



## CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA E HIDROQUÍMICA DE FLUIDOS GEOTERMALES Y SU INFLUENCIA EN LOS MALLINES ADYACENTES EN EL SISTEMA DOMUYO

### ISOTOPIC AND HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF GEOTHERMAL FLUIDS AND THEIR INFLUENCE IN THE ADJACENT MALLINES IN THE DOMUYO SYSTEM

Villalba, E.<sup>1</sup>; Borzi, G.<sup>1</sup>; Galliari, J.<sup>2</sup>; Tanjal, C.<sup>1</sup>; Carol, E.<sup>1</sup> y Paez, G.<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Geológicas (UNLP-CONICET), <sup>2</sup>Centro de Química Inorgánica (UNLP-CONICET), <sup>3</sup>Instituto de Recursos Minerales (UNLP-CIC)

[evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar](mailto:evillalba@cig.museo.unlp.edu.ar)

#### Resumen

*El objetivo del trabajo es establecer la influencia que ejerce el hidrotermalismo en el agua subterránea que aporta a los mallines del Sistema Domuyo. Se recolectaron muestras de descargas geotermales y de mallines, determinándose in situ el pH, conductividad eléctrica y temperatura, y en laboratorio las concentraciones de iones mayoritarios, As,  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ . Los resultados muestran que los fluidos hidrotermales son Na-Cl, de pH alcalino, salinidades entre 1400-9600  $\mu\text{S/cm}$ , elevadas temperaturas, concentración media de As de 1,48 mg/L y que se originan por circulación convectiva de agua meteórica. Los mallines de cabeceras son Ca-HCO<sub>3</sub>, con pH neutros, salinidades entre 20-118  $\mu\text{S/cm}$ , bajas temperaturas, As promedio de 0,005 mg/L y un origen asociado a precipitación nival. Por su parte, los mallines de cuencas bajas tienden a facies Na-Cl, con mayor pH, salinidad, temperatura y también mayor As promedio respecto a los mallines de cabeceras, cambios que se asocian al aporte hidrotermal.*

**Palabras clave:** isótopos estables, sistema hidrotermal, humedal, Patagonia argentina.

#### Introducción

En las proximidades al Cerro Domuyo, en el norte neuquino, se desarrolla un complejo sistema hidrológico que drena en sentido NE-SO y que involucra descargas subterráneas geotermales, arroyos y mallines (Fig. 1). La geología de la región está representada principalmente por domos volcánicos que se derramaron sobre la ladera occidental del Cerro Domuyo (Pesce, 2010), la montaña más alta de la Patagonia con una altura superior a los 4700 msnm. Se originaron a partir de un intenso volcanismo cenozoico, cubriendo un basamento compuesto por rocas sedimentarias mesozoicas depositadas en discordancia sobre rocas ígneas paleozoicas (Zanettini, 2001).

Los mallines son humedales intermontanos de la Patagonia, caracterizados por la presencia de vegetación tupida que se desarrollan en sustratos saturados en agua o con el nivel freático próximo a la superficie. Son de gran valor ambiental dado que son importantes reguladores ecológicos y sirven de sustento para la alimentación de especies autóctonas, ganado y también como fuente de abastecimiento hídrico de poblaciones rurales, como lo es la Villa Aguas Calientes (Fig. 1). El objetivo del trabajo es establecer la influencia que ejercen los fluidos hidrotermales en el quimismo del agua de los mallines, a partir del estudio de isótopos estables y de datos hidroquímicos.

#### Metodología

Para este estudio se estableció una red de monitoreo a partir del análisis de imágenes satelitales y relevamientos de campo. Se recolectaron muestras de agua en las áreas de descarga geotermal y en las zonas de mallines localizadas aguas arriba y aguas abajo de las mismas. Se midieron in situ el pH, conductividad eléctrica y temperatura con un equipo multiparamétrico portátil. En las muestras de agua se realizó la determinación de iones mayoritarios, As y de isótopos estables  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ . En el laboratorio de geoquímica del Centro

de Investigaciones Geológicas se determinaron los contenidos de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{Cl}^-$  mediante volumetría,  $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{NO}_3^-$  a partir de espectrofotometría UV-Visible,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  con fotometría de llama y As mediante ICP-MS bajo normas estandarizadas APHA (1998). Las relaciones de isótopos  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  se midieron usando espectroscopia de masas en la Universidad de San Luis expresados en  $\delta$  (‰) en relación con V-SMOW (Gonfiantini, 1978).

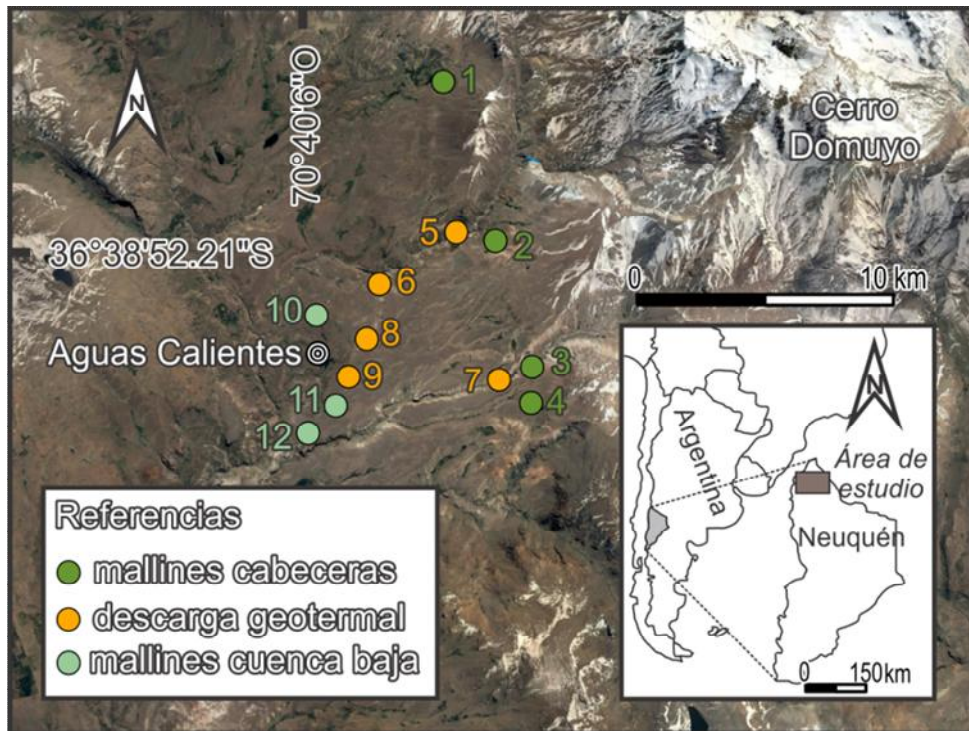


Figura 1. Área de estudio y localización de puntos de muestreo.

### Resultados

Los resultados obtenidos evidencian la existencia de patrones bien definidos entre los distintos grupos de muestras de aguas analizadas. Los mallines que se encuentran en zonas de cabeceras de los arroyos intermontanos presentan facies  $\text{Ca-HCO}_3$  con contenidos medios de  $\text{Ca}^{+2}$  de 10,1 mg/L y  $\text{HCO}_3^-$  de 53,2 mg/L y salinidades que rondan entre 20 y 118  $\mu\text{S/cm}$  (Fig. 2). Los valores de pH varían entre 6,78 y 7,44; la temperatura no supera los 14°C y el contenido promedio de As es de 0,005 mg/L.

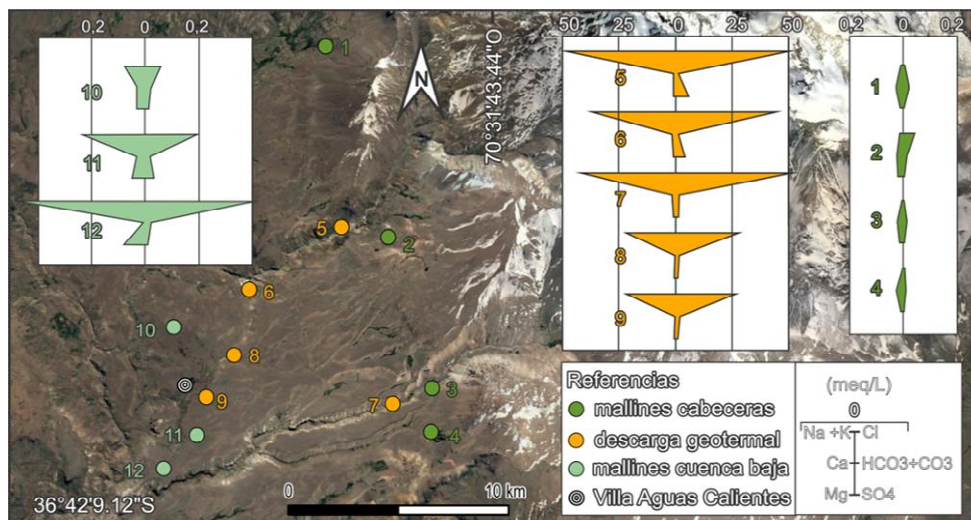


Figura 2. Ubicación de puntos muestreados y diagramas Stiff de cada uno de ellos. Notar las diferencias de escala de valores (meq/L) entre los distintos grupos de muestras.

Los fluidos hidrotermales presentan facies Na-Cl asociadas a concentraciones medias de  $\text{Na}^+$  de 738 mg/L y de  $\text{Cl}^-$  de 1435 mg/L (Fig. 2). Su conductividad eléctrica ronda entre 1400 y 9600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tienen pH alcalinos que van de 7,25 a 8,63 y temperaturas entre 55,8 y 92,4°C. La concentración de As promedio en estos fluidos es de 1,48 mg/L. Por último, los mallines que se ubican en zonas de cuencas bajas presentan facies Na-Cl con concentraciones promedio de  $\text{Na}^+$  de 135,3 mg/L y de  $\text{Cl}^-$  de 275,8 mg/L, respectivamente y conductividades eléctricas entre 347 y 1741  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 2). En cuanto al pH, varía entre 7,02 y 7,55; la temperatura entre 19 y 22,6°C y el contenido promedio de As es de 0,17 mg/L.

La relación isotópica  $\delta^2\text{H}$  en función de  $\delta^{18}\text{O}$  muestra que el agua de los mallines se alinea con una tendencia similar a la de la línea meteórica local, establecida para la localidad de San Rafael, Mendoza, ubicada a unos 300 km al norte del área de estudio (Hoke et al. 2013). El agua de los mallines de cabecera presenta mayor dispersión isotópica, con valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre -12,96 y -16,28‰ y de  $\delta^2\text{H}$  entre -101,23 y -119,09‰ (Fig. 3), y tendría su origen fuertemente relacionado a la precipitación nival. Las descargas geotermales se apartan de la recta meteórica con una clara tendencia al enriquecimiento isotópico en  $\delta^{18}\text{O}$  sin registrar variaciones considerables en  $\delta^2\text{H}$ . Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  varían entre -14,54 y -15,42‰ y los de  $\delta^2\text{H}$  entre -118,79 y -120,58‰ (Fig. 3). Esta característica evidencia una circulación convectiva profunda de aguas meteóricas que en su trayecto adquieren solutos por la meteorización de las rocas por las que circula (Panarello et al., 1992; Chiodini et al, 2014; Tassi et al., 2016). Los mallines ubicados en la cuenca baja presentan relaciones de isótopos con valores de  $\delta^{18}\text{O}$  entre -14,82 y -15,57‰ y de  $\delta^2\text{H}$  entre -112,99 y -116,88‰, los cuales son intermedios entre los fluidos hidrotermales y los mallines ubicados en la zona de cabeceras (Fig. 3). La proximidad de las muestras de estos mallines a la de las aguas geotermales (Fig. 3) evidencia, junto con los parámetros hidroquímicos descritos anteriormente, la influencia que la descarga geotermal ejerce sobre la calidad química del agua de los mallines de cuenca baja. La mayor concentración de As estaría relacionada también a esta influencia (Fig. 3), factor que puede limitar la potabilidad de estas fuentes de agua.

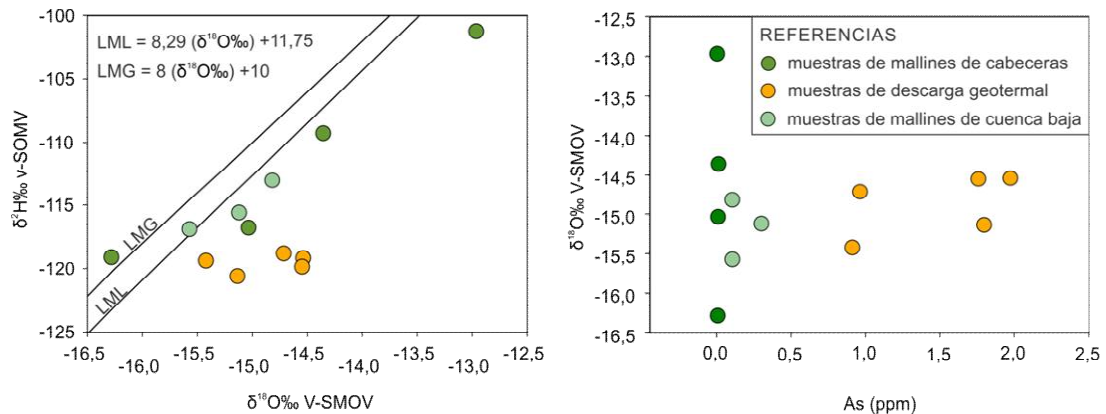


Figura 3: Diagrama  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  para las muestras analizadas. Las siglas LMG y LML corresponden a la línea meteórica global y a la línea meteórica local (Hoke et al. 2013), respectivamente.

### Conclusiones

Los análisis realizados evidencian la influencia que los fluidos geotermales tienen sobre la composición química e isotópica del agua de los mallines utilizados para abastecimiento en los sectores de cuenca baja de arroyos intermontanos asociados al Sistema Geotermal Domuyo. Esta influencia ocasiona cambios en las facies químicas, que pasan de  $\text{Ca-HCO}_3$  en los mallines de cabeceras a  $\text{Cl-Na}$  en los de cuenca baja, aumentando también el contenido salino y de As. Respecto a este último, según la organización mundial de la salud el agua para consumo humano no debe superar 0,01 mg/L de concentración (WHO, 2003), valor que es superado por las descargas geotermales y también por los mallines de la zona de cuenca baja.

Los resultados presentados en este trabajo aportan nuevos datos que incrementan el conocimiento acerca de los procesos hidrogeoquímicos que ocurren en sistemas hidrológicos bajo la influencia de fluidos hidrotermales profundos, una situación poco entendida a escala



mundial, y de suma importancia para una región como es el norte Neuquino, donde el abastecimiento de agua es crítico.

### Bibliografía

- APHA (American Public Health Association)**, 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Chiodini, G., Liccioli, C., Vaselli, O., Calabrese, S., Tassi, F., Caliro, S., Caselli, A., Agosto, M., D'Alessandro, W.**, 2014. The Domuyo volcanic system: An enormous geothermal resource in Argentine Patagonia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 274, 71–77. doi:10.1016/j.jvolgeores.2014.02.006
- Gonfiantini, R.**, 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature*, 271(5645), 534.
- Hoke, G. D., Aranibar, J. N., Viale, M., Araneo, D. C., Llano, C.**, 2013. Seasonal moisture sources and the isotopic composition of precipitation, rivers, and carbonates across the Andes at 32.5–35.5 S. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(4), 962-978.
- Panarello, H., Sierra, J. L., Pedro, G., D'Amore, F.**, 1992. Isotopic and geochemical study of the Domuyo geothermal field, Neuquén, Argentina (No. IAEA-TECDOC--641).
- Pesce, A. H.**, 2010. The Domuyo Geothermal Area, Neuquén, Argentina. *Geothermal Resources Council Transactions*, 37, 309-314.
- Tassi, F., Liccioli, C., Agosto, M., Chiodini, G., Vaselli, O., Calabrese, S., Pecoraino, G., Tempesti, L., Caponi, C., Fiebig, J., Caliro, S., Caselli, A.**, 2016. The hydrothermal system of the Domuyo volcanic complex (Argentina): A conceptual model based on new geochemical and isotopic evidences. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 328, 198–209. doi:10.1016/j.jvolgeores.2016.11.003
- World Health Organization (WHO)**, 2003. Arsenic in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/75) Google Scholar.
- Zanettini, J. M. C.**, 2001. Hoja Geológica 3772-II: "Las Ovejas", Provincia del Neuquén, escala 1:250.000, SEGEMAR. Buenos Aires.