

CALIDAD Y USO DE LAS AGUAS TERMALES DEL SUR DE LA CUENCA RÍO SALÍ. ARGENTINA

Galindo, G.¹, Dapeña, C.^{1,2}, Pomposiello, M.C.², Fernández-Turiel, J.³ y Gimeno, D.⁴

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires-CONICET. Pabellón II, Ciudad Universitaria, Buenos Aires (1428) ggalindo@mail.retina.ar

²Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS-CONICET), Pabellón INGEIS, Ciudad Universitaria, Buenos Aires (1428), Argentina.. dapenna@ingeis.uba.ar; cpomposi@ingeis.uba.ar

³Instituto J. Almera, CSIC, Barcelona, España. jlfernandez@ija.csic.es

⁴Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, Barcelona, España. domingo@natura.geo.ub.es

Abstract The Llanura Tucumana extends along the eastern Andean margin, between 27°S-28°S and 64°50'W-65°40'W. It is a structural depression filled by a thick Cenozoic sedimentary sequence and it is part of the Sali river basin. The southern part of this plain is an important thermal area, which is known through surface manifestations and drilled wells. There is a great quantity of artesian wells with discharge water at temperatures between 30°C and 50°C. The Miocene contains salty aquifers. The Pliocene aquifers have much higher water quality although still slightly saline and also contain the geothermal aquifer. The Pleistocene and Holocene deposits host fresh aquifers. Hydrochemistry and environmental isotopes allow to differentiate three types of water: surficial (recharge), groundwater athermal in west border and artesian thermal water located in the center, south and the deepest in the east. The flow is preferentially from west to east, but a mixed zone receives water coming from south, southeast and southwest. Water quality is variable and some elements exceed guidance levels for all uses. Thermal water is poorly developed. It is only used for balneotherapy.

Keywords: Geothermal, geochemistry, quality, applications

INTRODUCCIÓN

La Llanura Oriental tucumana se ubica entre los 27°S-28°S y 64°50'W-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 *et al.*, 1999). 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 sudeste y sur por las sierras de Potrerillos y el macizo de Ancasti, provincia de Catamarca; todas pertenecientes al Sistema de las Sierras Pampeanas. En la parte sur de esta planicie se ubica un campo geotérmico de baja temperatura entre 30 a 50°C donde existe un gran número de pozos semisurgentes y surgentes en un área de alrededor de 3200 km².

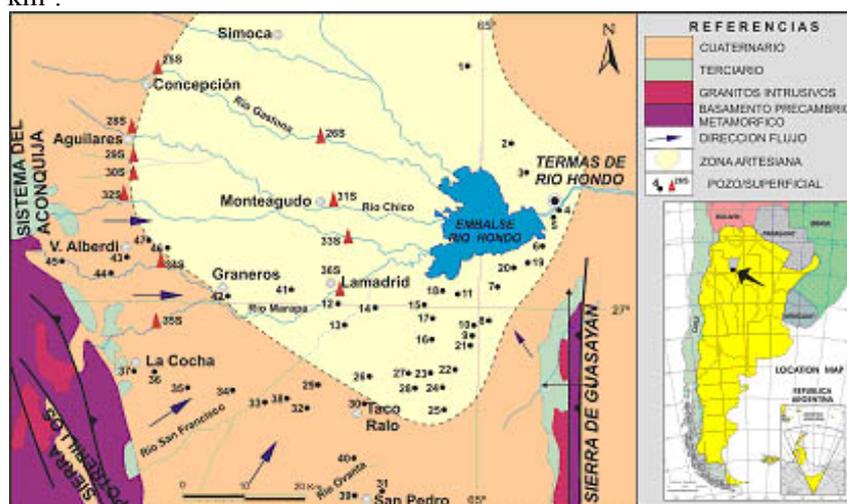


Figura 1 Mapa geológico e hidrogeológico

El clima en la llanura es templado y la temperatura promedio anual es de 19°C. La precipitación disminuye gradualmente hacia el SE desde 1200 a 800 mm/año hasta alcanzar 500 mm/año en el área de Río Hondo. El conocimiento de la estratigrafía de la cuenca sedimentaria está limitado a las unidades aflorantes en los bordes de cuenca y están representadas por esquistos y granitos del basamento cristalino Precámbrico-Paleozoico inferior, cubiertos discordantemente por secuencias marinas y lacustres del Mioceno. La

información de perforaciones y geofísica (Pomposiello *et al.*, 2002) indica que el Mioceno, portador del acuífero salado, se encuentra entre los 700 a 2500 m de profundidad, con sedimentación limo-arcillosa y rica en evaporitas. El Plioceno está constituido por arenas cuarzosas y arcillas de origen fluvial que alojan al Complejo Acuífero Termal Surgente, con temperaturas entre 30 a 50°C y un espesor variable entre 350 a 700 m. El Cuaternario se caracteriza por el desarrollo de grandes conos aluviales, provenientes de las sierras del oeste y sudeste. El Pleistoceno es limoarcilloso loessoide, con espesores entre 200 y 400 m e incluye acuíferos. El Holoceno constituido por arcillas con arenas, gravas cuarzo-líticas, con un espesor de 150 m, contiene acuíferos de excelentes caudales. Esta cuenca hidrográfica **cuenta con una densa red de ríos y arroyos permanentes que drenan hacia el Embalse de Río Hondo** (Tineo *et al.*, 1999, 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. En 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. 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 (Fig.1).

La anomalía térmica, en las aguas subterráneas de esta cuenca, está asociada a un adelgazamiento de la corteza. Pomposiello *et al.* (2000) definieron un modelo de circulación y calentamiento del agua subterránea. Así, el agua entra en el pedemonte de la Sierra de Aconquija como agua meteórica, alimenta la cuenca artesiana, circula por los estratos hasta alcanzar niveles profundos y se mezcla con fluidos calientes que se mueven a lo largo de fallas por encima de la fuente de calor. Se energiza por la alta presión y temperatura y reacciona con las rocas alcanzando condiciones de equilibrio. Estos procesos permiten al agua obtener gradientes geotermales anómalos (hasta 135°C). El objetivo de este trabajo es aportar al conocimiento de las características físico-químicas e isotópicas del agua subterránea termal y determinar su calidad para diferentes usos, así como contribuir al modelo de flujo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en 47 perforaciones en áreas rurales y urbanas y en 11 muestras de aguas superficiales. Las aguas subterráneas se usan para abastecer a la población rural, tanto para consumo humano como para las actividades agropecuarias. Se realizaron determinaciones analíticas de campo: temperatura, pH, y conductividad (Tabla 1). Los parámetros químicos mayoritarios y trazas se determinaron mediante espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado por inducción (ICP-MS), espectrometría de emisión óptica (ICO-OES) y potenciometría de electrodos específicos. Se puso énfasis en la investigación de algunos elementos trazas Li, Be, B, Al, P, Sc, 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, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th y U, tanto por sus implicaciones en la detección de aportes antrópicos, como por su interés en el modelado hidrogeológico (Tabla 1). Las aguas fueron clasificadas de acuerdo al diagrama de Chadha (1999). Asimismo se determinaron $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ por métodos convencionales en los laboratorios de INGEIS (2004). En el caso de las aguas subterráneas se aplicaron los niveles de referencia indicados en el Código Alimentario Argentino actualizado (1994) para consumo humano, las normas del United States Salinity Laboratory Staff (1954) para riego y las normas vigentes nacionales para bebida de ganado. En este trabajo se adoptó el criterio de agua termal indicado en el Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina (SEGEMAR, 2000), donde agua termal es “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 se halla situada”. En esta región serán aguas termales aquellas cuya temperatura es mayor a 29°C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de las aguas varía desde bicarbonatada cálcica (superficiales) a sulfatada sódica en las subterráneas termales del borde este de la cuenca. En el diagrama de Chadha (Fig.2) se diferencian tres tipos de agua principales: superficiales (recarga), subterráneas atermales sin surgencia en el borde oeste de la cuenca y las termales surgentes ubicadas en el centro, sur y las de mayor profundidad en el este. Además, se observa una variación progresiva que sigue una dirección preferencial de oeste a este y su distribución geográfica permite distinguir una zona de mezcla de aguas, ya que los aportes provienen además del sur, sudeste y sudoeste (Fig. 1 y 2).

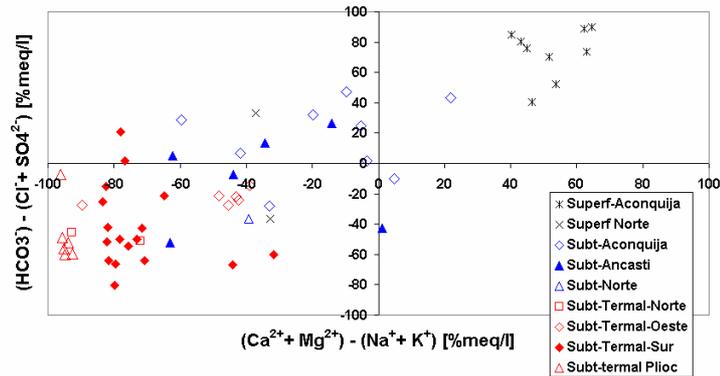


Figura 2. Gráfico Chadha.

		Aguas superficiales N=11 mediana	Atermales N=16 mediana	Termales N=31 mediana		Aguas superficiales N=11 mediana	Atermales N=16 mediana	Termales N=31 mediana
PH		7.8	8	9	Nb	µg/l	0.01	0.0
T(Wa)	TC	20	23.9	38.5	Mo	µg/l	0.56	10.1
CEE	¿s/cm	262.79	871	809	Ag	µg/l	-0.01	0.0
Ca	mg/l	26.5	49.8	21.3	Cd	µg/l	0.01	0.1
Mg	mg/l	8.4	8.9	0.6	Sa	µg/l	-0.36	0.4
Na	mg/l	13.3	156.3	171.5	Sb	µg/l	0.04	0.1
K	mg/l	2.9	8.8	6.2	Te	µg/l	0.00	0.0
Si	mg/l	16.1	33.0	26.7	Cs	µg/l	0.08	0.0
Cl	mg/l	1.6	28.8	61.1	Ba	µg/l	38.27	34.3
SO4	mg/l	10.6	156.2	205.2	La	µg/l	0.80	0.1
HCO3	mg/l	122.7	285.5	154.6	Ce	µg/l	1.78	0.1
Li	µg/l	11.97	50.0	60.4	Pr	µg/l	0.23	0.0
Be	µg/l	0.08	0.0	0.0	Nd	µg/l	0.94	0.0
B	µg/l	63.90	520.6	589.7	Sm	µg/l	0.22	0.0
Al	µg/l	638.57	121.8	129.3	Eu	µg/l	0.05	0.0
P	µg/l	128.00	72.1	78.7	Gd	µg/l	0.22	0.0
Ti	µg/l	4.12	2.8	3.8	Tb	µg/l	0.03	0.0
V	µg/l	5.50	44.4	88.5	Dy	µg/l	0.18	0.0
Cr	µg/l	0.53	4.3	3.1	Ho	µg/l	0.03	0.0
Fe	µg/l	496.60	61.0	32.8	Er	µg/l	0.09	0.0
Mn	µg/l	62.73	4.5	5.8	Tm	µg/l	0.01	0.0
Co	µg/l	0.42	0.1	0.1	Yb	µg/l	0.07	0.0
Ni	µg/l	1.32	2.7	2.0	Lu	µg/l	0.01	0.0
Cu	µg/l	1.17	3.1	1.2	Hf	µg/l	0.01	0.1
Zn	µg/l	7.82	159.8	66.2	Ta	µg/l	0.00	0.0
Ga	µg/l	0.04	0.0	0.1	W	µg/l	0.02	0.1
Ge	µg/l	0.02	0.1	0.5	Pt	µg/l	0.00	0.0
As	µg/l	2.86	22.5	42.0	Au	µg/l	0.01	0.2
Se	µg/l	1.04	1.9	2.7	Hg	µg/l	-0.01	0.0
Br	µg/l	9.95	174.2	266.7	Tl	µg/l	0.01	0.0
Rb	µg/l	2.47	3.5	4.6	Pb	µg/l	0.69	0.7
Sr	µg/l	161.50	544.1	183.8	Bi	µg/l	0.00	0.0
Y	µg/l	0.70	0.0	0.0	Th	µg/l	0.04	0.0
Zr	µg/l	0.11	0.1	0.1	U	µg/l	1.49	5.5

Tabla 1. Mediana de los elementos medidos

El 66% de las aguas subterráneas son termales (> 29 °C). Las aguas subterráneas termales y atermales producen excelentes caudales. Sin embargo, respecto a las normas de calidad para diferentes usos, un alto porcentaje excede los niveles guías de referencia. En el caso de las aguas termales, superan los niveles de As el 42% de las muestras, el 31% de Al y el 16% de Boro. El 16% superan los niveles de sulfato y están vinculadas a los sedimentos terciarios. Del total de las muestras, las que exceden los valores de NO₃ y Hg son de tipo puntual y se les atribuye contaminación antrópica (Tabla 1). En cuanto al riego, las aguas termales no son aptas para esta actividad debido al alto contenido de Mo (100%), relacionado con las rocas graníticas y pegmatíticas, de B (71%) vinculado a las secuencias marinas y de V (35%), cuyo origen se debe a las rocas ácidas y en el pie de monte con los sedimentos loésicos. Sobre la base de la clasificación del United States Salinity Laboratory Staff (1954), algunas aguas tienen conductividad media a elevada (> 1500 µs/cm) y existe peligro de alcalinización del suelo medio a alto (Tabla 1). Para el ganado el límite guía de referencia de las aguas termales fue excedido por el Zn con el 51% y el V el 35%. Para el caso del Zn, las aguas atermales superan los niveles guía en un 81%. Estos elementos corresponden a los denominados micronutrientes, que en exceso afectan a la salud animal (Tabla 1). Desde el punto de vista isotópico (Dapeña *et al.*, 2001), una nueva interpretación apoyada por la hidroquímica sugiere diferentes orígenes en la recarga (Aconquija y Ancasti), así como zonas de mezcla. La línea de aguas meteóricas local es sólo para referencia y se basa en la información de la estación Salta y en el corto registro de la estación Tucumán (IAEA/WMO, 2003) (Fig.3). Las aguas termales de la región son poco aprovechadas con relación a su potencial aplicación. La práctica más difundida es la balneoterapia, siendo los lugares más antiguos y reconocidos las Termas de Río Hondo y Taco Ralo, con explotación por particulares y a pequeña escala. Durante el censo de pozos realizado se observó que hay un gran número de perforaciones con excelentes caudales y temperatura, en

general ubicados en áreas rurales y en producción permanente, que no realizan ningún tipo de tratamiento de sus efluentes, con la consecuente salinización y/o sodificación de los suelos debido a la mayor cantidad de sales que contienen estas aguas. Además, a esto debe agregarse el deterioro del recurso.

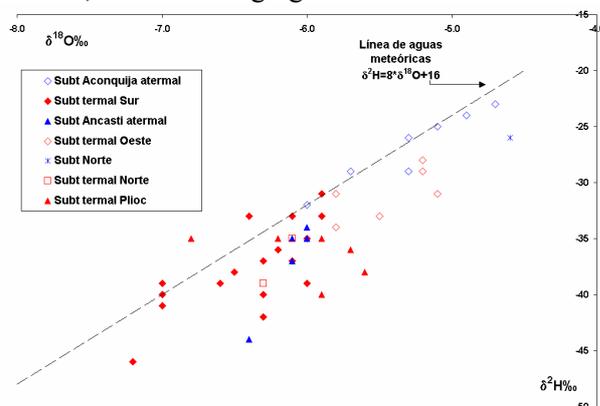


Figura 3. Diagrama δ^2H vs $\delta^{18}O$

REFERENCIAS

- Chadha, D.K., 1999. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal* 7, 431-439.
- Código Alimentario Argentino, 1994. Ley 18284. Decreto Reglamentario 2126. Anexo I y II. Buenos Aires.
- Dapeña, C., Pomposiello, C., Panarello, H.O. y Galindo, G., 2001. Isotopic and chemical studies of groundwater in the Llanura Tucumana Geothermal Area, Tucumán, Argentina. **In:** III South American Symposium on Isotope Geology. Extended Abstracts Vol. CD, 379-382, Sociedad Geológica de Chile.
- Galindo, G.; Fernández Turiel, J.L.; García, J. y Tineo, A. (2001). Contribución al conocimiento de elementos trazas en el sistema hidrogeológico del río Lules (Prov. de Tucumán, Argentina). **In:** III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur, Mar del Plata, Buenos Aires. Vol. CD. (Ed. del Río).
- IAEA/WMO, 2003. Global Network for Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. <http://isohis.iaea.org>
- INGEIS, 2004. Instituto de Geocronología y Geología Isotópica, CONICET : <http://www.ingeis.uba.ar>
- SEGEMAR, 2000. Catálogo de manifestaciones termales de la República Argentina (Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, La Rioja y San Juan). Volumen 1 - Región Noroeste.
- Tineo, A., Falcón, C. García, J., D'Urso, C., Galindo, G. y Rodriguez, G. 1999. Hidrogeología. En: Geología de Tucumán. Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. 2^{da} Ed. Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango, J. y Aceñolaza, G. (Eds)
- Fernández-Turiel, J. L., Pérez-Miranda, C., Almada, G.H., Medina, M.E., Riviere, C.A. and Gordillo, M.A. 2003. Surface Water Quality for the Salí River watershed in NW Argentina. *Environmental Geology* 43(8), 941-949.
- Pomposiello, M.C., Galindo, G. y Sainato, C. 2000. Modelo geotérmico y evaluación del recurso en la llanura Tucumana-Santiagueña. **In:** XX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. CD-ROM, 175-179.
- Pomposiello, M. C., Favetto, A., Sainato, C., Booker J. and Shanghui Li, 2002. Imaging the sedimentary basin of the Tucumán Plain in the Norther Pampean Ranges Argentina. *Journal of Applied Geophysics* 49, 47-58.
- United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali soils. U.S.D.A. Handbook No.60.