

Niveles de arsénico y vanadio en aguas naturales en el Departamento de Unión, sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina

Arsenic and vanadium levels in waters in the Union Department, southeast of Córdoba province, Argentina

Alejo Pérez-Carrera^{1,2}; A. Fernández Cirelli^{1,2*}

Palabras clave:
elementos traza, agua subterránea, bebida animal

Key words:
trace elements, groundwater, livestock drinking water

ABSTRACT

Argentina has large regions with excellent aptitude for agricultural activities. Nevertheless, some areas show development limitations as to water availability and quality. One of the chemical elements in water with great impact on human and animal health is arsenic. The As-affected region includes the provinces of Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Salta, Tucumán, San Juan and Mendoza. The aim of this work was to analyze the presence and distribution of arsenic in superficial and ground waters in south-eastern Córdoba province, one of the areas in Argentina most affected by the presence of arsenic in water. Arsenic levels in groundwater were highly variable. The highest values were reported in the phreatic aquifer where arsenic concentration was between 20 and 4600 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Another element found at significant levels in the phreatic aquifer was vanadium whose concentrations were between 30 and 2710 $\mu\text{g.L}^{-1}$. The presence of vanadium associated with high levels of arsenic could pose a risk to animal health and production.

RESUMEN

En Argentina, existen grandes regiones que por sus características edafoclimáticas, poseen excelentes aptitudes agropecuarias, sin embargo, sufren limitaciones de desarrollo debido a la disponibilidad de agua y la calidad del recurso hídrico disponible. Uno de los elementos químicos presentes en el agua, con mayor impacto sobre la salud humana y animal, es el arsénico. La región afectada, abarca las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Salta, Tucumán, San Juan y Mendoza. El objetivo de este trabajo es analizar la presencia y distribución de arsénico y vanadio en agua superficial y subterránea en el sudeste de la provincia de Córdoba, una de las zonas más afectadas de Argentina por la presencia de arsénico en el agua. Los niveles de arsénico hallados en aguas subterráneas fueron variables, los valores más elevados se registraron en el acuífero freático donde la concentración estuvo entre 20 y 4600 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Otro elemento presente en niveles significativos en el acuífero freático fue el vanadio, las concentraciones halladas para este elemento estuvieron entre 30 y 2710 $\mu\text{g.L}^{-1}$. La presencia de vanadio, asociada a los niveles arsénico hallados, podría poner en riesgo la salud y producción animal.

Recibido 21 de marzo de 2012; Aceptado 29 de marzo de 2012

¹ Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires. Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Ciudad de Buenos Aires, Argentina. alpc@fvvet.uba.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

*Autor para correspondencia: +54 11 45248484. ceta@fvvet.uba.ar

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en el ambiente. A nivel mundial, existe información acerca de su presencia en agua subterránea en diferentes regiones, que ha sido relacionada principalmente a un origen denominado natural y que está asociado con la presencia de este elemento en ambientes geológicos diferentes: formaciones volcánicas, formaciones volcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias (Boyle *et al.*, 1998; Smedley & Kinniburgh, 2002).

En Argentina, la presencia de elevados niveles de As en agua subterránea en diferentes regiones de la llanura chaco-pampeana ha sido vinculada con la actividad volcánica en la Cordillera de Los Andes entre 14° y 28° S y la actividad hidrotermal asociada, que tuvo como consecuencia la aparición de terrenos arseníferos donde la presencia de As está relacionada a los componentes de los sedimentos loésicos.

En aguas subterráneas existe gran variabilidad de concentración de As y se distribuyen en una amplia zona del país. La fuente principal de As en el agua son los sedimentos loésicos representados por el vidrio, minerales y fragmentos líticos volcánicos, y su presencia en solución se debe a procesos de disolución e intercambio de iones (Smedley & Kinniburgh, 2002; Nicolli *et al.*, 1989; Cabrera *et al.*, 2001).

La región afectada, es una de las más extensas del mundo, y comprende las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Tucumán, Catamarca, Salta, Jujuy, San Juan y Mendoza. El rango de concentración hallado en la literatura va desde < 1 a $> 14000 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Nicolli *et al.*, 1989, 1997; Pinedo & Zigarán, 1998; Cabrera *et al.*, 2001; Smedley & Kinniburgh, 2002; Farías *et al.*, 2003; González *et al.*, 2003; Pérez-Carrera & Fernández-Cirelli, 2004, 2005; Bhattacharya *et al.*, 2006).

En el caso particular de la provincia de Córdoba, la zona del sudeste provincial es la más afectada por la presencia de elevadas concentraciones de As en agua subterránea, principalmente en la capa freática. La zona coincide con los Departamentos de San Justo, Marcos Juárez, Unión, Río Cuarto, Río Primero y General San Martín. Existen trabajos en esta zona que informan un contenido de As en agua entre < 10 y $4550 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Nicolli *et al.*, 1989; Pinedo & Zigarán, 1998; Paoloni *et al.*, 1999; Farías *et al.*, 2003; Pérez-Carrera & Fernández-Cirelli, 2004; Pérez-Carrera *et al.*, 2005).

En aguas superficiales los niveles de As informados por distintos autores son, en general, menores que los reportados en agua subterránea. En ríos y lagos, el valor promedio de concentración de As informado en la literatura en general es inferior a $0.8 \mu\text{g.L}^{-1}$, aunque puede variar dependiendo de factores como: recarga (superficial y subterránea), drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales (Smedley & Kinniburgh, 2002). En la Cuenca del Plata (ríos Uruguay, Iguazú, Paraná y de la Plata) la concentración de As informada está entre 10 y $17 \mu\text{g.L}^{-1}$ (INA, 2000). Las concentraciones elevadas de As en agua de ríos son poco frecuentes y en general se restringen a cuencas de La Puna (Bundschuh *et al.*, 2008).

En Argentina, el principal problema de salud pública, producido por la ingesta de dosis variables de As durante largos períodos de tiempo, es el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). El HACRE está asociado a varios efectos crónicos, entre ellos alteraciones de la piel tales como melanosis, queratosis y cáncer de piel. El tiempo que tarda en manifestarse el HACRE es variable y está relacionado con el estado de salud de la persona, la sensibilidad individual, el estado nutricional, la ingesta diaria, la concentración de arsénico en el agua de consumo y el tiempo de exposición (Trelles *et al.*, 1970; Biagini *et al.*, 1995). Generalmente transcurren varios años hasta la aparición de los signos clínicos. Entre los efectos del arsénico sobre la salud humana,

también se ha descrito su relación con la aparición de cáncer de vejiga, riñón y pulmón; patologías vasculares de las extremidades inferiores, diabetes, hipertensión arterial y trastornos reproductivos (UN, 2001).

En el caso del vanadio (V), es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, muchas veces en concentraciones de riesgo potencial para transmitirse a través de la cadena agroalimentaria (Gummow *et al.*, 2005).

Este elemento aparece en concentraciones elevadas en agua subterránea en extensas zonas de Argentina, generalmente asociado con el arsénico y flúor. En la llanura pampeana, se han reportado niveles de V en agua subterránea en un amplio rango que va desde <9 a 1715 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Nicolli *et al.*, 1989; Farías *et al.*, 2003, Pérez Carrera & Fernández Cirelli, 2004).

Existen estudios que mencionan la importancia del V en nutrición animal, sin embargo, este elemento no es considerado esencial para los bovinos debido a que no se ha hallado hasta el momento una función bioquímica específica (NRC, 2005). Los

casos de toxicidad en bovinos son poco frecuentes, aunque se ha sugerido un nivel máximo recomendado en la dieta de 50 mg kg^{-1} (NRC, 2005), en el caso del agua de bebida para bovinos, el valor recomendado es de 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Ley 24051, NRC, 2005)

El principal objetivo del presente trabajo fue analizar la presencia y distribución de la concentración de arsénico y vanadio en agua superficial y subterránea en el norte del Departamento de Unión, provincia de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODO

El área que abarca este trabajo está ubicada en el sudeste de la provincia de Córdoba y se extiende, de forma irregular, entre los 62° 33' y los 62° 57' de longitud oeste y entre los 32° 12' y los 32° 50' de latitud sur (Figura 1).

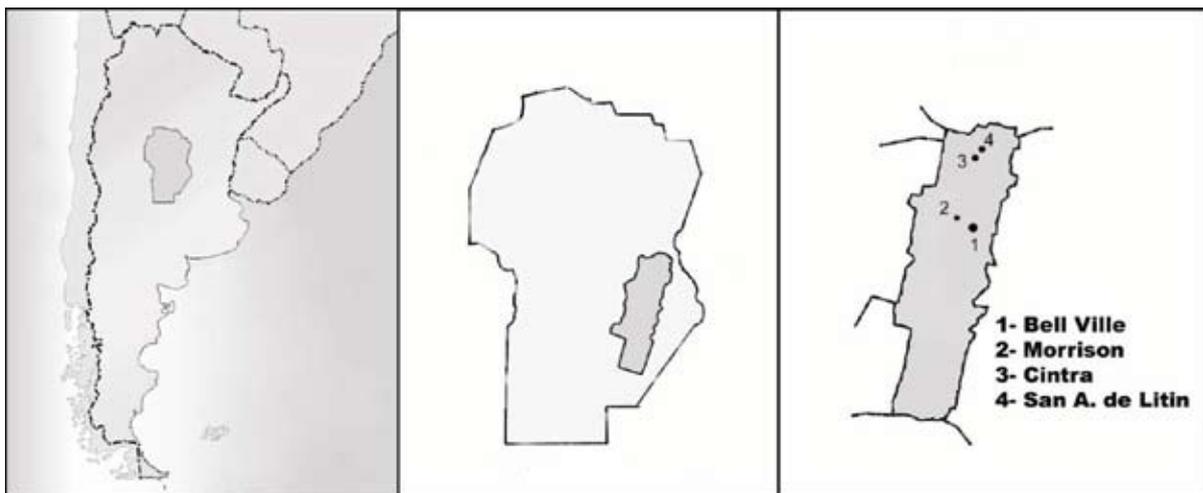


Figura 1. Zona de estudio. Departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina.

Figure 1. Study area. Departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina

proviene, en todos los casos, de las perforaciones utilizadas para la provisión de agua de bebida a los animales. Las muestras de agua superficial se colectaron en 7 estaciones de muestreo a lo largo del Río Tercero, en la zona que atraviesa la ciudad de Bell Ville. Se colectaron además, muestras de agua superficial en los arroyos más importantes de la zona de estudio (Arroyos Segundo y Las Saladas). La distribución geográfica de los puntos de muestreo de agua superficial y subterránea puede observarse en la Tabla 1.

En cada caso, las muestras se recolectaron por duplicado (volumen aprox. 1 L) en recipientes de polietileno previamente enjuagados con agua destilada, cerrados, sin dejar cámara de aire. Para la determinación de As y V, se recolectaron 100 mL de agua en recipientes de polietileno, previamente enjuagados con ácido nítrico al 10% y agua de-ionizada. Las muestras se conservaron refrigeradas (4°C), evitando el contacto con

la luz solar hasta su llegada al laboratorio.

Preparación de las muestras

Las muestras fueron acidificadas para preservar los analitos (As y V) en solución con HNO₃ 0.2 % v/v en el momento de la recolección y filtradas con filtros descartables de nitrocelulosa de 0.45 µm.

Determinaciones analíticas

El análisis de los parámetros físico-químicos se realizó a través de metodologías validadas, mencionadas en APHA (1993).

La cuantificación de As y V, se llevó a cabo mediante espectrofotometría de emisión atómica (ICP-OES -Inductively Coupled Plasma - Optic Emission Spectroscopy-), utilizando un espectrómetro PERKIN ELMER Optima 2000 DV. Los límites de detección obtenidos fueron de 10 µg.L⁻¹ para las muestras de agua analizadas.

CAPA FREÁTICA (N=9)					
Muestra	Latitud	Longitud	Muestra	Latitud	Longitud
1	32° 17,937'	62° 34,735'	6	32° 34,782'	62° 36,291'
2	32° 37,267'	62° 39,587'	7	32° 37,432'	62° 40,237'
3	32° 39,773'	62° 44,550'	8	32° 36,216'	62° 39,031'
4	32° 40,725'	62° 45,028'	9	32° 37,885'	62° 39,446'
5	32° 39,315'	62° 44,590'			
POZOS SEMISURGENTES (N= 11)					
1	32° 38,175'	62° 40,242'	7	32° 37,920'	62° 48,757'
2	32° 17,928'	62° 34,566'	8	32° 34,782'	62° 36,291'
3	32° 39,814'	62° 44,158'	9	32° 36,213'	62° 39,030'
4	32° 39,830'	62° 44,549'	10	32° 27,377'	62° 38,812'
5	32° 39,712'	62° 44,705'	11	32° 28,568'	62° 40,565'
6	32° 40,223'	62° 46,485'			
AGUA SUPERFICIAL (Río Tercero y Arroyos, N= 9)					
1	32° 36,806'	62° 50,568'	6	32° 37,523'	62° 41,895'
2	32° 37,241'	62° 39,359'	7	32° 36,992'	62° 40,384'
3	32° 37,405'	62° 41,360'	Segundo	32° 34,260'	62° 42,279'
4	32° 37,619'	62° 41,863'	Las Saladas	32° 26,142'	62° 40,659'
5	32° 37,366'	62° 35,586'			

Tabla 1. Localización geográfica de los puntos de recolección de muestras de agua.

Table 1. Geographical location of water sampling points

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona rural, la fuente principal de agua para el desarrollo de las actividades agropecuarias, es subterránea y proveniente de la capa freática (3 - 15 m de profundidad) o de perforaciones semisurgentes (80 - 150 m de profundidad).

Los principales resultados obtenidos a partir de los parámetros analizados se resumen en la Tabla 2.

De acuerdo con los valores de pH obtenidos, un 66% de las muestras de agua de la capa freática y un 27% de las muestras provenientes de pozos semisurgentes superaron el rango óptimo de pH (6.1-

7.5) para agua de bebida de bovinos, sin embargo, los valores observados no suponen riesgo para la salud de los animales (Bavera *et al.*, 2001).

En agua subterránea, el contenido de sólidos totales disueltos fue superior en las muestras de la capa freática donde los niveles hallados condicionarían su utilización como fuente de agua de bebida, especialmente para animales no acostumbrados a esos tenores salinos que podrían producir afectar su salud y nivel productivo. De acuerdo con la clasificación propuesta por Hem (1985) las muestras provenientes de la capa freática resultaron: 60% *ligeramente salina*, 30% *salina* y el 10% restante, *muy salina*. En el caso de las muestras provenientes de pozos semisurgentes, 17% resultaron *no salinas*,

CAPA FREÁTICA						
	pH	Conductividad (mS)	STD* (g.L ⁻¹)	Cloruros mg.L ⁻¹	Arsénico µg.L ⁻¹	Vanadio µg.L ⁻¹
Mínimo	6.9	1.2	1.1	8.0	20	30
Máximo	8.2	7.3	5.7	148.9	4600	2710
Promedio	7.9	3.1	2.4	41.6	1664	995
DS**	0.4	1.9	1.5	52.1	1759	1022
CV***	0.05	0.6	0.6	1.3	1.1	1.0
CV%	5.22	62.2	61.6	125.3	105.7	102.8
POZOS SEMISURGENTES						
Mínimo	6.8	1.7	1.3	26.7	55	< 10****
Máximo	8.1	4.2	3.1	86.9	100	469
Promedio	7.4	2.4	1.8	42.4	80	107
DS**	0.4	0.9	0.6	22.4	20	192
CV***	0.06	0.4	0.4	0.5	0.2	1.8
CV%	6.0	38.3	35.7	52.8	19.1	179.6
AGUA SUPERFICIAL (Río Tercero)						
Mínimo	6.6	0.3	0.1	5.2	< 10****	< 10****
Máximo	7.7	0.36	0.3	5.8	0.02	0.02
Promedio	7.2	0.3	0.2	5.4	0.011	0.012
DS**	0.4	0.0	0.1	0.3	0.006	0.005
CV***	0.06	0.06	0.3	0.06	0.5	0.46
CV%	5.9	6.4	27.2	5.5	52.7	45.6

* Sólidos Totales Disueltos (STD); **Desvío estándar (DS); *** Coeficiente de variación (CV); **** Límite de detección de la técnica utilizada

Tabla 2. Principales parámetros físico-químicos y contenido de elementos traza en muestras de agua subterránea.

Table 2. Main physical and chemical parameters and elements traces in groundwater samples

82 % ligeramente salinas, y el 1% restante, salina.

Los niveles de cloruros hallados en agua subterránea y superficial estuvieron, en todos los casos, por debajo del límite máximo de 2000 mg.L⁻¹ recomendado para bovinos (Grant, 1996; Jones, 2000).

Respecto del As, en general, el acuífero está formado por una secuencia sedimentaria con predominio de loess, de edad cuaternaria, con niveles de calcretas y depósitos volcánicos piroclásticos de composición riolítica-dacítica intercalados. El As procede de la desorción de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn en un medio de pH alto y está ligado al desarrollo de condiciones oxidantes. La mayor parte del As en el agua se encuentra como As(V). El pH, por lo general, está entre 7 y 8.7. La salinidad es alta y la concentración de As se correlaciona con el contenido de F, V, HCO₃⁻, B y Mo (Nicolli et al., 1989).

En el agua proveniente de la capa freática, la concentración de As varió entre 20 µg.L⁻¹ y 4600 µg.L⁻¹. Considerando los niveles hallados, un 78% de las muestras superó el nivel máximo propuesto para bebida animal según la literatura (150 µg.L⁻¹; NRC, 2005). En las muestras provenientes de pozos semisurgentes, la concentración de As estuvo entre 50 µg.L⁻¹ y 100 µg.L⁻¹, obteniéndose menor variabilidad en los niveles hallados que se encuentran dentro de los límites de seguridad considerados para agua de bebida de bovinos. De acuerdo con los resultados obtenidos, no se observaron variaciones significativas en la concentración de As hallada en agua subterránea en diferentes relevamientos realizados entre los años 2002 y 2004 en las perforaciones que proveen agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera de la zona de estudio mencionada (Pérez-Carrera & Fernández Cirelli, 2004; Pérez Carrera et al., 2005, 2007, 2008).

Entre los resultados obtenidos, se destacan los niveles de V hallados en las muestras provenientes de la capa freática. La concentración de V en las muestras de agua provenientes de la capa freática estuvo

entre 30 y 2710 µg.L⁻¹; mientras que en el agua proveniente de pozos semisurgentes la concentración estuvo entre < 10 y 469 µg.L⁻¹. La información acerca de los efectos del vanadio sobre la salud de los bovinos y la transferencia a productos de consumo humano es escasa (Gummow et al., 2005). Sin embargo, existen límites máximos recomendados (100 µg.L⁻¹) a nivel nacional e internacional para este elemento (Ley 24051; NRC, 2005). La concentración de V en un 80% de las muestras de agua provenientes de la capa freática estuvo por encima del límite máximo recomendado para agua de bebida de bovinos; mientras que sólo el 20% de las muestras provenientes de pozos semisurgentes superaron este valor.

En el caso del agua superficial, los niveles de As en las muestras provenientes del río Tercero estuvieron comprendidos entre < 10 µg.L⁻¹ (límite de detección de la técnica utilizada) y 20 µg.L⁻¹. En el agua proveniente de los arroyos muestreados, se registraron niveles de As más elevados, 460 µg.L⁻¹ en el arroyo Las Saladas y 379 µg.L⁻¹ en el arroyo Segundo.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, el contenido de sólidos totales disueltos fue superior en las muestras de agua subterránea provenientes de la capa freática donde un 40% resultó con niveles de salinidad que podrían producir efectos sanitarios en bovinos de producción lechera no acostumbrados a beber agua con esos tenores salinos. Además, considerando los otros parámetros analizados, las muestras provenientes de la capa freática resultaron las de peor calidad para bebida humana o animal.

Los niveles de arsénico hallados en agua subterránea fueron extremadamente variables. Las mayores concentraciones se registraron en las muestras provenientes de la capa freática donde la totalidad estuvo por encima del límite máximo permitido por el Código Alimentario Argentino para agua de bebida humana ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) y un 78% superó el límite máximo recomendado en agua de bebida para producción bovina ($150 \mu\text{g.L}^{-1}$). Los niveles registrados no mostraron diferencias significativas respecto de los determinados en campañas de muestreo realizadas previamente, lo que demuestra que los niveles se mantienen poco variables en el tiempo, en la medida que no se produzcan modificaciones en el uso del recurso o aumentos de la extracción de agua. Es importante mencionar que en la zona de estudio, el principal uso del agua subterránea es el abastecimiento de agua de bebida animal en los sistemas ganaderos, mientras que la práctica del riego, que podría ocasionar mayor presión sobre los acuíferos, se encuentra muy poco extendida.

En el caso del V, la información disponible en la literatura acerca de su presencia y distribución en Argentina, así como su potencial impacto sobre la salud y producción del ganado es muy escasa. Los niveles hallados en las muestras provenientes de la capa freática superaron, en la mayoría de los casos, los niveles recomendados para agua de bebida de bovinos a nivel nacional e internacional.

En agua superficial, fueron notorios los niveles de arsénico registrados en el agua de los arroyos Segundo y Las Saladas, mientras que en el río Tercero los niveles fueron bajos en todos los puntos de muestreo. Es importante destacar que el abastecimiento de agua a la ciudad de Bell Ville, principal núcleo urbano, proviene del río Tercero, donde los niveles de arsénico registrados estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$) en un 80% de las muestras analizadas.

Es necesario tener en cuenta que la mayor parte de los afectados por la presencia de As en aguas para bebida y

cocción de alimentos habitan en regiones rurales o se encuentran en poblaciones remotas y alejadas, en condiciones socio-económicas que impiden la instalación de grandes plantas de tratamiento, hecho que agrava la magnitud del problema. En estos casos debería analizarse especialmente la posibilidad de utilizar fuentes de agua alternativas donde una de las opciones más económicas para obtener agua de buena calidad es la colecta de agua de lluvia.

De acuerdo a las consideraciones realizadas, es importante destacar la necesidad de generar información acerca de la distribución y movilidad del arsénico en aguas y suelos, transferencia a través de la cadena alimenticia, efectos sobre la salud, evaluación de impacto y riesgo ambiental y desarrollo de tecnologías económicas para la remoción del As del agua a escala doméstica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (American Public Health Association). 1993. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC: 874 p
- Bhattacharya P, Claesson M, Bundschuh J, Sracek O, Fagerberg J, Jacks G, Martin R, Storniolo A & Thir JM. 2006. Distribution and mobility of arsenic in the Río Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina. *Science of the Total Environment*, 358: 97- 120
- Biagini R, Salvador M, Queiro R, Torres Soruco C, Biagini M & Diez Barrantes A. 1995. HACRE, casos diagnosticados en el período 1972/1993. *Archivo Argentino de Dermatología*, 45: 47-52
- Boyle D, Turner R & Hall G. 1998. Anomalous arsenic concentrations in groundwaters of an island community, Bowen Island, British Columbia. *Environmental Geochemistry and Health*, 20: 199-212
- Bundschuh J, Nicolli H, Blanco M del C, Blarasin M, Farías S Cumbal L, Pérez Carrera A, Fernández Cirelli A, Cornejo L, Guerequiz R, García ME, Quintanilla J, Deschamps, E, Viola Z & Castro de Esparza ML. 2008. Distribución de arsénico en la región Sudamericana. Cap 7: 137-185 En: Bundschuh J, Pérez Carrera A & Litter M (eds) *Distribución de arsénico en las Regiones Ibérica e Iberoamericana*. Publicación CYTED: 230 p
- Cabrera A, Blarasin M & Villalba G. 2001. Groundwater contaminated with arsenic and fluoride in the Argentine pampean plain. *Journal of Environmental Hydrology*, 9: 6-12
- Código Alimentario Argentino (CAA). 2007. Artículo 982, Agua Potable. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada, Actualizado 2007. www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp
- Farías SS, Casa V, Vázquez C, Ferpozzi L, Pucci G & Cohen I. 2003. Natural contamination with arsenic and other trace elements in ground waters of Argentine Pampean Plain. *The Science of the Total Environment*, 309: 187-199
- Giménez MC, Benitez ME, Osicka RM & Garro OA. 2000. Determinación de arsénico total en aguas subterráneas del departamento Comandante Fernández (Chaco, Argentina). *Revista de Información Tecnológica*, 11 (2): 19-22

- González D, Ferrúa N, Cid J, Sansone G & Jiménez I. 2003. Arsénico en aguas de San Luis (Argentina). Uso de un equipo alternativo Al De Gutzeit modificado. *Acta Toxicológica Argentina*, 11 (1): 3-6
- Grant R. 1996. Water quality and requirements for dairy cattle. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska. Disponible en: <http://ianrpubs.unl.edu/dairy>
- Gummow B, Botha C, Noordhuizen J & Heesterbeek J. 2005. The public health implications of farming cattle in areas with high background concentrations of vanadium. *Preventive Veterinary Medicine*, 72: 281-290
- Hem J. 1985. *Study and interpretation of chemical characteristics of natural water*. 3rd Ed. US Geological Survey, Water Supply paper 2254: 264 p
- INA (Instituto Nacional del Agua y el Ambiente). 2000. *Reporte de datos de calidad de agua*. Comité Intergubernamental Coordinador de los países de la Cuenca del Plata. Buenos Aires, Argentina Disponible en: <http://www.pnuma.org/agua-miaac>
- Jones G. 2000. Abundant good quality water and milk production. *The Virginia Dairyman*, 64:7, 16-18
- Ley 24051, Régimen de Desechos Peligrosos. Decreto Nacional 831/93, Reglamentación de la Ley 24051, Argentina
- NRC (National Research Council). 2005. *Mineral Tolerance of Animals*. 2nd Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. The National Academies Press, Washington, DC: 495 p
- Nicolli H, Suriano J, Gomez Peral M, Ferpozzi L & Baleani O. 1989. Groundwater Contamination with Arsenic and other Trace Elements in an Area of the Pampa, Province of Córdoba, Argentina. *Environmental Geology Water Science*, 14 (1): 3-16
- Nicolli H, Smedley P & Tulio J. 1997. Aguas subterráneas con altos contenidos de F, As, Se y otros oligoelementos en el norte de la provincia de La Pampa. *Actas Congreso Internacional de Aguas, Buenos Aires, Argentina*, III:40
- Paoloni JD, Fiorentino CA, Sequeira ME & Echeverría N. 1999. Detección y mapeo de arsénico en aguas subterráneas regionales. *Archivo Argentino de Dermatología*, 49: 121-123

- Pérez Carrera A & Fernández Cirelli A. 2004. Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Bell Ville, Pcia. de Córdoba). *Revista Investigación Veterinaria*, 6: 51-59
- Pérez Carrera A & Fernández Cirelli A. 2005. Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina. Preliminary results. *Journal of Dairy Research*, 72: 122-124
- Pérez Carrera A, Moscuza C, Grassi D & Fernández Cirelli A. 2007. Composición mineral del agua de bebida en sistemas de producción lechera (Córdoba, Argentina). *Revista Veterinaria México*, 38 (2): 153-164
- Pérez Carrera A, Moscuza C & Fernández Cirelli A. 2008. Transfer of arsenic from contaminated dairy cattle drinking water to milk (Córdoba, Argentina). P 419-424 En: Bundschuh J, Armienta MA, Bhattacharya P, Matschullat J & Mukherjee AB (eds.) *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. Arsenic in the environment*. Taylor & Francis/Balkema. Leiden, The Netherlands: 782 p
- Pinedo M & Zigarán A. 1998. Hidroarsenicismo en la Provincia de Córdoba, Actualización del mapa de Riesgo e Incidencia. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Lima, Perú. www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/peru/argsam024.pdf
- Smedley P & Kinniburgh D. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17: 517-568
- Trelles R, Larghi A & Páez J. 1970. *El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana con contenidos elevados de arsénico, vanadio y flúor*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Instituto de Ingeniería Sanitaria, publicación N°4: 96 p
- UN (United Nations). 2001. *Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water*. UN, Geneva: 390 p