

ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA NORTE Y CENTRO DE LA ARGENTINA

CECILIA BONAFINA¹ y SILVIA E. RATTO¹

Recibido: 04/08/09

Aceptado: 28/08/09

RESUMEN

El Arsénico (As) es un metaloide incluido en el grupo I de sustancias cancerígenas que existe de forma natural en el ambiente como consecuencia de la meteorización de las rocas. La Argentina posee una de las mayores extensiones del mundo con niveles de As superiores a $10\mu\text{g l}^{-1}$ (límite máximo para aguas de consumo humano, según la Organización Mundial de la Salud y el Código Alimentario Argentino). Dada la gran dispersión de información sobre valores hallados en el país y al impacto sanitario que el consumo crónico de aguas contaminadas produce, junto a su acumulación en alimentos, se efectuó una revisión de fuentes de información secundarias. Se regionalizó al país en tres zonas, graficando los valores hallados y la proporción en que éstos superan los $10\mu\text{g l}^{-1}$. Los valores medios de concentración oscilan entre 40 a $950\mu\text{g l}^{-1}$ para la Zona Norte y 54 a $1.100\mu\text{g l}^{-1}$ en la Central. En la provincia de Buenos Aires se consideraron los mínimos y máximos por ser un área de alerta más reciente (2 a $800\mu\text{g l}^{-1}$).

Palabras clave. Arsénico, contaminación natural, agua de bebida.

ARSENIC IN GROUNDWATER IN THE NORTH AND CENTER OF ARGENTINA

SUMMARY

Arsenic (As) is a metalloid in Group I of carcinogens that occur naturally in the environment as a result of weathering of rocks. Argentina has one of the largest surfaces of the world with As levels above $10\mu\text{g l}^{-1}$ (upper limit for water for human consumption, according to the World Health Organization and the Argentine Food Code). Given the wide dispersion of information on values found in the country and the health impact that chronic consumption of contaminated water produces along with their accumulation in food, we present a review of secondary sources of information. The country was regionalized into three areas, plotting the found values and the proportion in which they exceeded $10\mu\text{g l}^{-1}$. The average values of concentration oscillate between 40 to $950\mu\text{g l}^{-1}$ for the North Zone and 54 to $1,100\mu\text{g l}^{-1}$ for the Central one. In the Province of Buenos Aires the minimum and maximum (2 to $\mu\text{g l}^{-1}$ 800) were considered for being an area of more recent alert.

Key words. Arsenic, natural contamination, drinking water.

INTRODUCCIÓN

El Arsénico (As) es un metaloide presente en el suelo, las rocas, la atmósfera y el agua en forma natural (Fergusson, 1990). En los suelos, debido a su tendencia a asociarse con arcillas, óxidos y materia

orgánica, se encuentra preferentemente en la fracción arcillosa y su aumento de concentración se relaciona con su presencia en las cenizas volcánicas (Kabata-Pendías 2001). En el agua se presenta como contaminante natural y también como resultado de la

¹ Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, (C1417DSE), Buenos Aires.

actividad humana. Pertenece al grupo I de sustancias cancerígenas (IARC, 1980) y su grado de toxicidad varía en función de la forma química en la que se presenta, siendo los arsenitos (As^{3+}) los más perjudiciales, seguidos por los arseniatos (As^{5+}), y por último las formas orgánicas. El estado químico del As en el agua varía en función del pH y de las condiciones de óxido-reducción existentes (Smedley & Kinniburgh, 2002).

El contenido de As en aguas naturales muestra una correlación positiva con las concentraciones de hierro (Blanes y Giménez, 2006; Murkherjee & Bhattacharya, 2001; Baeyens *et al.*, 2007), flúor (Osicka *et al.*, 2006) y vanadio (Trelles *et al.*, 1970). En lo que respecta a la variación de concentración de acuerdo a la profundidad del acuífero, puede tanto disminuir como aumentar (Schulz *et al.*, 2005; Murherje & Bhattacharya, 2001). Su disponibilidad depende en mayor medida de la geomorfología y topografía local (Nicolli *et al.*, 2005a).

La existencia de As en aguas subterráneas puede deberse a la formación de acuíferos sobre depósitos de vidrio volcánico o al transporte de partículas que durante el Período Cuaternario han quedado retenidas en sedimentos, formando acuíferos más profundos (Smedley & Kinniburgh, 2002). Las aguas geotermales (Galindo *et al.*, 2005) y los efectos antrópicos como la actividad minera (Smedley, 1996), los desechos industriales, la quema de carbón y la preservación de madera con compuestos arsenicales (Smedley & Kinniburgh, 2002), constituyen vías posibles de contaminación.

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004) y el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) establecen un límite máximo de concentración de As en el agua de bebida de $10 \mu\text{g l}^{-1}$ (10 ppb).

Tanto en China (Sun *et al.*, 1998), Taiwán (Tseng, 1968), India (Roychowdhury *et al.*, 2003) Bangladesh (Smith *et al.*, 2000), Rumania (Gurzau & Gurzau, 2001), México (Del Razo *et al.*, 1990) y Chile (Cáceres *et al.*, 1992), como en varias provincias de la Región Chaco Pampeana y del Noroeste Argentino, (Bhattacharya *et al.*, 2006; Fariás *et al.*, 2003; Pérez Carrera y Fernández Cirelli, 2004; Smedley *et al.*, 2005; Blanes y Giménez, 2006; Bundschuh *et al.*, 2004; Bejarano & Nordberg, 2003; Smedley *et al.*,

2002; Schulz *et al.*, 2005; Vilches *et al.*, 2005; Nicolli *et al.*, 2005a; Nicolli *et al.*, 2005b; Cabrera *et al.*, 2005; Giménez *et al.*, 2006) se han encontrado, en acuíferos naturalmente enriquecidos, valores que exceden los límites de salud. El rango de datos oscila entre $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$ y $5.000 \mu\text{g l}^{-1}$ (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Nuestro país posee una de las mayores extensiones del mundo afectadas con esta problemática, aproximadamente 1 millón de km^2 . En la orogenia Andina, los sedimentos del loess transportados por el viento y depositados en la llanura pampeana contenían vidrio volcánico con una alta concentración de elementos tales como As, flúor (F), nitratos (NO_3^-), boro (B), molibdeno (Mo), selenio (Se) y uranio (U) (Smedley *et al.*, 2002; Bundschuh *et al.*, 2004). La liberación del As hacia los cuerpos de agua, en este caso, ocurre a pH altos y en condiciones de semi-aridez. La meteorización de las rocas junto con las altas tasas de evaporación, facilitan la desorción del elemento de los minerales e impiden la adsorción del As a óxidos de Fe y Mn (Smedley & Kinniburgh, 2002).

La presencia de altos niveles de As en el agua tiene un efecto importante sobre la salud, ocasionando trastornos tales como melanomas, queratosis (Tondel *et al.*, 1999) e hiperqueratosis palmoplantares; cánceres de piel (Tseng *et al.*, 1968, Smith *et al.*, 1992), de vejiga (Hopenhayn-Rich *et al.*, 1996; Bates *et al.*, 2003), de hígado (Mazumder, 2005; Bates *et al.*, 1992), de riñón (Hopenhayn-Rich, 1998), afecciones respiratorias (Mazumder *et al.*, 2000), cáncer de pulmón (Hopenhayn-Rich *et al.*, 1998), y enfermedades cardiovasculares (Ng *et al.*, 2003).

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), es un síndrome descrito por el Dr. Ayerza en el año 1918 y se adquiere gracias al consumo por más de 10 a 15 años de aguas con concentraciones de As superiores al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (Sastre *et al.*, 1997).

La cocción con agua contaminada aumenta la concentración tóxica en los alimentos (Roychowdhury *et al.*, 2003; Samanta *et al.*, 2004; Murkherjee & Bhattacharya, 2001; Juhasz *et al.*, 2006; Devesa *et al.*, 2001a; Devesa *et al.*, 2001b). Especies vegetales regadas con aguas arsenicales o emplazadas en zonas

con presencia del elemento pueden acumularlo (Muñoz *et al.*, 2002; García *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 2006; Rahman *et al.*, 2007; Das *et al.*, 2004). Asimismo, la biotransferencia hacia productos animales como leche (Pérez Carrera y Fernández Cirelli, 2005) y mariscos (Borak & Hosgood, 2007), incrementan las vías de exposición y atentan contra los requisitos de inocuidad sanitaria que se deben cumplir.

Dada la necesidad de conocer la calidad de los recursos hídricos en lo concerniente a la presencia de As junto a la gran cantidad de información dispersa sobre datos del país, el presente estudio tiene por objetivo realizar una revisión de la información secundaria, sobre concentraciones del metaloide encontradas en el norte y centro de la Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se procesó la información proveniente de investigaciones realizadas en los últimos años ($n=25$), según las áreas investigadas, lo que permitió determinar tres zonas;

Zona Norte (Tucumán, Salta, Catamarca, Santiago del Estero), Zona Central (La Pampa, Santa Fe y Córdoba) y provincia de Buenos Aires. Por tal motivo fue necesario tener una extensa revisión bibliográfica.

Se graficaron los valores medios y la proporción en que se presentan concentraciones superiores a $10 \mu\text{g l}^{-1}$ para la Zona Norte y Central. En el caso de la provincia de Buenos Aires el criterio adoptado para la presentación de los datos fue diferente debido a que el alerta acerca de la proliferación de aguas con un contenido excesivo de As es más reciente y por ello se muestran los valores máximos y mínimos.

RESULTADOS

Los valores medios hallados en diversas localidades de las Zonas Norte y Central se observan en las Figuras 1 y 3. En las Figuras 2 y 4 se muestra la proporción en que se supera el límite establecido por la OMS, logrando así tener una aproximación de la frecuencia con la que se obtienen concentraciones contaminantes.

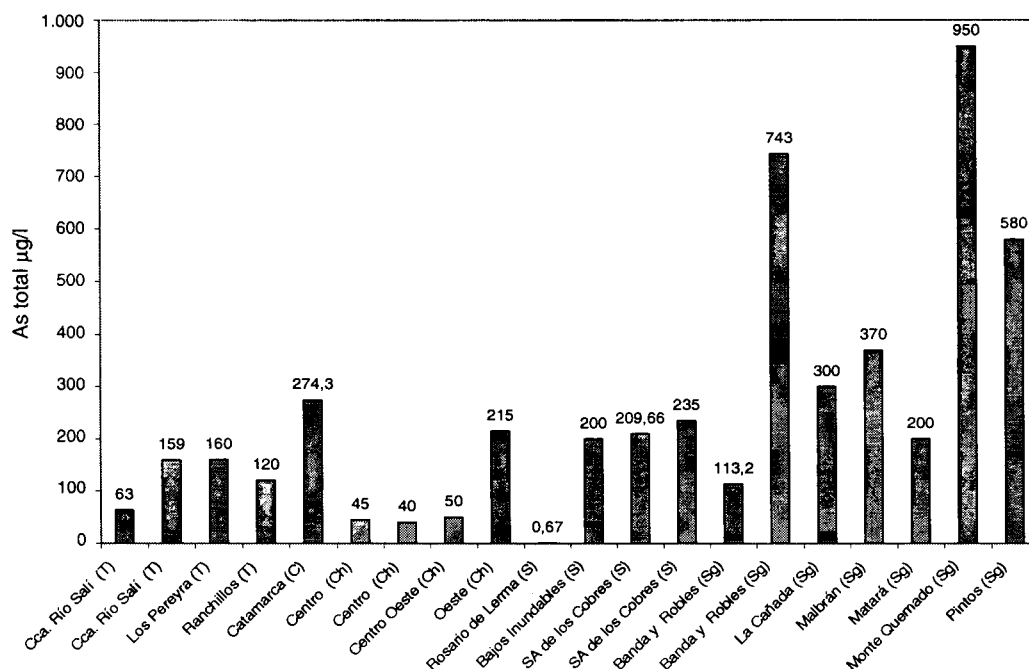


FIGURA 1. Valores medios de As total ($\mu\text{g l}^{-1}$) encontrados en distintas localidades de las provincias del norte del país. (T): Tucumán. (C): Catamarca. (Ch): Chaco. (S): Salta. (Sg): Santiago del Estero.

Los menores valores medios de la zona Norte, se observan en las provincias de Chaco (Oscika *et al.*, 2006; Blanes *et al.*, 2004; Blanes, Giménez, 2006 y Concha *et al.*, 1998) y Tucumán (Galindo *et al.*, 2005; Nicolli *et al.*, 2005a; Nicolli *et al.*, 2005b y Trelles *et al.*, 1970), con un rango de 45 a 215 $\mu\text{g l}^{-1}$ y de 63 a 160 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectivamente. En casos puntuales de baja población y valores elevados del As en agua se desarrollan tecnologías de remoción en unidades individuales utilizando la radiación solar.

Si bien en la región de Rosario de Lerma (Salta) la concentración es baja 0,67 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Concha *et al.*, 1998), en otras áreas de la provincia, los valores oscilan alrededor de los 200 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Concha *et al.*, 1998; Farfán Torres *et al.*, 2006; Trelles *et al.*, 1970).

En base a una recopilación preexistente sobre la provincia de Catamarca (Vilches *et al.*, 2005), para 157 recursos hídricos relevados, se separan tres regiones según rangos de concentraciones (menor de 50 $\mu\text{g l}^{-1}$, entre 50 y 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ y mayores de 100 $\mu\text{g l}^{-1}$). Es im-

portante señalar que el Sureste de la Provincia es la zona más afectada, con presencia de concentraciones superiores a 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ en los departamentos de Pomán y Capayán.

En Santiago del Estero se hallan las mayores concentraciones de toda la región norte. Los valores medios oscilan entre 113,2 y 950 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Bejarano Si-fuentes, Nordberg 2003 y Trelles *et al.*, 1970) con máximos de hasta 14.969 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Bhattacharya *et al.*, 2006).

En las provincias de Santiago del Estero y Catamarca, sobre el total de recursos analizados, la frecuencia de valores por encima del límite establecido supera el 97% (Fig. 2).

Para la zona Central, que abarca las provincias de La Pampa, Santa Fe y Córdoba, el mínimo valor medio se encuentra en Santa Fe: para esta provincia se midieron concentraciones de 54, 180 y 253 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Delgadino, 2005; Gómez, 2005). Para la provincia de La Pampa los valores oscilan entre 100 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Me-

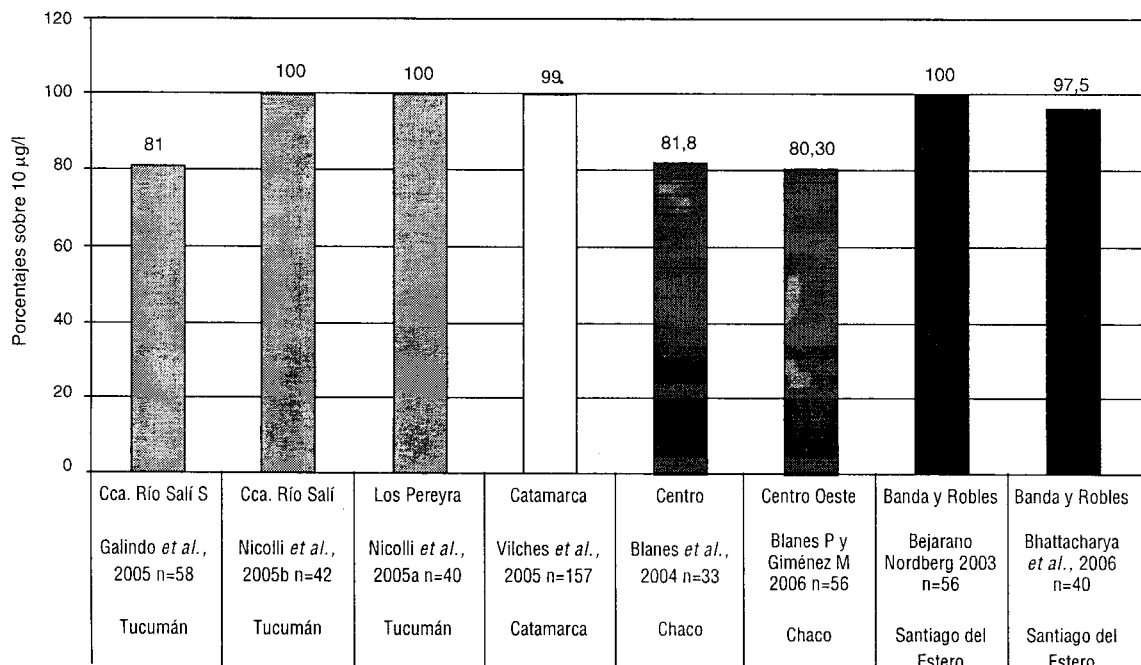


FIGURA 2. Porcentajes de As total hallados en distintas investigaciones de la Zona Norte que superan los 10 $\mu\text{g l}^{-1}$.

dus *et al.*, 2005; Muñoz, 2005) y más de 400 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Smedley, 2002). En la provincia de Córdoba el máximo alcanzado de 1.100 $\mu\text{g l}^{-1}$ procede de un muestreo de aguas freáticas (Pérez Carrera y Fernández Cirelli, 2004), mientras que en la misma investigación, para pozos semi-surgentes, el valor medio es de 40 $\mu\text{g l}^{-1}$ (n=18). Otro estudio llevado adelante en esa provincia encuentra concentraciones medias de 60 $\mu\text{g l}^{-1}$ en aguas superficiales y 96 $\mu\text{g l}^{-1}$ en subterráneas (Villalba *et al.*, 2005). Relevamientos en La Pampa muestran que el elemento puede tanto disminuir como aumentar en aguas profundas (Schulz *et al.*, 2005) lo cual demuestra que la variación en profundidad del elemento no es consistente (Fig. 3).

La frecuencia con que se hallan valores por encima del nivel apto para consumo humano, en esta zona, se observa en la Figura 4.

Por último, para la provincia de Buenos Aires, se grafican los valores mínimos y máximos encontrados para 11 partidos según Trelles *et al.*, 1970 y Piñeiro

et al., 2006 (Fig. 5). El criterio para presentar estos valores en lugar de los promedios estuvo relacionado en conocer la gravedad de la extensión del problema. El conocer el valor mínimo indica en algunos sitios la necesidad de utilizar nuevos y más modernos sistemas para el tratamiento de agua de consumo.

En una investigación reciente, en los partidos de Villarino, Rivadavia, Alberti, San Vicente, Villegas Pellegrini, L.N. Alem, Suipacha, Tres Arroyos, 9 de Julio, Patagones, Chascomús, Gral. Alvarado, Brandsen, F. Ameghino, Maipú, Gral. Arenales, Navarro, Mercedes, Gral. Lamadrid, A. Alsina, Daireaux, Tapalqué, Rojas, Salto, Bragado, Puán, Pigüé, se hallaron concentraciones superiores a los 50 $\mu\text{g l}^{-1}$ mientras que para Junín, Baradero y Tornquist se hallaron concentraciones superiores a los 200 $\mu\text{g l}^{-1}$ (González *et al.*, 2005).

Con respecto a las concentraciones halladas en las investigaciones consultadas (n=25), la presencia del elemento puede tanto disminuir como aumentar

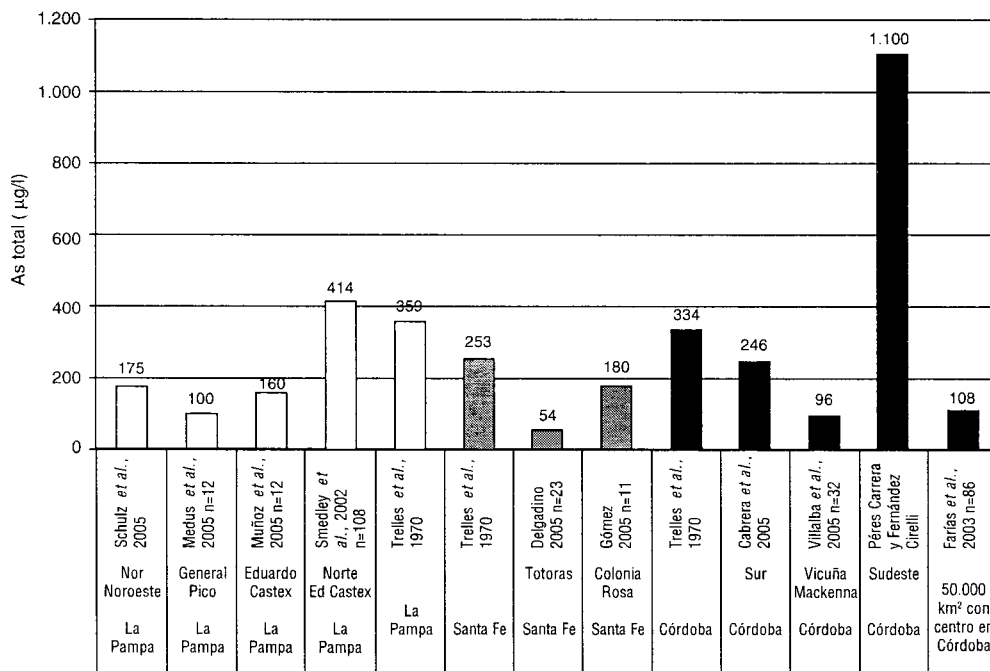


FIGURA 3. Valores medios hallados en distintas localidades de la Zona Central (As total en $\mu\text{g l}^{-1}$).

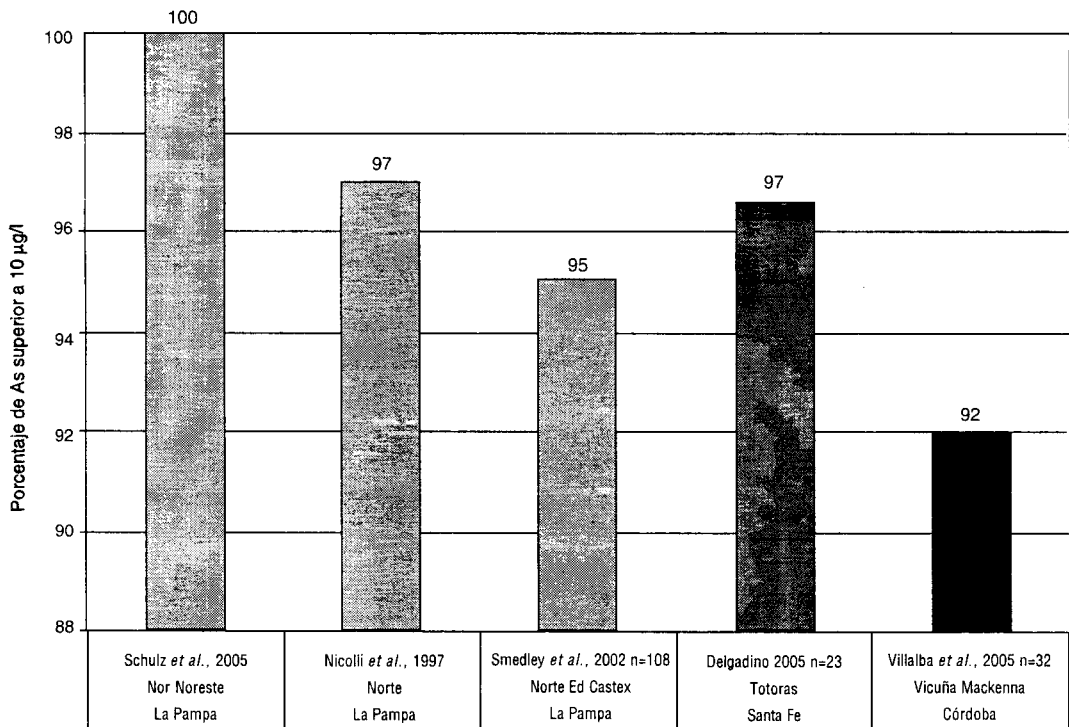


FIGURA 4. Porcentajes de As total hallados en distintas investigaciones de la Zona Central que superan los 10 µg l⁻¹.

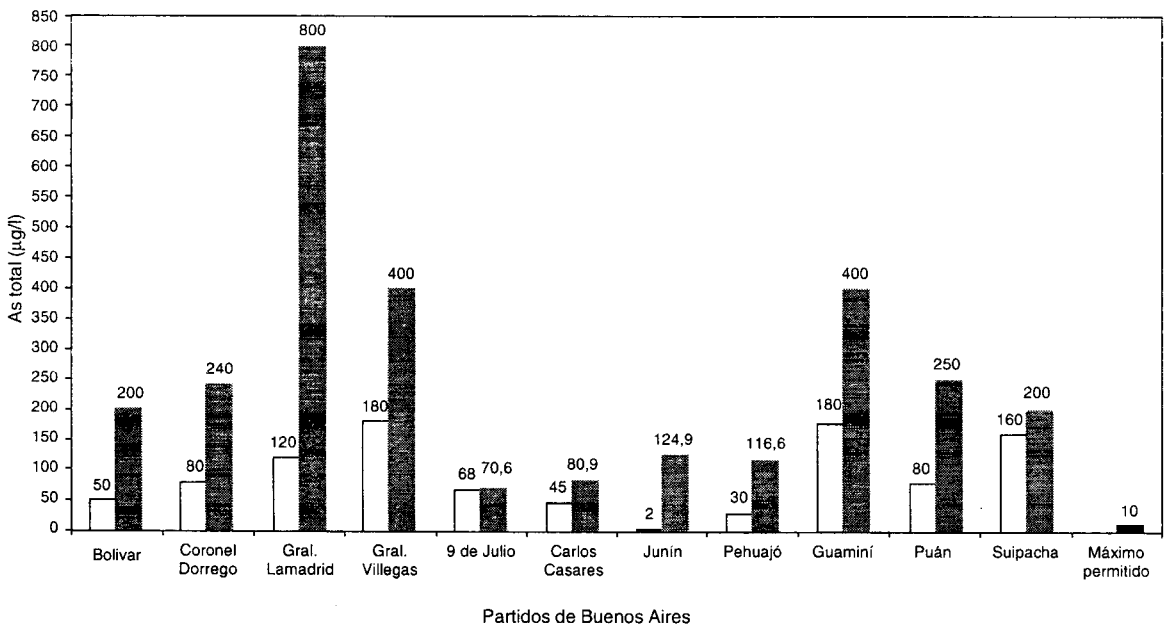


FIGURA 5. Valores máximos y mínimos de As total µg l⁻¹ en partidos de la provincia de Buenos Aires (Trelles *et al.*, 1970 y Piñeiro *et al.*, 2006).

con la profundidad. En base a esta variación espacial, generalizar sobre la distribución regional del elemento no es correcto. Es conveniente analizar, en cada localidad, la geomorfología y la topografía para aproximarse a la dinámica del As en cada región.

DISCUSIÓN

Existen en la actualidad, vastos antecedentes epidemiológicos que avalan el efecto cancerígeno que el consumo crónico de As ocasiona, provocando desde hiperpigmentación y queratosis en la piel, hasta melanomas, cáncer de pulmón, cirrosis y problemas renales.

La concentración de este elemento en los recursos hídricos de la zona norte y central de la Argentina supera el límite de 10 µg/l considerado tóxico para el consumo humano en todas las zonas identificadas en el presente estudio.

Con excepción de un análisis llevado adelante en Rosario de Lerma, Salta (Concha *et al.*, 1998), en todas las localidades relevadas se supera el valor máximo establecido. Los rangos de valores medios son de 40 a 950 µg l⁻¹ para la Zona Norte y 54 a 1.100 µg l⁻¹ para la Central.

Los valores porcentuales por encima de los 10 µg l⁻¹ graficados en las Figuras 2 y 4, oscilan entre un 80,30% a 100% para la Zona Norte y 92% a 100% para la Central lo que permite inferir la existencia de una

alta frecuencia de concentraciones contaminantes en las provincias de Tucumán, Catamarca, Chaco, Santiago del Estero, La Pampa, Santa Fe y Córdoba.

En los últimos años en el área del conurbano bonaerense en los sitios que no disponen de agua de red se han medido valores de As superiores a los admitidos por ley. Considerando el elevado número de habitantes cuya salud podría estar afectada por el consumo crónico de aguas arsenicales, es necesario favorecer el desarrollo de tecnologías de remoción mientras se disponen de los recursos suficientes para que toda la población tenga acceso a los servicios sanitarios.

CONCLUSIONES

La contaminación por As es una problemática de extensión nacional. Con el presente estudio se intentó mostrar cuáles son los niveles frecuentes de As en el agua de bebida a los que está expuesta la población de localidades de las zonas centro y norte de la Argentina, basándose en investigaciones previas.

Los resultados muestran que en las tres zonas, existen valores que superan el límite máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud, y el Código Alimentario Argentino.

La variabilidad espacial del elemento impone la necesidad de un monitoreo constante, para conocer su calidad y aptitud para el consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

- AYERZA, A. 1918. Arsenicismo regional endémico (Keratodermia y Melanodermia combinadas). *Bol. Acad. Nac. Medicina*. Vol. II. p. 11-41.
- BAEYENS, W.; A. DE BRAUWERE; N. BRION; M. DE GIETER and M. LEEMAKERS. 2007. Arsenic speciation in the River Zenne, Belgium. *Science of the Total Environment* 384: 409-419.
- BATES, M.; O. REY; N. BIGGS; C. HOPENHAYN; L. MOORE; D. KALMAN; C. STEINMAUS and A. SMTIH. 2003. Case-Control Study of Bladder Cancer and Exposure to Arsenic in Argentina. *Am J. Epidemiol.* 159(4): 381-389.
- BATES, M.; A.H. SMITH and C. HOPENHAYN-RICH. 1992. Arsenic ingestion and internal cancers: A review. *Am. J. Environ* 135. 462-476.
- BEJARANO SIFUENTES, G. and E. NORDBERG. 2003. Mobilisation of Arsenic in the Río Dulce Alluvial Cone. Santiago del Estero Province, Argentina. Department of Land and Water Resources Engineering. Master Thesis.

- BHATTACHARYA, P.; M. CLAESSON; J. BUNDSCHUH; O. SRACEK; J. FAGERBERG; G. JACKS; R. MARTIN; A. STORNILO and J. THIR. 2006. Distribution and mobility of arsenic in the Rio Dulce Alluvial Aquifers in Santiago del Estero Province. *Argentina. Science of the Total Environment* 358: 97-120.
- BLANES, P. y M. GIMÉNEZ. 2006. Evaluación de los niveles de Hierro y Arsénico en Aguas Naturales Subterráneas de la Región Centro-Oeste de la Provincia del Chaco-Argentina. *Información Tecnológica* Vol.17 Nº 3. 3-8.
- BLANES, P.; M. GIMÉNEZ y C. HERRERA AGUAD. 2004. Arsénico y otros elementos traza en aguas subterráneas en la región central de la provincia del Chaco. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE*. Resumen E-070 1-4.
- BORAK, J. and H. HOSGOOD. 2007 Seafood arsenic: Implications for human risk assessment. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 47(2): 204-212.
- BUNDSCHUH, J.; B. FARIAS; R. MARTIN; A. STORNILO; P. BHATTACHARYA; J. CORTES; G. BONORINO and R. ALBOUY. 2004. Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles county, Santiago del Estero Province. *Applied Geochemistry* 19: 231-243.
- CAA. 2007. Código Alimentario Argentino. Art. 982. Agua Potable. Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Actualización Junio de 2007. *En: http://www.anmat.gov.ar/codigoa/Capitulo_XII_Agua_2007-05.pdf* – Fecha de Revisión 15 de Agosto de 2007.
- CABRERA, A.; M. BLARASIN; S. CABRERA; E. MATTEODA; M. GÓMEZ; D. VILLALBAF. HILDMANN y A. BETTERA. 2005. Arsénico y Flúor en el Acuífero Freático en el Sur de Córdoba: Línea de Base Hidroquímica y Problemática Ambiental Vinculada. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino*. Río Cuarto. 41-52.
- CÁCERES, L.; E. GRUTTNER and R. CONTRERAS. 1992. Water Recycling in Arid Regions-Chilean case. *Ambio* 21(2): 138-144.
- CONCHA, G.; B. NERMELL and M. VAHTER. 1998. Metabolism of Inorganic Arsenic in Children with Chronic High Arsenic Exposure in Northern Argentina. *Environmental Health Perspective*. Volume 106 Nº6. 355-359.
- DAS, H.; A. MITRA; P. SENGUPTA; A. HOSSAIN; F. ISLAM and G.H. RABBANI. 2004. Arsenic concentration in rice, vegetable, and fish in Bangladesh: a preliminary study. *Environ. Int* 30(3): 383-387.
- DELGADINO, C.D. 2005. Determinación de un Modelo de Riesgo para Nitratos y Arsénico en Agua Subterránea en la Provincia de Santa Fe. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino*. Río Cuarto. 137-146.
- DEL RAZO, L.; M. ARELLANO and M. CEBRIAN. 1990. The oxidation status of arsenic in well-water from a Chronic Arsenicism Area of Northern Mexico. *Environmental Pollution* 64(2) 143-153.
- DEVESA, V.; M. MACHO; M. JALÓN; I. URIETA; O. MUÑOZ; M. SÚÑER; F. LÓPEZ; D. VÉLEZ and R. MONTORO. 2001a. Arsenic in Cooked Seafood: Study on the Effect of Cooking on Total and Inorganic Arsenic Contents. *J. Agric. Food. Chem.* 49. 4132-4140.
- DEVESA V.; A. MARTÍNEZ; M. SÚÑER; D. VÉLEZ; C. ALMELA and R. MONTORO. 2001b. Effect of Cooking Temperatures on Chemical Changes in Species of Organic Arsenic in Seafood. *J. Agri. Food. Chem.* 49: 2272-2276.
- FARFÁN TORRES, E.; P. NARANJO; A. BOEMO; I. LOMNICZI y L. LORENZO. 2006. Distribución de Arsénico en aguas subterráneas del Chaco Salteño, Argentino. Taller de distribución del As en Iberoamérica. Libro de resúmenes. Editora: Marta I. Litter. Pág 59-60.
- FARIAS, S.; V. CASA; C. VÁZQUEZ; L. FERPOZZI; G. PUCCI and I. COHEN. 2003. Natural contamination with Arsenic and other trace elements in ground water of Argentina, Pampean Plain. *The Science of the Total Environment* 309: 187-199.
- FERGUSON, J.E. 1990. The Heavy Elements Chemistry. Environmental Impact and Health Effects. *Pergamon*. N. York. 614 p.
- GALINDO, G.; J. FERNÁNDEZ-TURIEL y D. GIMENO. 2005. El arsénico en las aguas termales del sur de la cuenca del Río Salí, Tucumán, Argentina. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino*. Río Cuarto 63-72.
- GARCÍA, S.; S. HERNÁNDEZ; V. GARCÍA; A. VALDEZ; S. SAN MIGUEL y G. Serrano. 1994. Estudio del contenido de Arsénico en alimentos de consumo humano producido en la Comarca Lagunera. *Bioquímica* 19(4): 187-190.
- GIMÉNEZ, M.; M. BENITEZ; R. OSCILA y O. GARRO. 2006. Evaluación de la contaminación con arsénico en aguas subterráneas de la región central de la Provincia del Chaco. *En: www.ambiente.gov.ar* Fecha de revisión: 10/12/06.

- GÓMEZ, ANDREA. 2005. Tratamiento de Aguas Subterráneas Arsenicales para Pequeñas Poblaciones de la Provincia de Santa Fe. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto. 147-156.*
- GONZÁLEZ, M.; V. BARONE; I. SCHALAMUK y I. BOTTO. 2005. Tratamiento de aguas con anomalías de Arsénico. *En: XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata.*
- GURZAU, E. and A. GURZAU. 2001. Arsenic in drinking water from groundwater in Transylvania, Romania. *In: W.R. Chapell; C.O. Abernathy; R.L. Calderón (eds.), Arsenic Exposure and Health Effects IV. Elsevier. Amsterdam 181-184.*
- HOPENHAYN-RICH, C.; M. BIGGS and A. SMITH. 1998. Lung and kidney cancer mortality associated with Arsenic in drinking water in Córdoba, Argentina. *International Journal of Epidemiology 27: 561-569.*
- HOPENHAYN-RICH, C.; M. BIGGS; A. FUCHS; R. BERGOGLIO; E. TELLO; H. NICOLLI and A. SMITH. 1996. Bladder cancer mortality associated with Arsenic in drinking water in Argentina. *Epidemiology 7(2): 117-124.*
- IARC. 1980. Arsenic and Arsenic Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 23 Some Metals and Metallic Compounds.
- JUHASZ, A.; E. SMITH; J. WEBER; M. REES; A. ROFE; T. KUCHEL; L. SANSOM and R. NAIDU. 2006. *In: Vivo Assessment of As Bioavailability in Rice and its Significance for Human Risk Assessment. Environmental Health Perspectives. 114 (12): 1826-1831.*
- KABATA-PENDÍAS, A. 2001. Trace Elements and Soils and Plants. Chapter 10. Element of Group V. Boca Ratón. Florida USA. Pag. 225.
- MAZUMDER D. 2005. Effect of chronic intake of arsenic-contaminated water on liver. *Toxicology and Applied Pharmacology 206: 169-175.*
- MAZUMDER, D.; R. HAQUE; N. GHOSH; B.K. DE; A. SANTRA; D. CHAKRABORTI and A. SMITH. 2000. Arsenic in drinking water and the prevalence of respiratory effects in West Bengal, India. *International Epidemiology Association 29. 1047-1052.*
- MEDUS, M.; E. MARIÑO y C. SCHULZ. 2005. Variación temporal de los contenidos de Arsénico en la batería de pozos que abastece a General Pico, La Pampa, Argentina. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto. 73-81.*
- MUKHERJEE, A. and P. BHATTACHARYA. 2001. Arsenic in groundwater in the Bengal Delta Plain: slow poisoning in Bangladesh. *Environmental Research 9: 189-220.*
- MUÑOZ, M.; E. BUITRON y J. ORMAECHEA. 2005. Remoción de Arsénico y Flúor. Estudio de un caso en la Localidad de Eduardo Castex. La Pampa. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto. 157-166.*
- MUÑOZ, O.; O. DIAZ; I. LEYTON; N. NUÑEZ; V. DEVESA; M. SÚÑER; D. VÉLEZ and R. MONTORO. 2002. Vegetable collected in the cultivated Andean Area of Northern Chile: total and Inorganic Arsenic Contents in raw Vegetables. *J. Agri. Food. Chem. 50(3): 642-647.*
- NICOLLI, H.; P. SMEDLEY y H. TULLIO. 1997. Aguas Subterráneas con altos contenidos de Flúor, Arsénico y otros Oligoelementos en el Norte de la Provincia de La Pampa. Estudio Preliminar *En: Congreso Internacional sobre Aguas. Workshop sobre Química ambiental y Salud. Libro de Resúmenes. Coord: Fernández Cirelli. Buenos Aires III.40.*
- NICOLLI, H.; C. TINEO; J. GARCÍA y C. FALCÓN. 2005a. Distribución del arsénico y otros elementos asociados en aguas subterráneas de la región de Los Pereyra, Provincia de Tucumán. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto 83-92.*
- NICOLLI, H.; A. TINEO; J. GARCÍA y C. FALCÓN. 2005b. Caracterización hidrogeoquímica y presencia de Arsénico en las aguas subterráneas de la Cuenca de Río Salí. Provincia de Tucumán. Argentina *En: II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino. Río Cuarto 93-102.*
- NG, J.C.; J. WANG and A. SHRAIM. 2003. A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere 52:1353-1359.*
- OSCIKA, R.; N. AGULLÓ; C. HERRERA AGUAD y M. JIMÉNEZ. 2006. Evaluación de las concentraciones de Fluoruro y arsénico en las aguas subterráneas del Domo Central de la Provincia del Chaco. *En: www.ambiente.gov.ar Fecha de revisión: 10/12/06.*

- PÉREZ CARRERA, A. and A. FERNÁNDEZ CIRELLI. 2005. Arsenic concentration in water and bovine milk in Córdoba, Argentina. Preliminary results. *Journal of Dairy Research* 72: 122-124.
- PÉREZ CARRERA, A. y A. FERNÁNDEZ CIRELLI. 2004. Niveles de Arsénico y Flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera, Pcia. de Córdoba, Argentina. *In Vet.* 6(1): 51-59.
- PIÑEIRO, A.E.; D.H. SESONE; O.H. ROSES y C.M. LÓPEZ. 2006. La consulta analítica motivada por el Arsénico en el CENATOXA. *En: Taller de distribución del Arsénico en Iberoamérica.* Centro Atómico San Martín Editora: Marta Litter. 131-134.
- RAHMAN, M.A.; H. HASEGAWA; M.M. RAHMAN; M. MAZID MIAH and A. TASMIN. 2007. Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 69(2): 317-324.
- ROYCHOWDHURY, T.; H. TOKUNAGA and M. ANDO. 2003. Survey of Arsenic and other heavy metals in food composites and drinking water and estimation of dietary intake by the villagers from an arsenic-affected area of West Bengal, India. *The Science of the Total Environment* 308(1): 15-35.
- SAMANTA, G.; R. SHARMA; T. ROYCHOWDHURY and D. CHAKRABORTI. 2004. Arsenic and other elements in hair, nails, and skin-scales of arsenic victims in West Bengal, India. *Science of the Total Environment* 326: 33-47.
- SASTRE, M.; H. RODRÍGUEZ; A. VARILLAS y B. SALIM. 1997. Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) y Comunidad. *En: Congreso Internacional sobre Aguas. Workshop sobre Química ambiental y Salud.* Libro de Resúmenes. Coord: Fernández Cirelli. Buenos Aires W.13.
- SCHULZ, C.; E. CASTRO y E. MARIÑO. 2005. Presencia de Arsénico en las aguas subterráneas de La Pampa. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino.* Río Cuarto 53-62.
- SMEDLEY, P.; D. KINNIBURGH; D. MacDONALD; H. NICOLLI; A. BARROS; J. TULLIO; J. PEARCE and M. ALONSO. 2005. Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry* 20: 989-1016.
- SMEDLEY, P.; H. NICOLLI; D. MACDONALD; A. BARROS and J. TULLIO. 2002. Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwater from La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry* 17: 259-284.
- SMEDLEY, P. and D. KINNIBURGH. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* 17: 517-568.
- SMEDLEY, P. 1996. Arsenic in rural groundwater in Ghana. *Journal of African Earth Science.* 22(4): 459-470.
- SMITH, A.; E. LINGAS and M. RAHMAN. 2000. Contamination of drinking water by arsenic in Bangladesh, a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization* 78(9): 1093-1103.
- SMITH, A.; C. HOPENHAYN-RICH; M. BATES; H. GOEDEN; I. HERTZ-PICCIOTTO; H. DUGGAN; R. WOOD; M. KOSNETT and M. SMITH. 1992. Cancer risks from arsenic in drinking water. *Environ Health Perspect* 97: 259-267.
- SMITH, N.; R. LEE; D. HEITKEMPER; K. DENICOLA CAFFERKY; A. HAQUE and A. HENDERSON. 2006. Inorganic arsenic in cooked rice and vegetables from Bangladeshi households. *Science of the Total Environment* 370: 294-301.
- SUN, G.; G. DAI; F. LI; H. YAMAUCHI; T. YOCHIDA; H. AIKAWA and F. KAYAMA. 1998. The present situation of chronic arsenicism and researches in China. *In: III International Conference of Arsenic Exposure and Health Effect.* San Diego. California. Book of Abstract.
- TONDEL, M.; M. RAHMAN; A. MAGNUSON; I. CHOWDHURY; M. FARUQUEE and S. Ahmad. 1999. The Relationship of Arsenic Levels in Drinking Water and the Prevalence Rate of Skin Lesions in Bangladesh. *Environmental Health Perspectives* 107(9): 727-729.
- TRELLES, R.; A. LARGI y J. PAÉZ. 1970. El Problema Sanitario de las Aguas Destinadas a la Bebida Humana, con contenidos elevados de Arsénico, Vanadio y Flúor. (Contribución al Estudio de su Corrección) Publicación N°4. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería. Instituto de Ingeniería Sanitaria 96 p.
- TSENG, W.P.; H.M. CHU; S.W. HOW; J.M. FONG; C.S. LIN and S. YEH. 1968. Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenism in Taiwan. *J Nat Cancer Inst.* 40: 453-463.
- VILCHES, F.; L. PALOMEQUE; S. CÓRDOBA; S. FUENTES y L. NAVARRO GARCÍA. 2005. El Arsénico en la provincia de Catamarca, Argentina. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino.* Río Cuarto. 103-110.
- VILLALBA, G.; M. BLARASIN y M. VILLEGAS. 2005. Características Hidrogeoquímicas con énfasis en Arsénico y Flúor en el área Vicuña Mackenna-Bañados del Tigre Muerto, Córdoba. *En: Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de Hidrología Subterránea. IV Congreso Hidrológico Argentino.* Río Cuarto. 111-122.
- W.H.O. 2004. Guidelines for drinking-water quality. Vol I. Recommendations. Third Edition. Geneva 515p.