

EL ARSÉNICO EN LAS AGUAS TERMALES DEL SUR DE LA CUENCA DEL RÍO SALÍ, TUCUMÁN, ARGENTINA

G. GALINDO¹, J.L. FERNÁNDEZ-TURIEL², D. GIMENO³

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires - CONICET, Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Buenos Aires, Argentina. grigace@gl.fcen.uba.ar

²Instituto de Ciencias de la Tierra J. Almera, CSIC, Solé i Sabaris s/n, 08028 Barcelona, España

³Fac. de Geología, Universitat de Barcelona, Martí I Franquès s/n, 08028 Barcelona, España

Resumen

Se ha evaluado la distribución del arsénico en las aguas superficiales y subterráneas del sur de la cuenca del Río Salí en la Provincia de Tucumán, Argentina. Se muestrearon 47 pozos y 11 aguas superficiales. Existe una amplia variación composicional que va desde aguas superficiales y subterráneas de tipo bicarbonatado-cálcico a aguas subterráneas termales de tipo sulfatado-sódico. Se han modelado las interacciones entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas atermas y termales. La recarga subterránea se produce mediante aguas superficiales que se infiltran desde el W-SW y el N. Las concentraciones de arsénico varían entre 1 y 125 µg/l en las aguas superficiales y subterráneas. Un 24% de las muestras supera los 50 µg/l de As (umbral máximo del Código Alimentario Argentino de 1994); un 57% tiene entre 10 (valor máximo recomendado por la OMS para aguas destinadas a consumo humano) y 50 µg/l de As; y un 19% muestra concentraciones inferiores a 10 µg/l. Las concentraciones más elevadas se concentran en el campo geotérmico del borde oriental y meridional de la cuenca. El arsénico tiende a mostrar un comportamiento geoquímico conservativo, lo que de confirmarse podría convertirlo en un trazador de gran interés en los procesos hidrogeológicos regionales. No está correlacionado con Fe, Mn y Al. En cambio, tiende a mostrar una buena correlación con B, Mo y V. El origen del arsénico no está relacionado con la recarga actual de la cuenca. La reconstrucción paleogeográfica y, particularmente, la paleohidrológica durante el Holoceno serán claves en la constatación del origen del arsénico no sólo en la cuenca estudiada sino en toda la Llanura Chaco-Pampeana.

Palabras claves: arsénico, campo geotérmico, Tucumán, Argentina

Abstract

Forty-seven wells and 11 surface waters were sampled to analyze the arsenic distribution in the Sali river southern watershed (Tucuman Province, Argentina). Water composition varies from bicarbonate-calcium type in surface and athermal groundwater to sulfate-sodium type in thermal groundwater. Interactions among surface and athermal and thermal groundwater have been modeled. Surface waters from W-SW and N recharge the basin aquifers. Arsenic concentration ranges between 1 and 125 µg/l in surface and groundwater. A 24% of samples exceeds 50 µg/l of As (Argentinean standard for drinking water), 57% is between 10 (maximum value in drinking water recommended by WHO) and 50 µg/l, and 19% shows concentrations lower than 10 µg/l. Higher concentrations occur in the geothermal field located in the eastern and southern basin borders. Arsenic seems to show a conservative geochemical behavior. The confirmation of such feature could result in a very interesting regional hydrogeological tracer. Arsenic is not correlated to Fe, Mn and Al. However, it is correlated to B, Mo and V. Arsenic source is unrelated to present recharge basin pathways. The paleogeographical and, particularly, paleohydrological Holocene reconstruction seem to be key factors to understand the arsenic source not only for the study basin but also for the Chaco-Pampean Plain.

Keywords: arsenic, geothermal field, Tucuman, Argentina

INTRODUCCIÓN

El área estudiada de la Llanura Oriental tucumana se ubica aproximadamente entre los 27°10'-27°50'S y 64°50'-65°40'W. Es una depresión estructural rellena con una secuencia sedimentaria cenozoica de gran espesor (Pomposiello et al., 2000) y forma parte de la cuenca hidrográfica del río Salí (Tineo, 1987; Tineo et al., 1998). Está limitada al oeste por el sistema del Aconquija (5500 m); al este por la sierra de Guasayán (600 m) en la provincia de Santiago del Estero y en el sudoeste y sur por las Sierras del Sudoeste y el macizo de Ancasti, provincia de Catamarca; todas pertenecientes al Sistema de las Sierras Pampeanas (Fig. 1). En la parte sur de esta planicie se ubica un campo geotérmico de baja temperatura (30-50°C) en el que existen un gran número de pozos semisurgentes y surgentes en un área de alrededor de 3200 km² (Stappenbeck, 1915; Iglesias et al., 1989, 1990; Vergara et al., 1998; SEGEMAR, 2000). El clima en la llanura es templado y la temperatura anual promedio es de 19° C. La precipitación disminuye gradualmente hacia el SE desde 1200 mm/año en las sierras a 500 mm/año en el área de Río Hondo.

El conocimiento de la estratigrafía de la cuenca sedimentaria está basado en la información suministrada por estudios geofísicos, perforaciones y la observación de las unidades aflorantes en los bordes de cuenca. Sobre un basamento ígneo-metamórfico del Precámbrico-Paleozoico inferior, se disponen discordantemente secuencias marinas y lacustres del Mioceno. La información de perforaciones y geofísica (Pomposiello et al., 2002) permite inferir que los sedimentos Miocenos se encuentran entre 700 y 2500 m de profundidad. Se trata de limos y arcillas de color rojizo con importantes secuencias evaporíticas (halita, yeso y sulfato de sodio) y de limolitas verdes y margas gris verdosas (Bossi y Gavriloff, 1998). Los sedimentos Miocenos albergan el Acuífero Salado o Inferior. Sobre estos materiales se han depositado arenas cuarzosas y arcillas pardo rojizas a pardo amarillentas de origen fluvial, con un espesor variable de 350 a 700 m y edad Pliocena. Estas series Pliocenas alojan el Acuífero Termal Surgente, con temperaturas entre 30 °C y 50 °C. Durante el Cuaternario se desarrollaron grandes conos aluviales, provenientes de las sierras del oeste y sudeste. Los materiales Pleistocenos son limo-arcillosos, loessoides, rojizos a pardo rojizos, con espesores entre 200 y 400 m e incluyen acuíferos de buena calidad. Los sedimentos Holocenos están constituidos por arcillas parduzcas con arenas, gravas cuarzo-líticas, con un espesor de 150 m, contiene acuíferos de excelentes caudales y calidad. Esta cuenca hidrográfica cuenta con una densa red de ríos y arroyos permanentes que drenan hacia el Embalse de Río Hondo (Galindo et al., 2001; Fernández-Turiel et al., 2003). En cambio, en la zona más baja de la llanura los drenajes son más deficientes por la escasa pendiente. El extremo sur de la cuenca recibe los aportes de los ríos Huacra-San Francisco, El Abra y Ovanta, que nacen en territorio catamarqueño y forman importantes depósitos de abanicos aluviales (Tineo et al., 1998).

La recarga se produce en las sierras por la infiltración de las precipitaciones (lluvia y nieve). Las aguas subterráneas circulan en dos direcciones preferenciales de oeste-este y sudoeste-noreste; mientras que la descarga se produce mediante las perforaciones con niveles positivos. El agua meteórica que alimenta la cuenca artesiana desciende hasta alcanzar niveles profundos, en donde se mezcla con fluidos calientes que se mueven a lo largo de fallas por encima de la fuente de calor regional. La anomalía térmica regional se relaciona con un adelgazamiento de la corteza sin volcanismo (Pomposiello et al., 2000). En estas condiciones, el agua se energiza por la alta presión y temperatura e interacciona con las rocas del relleno sedimentarios de la cuenca. El resultado son fluidos que pueden llegar a alcanzar 135 °C.

El objetivo de este trabajo es evaluar las aguas superficiales y subterráneas del Sur de la cuenca del Río Salí respecto al arsénico para determinar los factores que controlan su distribución.

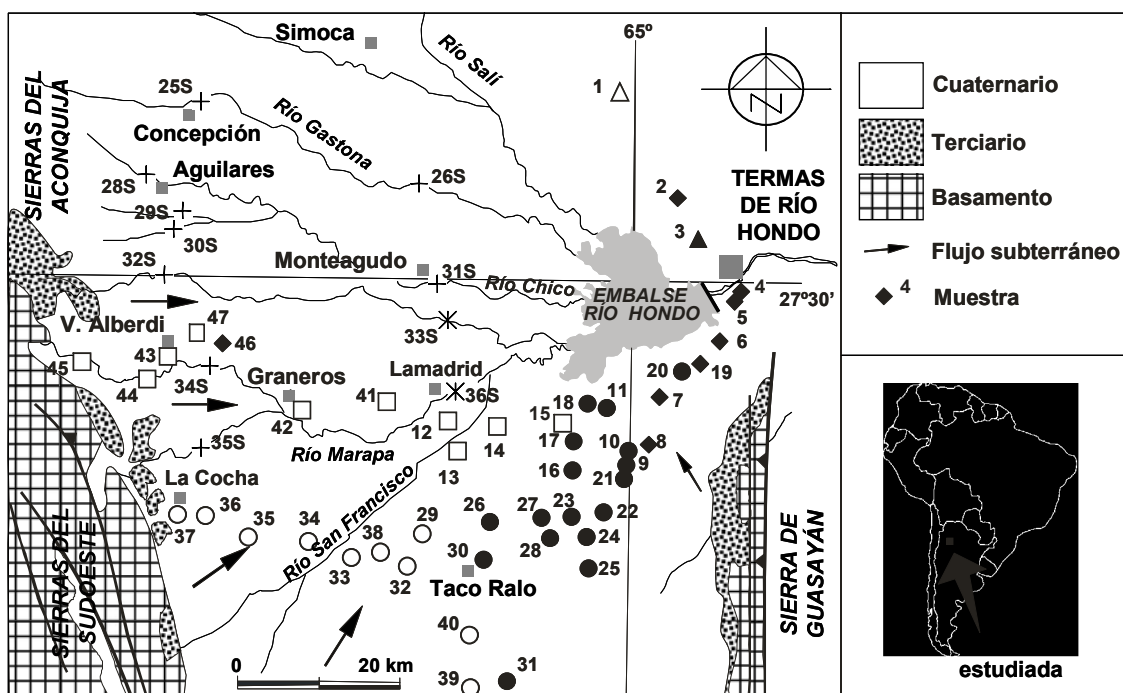


Figura 1. Área estudiada. Los símbolos de las muestras se explican en la Figura 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon 47 perforaciones en áreas rurales y urbanas y 11 muestras de aguas superficiales (Fig. 1). Estas aguas 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. Los parámetros químicos mayoritarios y trazas se determinaron mediante espectrometría de masas y de emisión óptica con fuentes de plasma acoplado por inducción (ICP-MS e ICP-OES) y potenciometría de electrodos específicos: Ca, Mg, Na, K, Si, Cl, SO_4 , HCO_3 , Li, Be, B, Al, P, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th y U. Asimismo se determinaron en las aguas subterráneas los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ por espectrometría de masas de relaciones isotópicas.

En este trabajo se adoptó el criterio de agua termal indicado en el Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina (SEGEMAR, 2000), donde se entiende por agua termal “aquella que emerge de la superficie de la Tierra a una temperatura que supera en 10 °C como mínimo a la temperatura media anual de la comarca en la que halla situada”. Siguiendo este criterio, en el área estudiada las aguas termales son todas aquellas cuya temperatura sea superior a 29 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al observar en su conjunto la composición de las aguas muestreadas en el diagrama $[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)]$ vs. $[(\text{HCO}_3^-) - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})]$ de Chadha (1999) (Fig. 2), lo primero que se constata es una amplia variación composicional que va desde aguas superficiales y subterráneas de tipo bicarbonatado-cálcico a aguas subterráneas termales de tipo sulfatado-sódico.

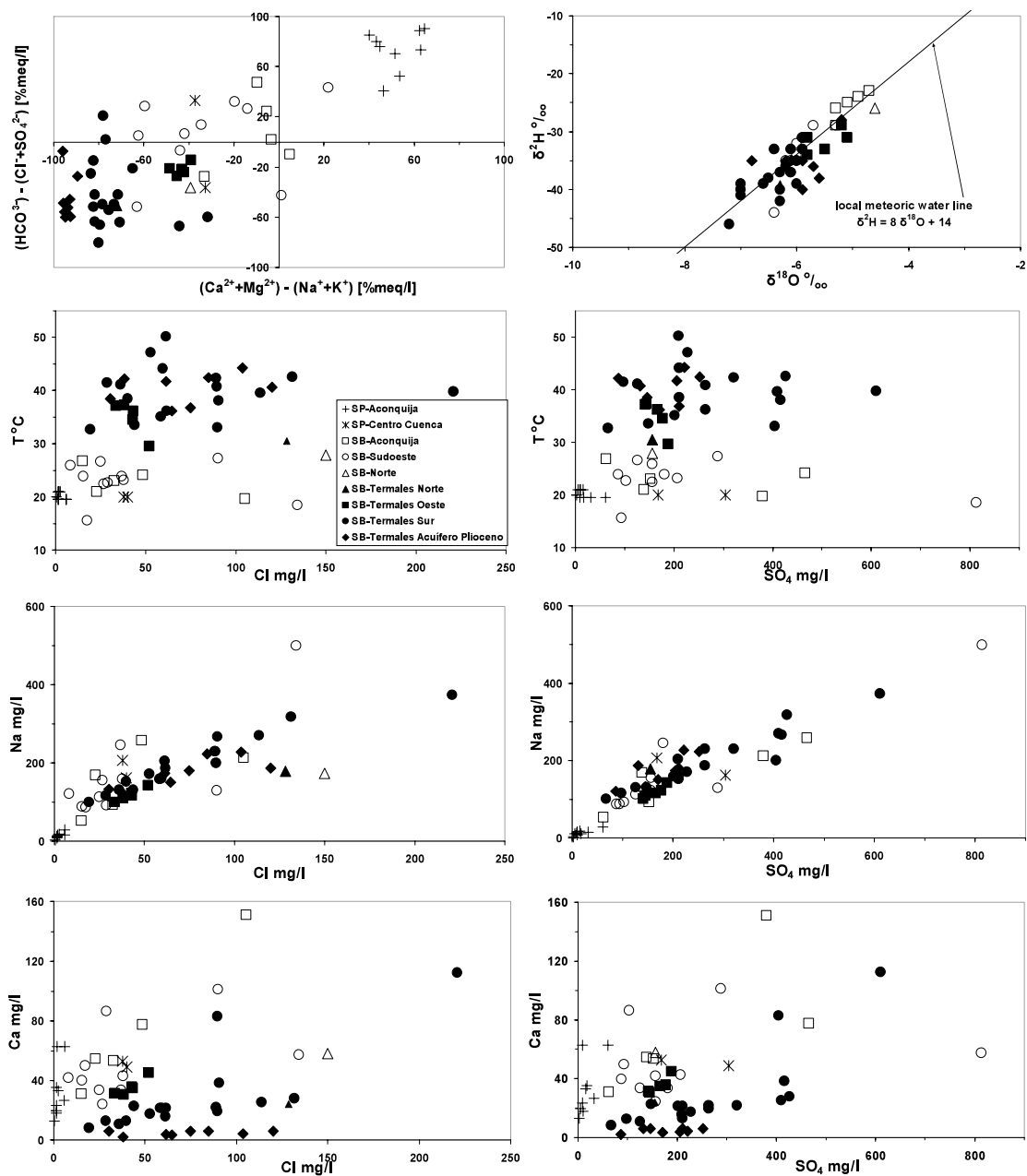


Figura 2. Variación de algunos parámetros hidroquímicos en las aguas estudiadas.

Tomando en consideración el quimismo del agua, si son superficiales (SP) o subterráneas (SB), si son o no termales y la posición geográfica se ha elaborado un modelo conceptual que explica las variaciones observadas (Fig. 3). Las aguas superficiales se infiltran desde el W-SW y el N. El agua del oeste procedente de la Sierra del Aconquija (muestras del Subgrupo SP-Aconquija) se infiltra en el acuífero Cuaternario (Subgrupo SB-Aconquija) y también continúa su recorrido por distintos ríos hacia el centro de la cuenca. En este recorrido la evaporación transforma el quimismo del agua (Subgrupo SP-Centro Cuenca). El agua superficial se va infiltrando y se mezcla con el agua subterránea del acuífero Cuaternario. Siguiendo el flujo subterráneo y estando ya en el campo geotérmico, comienza a experimentar el incremento de la temperatura y evoluciona a agua termal de la parte occidental del campo geotérmico (SB-Termales Oeste). El efecto del progresivo incremento de la temperatura de este agua y su recorrido por el relleno sedimentario de la cuenca hace

que adquiera el quimismo de las aguas termales del sur de la cuenca (Subgrupo SB-Termal Sur). En el campo composicional del Subgrupo SB-Termal Sur acaba convergiendo también la recarga del sudoeste, tras atravesar el acuífero Cuaternario sur-occidental (Subgrupo SB-Sudoeste). Finalmente adquieren la composición del Subgrupo SB-Termal del Acuífero Plioceno.

Respecto a la recarga de las aguas subterráneas con aportes desde el norte, el quimismo del agua es distinto. El origen del agua es también meteórico (ver gráfico $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ en Fig. 2). La región septentrional es llana, la red de drenaje está mal desarrollada y las aguas meteóricas no tienen un gran recorrido superficial. La interacción con el medio geológico les proporciona una huella hidroquímica distinta a la de las aguas de las Sierras del Aconquija y del Sudoeste. Se infiltran (Subgrupo SB-Norte) y fluyen hacia el sur hacia el campo geotérmico, evolucionando al quimismo del Subgrupo SB-Termal Norte y, finalmente, al del Subgrupo SB-Termal del Acuífero Plioceno.

En cuanto a los parámetros hidroquímicos mayoritarios, el Na presenta una correlación positiva con Cl^- y SO_4^{2-} (Fig. 2). La disolución de las evaporitas (yeso, sulfato sódico, halita) presentes en el relleno de la cuenca explicaría esta situación. En cambio, K, Mg y Ca no muestran tendencias bien definidas respecto a tales aniones. Los valores más bajos de Ca y Mg se presentan en las muestras SB-Termal del Acuífero Plioceno, así como las de HCO_3^- . Estas aguas están saturadas respecto a calcita y su quimismo parece estar controlado por la reacción del carbonato cálcico. Es probable que en estas condiciones la calcita llegue a precipitar, lo que explicaría la disminución de las concentraciones de Ca y HCO_3^- , junto con las de Mg y Sr.

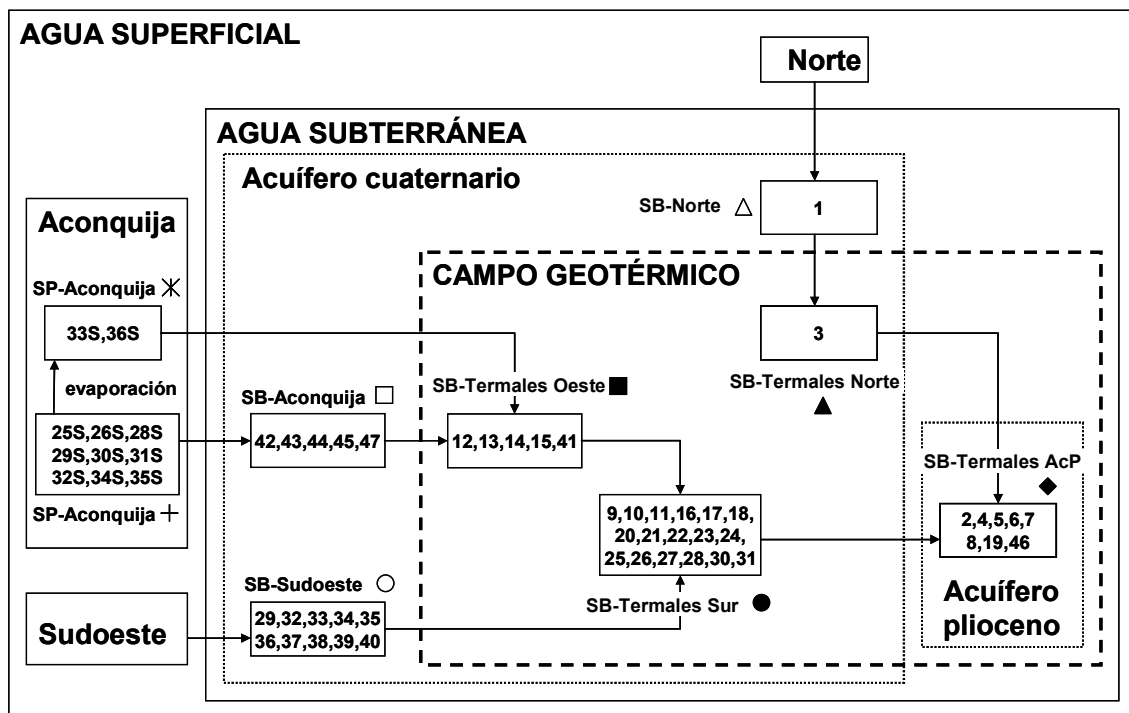


Figura 3. Modelo conceptual de las relaciones entre aguas superficiales y subterráneas atermal y termales.

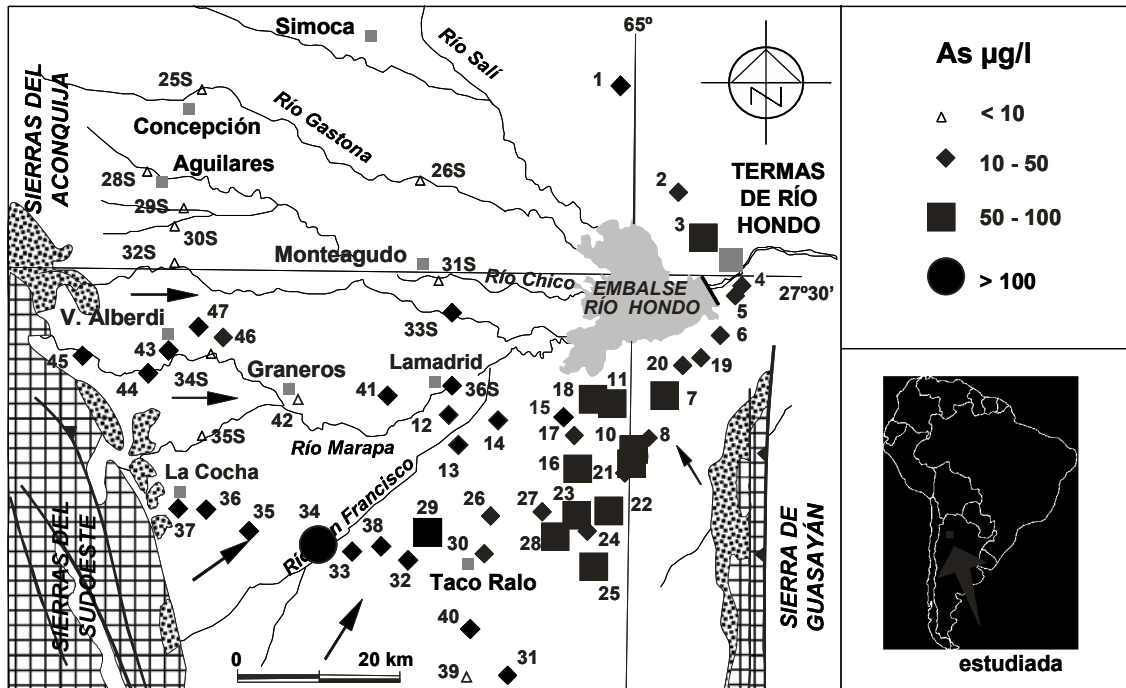


Figura 4. Distribución de las concentraciones de arsénico.

Las concentraciones de arsénico varían entre 1 y 125 µg/l. Estas concentraciones son manifiestamente más bajas que las encontradas en otras regiones con aguas subterráneas arsenicales, como por ejemplo en las provincias de Córdoba y La Pampa (Nicolli et al., 1989; Smedley et al., 2002). De las 58 muestras tomadas, un 19% mostraron concentraciones inferiores a 10 µg/l, un 57% la tenían entre 10 y 50 µg/l y en un 24% superaban 50 µg/l (Tabla 1). Es decir, las muestras superan mayoritariamente (81%) los valores máximos recomendados por la OMS para aguas destinadas a consumo humano (10 µg/l As; WHO, 2004) y un 24% la legislación argentina (50 µg/l As; MSA-ANMAT, 2005). La distribución regional muestra como las concentraciones más elevadas se concentran hacia la zona de termalismo, que es en el este del área estudiada y, en menor medida, hacia el sur de la cuenca (Fig. 4). Este aspecto se refleja en la mayor concentración de arsénico observada en las aguas subterráneas termales, particularmente en los Subgrupos SB-Termal del Acuífero Plioceno y SB-Termal Sur. En un gráfico temperatura del agua versus concentración de arsénico puede comprobarse como en las aguas termales esta concentración es aproximadamente doble que en las aguas atermal (Fig. 5).

Tabla 1. Mediana, mínimo y máximo de las concentraciones de arsénico. Calidad del agua respecto a los valores máximos recomendados por la OMS (10 µg/l As; WHO, 2005) y la legislación argentina (50 µg/l As; MSA-ANMAT, 2005).

	Mediana µg/l As	Mínimo µg/l As	Máximo µg/l As	Muestras <10 µg/l As	Muestras 10 a 50 µg/l As	Muestras >50 µg/l As
Aguas superficiales	3	1	41	9	2	0
Aguas subterráneas atermal	23	5	125	2	17	2
Aguas subterráneas termales	48	21	75	0	14	12
Total				11	33	14

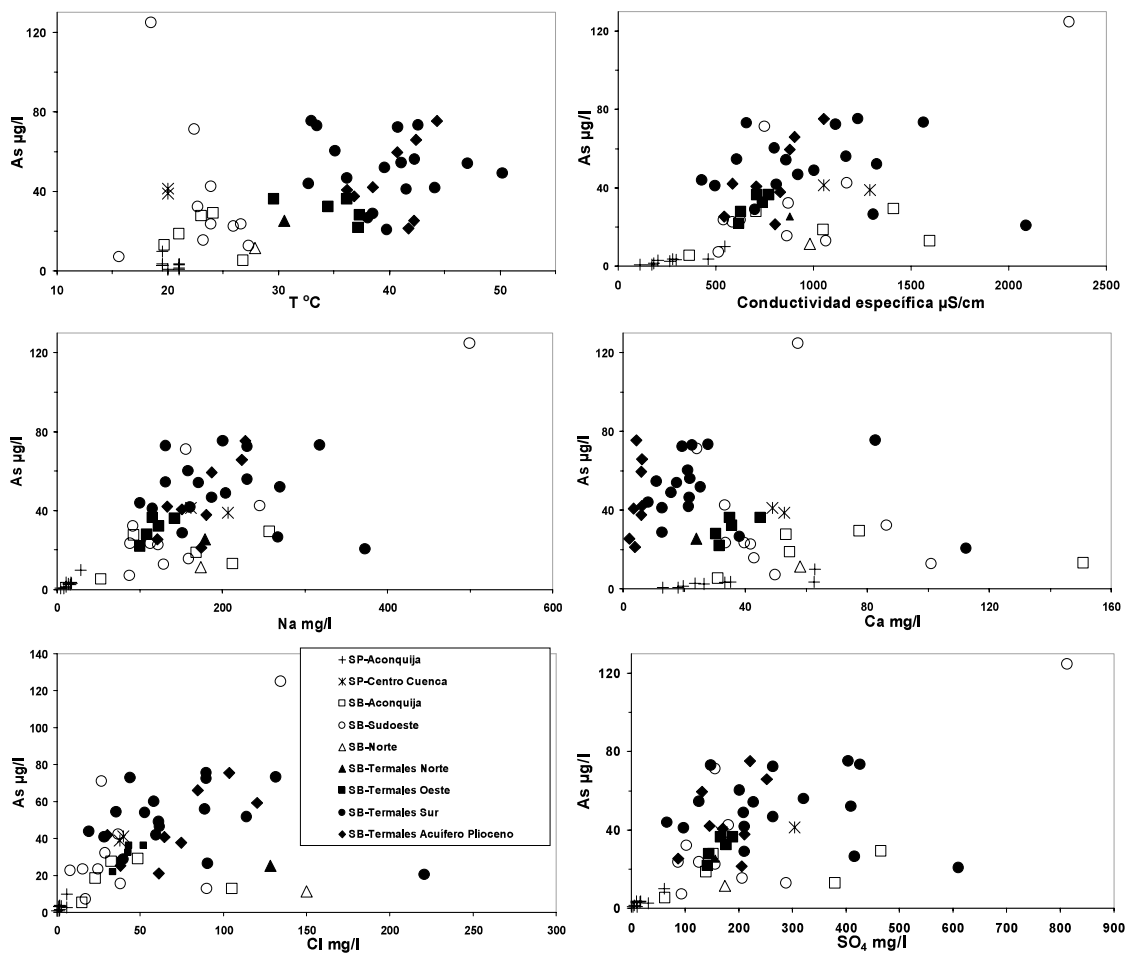


Figura 5. Variación de algunos parámetros vs. arsénico en las aguas estudiadas.

Las muestras superficiales son las que tienen concentraciones más bajas de arsénico. Estas aguas superficiales y las subterráneas más directamente influidas por ellas se distinguen bien del resto en todos los diagramas de As versus prácticamente cualquier parámetro que se considere. La tendencia general es a incrementar la concentración de As al mismo tiempo que se incrementa la de otros parámetros mayoritarios, pero mostrando una acentuada dispersión de puntos para las aguas subterráneas (Fig. 5). Una excepción destacable es el caso del Ca. En las aguas superficiales muestra una tendencia de correlación positiva respecto al As, pero en cambio tiende a ser negativa para las aguas subterráneas. El arsénico tiende a comportarse como un elemento conservativo y el gráfico Ca-As reflejaría la remoción de Ca del agua subterránea. Lo mismo se observa para HCO_3^- , Mg y Sr. El resultado sería la precipitación de calcita.

En relación a otros elementos minoritarios y trazas, la correlación es inexistente con Fe, Mn y Al, de forma similar a las observaciones realizadas en aguas subterráneas de La Pampa (Smedley et al., 2002). La similitud con tales aguas también se da en algunos de los elementos correlacionables como B, V y Mo (Fig. 5), pero no se cumple en el caso del U, que en la cuenca tucumana estudiada no se correlaciona bien con el As. Por otra parte, no disponemos de datos de F para verificar su correlación con el As, aunque otros autores indican este hecho en áreas próximas al norte (Blesa et al., 2002).

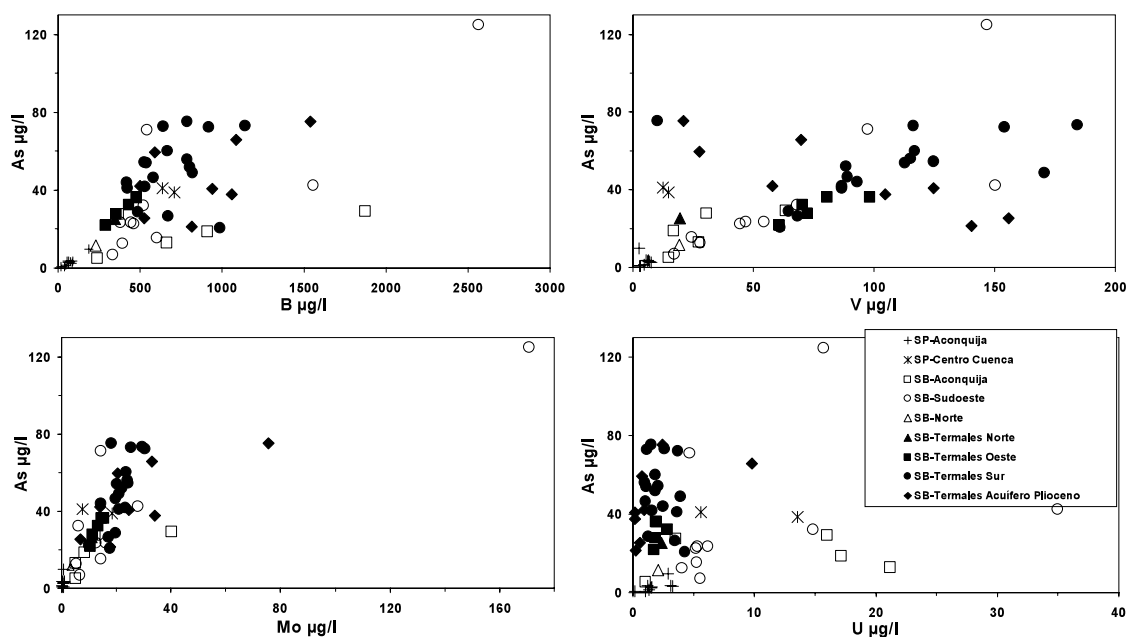


Figura 5. Continuación.

Los diagramas de As vs. B, Mo y V reflejarían también el carácter conservativo de este elemento, que se vería obliterado por la interacción del agua con los sedimentos que rellenan la cuenca, bien por la fijación de elementos al sedimento (como en el caso del Ca), bien por su transferencia al agua, tal como parece suceder en ocasiones para el B (Fig. 5). En el caso del V parece que ambas situaciones, fijación en el sedimento y liberación al agua, se dan en diferentes muestras a escala de la cuenca. De confirmarse este aspecto, el arsénico se convertiría en un trazador de gran interés en el seguimiento de los procesos hidrogeológicos regionales.

El origen del arsénico es controvertido. Por una parte, está claro que en la actualidad el arsénico no está siendo aportado por las aguas superficiales del W y SW. Tampoco el Río Salí lleva en la actualidad concentraciones elevadas de este elemento (Fernández-Turiel et al., 2003). Se dispone así de unas aguas subterráneas con relativos altos contenidos de arsénico, pero sin recarga actual con arsénico. Una posible explicación es que el arsénico provenga de la meteorización de materiales volcánicos incorporados por vía atmosférica al sedimento que conforma el acuífero (niveles de cenizas, loess con vidrio volcánico). Los volcanes parentales se hallarían en la Zona Volcánica Central de la Cordillera de los Andes. Esta fuente de arsénico ha sido propuesta reiteradamente para explicar las aguas arsenicales de la Llanura Chaco-Pampeana. Una posible alternativa al aporte atmosférico y subsecuente meteorización es el aporte por aguas superficiales desde la misma zona de los Andes (Fernández Turiel et al., 2005). El arsénico junto con elementos como el B o el V llegarían en forma disuelta desde las áreas fuentes en las que el incremento de actividad magmática e hidrotermalismo asociado, favorecidos por la última deglaciación, habrían aportado estos elementos al ambiente superficial. Los procesos hidrológicos durante el Holoceno serían así clave en la distribución del arsénico a escala regional.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de arsénico varían entre 1 y 125 µg/l en las aguas superficiales y subterráneas, atermales y termales, del sur de la cuenca del río Salí. Un 24% de las muestras (total=58) supera los 50 µg/l de As (umbral máximo del Código Alimentario

Argentino de 1994); un 57% tiene entre 10 (valor máximo recomendado por la OMS para aguas destinadas a consumo humano) y 50 µg/l de As; y un 19% muestra concentraciones inferiores a 10 µg/l.

Las concentraciones más elevadas se concentran en el campo geotérmico del borde oriental y meridional de la cuenca. Este aspecto se refleja en la mayor concentración de arsénico observada en las aguas subterráneas termales, particularmente en los Subgrupos SB-Termales del Acuífero Plioceno y SB-Termales Sur.

La interacción de las aguas subterráneas atermales y termales con el sedimento que conforma el acuífero se manifiesta en el incremento de la concentración de Na, Cl y SO₄²⁻ en el agua por disolución de evaporitas y la disminución de Ca, Mg, HCO₃⁻ y Sr posiblemente por precipitación de calcita. El arsénico se mantiene al margen de estos procesos y tiende a mostrar un comportamiento conservativo, lo que de confirmarse podría convertirlo en un trazador de gran interés en los procesos hidrogeológicos regionales. No está correlacionado con Fe, Mn y Al. En cambio, tiende a mostrar una buena correlación con B, Mo y V.

El origen del arsénico es controvertido, pero en cualquier caso no relacionado con la recarga actual de la cuenca. Las aguas superficiales provenientes de las Sierras del Aconquija en el oeste y de las Sierras del Sudoeste aportan contenidos muy bajos de arsénico. Una hipótesis es que haya entrado a las aguas subterráneas a través de la meteorización de material volcánico procedente de la Cordillera de los Andes e incorporado en la secuencia sedimentaria por vía atmosférica. Otra hipótesis es que haya llegado ya en forma disuelta a través de las aguas superficiales durante el Holoceno desde la misma zona de los Andes. La reconstrucción paleogeográfica y, particularmente, la paleohidrológica serán claves en la constatación del origen del arsénico no sólo en la cuenca estudiada sino en toda la Llanura Chaco-Pampeana.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Dra. C. Dapeña y la Dra. M.C. Pomposiello de INGEIS por su inestimable colaboración en los trabajos analíticos.

REFERENCIAS

- Blesa M.A., García M.G., Hidalgo M.V.**, 2002. Argentina. In: Litter M., Relevamiento de comunidades rurales de América latina para la aplicación de tecnologías económicas para la potabilización de aguas – Proyecto OEA AE 141/2001. CNEA, Buenos Aires, pp. 10-23. http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/aqua-pura/3_archivos/relevamiento1.pdf [Consulta: 20/06/2005].
- Bossi G.E., Gavriloff I.J.**, 1998. Terciario – Estratigrafía, bioestratigrafía y paleontología. In: Gianfrancisco M., Puchulu M.E., Durango de Cabrera J., Aceñolaza G. (eds.), Geología de Tucumán. Public. Esp., Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, Tucumán, 2ª edición, 87-110.
- Chadha D.K.**, 1999. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, 7: 431-439.
- Fernández-Turiel J. L., Pérez-Miranda C., Almada G.H., Medina M.E., Riviere C.A., Gordillo M.A.** 2003. Surface Water Quality for the Salí River watershed in NW Argentina. *Env. Geol.*, 43(8), 941-949.
- Fernández-Turiel J.L., Galindo G., Parada M.A., Gimeno D., García-Vallès M., Saavedra J.**, 2005. Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento. En: G. Galindo, J.L. Fernández-Turiel, M.A. Parada, D. Gimeno Torrente (eds.), *Arsénico en aguas: origen, movilidad y tratamiento*. Taller. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea -IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina.

- Galindo G., Fernández Turiel J.L., García J., Tineo A.**, 2001. Contribución al conocimiento de elementos trazas en el sistema hidrogeológico del río Lules (Prov. de Tucumán, Argentina). III^o Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. I^a Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur. Mar del Plata, Buenos Aires. Ed.: Julio Luis del Río. Publicado en CD-ROM Interactivo. ISBN: 987-544-003-5.
- Iglesias E., Tineo A., Durán M., Verma M., García J., Falcón C., Barragán M.**, 1989. Geochemical survey of the Llanura Tucumana Geothermal Area, Argentina. Geothermal Resources Council Transactions, 13, 165-171.
- Iglesias E.R., Tineo A., Duran M., Verma M., Garcia J., Barragan R.M., Falcon J.C.**, 1990. Temperature distribution of underground waters in the Llanura Tucumana geothermal area Argentina. Geothermal Resources Council Transactions, 15, 55-61.
- MSA-ANMAT** (Ministerio de Salud y Ambiente – Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica), 2005. Código Alimentario Argentino-Capitulo XII - Bebidas Hidricas, Agua y Agua Gasificada - Agua Potable - Artículo 982 - (Res Msys N° 494 Del 7.07.94). <http://www.anmat.gov.ar/principal.html> [Consulta: 20/06/2005].
- Nicolli H.B., Suriano J.M., Peral M.A.G., Ferpozzi L.H., Baleani O.A.**, 1989. Groundwater contamination with arsenic and other trace-elements in an area of the Pampa, Province Of Cordoba, Argentina. Environ. Geol. Water Sci., 14(1), 3-16.
- Pomposiello M.C., Galindo G., Sainato C.**, 2000. Modelo geotérmico y evaluación del recurso en la llanura Tucumana-Santiagueña. XX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. Pp. 175-179.
- Pomposiello M.C., Favetto A., Sainato C., Booker J., Li S.H.**, 2002. Imaging the sedimentary basin of the Tucuman Plain in the Northern Pampean Ranges. J. Appl. Geophys, 49(1), 47-58.
- SEGEMAR**, 2000. Catálogo de manifestaciones termales de la República Argentina (Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, La Rioja y San Juan). Vol. 1 – Región Noroeste.
- Smedley P.L., Nicolli H.B., Macdonald D.M.J., Barros A.J., Tullio J.O.**, 2002. Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. Appl. Geochem., 17(3), 259-284.
- Stappenbeck R.**, 1915. Las aguas subterráneas del Sur de la Provincia de Tucumán, Boletín Oficial de la Casa Gobierno de la Provincia de Tucumán, 17: 1-37.
- Tineo A.** 1987. Características geológicas de la cuenca geotermal de la Llanura Tucumana., Argentina. Proc. International Symposium on Development and Exploitation of Geothermal Resources, Instituto de Investigaciones Eléctricas / Commission of European Communities. Cuernavaca, México. 332-337.
- Tineo A., Falcón C., García J., D'Urso C., Galindo G., Rodríguez G.**, 1998. Hidrogeología. In: Gianfrancisco M., Puchulu M.E., Durango de Cabrera J., Aceñolaza G. (eds.), Geología de Tucumán. Public. Esp., Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, Tucumán, 2^a edición, 259-274.
- Vergara G.A., Hidalgo M.V., Balegno de Vergara M.T., Masmut M.P.**, 1998. Corte geotérmico transversal de la provincia de Tucumán – Perfil geotermométrico entre Juan bautista Alberdi y Villa de Río Hondo. In: Gianfrancisco M., Puchulu M.E., Durango de Cabrera J., Aceñolaza G. (eds.), Geología de Tucumán. Public. Esp., Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán, Tucumán, 2^a edición, 161.178.
- WHO** (World Health Organization), 2004. Guidelines for drinking-water quality. Volume 1, Recommendations. 3rd edition. 515 pp.