

Estudio preliminar del contenido de arsénico de las aguas subterráneas del suroeste de Uruguay

Preliminary study on arsenic contents in groundwater from Southwestern Uruguay

A. Manganelli ⁽¹⁾, C. Goso ⁽¹⁾, R. Guerequiz ⁽¹⁾, J.L. Fernández Turiel ⁽²⁾, M. García Vallès ⁽³⁾, D. Gimeno ⁽³⁾

⁽¹⁾ Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. veral@adinet.com.uy

⁽²⁾ Instituto J. Almera, CSIC, Barcelona, España. jlfernandez@ija.csic.es

⁽³⁾ Facultad de Geología, Univ. Barcelona, Barcelona, España. maitegarciavalles@ub.edu, domingo.gimeno@ub.edu,

ABSTRACT

This work presents new results on the arsenic distribution in the groundwater from the SW of Uruguay. This preliminary study is based in 28 samples from the Aquifer Systems Chuy, Raigón and Mercedes. The arsenic concentrations observed exceed some thresholds of the Uruguayan and other (e.g., WHO) regulations of water quality. The median, maximum and minimum determined have been 16.9, 58.0 and 0.1 µg/l, respectively). There is a horizontal and vertical variation of the concentrations considering all together the studied aquifers and also within them. The higher values have been observed in the Mercedes Aquifer in areas near the Uruguay River.

Key words: arsenic, water, groundwater, Uruguay

Geogaceta, 41 (2007), 3-6
ISSN: 0213683X

Introducción

El arsénico en agua ha devenido de gran interés en el último decenio debido a que millones de personas se hallan expuestas a la ingestión de aguas con elevadas concentraciones de este elemento en extensas áreas del mundo y, además, los estudios epidemiológicos muestran que los potenciales riesgos para la salud de la exposición a arsénico natural en agua de consumo son graves (WHO, 2004). La acumulación de evidencias de los efectos toxicológicos crónicos de la ingestión de arsénico a través del agua de bebida ha llevado a rebajar progresivamente el umbral máximo de la concentración de arsénico en aguas destinadas a consumo humano. En Argentina y Chile este umbral se sitúa en 50 µg/l de arsénico (Código Alimentario Argentino de 1994; Norma Chilena Oficial 409/1 de 1984). Este umbral se intenta disminuir a 10 µg/l de arsénico, tal y como fija la Unión Europea (Directiva 98/83/CE, EU, 1998), recomienda la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004), y tiene propuesto como «Maximum Contaminant Level Goal» (MCLG) a partir de enero de 2006 la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA, 2006). Las implicaciones económicas que supone lograr que un agua tenga una concentración de arsénico aceptable según estas normas en amplios territorios ha abierto un impor-

ante debate sobre el nivel a fijar en los distintos países afectados (Smith y Smith, 2004; Hernández *et al.*, 2005).

En Sudamérica esta problemática está siendo afrontada en Argentina, Chile, Bolivia y Perú (Fernández Turiel *et al.*, 2005). En Argentina se ha observado que la zona afectada, en mayor o menor grado, es todo el centro y norte del país desde los Andes al Río Paraná. En Uruguay no se dispone de información sistemática sobre el alcance de la problemática del arsénico en aguas (CSC, 2004). No obstante, en forma genérica se ha citado la presencia de elevadas concentraciones de este elemento en acuíferos del Sur del país y su origen se lo ha relacionado con la presencia de cenizas volcánicas en sedimentos cuaternarios (Montaño *et al.*, 2006).

La gestión de los recursos hídricos de Uruguay es de competencia estatal tal y como se recoge en el Artículo 47 de la Constitución. Por su parte, el Código de Aguas (Decreto-Ley 14.859) establece el régimen jurídico de las aguas uruguayas. A fin y efecto de prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas, el Decreto 253/79 (con las modificaciones de los Decretos 232/88, 698/89 y 195/91 incluidas) establece las concentraciones máximas de arsénico admisibles para los cursos o cuerpos de agua atendiendo a su clasificación en cuatro clases según sus usos preponderantes actuales o potenciales (DINAMA, 2006):

- ♦ Clase 1. Aguas destinadas o que puedan ser destinadas al abastecimiento de agua potable a poblaciones con tratamiento convencional. Concentración máxima: 0,005 mg/l de arsénico.
- ♦ Clase 2a. Aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural, cuando éstas son usadas a través de sistemas de riego que provocan el mojado del producto. Concentración máxima: 0,05 mg/l de arsénico.
- ♦ Clase 2b. Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano. Concentración máxima: 0,005 mg/l de arsénico.
- ♦ Clase 3. Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyo producto no se consume en forma natural o en aquellos casos que siendo consumidos en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto. Concentración máxima: 0,005 mg/l de arsénico.
- ♦ Clase 4. Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una

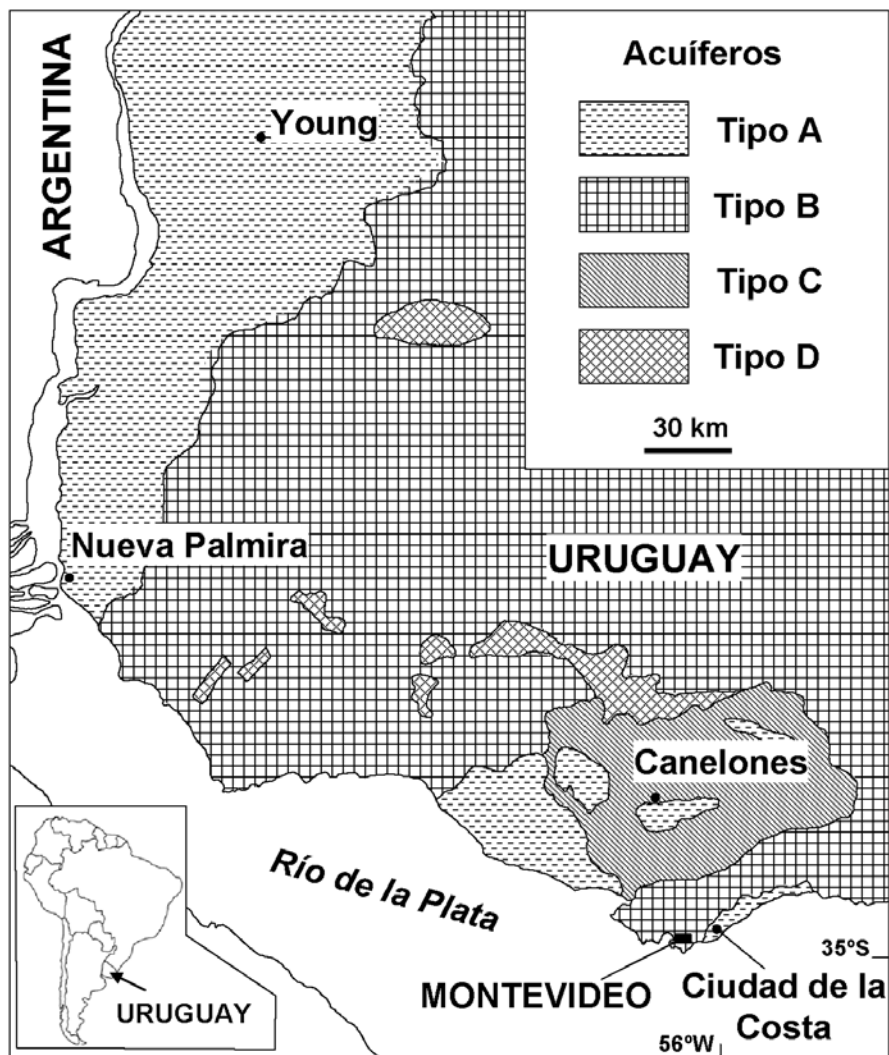


Fig. 1.- Situación del área estudiada en el contexto hidrogeológico del SO de Uruguay. (Heinzen *et al.*, 2003). Acuiferos Tipo A, acuiferos en sedimentos consolidados y no consolidados con porosidad intersticial; Tipo B, acuiferos en rocas con porosidad por fracturas y/o niveles de alteración o disolución kárstica; Tipo C, acuiferos en rocas con porosidad intersticial o por fracturas de limitada amplitud; Tipo D, acuiferos prácticamente improductivos en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias pelíticas.

Fig. 1.- Location of the study area in hydrogeological setting of the SW of Uruguay (Heinzen *et al.*, 2003). Aquifers Type A, aquifers in consolidated and unconsolidated sediments with interstitial porosity; Type B, aquifers in rocks with porosity by fractures and/or alteration or karstic dissolution levels; Type C, aquifers in rocks with interstitial porosity or small fractures; Type D, aquifers practically unproductive in igneous and metamorphic rocks, and pelitic sediments.

armonía con el medio, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma. Concentración máxima: 0,1 mg/l de arsénico.

La explotación de los recursos hídricos uruguayos se ha basado en los superficiales y los subterráneos, si bien el uso de estos últimos comenzó a ser preponderante a partir de los años cincuenta del siglo XX. Esta tendencia se ha visto potenciada por la demanda de los sectores hortifrutícola y lechero, así como por la facilidad de realizar perforaciones más profundas a partir del decenio de los ochenta.

El objetivo de este trabajo es presentar los primeros datos sobre las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas de diferentes acuiferos del suroeste de Uruguay. Esta información es completamente novedosa ya que no hay datos previos sistemáticos al respecto.

Marco geográfico y geológico

Los acuiferos muestreados se encuentran en el suroeste de Uruguay. El relieve es ondulado con suaves pendientes hacia el Río Uruguay al Oeste y el Río de la Plata al Sur. La altura sobre el nivel de mar está situada por debajo de los 90 m. El clima de

Uruguay es templado y húmedo, con precipitaciones a lo largo de todo el año y temperaturas máximas excediendo los 22°C (tipo Cfa en la clasificación de Köppen) (DINAME, 2006). La red hidrográfica vierte sus aguas al Río Uruguay y al Río de la Plata y forma parte de las cuencas del Río Negro, del Río Uruguay, del Río Santa Lucía y del Río de la Plata.

Para cubrir el abanico de posibilidades que ofrece la hidrogeología del suroeste de Uruguay se han seleccionado tres áreas geográficas en las que se explotan aguas de los acuiferos más representativos de esta zona del país (Fig. 1). Esta selección está enfocada a tratar de tener una primera aproximación de la distribución horizontal (geográfica) y vertical (perfil geológico) del arsénico en las aguas subterráneas. Las áreas 1 (Ciudad de la Costa) y 2 (zona de Libertad - Canelones - Tala) se encuentran al Sur y Oeste de la Provincia Hidrogeológica Costera, mientras que el área 3 (zona de Nueva Palmira - Young) forman parte de la Provincia Hidrogeológica Paranaense (Heinzen *et al.*, 1986; Montaña *et al.*, 2006).

La cobertura geográfica abarcada permite aproximarse al conocimiento preliminar de los Sistemas Acuiferos Chuy, Raigón y Mercedes.

Sistema Acuífero Chuy. La Formación Chuy (Goso 1972), de edad pleistocena, está compuesta por un conjunto variado de sedimentos clásticos, que marcan la sedimentación litoral en tres momentos interglaciales cuaternarios en prácticamente toda la faja costera uruguaya. El espesor máximo de estos ciclos transgresivos cuaternarios llega a los 60 metros.

Sistema Acuífero Raigón. La Formación Raigón (Bossi 1966), Plio-Pleistoceno, está integrada por una amplia variedad litofaciológica compuesta por conglomerados, arenas y pelitas arcillosas que materializan la sedimentación finiterciaria de un sistema fluvio-aluvial y deltaico y se localiza principalmente en el sector centro-sur de Uruguay en la Cuenca de Santa Lucía. El espesor de esta formación no supera algunas decenas de metros. Dada la variabilidad lateral de facies en la Formación Raigón, se han diferenciado aquellos pozos perforados en las partes más proximales (con mayor influencia fluvial) y más distales (con predominio del carácter deltaico) del ambiente deposicional. Así, se han separado los pozos del Departamento de Canelones (ambiente proximal) de los del Departamento de San José (ambiente más distal).

Sistema Acuífero Mercedes. La Formación Mercedes (Goso y Perea, 2003), Cretácico

| Sistema Acuífero | No. Muestra | T °C | pH | CE µS/cm | As µg/l |
|------------------------|-------------|------|------|----------|---------|
| Chuy | 14 | 21.5 | 7.52 | 306 | 20.6 |
| Chuy | 21 | 21 | 7.20 | 946 | 0.1 |
| Chuy | 22 | 21.5 | 9.13 | 220 | 41.1 |
| Raigón SJ | 2 | 19.2 | 7.42 | 765 | 17.0 |
| Raigón SJ | 5 | 16.8 | 8.00 | 936 | 17.6 |
| Raigón SJ | 4 | 17.7 | 7.66 | 907 | 16.8 |
| Raigón SJ | 3 | 18.2 | 7.84 | 1099 | 18.9 |
| Raigón SJ | 6 | 18.3 | 7.82 | 1247 | 17.4 |
| Raigón SJ | 7 | 17.6 | 7.40 | 717 | 14.3 |
| Raigón SJ | 29 | 22.5 | 7.27 | 1581 | 13.5 |
| Raigón SJ | 1 | 19.3 | 7.04 | 774 | 16.3 |
| Raigón C | 12 | 19.7 | 7.76 | 419 | 3.1 |
| Raigón C | 13 | 21.5 | 7.94 | 1080 | 8.7 |
| Raigón C | 9 | 21.4 | 7.97 | 663 | 10.4 |
| Raigón C | 8 | 22.8 | 7.81 | 930 | 10.7 |
| Raigón C | 10 | 22.5 | 7.43 | 1132 | 3.4 |
| Raigón C | 11 | 21 | 8.13 | 944 | 11.8 |
| Mercedes-Nueva Palmira | 15 | 21.1 | 7.86 | 755 | 10.5 |
| Mercedes-Nueva Palmira | 18 | 19.6 | 8.07 | 738 | 58.0 |
| Mercedes-Nueva Palmira | 19 | 21.2 | 8.61 | 780 | 29.1 |
| Mercedes-Nueva Palmira | 20 | 22 | 7.68 | 658 | 34.9 |
| Mercedes-Nueva Palmira | 16 | 19.5 | 8.13 | 950 | 50.4 |
| Mercedes-Young | 23 | 17.1 | 7.44 | 654 | 9.9 |
| Mercedes-Young | 24 | 18.1 | 7.18 | 1569 | 21.9 |
| Mercedes-Young | 25 | 12.5 | 7.4 | 661 | 21.7 |
| Mercedes-Young | 26 | 17.4 | 7.48 | 475 | 11.8 |
| Mercedes-Young | 27 | 16.2 | 7.44 | 669 | 23.0 |
| Mercedes-Young | 28 | | | 620 | 18.1 |

Tabla I.- Acuíferos, parámetros de campo y concentración de As de las muestras de aguas estudiadas.

Table I.- Aquifers, field parameters and As concentration of the studied samples.

Superior, está integrada principalmente por litologías conglomerádicas y areniscas de gruesas a finas y, subordinadamente, por pelitas arcillosas, que representan la sedimentación neocretácica continental y que coronan la secuencia Mesozoica en las cuencas uruguayas. Esta sedimentación presenta espesores máximos cercanos a los 100 m. Debido a la gran extensión areal del Sistema Acuífero Mercedes se seleccionaron dos zonas de estudio, una de ellas en la ribera del Río Uruguay y otra hacia el interior, en los alrededores de las ciudades de Nueva Palmira y Young, respectivamente.

Metodología

Se muestrearon 28 pozos en áreas rurales: 3 muestras corresponden al Sistema Acuífero Chuy en la Ciudad de la Costa, 14 muestras al Sistema Acuífero Raigón (8 en el Dpto. de San José y 6 en el Dpto. de Canelones) y 11 muestras al Sistema Acuífero Mercedes (5 se tomaron en los alrededores de Nueva Palmira y 5 cerca de Young). Las perforaciones muestreadas se usan para abastecimiento a la población rural, tanto para consumo humano como para las actividades agropecuarias.

En el campo se determinaron temperatura, pH y conductividad específica. Las muestras se acidificaron (1% HNO₃ v/v) para determinar los parámetros químicos mayoritarios y trazas mediante espectrometría de masas y de emisión óptica con fuentes de plasma acoplado por inducción (ICP-MS e ICP-OES): Na, K, Mg, Ca, SO₄²⁻, Cl⁻, Si, Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sr, Th, U, V y Zn (Fernández Turiel *et al.*, 2000a, 2000b).

Resultados y discusión

Las muestras de los sistemas acuíferos Chuy y Raigón muestran una variabilidad

composicional comprendida entre bicarbonatada sódica y clorurada sódica, con predominio de la primera y acentuada en el caso en un pozo cercano a la costa con indicios de intrusión del Río de la Plata (incrementos en las concentraciones de Cl, Na y Br). El pH del Sistema Acuífero Chuy es ligeramente inferior que el del Raigón y, dentro de este último, es mayor en las perforaciones que atraviesan los sedimentos de los ambientes deposicionales más proximales (medianas de 7,52, 7,54 y 7,88, respectivamente (Tablas 2 y 3). Los datos obtenidos sobre el Sistema Acuífero Chuy son concordantes con otros observados precedentemente (Almagro *et al.*, 1998). Por su parte, las aguas del área de Nueva Palmira del Sistema Acuífero Mercedes son bicarbonatadas sódicas, relativamente semejantes a las del acuífero Raigón, mientras que las de la zona de Young son bicarbonatadas cálcicas. Una de estas últimas es la excepción, ya que es sulfatada cálcica.

Si se comparan los resultados obtenidos con los valores recogidos en el Decreto 253/79 (con las modificaciones de los Decretos

232/88, 698/89 y 195/91 incluídas) (DINAMA, 2006), se observa que existen casos puntuales en los que se superan los umbrales máximos de pH (9,13 en el Sistema Acuífero Chuy) y de Zn (1495 µg/l de Zn en el del acuífero Mercedes de Nueva Palmira) para todas las clases de uso consideradas. La interpretación de estos valores de pH suele ser controvertida y no será abordada en este trabajo. Los valores altos de Zn se relacionan con el deterioro de materiales zincados utilizados en la construcción de los pozos. Otro hecho a tener en cuenta dentro de esta casuística puntual, aunque no se recoge este parámetro en la normativa citada, es la presencia de pozos con elevadas concentraciones de Mn. Su origen se relaciona con la presencia de sedimentos depositados en ambientes de albufera reductores (Montaño *et al.*, 2006). En uno de los pozos del acuífero Chuy se han detectado 1191 µg/l de Mn.

La comparación con los valores indicados en el Decreto 253/79 muestra así mismo que las concentraciones de P total exceden, prácticamente de forma sistemática, el umbral indicado para las clases de uso del agua 1, 2a, 2b y 3, que es de 25 µg/l de P total. Otro tanto sucede con el elemento objeto de este artículo. En el caso del arsénico, sólo 3 muestras (de un total de 28) presentan concentraciones inferiores a 5 µg/l de As, lo que las hace viables para los usos de las clases 1, 2b y 3 (Tabla 1). Dos muestras superan los 50 µg/l de As lo que las inhabilita además para la clase de uso 2a (riego). En relación a otras normativas, sólo 5 muestras exhiben concentraciones inferiores a 10 µg/l de As (umbral recomendado por la OMS para el agua de consumo humano; WHO, 2004). Aplicando las normativas de países próximos, como Argentina y Chile, sólo 2 muestras no serían aptas para consumo humano al sobrepasar el umbral de 50 µg/l de As.

Tabla II.- Comparativa estadística de las composiciones de los sistemas acuíferos Chuy y Raigón. En este último se han distinguido las muestras del Dpto. de San José (Raigón SJ) y las del Dpto. de Canelones (Raigón C).

Table II.- Statistical comparison between the aquifer systems Chuy and Raigón. Samples from San José Department and Canelones Department have been separated in the latter.

| Parámetro | Unid. | Chuy (n=3) | | | Raigón SJ (n=8) | | | Raigón C (n=6) | | |
|------------------|-------|------------|--------|-------|-----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | | mediana | máx | min | mediana | máximo | minimo | mediana | máximo | minimo |
| T | °C | 21.5 | 21.5 | 21.0 | 18.25 | 22.50 | 16.80 | 21.45 | 22.80 | 19.70 |
| pH | pH | 7.52 | 9.13 | 7.20 | 7.54 | 8.00 | 7.04 | 7.88 | 8.13 | 7.43 |
| CE | S/cm | 306 | 946 | 220 | 922 | 1581 | 717 | 937 | 1132 | 419 |
| Ca | mg/l | 27.1 | 55.6 | 7.6 | 57.0 | 63.0 | 17.7 | 60.4 | 79.8 | 26.8 |
| Mg | mg/l | 7.3 | 11.9 | 0.7 | 16.1 | 28.4 | 13.5 | 15.3 | 18.8 | 9.7 |
| Na | mg/l | 41.2 | 138.9 | 31.6 | 129.7 | 269.0 | 74.8 | 132.1 | 197.4 | 58.0 |
| K | mg/l | 3.0 | 10.3 | 2.5 | 5.3 | 6.3 | 3.6 | 2.4 | 5.1 | 1.8 |
| Si | mg/l | 27.0 | 28.7 | 16.8 | 34.8 | 40.4 | 33.6 | 35.8 | 38.8 | 19.8 |
| Cl | mg/l | 15.5 | 92.2 | 14.5 | 65.2 | 259.6 | 11.0 | 59.6 | 100.9 | 12.1 |
| SO ₄ | mg/l | 2.1 | 6.1 | 0.2 | 24.5 | 115.3 | 12.2 | 46.5 | 91.2 | 15.5 |
| HCO ₃ | mg/l | 177.6 | 455.4 | 108.2 | 497.9 | 563.0 | 326.2 | 455.4 | 545.9 | 247.2 |
| Al | µg/l | 3.9 | 4.9 | 0.4 | 1.0 | 1.6 | 0.6 | 0.6 | 2.8 | 0.2 |
| As | µg/l | 20.6 | 41.1 | 0.1 | 16.9 | 18.9 | 13.5 | 9.6 | 11.8 | 3.1 |
| B | µg/l | 96.8 | 236.8 | 64.3 | 197.0 | 311.6 | 112.1 | 145.7 | 316.8 | 57.6 |
| Ba | µg/l | 23.9 | 44.0 | 6.3 | 201.0 | 266.8 | 6.2 | 98.0 | 189.6 | 35.0 |
| Br | µg/l | 89.1 | 579.1 | 79.0 | 349.0 | 877.5 | 135.4 | 368.1 | 581.6 | 131.2 |
| Co | µg/l | 0.14 | 0.15 | 0.03 | 0.08 | 0.11 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.05 |
| Cr | µg/l | 0.6 | 21.7 | 0.1 | 2.7 | 3.1 | 1.1 | 2.1 | 3.9 | 1.6 |
| Cu | µg/l | 1.4 | 3.9 | 0.9 | 2.3 | 7.4 | 0.6 | 1.7 | 2.9 | 0.7 |
| Fe | µg/l | 8.5 | 15.0 | 0.9 | 4.3 | 8.1 | 0.8 | 2.3 | 4.7 | 0.6 |
| Li | µg/l | 2.2 | 4.6 | 2.1 | 16.3 | 27.5 | 13.3 | 13.3 | 18.4 | 8.6 |
| Mn | µg/l | 279.4 | 1191.0 | 2.8 | 0.3 | 1.3 | 0.1 | 0.4 | 3.8 | 0.2 |
| Mo | µg/l | 2.1 | 4.2 | 0.5 | 1.1 | 1.9 | 0.6 | 0.8 | 1.1 | 0.2 |
| Ni | µg/l | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.7 | 1.2 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.4 |
| P | µg/l | 88.2 | 845.9 | 7.4 | 52.9 | 101.6 | 32.3 | 28.4 | 70.4 | 11.7 |
| Pb | µg/l | 0.03 | 0.08 | 0.01 | 0.10 | 0.35 | 0.02 | 0.05 | 0.15 | 0.02 |
| Rb | µg/l | 3.51 | 4.38 | 1.48 | 1.43 | 2.07 | 0.49 | 1.19 | 1.35 | 0.13 |
| Sb | µg/l | 0.39 | 1.30 | 0.23 | 0.23 | 1.37 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.11 |
| Sr | µg/l | 149.5 | 369.8 | 27.7 | 465.7 | 547.9 | 77.8 | 512.8 | 639.2 | 225.7 |
| Th | µg/l | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.15 | < 0.01 | 0.06 | 0.22 | 0.03 |
| U | µg/l | 0.08 | 0.33 | 0.05 | 6.44 | 18.73 | 2.19 | 7.17 | 17.31 | 0.84 |
| V | µg/l | 6.1 | 96.6 | 1.9 | 47.3 | 55.1 | 35.9 | 33.4 | 56.9 | 13.8 |
| Zn | µg/l | 6.4 | 9.2 | 1.9 | 13.6 | 78.5 | 3.0 | 4.6 | 300.2 | 2.5 |

| Parámetro | Unid. | Mercedes-Nueva Palmira (n = 5) | | | Mercedes-Young (n = 6) | | |
|-----------|-------|--------------------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
| | | mediana | máximo | mínimo | mediana | máximo | mínimo |
| T | °C | 21.1 | 22.0 | 19.5 | 17.1 | 18.1 | 12.5 |
| pH | pH | 8.07 | 8.61 | 7.68 | 7.44 | 7.48 | 7.18 |
| CE | S/cm | 755 | 950 | 658 | 658 | 1569 | 475 |
| Ca | mg/l | 44.2 | 58.2 | 35.9 | 82.9 | 218.2 | 67.3 |
| Mg | mg/l | 9.9 | 20.6 | 7.0 | 15.1 | 19.3 | 7.8 |
| Na | mg/l | 131.4 | 157.2 | 69.4 | 41.0 | 108.8 | 13.3 |
| K | mg/l | 5.8 | 6.4 | 5.1 | 3.0 | 5.8 | 0.9 |
| Si | mg/l | 37.0 | 43.1 | 31.4 | 37.9 | 43.7 | 21.0 |
| Cl | mg/l | 13.9 | 58.3 | 7.9 | 9.7 | 111.9 | 4.6 |
| SO4 | mg/l | 15.2 | 32.4 | 4.6 | 11.6 | 423.5 | 5.3 |
| HCO3 | mg/l | 501.9 | 524.7 | 443.6 | 368.9 | 419.1 | 296.7 |
| Al | µg/l | 1.6 | 4.4 | 0.7 | 0.9 | 3.6 | 0.2 |
| As | µg/l | 34.9 | 58.0 | 10.5 | 19.9 | 23.0 | 9.9 |
| B | µg/l | 223.9 | 252.9 | 118.4 | 86.9 | 238.8 | 45.1 |
| Ba | µg/l | 187.4 | 339.0 | 90.3 | 267.7 | 760.6 | 13.0 |
| Br | µg/l | 105.2 | 162.3 | 82.4 | 85.7 | 404.1 | 44.5 |
| Co | µg/l | 0.09 | 0.12 | 0.08 | 0.13 | 0.21 | 0.11 |
| Cr | µg/l | 3.6 | 24.9 | 2.2 | 1.7 | 2.0 | 1.6 |
| Cu | µg/l | 2.3 | 23.3 | 0.7 | 2.8 | 5.7 | 1.1 |
| Fe | µg/l | 4.4 | 7.9 | 3.7 | 3.0 | 8.0 | 1.4 |
| Li | µg/l | 17.1 | 20.3 | 11.4 | 15.7 | 34.8 | 10.1 |
| Mn | µg/l | 2.1 | 15.6 | 0.3 | 0.4 | 2.5 | 0.1 |
| Mo | µg/l | 1.6 | 4.2 | 0.3 | 0.9 | 1.5 | 0.1 |
| Ni | µg/l | 1.1 | 1.8 | 0.6 | 1.4 | 3.1 | 0.6 |
| P | µg/l | 48.3 | 66.8 | 2.8 | 39.3 | 46.7 | 23.3 |
| Pb | µg/l | 0.15 | 1.16 | 0.01 | 0.11 | 0.27 | 0.02 |
| Rb | µg/l | 1.71 | 2.54 | 1.39 | 2.00 | 2.54 | 0.29 |
| Sb | µg/l | 0.14 | 2.50 | 0.09 | 0.88 | 0.93 | 0.60 |
| Sr | µg/l | 392.5 | 622.7 | 329.5 | 581.0 | 1389.6 | 428.0 |
| Th | µg/l | 0.01 | 0.03 | < 0.01 | 0.01 | 0.02 | < 0.01 |
| U | µg/l | 9.01 | 10.76 | 5.89 | 6.86 | 10.41 | 3.92 |
| V | µg/l | 84.0 | 122.6 | 34.6 | 68.9 | 105.0 | 30.1 |
| Zn | µg/l | 210.5 | 1495.0 | 100.7 | 17.2 | 67.0 | 6.3 |

Tabla III.- Comparativa estadística de las composiciones del Sistema Acuífero Mercedes en los alrededores de Nueva Palmira y Young.

Table III.- Statistical comparison between the samples from Nueva Palmira and Young in the Aquifer System of Mercedes.

En cuanto a la distribución por acuíferos, las muestras del Sistema Acuífero Mercedes son las más elevadas en general en concentración de As (Tablas 1 a 3), correspondiendo los valores más elevados a las perforaciones del área de Nueva Palmira. En el caso del Sistema Acuífero Raigón, se observa que las perforaciones sobre los sedimentos más distales (Dpto. San José) dan aguas con contenidos algo mayores en As que las que están sobre los sedimentos más proximales (Dpto. Canelones). Finalmente, dos de las muestras tomadas en el Sistema Acuífero Chuy contienen alrededor 20 y 40 µg/l, mientras que en la tercera prácticamente no se ha detectado.

Conclusiones

Los datos preliminares obtenidos sobre la calidad del agua subterránea de los acuíferos del suroeste de Uruguay ponen de manifiesto la presencia de concentraciones de arsénico significativas, tanto desde el punto de vista de la normativa uruguaya (Decreto 253/79 (con las modificaciones de los Decretos 232/88, 698/89 y 195/91 incluidas) (DINAMA, 2006), como de las regulaciones de la OMS para aguas de consumo humano. La mediana máximo y mínimo observados son 16.9, 58.0 y 0.1 µg/l, respectivamente; n = 28 muestras).

Se ha observado que existe variabilidad horizontal y vertical de la concentración, siendo la tendencia a mostrar los valores más elevados en el Sistema Acuífero Mercedes. En los sistemas acuíferos Chuy y Raigón el sentido de esta tendencia podría ir de la mano de una mayor influencia fluvio-marina en los sedimentos. Este aspecto deberá ser objeto de atención en posteriores estudios.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Cooperación entre la Universidad de la República de Uruguay y el CSIC de España (Ref. 2005UY0001). Agradecemos también el soporte técnico de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona, así como de M. Aulinas y F. Ruggieri. Este trabajo se realiza en el marco de los Grupos Consolidados de Investigación SGR-2005-795 PEGEFA (Petrología y Geoquímica Fundamental y Aplicada) y SGR-2005-00589 (Recursos Minerales), financiados por AGAUR-DURSI, Generalitat de Catalunya.

Referencias

Almagro, J., Custodio, E., Abellanda, D. (1998). En: *4º Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea*, 1, 374-390.

Bossi, J. (1966). *Geología del Uruguay*. Dpto. Pub. Univ. Rep., 469 pp.

CSC (Comisión Social Consultiva). (2004). *Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos en el Uruguay*. 197 pp. <http://www.rau.edu.uy/universidad/consultiva/informes/recursos1.pdf> [Consulta: 21/09/06].

DINAMA (Dirección Nacional de Medio ambiente) (2006). Decreto 253/79. http://www.dinama.gub.uy/descargas/decretos/Dec.253_79.pdf [Consulta: 21/09/06].

DINAME (Dirección Nacional de Meteorología) (2006). Información climatológica. http://www.meteorologia.com.uy/estadistica_climat.htm [Consulta: 21/09/06].

EU (European Union). (1998). Directive

98/83/CE relative to human drinking water quality, *Official Journal of European Communities L330*.

Fernandez-Turiel, J.L., Llorens, J.F., López-Vera, F., Gómez-Artola, C., Morell, I., Gimeno, D. (2000a). *Fresenius J. Anal. Chem.* 368, 601-606

Fernandez-Turiel, J.L., Llorens, J.F., Roig, A., Carnicero, M., Valero, F. (2000b). *Toxicological and Environmental Chemistry* 74, 87-103.

Fernández-Turiel J.L., Galindo G., Parada M.A., Gimeno D., García-Vallès M., Saavedra J. (2005). En: *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento* (G. Galindo, J.L. Fernandez-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno, Eds.). *II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino*. pp. 1-22.

Goso, C., Perea, D. (2003). En: *Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, Paleontología y recursos minerales. Mesozoico*. (G. Veroslavsky, M. Ubilla, S. Martínez, Eds.). DIRAC-Fac. Ciencias, 141 - 170.

Goso, H. (1972). *El Cuaternario uruguayo. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos*. Ed. Mimeogr., 12 pp.

Heinzen, W., Velozo, C., Carrión, R., Cardozo, L., Madracho H., Massa, E. (1986). *Carta Hidrogeológica del Uruguay. 1:200.000*. DINAMIGE, Montevideo.

Heinzen, W., Carrión, R., Massa, E., Pena, S., Stapff, M. (2003). *Mapa Hidrogeológico del Uruguay*. DINAMIGE. <http://www.dinamige.gub.uy/ch25.htm> [Consulta: 21/09/2006].

Hernández, M.A., González, N., Trovatto, M.M., Ceci, J. H., Hernández, L. (2005). En: *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento* (G. Galindo, J.L. Fernandez-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno, Eds.). *II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea - IV Congreso Hidrogeológico Argentino*. pp. 167-172.

Montaño, J., Gagliardi, S., Montaño, M. (2006). *Bol. Geol. Min.*, 117, 201-222.

Smith, A.H., Smith, M.M.H. (2004). *Toxicol.*, 198, 39-44.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), (2005), *List of Drinking Water Contaminants & MCLs*, February 23rd, 2005, <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html> [Consulta: 21/09/2006].

WHO (World Health Organization). 2004. *Guidelines for drinking-water quality*. Volume 1, Recommendations. Geneva. 3rd edition. 515 pp.