinogenicidad 1 (IARC 2004). Del mismo modo, la Agencia para la Conservación del Ambiente (EPA), lo describe como carcinógeno humano conocido, clasificándolo dentro del Grupo A (EPA 1997).

Varios estudios epidemiológicos de gran escala sobre la exposición al arsénico han establecido la existencia de una asociación y/o tendencias en la curva dosis-respuesta entre la exposición a As y la aparición de tumores de hígado, piel, pulmón, próstata, riñón y vejiga, estando más fuertemente asociados a la exposición crónica al arsénico los cánceres de piel, pulmón y vejiga. El cáncer de hígado (angiosarcoma), el de riñón, y otros tipos

de cánceres presentan una menor asociación (NRC 2000).

Puntoriero y col. (2014), estimaron el riesgo por ingesta de agua subterránea con elevadas concentraciones de arsénico (rango de <0,010 – 0,170 mg/L) para pobladores rurales bonaerenses, encontrando en las 6 localidades analizadas un riesgo carcinogenético entre 0,00035 – 0,00850, resultados inferiores a los hallados en este trabajo. Este estudio demostró que en las poblaciones rurales existiría la posibilidad de que se produzcan efectos tóxicos debido a los niveles de riesgo estimados.

Suponiendo que todos los miembros de esta población de 57.436 habitantes (aproximadamente 17.405 familias), las cuales no tienen acceso a sistemas de agua de red, permanezcan teóricamente expuestos a una concentración constante promedio de arsénico en el agua de bebida de 0,203 mg/L (valor promedio de esta experiencia) durante toda su vida, se desarrollaría en el territorio un total de 500 casos de cáncer atribuibles a este nivel de exposición.

*Caracterización del riesgo no cancerígeno del arsénico. Cluster Lechero Regional. Año 2014*

Las muestras de agua subterránea analizadas en la presente experiencia, indican una concentración promedio de arsénico de 0,203 mg/L, 20 veces superior a los valores establecidos como referencia a nivel nacional e internacional (CAA y OMS: 0,010 mg/L).

Se estima que los niños consumen en promedio 1 L/día de agua, y que un infante pesa alrededor de 10 kg.

$$\text{Dosis} = 0,203 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/día} \times 0,90 / 10 \text{ kg}$$

$$\text{Dosis} = 0,0183 \text{ mg/kg/día}$$

**Dosis – Efecto para la exposición infantil al arsénico**

Clasificación de Dosis	(mg/kg/día)	Efecto
Dosis de Referencia (EPA1)	0,0003	Lesiones dérmicas
Dosis de Referencia (LOAEL2)	0,0026	Efectos neurológicos
Zona en Estudio	0,0183	?

<sup>1</sup>EPA: Agencia de Protección del Ambiente, EE.UU.

<sup>2</sup>LOAEL: dosis mínima a la cual se ha encontrado el efecto buscado.

Las hiperqueratosis palmo-plantares y los cambios en la pigmentación de la piel son característicos de la exposición crónica al ar-

sénico. Se han observado estos cambios de pigmentación en poblaciones que han consumido de manera crónica agua con concentraciones de arsénico iguales o superiores a los 0,400 mg/L (ATSDR 2007).

La hiperpigmentación irregular, un elemento patológico distintivo de la exposición crónica, puede presentarse en cualquier parte del cuerpo, particularmente en axilas, cuello, ingle, párpados, pezones y sienes.

En la mayoría de los casos, las queratosis por arsénico, que generalmente se presentan como callos de entre 0,4 y 1 cm de diámetro, no muestran una marcada atipia celular y de hecho pueden conservarse como morfológicamente benignas por décadas, aunque pueden malignizarse con el tiempo, ocasionando varios tipos de cáncer de piel como carcinoma intraepidérmico (Enfermedad de Bowen), carcinoma de las células escamosas y carcinoma de las células basales (ATSDR 2007).

Algunas investigaciones revelan efectos neurológicos, en donde los individuos expuestos al arsénico presentan destrucción de los cilindros del axón, lo cual puede conducirlos a sufrir una neuropatía periférica. Esto se ha reportado tanto en exposiciones agudas a dosis altas (>2 mg/kg/día), como en exposiciones repetidas a niveles menores (0,03 – 0,10 mg/kg/día) (Chakraborty col. 2003a; 2003b; ATSDR 2007).

Estudios de seguimiento de niños intoxicados crónicamente con arsénico, apuntan hacia una mayor incidencia de déficits cognitivos (dificultades para procesar la información, incluidas las tareas mentales, como la atención, el pensamiento y la memoria), epilepsia, pérdida severa de la audición y otros daños cerebrales (ATSDR 2007).

La dosis calculada para la zona en estudio fue de 0,0183 mg/kg/día, 61 veces superior a la dosis de referencia de la EPA (0,0003 mg/kg/día, para lesiones dérmicas) y 7 veces superior a la dosis de referencia LOAEL (0,0026 mg/kg/día, para efectos neurológicos). García y col. (2014) estudiaron una población de 317 niños de 11 a 16 años de edad en la localidad de El Encón, provincia de San Juan, vinculando lesiones dérmicas de distinta magnitud, para una dosis de exposición nueve veces inferior a la hallada en este trabajo (0,0020 mg/kg/día). Se puede esperar que la población infantil comprendida entre 0 y 2 años de edad (3.690 niños de la región), expuesta continuamente a los niveles de arsénico hallados, presente



lesiones dérmicas y efectos neurológicos de distinta magnitud, con una alta probabilidad de desarrollar Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE).

### Conclusión

En el territorio del Cluster Lechero Regional, existe una población de riesgo de 57.436 habitantes que no tienen acceso a sistemas de agua de red, los cuales teóricamente expuestos a una concentración constante promedio de arsénico en el agua de bebida de 0,203 mg/L (valor promedio de esta experiencia) durante toda su vida, implicaría el desarrollo de 500 casos de cáncer atribuibles a este nivel de exposición. Se puede esperar que la población infantil comprendida entre 0 y 2 años de edad (3.690 niños de la región), expuestos continuamente a los niveles de arsénico hallados, desarrollen lesiones dérmicas y efectos neurológicos de distinta magnitud. Es propósito de este trabajo poder contribuir a la toma de decisiones que permitan el mejoramiento del abastecimiento público de agua, la implementación de métodos alternativos de abatimiento, el desarrollo de programas de educación para la salud y campañas de prevención que alerten sobre los riesgos de exponerse a la ingesta de agua con elevado contenido de arsénico, logrando de este modo una adecuada atención a las poblaciones expuestas y un compromiso sustentable con el medio ambiente.

Agradecimientos: la presente experiencia se desarrolló en el marco del "Programa Calidad de Agua = + Salud" perteneciente a la Escuela de la Familia Agrícola LL 76, Colonia Alpina, Santiago del Estero, Argentina. Los autores agradecen el procesamiento analítico realizado por el Laboratorio Integral de Servicios Analíticos (L.I.S.A.) perteneciente a la Cooperativa Tambara y Agropecuaria Nueva Alpina Ltda. Un especial agradecimiento al Dr. Juan Carlos Beltramino del Hospital de Niños "Dr. Orlando Alassia" de la ciudad de Santa Fe, y a la Dra. Elda Guadalupe Cargnel, Jefa de la Unidad de Toxicología del Hospital de Niños "Dr. Ricardo Gutiérrez" de la ciudad de Buenos Aires, por sus valiosos aportes al trabajo.

### Bibliografía citada

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Arsenic, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, USA. 2007. 500 p.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (APHA, AWWA, WPCF). Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater. Método para la Determinación de Arsénico por Espectrofotometría Visible del Complejo Formado entre Arsina y AgDDTC. American Public Health Association, Washington DC, USA. 1979.

Armienta M.A., Rodríguez R., Aguayi A., Ceniceros N., Villaseñor G., Cruz O. Arsenic contamination of groundwater at Zimapan, México. Hydrogeology Journal. 1997;5(2):39-46.

Astolfi E., Besuschio S.C., García Fernández J.C., Gerra C., Maccagno A. Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico. Edit. Coop. Gral. Belgrano, Buenos Aires. 1982. 144 p.

Astolfi E., Maccagno A., García Fernández J.C., Vaccara R., Stimola R. Relation between arsenic in drinking water and skin cancer. Biological Trace Element Research. 1981;3:133-143.

Biagini R.E. Consideraciones actuales sobre Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). Semana Médica, 19 de Septiembre de 1974. p. 716-723.

Blanco M.C., Paoloni J.D., Morrás H.J.M., Florentino C.E., Sequeiro M. Contents and distribution of arsenic in soils, sediments and groundwater environments of the southern Pampa region, Argentina. Environmental Toxicology. 2006;21:561-574.

Bolzicco J.E., Bettig A.P., Bojanich E., Cremona Parma, G. El arsénico en aguas de consumo humano en la provincia de Santa Fe. Distribución areal, evolución temporal, soluciones. Congreso Internacional sobre Aguas. Buenos Aires, Argentina. 1997. II. 7.

Bundschuh J., Farias B., Martin R., Storniolo A., Bhattacharya P., Cortes J., Bonorino G., Albouy R. Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: Case study from Robles County, Santiago del Estero Province. Applied Geochemistry. 2004;19(2):231-243.

Chakraborti D., Hussam A., Alauddin M. Arsenic: Environmental health aspects with special reference to ground water in South Asia.

Journal of Environmental Science and Health. 2003a;Part A 38(1):xi-xv.

Chakraborti D., Mukherjee S.C., Saha K.C., Chowdhury U.K., Rahman M.M., Sengupta M.K. Arsenic toxicity from homeopathic treatment. *Journal of Toxicology. Clinical Toxicology*. 2003b;41(7):963-967.

Claesson M. Arsenic in groundwater of Santiago del Estero, Argentina. Department of Land and Water Resources Engineering. (KTH). Sweden. 2003.

Código Alimentario Argentino (CAA). Capítulo XII. Artículo 982 (Res. MSyAS N° 494, 07/07/94). 1994.

Enríquez A., De la Vega C., Valenzuela A., Enacan A., Molina A. Diagnóstico de la Zona Endémica de Hidroarsenicismo Crónico en la Provincia del Chaco. Curso de Administración Hospitalaria. II Nivel. Colegio Médico. Resistencia, Chaco. 1988.

Environmental Protection Agency (EPA). Arsenic in Drinking Water, Treatment Technologies, Washington DC: EPA. 1997.

Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico en la República Argentina. Estudio Colaborativo Multicéntrico. 2006. Comisión Nacional de Programas de Investigación Sanitaria (CONAPRIS), Ministerio de Salud de la Nación, Unidad de Investigación y Desarrollo Ambiental (UnIDA), Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Asociación de Toxicología Argentina (ATA). Buenos Aires, Julio de 2006.

Farías S.S., Casa V.A., Vázquez C., Ferpozzi L., Pucci G.N., Cohen I.M. Natural contamination with arsenic and other trace elements in ground waters of Argentine Pampean Plain. *Science of the Total Environment*. 2003;309(1-3): 187-199.

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). Progreso para la Infancia. Un balance sobre agua y saneamiento. Número 5, Septiembre de 2006. UNICEF. 3 United Nations Plaza, H-9F. New York, NY 10017, USA. 2006. p. 22-23.

García R., Meershon M., Bergés M. Investigación de hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) en El Encón, departamento 25 de mayo, provincia de San Juan. *Acta Toxicológica Argentina*. 2014;22(3):11-12.

Gilardi J. Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), un problema de salud pública, *Mundo Hospitalario*. 1999. Año VIII, N° 63.

Herrera H. Origen y dinámica del arsénico en el agua subterránea del departamento Robles, provincia de Santiago del Estero. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 2000.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Drinking Water Disinfectant and Contaminants, Including Arsenic. Vol. 84. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. 2004.

Kacsan E., Scagnetti J., Buniva M.A., Mastandrea C., Grigolato R., Loteste A. Determinación de los niveles de arsénico en agua de consumo humano en las localidades de Ceres y Villa Trinidad (Pcia. de Santa Fe). IX Congreso y XIV Jornadas Interdisciplinarias de Toxicología. Buenos Aires. 1994. ATA Informa. N° 24.

Kleinsorge E., Scagnetti J., Grigolato R., Prida M., Gras M. Hidroarsenicismo crónico en una región de la provincia de Santa Fe. XII Congreso Argentino de Toxicología, XXI Jornadas Interdisciplinarias de Toxicología y I Jornadas Rioplatenses de Toxicología. Rosario, Santa Fe. 2001. Libro de actas: 14.

Mandal B.K., Suzuki, K.T. Arsenic Round the World: a Review, *Talanta*. 2002;58(1):201-235.

Mellano F. Estudio hidrogeoquímico y de remediación de arsénico en aguas subterráneas de María Elena, provincia de Santiago del Estero, Argentina. 4° Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. 2003.

National Research Council (NRC). Arsenic in Drinking Water. Washington, DC: National Academy Press. 2000.

Navoni J., Olivera M., García S.I., Villaamil Lepori E.C. Evaluación del riesgo por ingesta de arsénico inorgánico en poblaciones de zonas endémicas argentinas. *La Alimentación Latinoamericana*. 2007;270:66-70.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para la calidad del agua potable. Segunda Edición. Volumen 1. Recomendaciones. 1995.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Guidelines for Drinking-water Quality, Vol. 1. Recommendations. Third Edition, OMS, Geneva, Switzerland. 2004. 515 p.

Puntoriero M.L., Volpedo A.V., Fernández Cirelli A. Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. *Acta Toxicológica Argentina*. 2014;22(1):15-22.

Revelli G.R., Fito G.B., Biassoni M.V., Olivero E.V., Fiore P.C., Quintana S.I. Calidad de agua para consumo humano en la zona noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero. *La Alimentación Latinoamericana*. 2008. N° 274:58-65.

Revelli G.R., Fito G.B., Biassoni M.V., Olivero E.V., Fiore P.C., Quintana S.I., Facta A.C. Análisis microbiológicos y residuos de plaguicidas en agua para consumo humano. *Agua. Tecnología y Tratamiento – Saneamiento Ambiental*. 2009. Año XXXIII, N° 174:54-63.

Revelli G.R., Seuchuc M.T., Tonutti F.G., Costa G.V. Método económico de remoción de arsénico en aguas para comunidades rurales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 2014;7(3):228-242.

Smedley P.L., Kinniburgh D.G. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*. 2002;17:517-569.

Snedecor G.W., Cochran W.G. *Métodos Estadísticos*. Compañía Editorial Continental S.A. México. 1977.

STATISTICA 8.0. Copyright © StatSoft, Inc. 2008.

Tello E.E. Hidoarsenicismo Crónico Regional Endémico. Sus manifestaciones clínicas. Imprenta de la Universidad de Córdoba. República Argentina. 1951.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Arsenic, inorganic (CASRN 7440-38-2). Integrated Risk Information System (IRIS), 1998. 0278.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Guidelines for exposure assessment. Environmental Protection Agency. Risk Assessment Forum. Washington DC, USA: EPA/600/Z-92/001. 1992.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Human health risk assessment bulletins. [en línea]. Supplement RAGS. Environmental Protection Agency. Office of Health Assessment. 2000. [Consulta 1 de mayo de 2012]. Disponible en: <http://www.epa.gov/region4/waste/ots/healthbul.htm>.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). Risk assessment guidance for superfund. Volume1: Human Health Evaluation Manual. Part A. Environmental Protection Agency. Office of Emergency and Remedial Response. Washington DC, USA: EPA/540/1-89/002. 1989.