

Características geoquímicas e isotópicas de los fluidos hidrotermales del sistema geotérmico de Rosario de la Frontera, Sierra de la Candelaria, Salta, Argentina.

A.L. Chiodi*, W.A. Baez, J.G. Viramonte

Instituto Geonorte. INENCO-CONICET. Universidad Nacional de Salta. 4400 Salta. Argentina.

F. Tassi

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Via La Pira 4, 50121. Firenze. Italia.

R. Maffucci, L. di Paolo

Dipartimento di Scienze Geologiche. Università degli Studi "Roma Tre" di Roma. 00146 Roma. Italia.

* *Email de correspondencia: agoch18@hotmail.com*

RESUMEN: El presente trabajo forma parte de una investigación multidisciplinaria realizada en el área de Rosario de la Frontera, provincia de Salta, Argentina; donde existen en superficie manifestaciones hidrotermales que presentan temperaturas desde 22.7 a 93.3 °C, a fin de evaluar el potencial geotérmico del sistema. El estudio se basa en datos analíticos relativos a la composición química e isotópica ($\delta^{18}\text{O}$, δD e $\delta^{13}\text{C-CO}_2$) de 13 muestras de agua y 5 muestras de gases. Los valores de las relaciones isotópicas del agua (-6.7 y -37 ‰ V-SMOW para $\delta^{18}\text{O}$ y δD , respectivamente) sugieren un origen predominantemente meteórico para estos fluidos. La fase gaseosa asociada a las aguas termales se presenta como gas burbujeante y está principalmente constituida por CO_2 (entre 550 y 960 mmol/mol), con importantes concentraciones de N_2 (>28 mmol/mol). Los valores de las relaciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en CO_2 ($\delta^{13}\text{C-CO}_2$ entre -5.16 y -3.66 ‰ V-PDB) son consistentes con un origen mantélico para el mismo.

PALABRAS CLAVE: fluidos hidrotermales, geoquímica, isotopía, Rosario de la Frontera, Argentina.

ABSTRACT: The present study is a part of a multidisciplinary investigation of the thermal springs in the area of Rosario de la Frontera, carried out in order to produce a preliminary evaluation of geothermal potential of this system. These thermal manifestations, whose temperature ranges from 22.7 to 93.3 °C, are located in the northern sector of the La Candelaria Ridge, Salta province, Argentina. This study is based on analytical evidence of the chemical and isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$, δD and $\delta^{13}\text{C-CO}_2$) of 13 water and 5 gas samples taken from the springs. The values of the isotopic ratios of water (-6.7 and -37 ‰ V-SMOW for $\delta^{18}\text{O}$ and δD respectively), suggest a prevalent meteoric origin of fluids. Gaseous phases, associated to hot springs as bubbling gases, are mainly CO_2 (between 550 and 960 mmol/mol), with relevant concentration of N_2 (>28 mmol/mol). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio in CO_2 ($\delta^{13}\text{C-CO}_2$ from -5.16 to -3.66 ‰ V-PDB) are consistent with a prevalent mantle origin of this gas.

KEYWORDS: *hydrothermal fluid, geochemistry, isotopy, Rosario de la Frontera, Argentina.*

INTRODUCCIÓN

Los objetivos de este trabajo consistieron en determinar las características geoquímicas e isotópicas de los fluidos presentes en el área de Rosario de la Frontera a fin de conocer el origen de la recarga del acuífero ter-

mal y establecer un modelo hidrogeológico que permita explicar la presencia de aguas termales a elevadas temperaturas (>90°C) y de diferentes composiciones geoquímicas en un área relativamente pequeña. Pesce & Miranda (2003) generaron una compilación bibliográfica sobre la información existente en relación

a la química de las fuentes termales, donde se refleja la falta de datos analíticos completos y actualizados referentes a las mismas. En este sentido la presente contribución aporta los primeros datos isotópicos ($\delta^{18}\text{O}$, δD e $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$) en muestras de agua y gases provenientes de las fuentes termales del área. Los valores de las relaciones isotópicas del agua sugieren un origen meteórico para estos fluidos. Los valores de las relaciones isotópicas de los gases sugieren un origen principalmente mantélico para los mismos.

MARCO GEOLÓGICO

El área termal de Rosario de la Frontera ($25^{\circ}50.047'\text{S}$ $64^{\circ}55.715'\text{O}$) se ubica en el extremo septentrional de la Sierra de La Candelaria, Sistema de Santa Bárbara, provincia de Salta, Argentina (Fig. 1). El sistema de Santa Barbara es una faja corrida y plegada de piel gruesa formada por una serie de anticlinales relativamente cortos y anchos, con ejes buzando en dos direcciones y rumbos que varían entre N-S y NE-SO. Por lo general son marcadamente vergentes hacia el oeste, con flancos occidentales empinados hasta invertidos y flancos orientales planos inclinándose suavemente hacia el este. Los flancos occidentales de los anticlinales son frecuentemente cortados por fallas regionales que buzcan hacia el este. El área presenta evidencias de una complejidad estructural como consecuencia de la superposición de al menos dos fases tectónicas, la extensional cretácica y la compresional andina (Seggiaro *et al.* 1997). Las fallas directas correspondientes a la generación de un rift intracratónico durante el Cretácico (Grier *et al.* 1991) se invirtieron en forma selectiva

durante la compresión provocando vergencias opuestas y rampas laterales (Grier *et al.* 1991, Hongn & Seggiaro 1998). La elevación de la Sierra de La Candelaria se produjo como consecuencia de un cabalgamiento que emerge al este de la misma, dicho cabalgamiento se desplazó por una falla de suela buzante hacia el oeste cuya superficie de despegue, a 10 km de profundidad, se encuentra en el basamento integrado por la Formación Medina. En la ladera oeste de la Sierra de La Candelaria, los estratos del Subgrupo Pirgua se encuentran en contacto tectónico con el Subgrupo Balbuena por medio de una falla inversa de rumbo este oeste. En el centro y en la ladera oriental de la sierra, la misma falla pone en relación normal a la Formación Medina con el Subgrupo Pirgua. La particular característica de falla con cinemática directa e inversa pone en evidencia su condición de antigua falla extensional posteriormente reactivada con menor rechazo (Seggiaro *et al.* 1997).

MATERIALES Y METODOS

La ubicación de las fuentes termales se muestra en la (Fig. 1). Se recolectaron 13 muestras de agua y 5 muestras de gases para la realización de análisis químicos e isotópicos y se midieron in situ los parámetros de temperatura, pH y conductividad eléctrica; determinándose la alcalinidad por titulación. Las determinaciones isotópicas de las muestras de agua se realizaron mediante espectroscopía láser (OA-ICOS) en el INGEIS, Buenos Aires, Argentina. Los resultados son expresados como δ : desviación isotópica en ‰. La referencia utilizada es *Vienna Standard Mean Ocean*

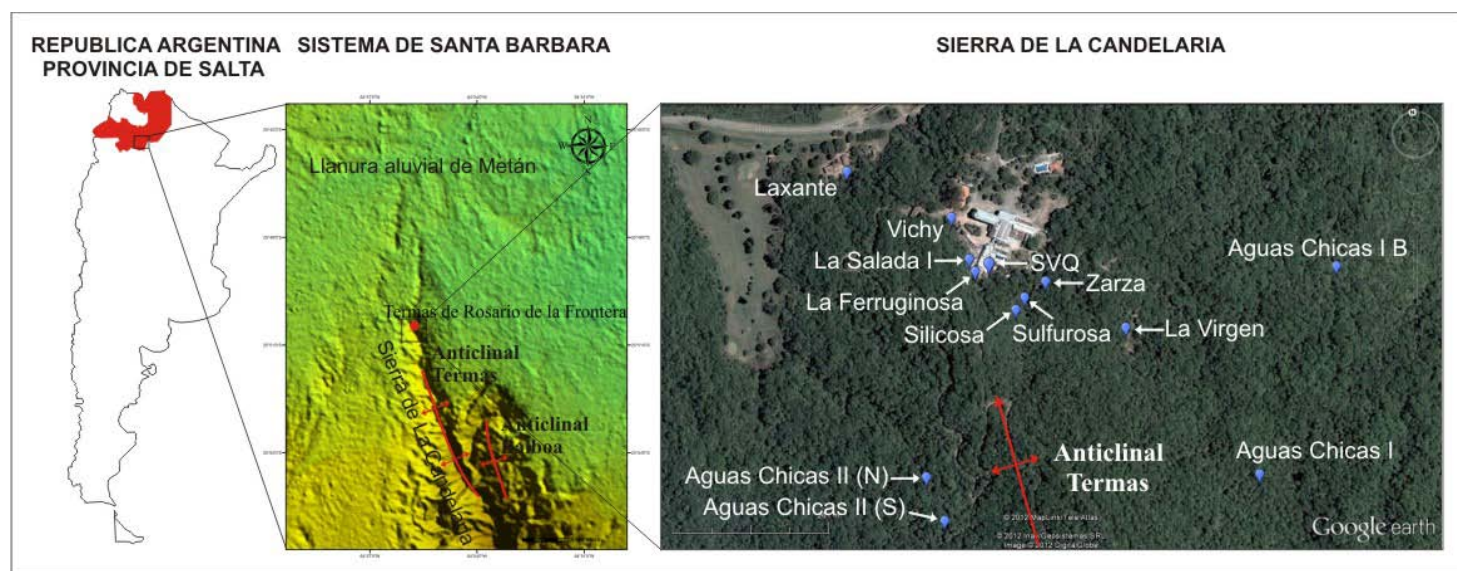


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Los puntos azules indican las fuentes termales.

Water (V-SMOW) (Gonfianti, 1978). Las incertidumbres son $\pm 0.3\text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\pm 1.0\text{‰}$ para δD . Los análisis de iones mayoritarios en agua y composición química de los gases se realizaron mediante cromatografía líquida y gaseosa, respectivamente, en los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Florencia, Italia. La determinación isotópica del ^{13}C - CO_2 se realizó por espectrometría de masa en los laboratorios de análisis de fluidos de la universidad de Florencia, Italia.

RESULTADOS

Muestras de aguas

Las muestras de agua presentan una salinidad relativamente baja ($\text{TDS} < 1000 \text{ mg/L}$), a excepción de 3 surgentes (Agua Laxante, Vichy y Salada I) que se caracterizan por valores de STD comprendidos entre 5500 y 30000 mg/L. Todas las aguas son de composición clorurada sódica, teniendo 3 de ellas significativa concentración del ión sulfato (hasta 3000 mg/L) (Fig. 2). No se observa enriquecimiento significativo en el ión amonio ($< 0.28 \text{ mg/L}$) ni en el boro ($< 0.51 \text{ mg/L}$), comúnmente utilizados como trazadores en fluidos hidrotermales. Los valores de las relaciones isotópicas del agua (-6.7 y -37‰ V-SMOW para $\delta^{18}\text{O}$ y δD , respectivamente) sugieren un origen predominantemente meteórico para estos fluidos (Fig. 3).

Muestras de gases

La fase gaseosa, asociada a las fuentes de aguas termales, se presenta como gas burbujeante. Está compuesta principalmente por CO_2 (entre 550 y 960 mmol/mol), con importantes concentraciones de N_2 ($> 28 \text{ mmol/mol}$) que en el caso de las muestras Zarza y Silicosa (385 e 415 mmol/mol) son comparables al contenido en CO_2 . Los 3 gases que muestran el contenido más elevado en CO_2 (Sulfurosa de la Vieja Quemada, Sulfurosa y Aguas Chicas) presentan las mayores concentraciones en H_2S (hasta 3.6 mmol/mol), H_2 (hasta 0.022 mmol/mol) y CH_4 (hasta 0.087 mmol/mol), y menores concentraciones en gases atmosféricos (O_2 , Ar y Ne) respecto a las dos muestras de gases ricas en N_2 . Los valores de las relaciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en CO_2 ($\delta^{13}\text{C}$ - CO_2 entre -5.16 y -3.66‰ V-PDB) son consistentes con un origen predominantemente mantélico para el mismo.

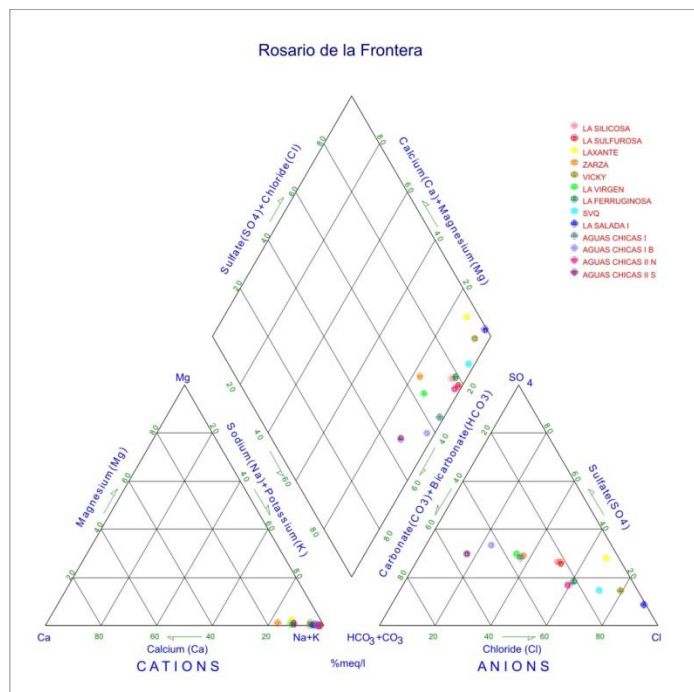


Figura 2. Composición iónica de las muestras de agua (diagrama de Piper).

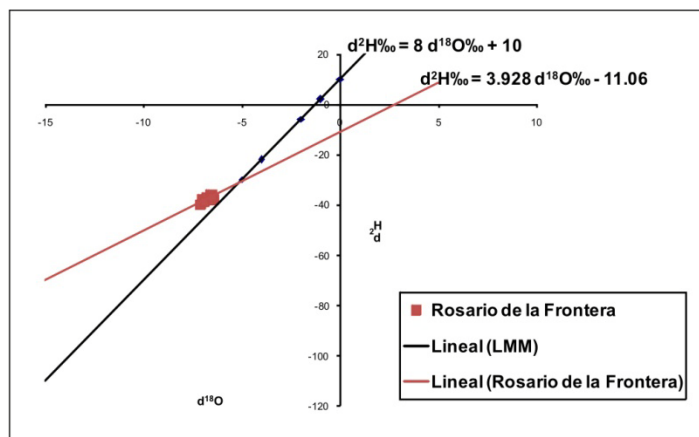


Figura 3. Composición isotópica de las muestras de agua ($\delta^{18}\text{O}$ vs. δD).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los valores de las relaciones isotópicas ($\delta^{18}\text{O}$, δD) obtenidos a partir del análisis de las muestras de agua sugieren un origen principalmente meteórico para la recarga del acuífero termal. Con respecto a los gases los valores de las relaciones $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en CO_2 son consistentes con un origen predominantemente mantélico para el mismo. Se encuentran en curso determinaciones isotópicas para establecer las relaciones $^3\text{He}/^4\text{He}$, destinadas a corroborar la posible contribución de helio a partir de la desgasificación mantélica. La caracterización hidrogeoquímica e isotópica de las aguas permitió conocer la dinámica y la relación entre las

aguas superficiales y subterráneas; y determinar los procesos de interacción agua/roca. Conjuntamente con los estudios hidrogeoquímicos, estratigráficos, estructurales y geofísicos se propone un modelo hidrogeológico en el cual aguas meteóricas circulan a través de fallas a grandes profundidades, donde adquieren altas temperaturas y luego ascienden a superficie por convección, en un área de gradiente geotérmico anómalo (1°C cada 13 metros) no asociado a vulcanismo reciente.

AGRADECIMIENTOS

Los datos que se presentan fueron obtenidos en el marco del Proyecto C.U.I.A. 2011-12 “Esplorazione e utilizzo di risorse geotermiche di media e bassa entalpia in area sub-andina per lo sviluppo energetico sostenibile delle città delle province di Jujuy e Salta”.

Se agradece a la administración del hotel Termas de Rosario de la Frontera por su colaboración en las tareas de campo.

REFERENCIAS

- Seggiaro R., Aguilera N., Ferretti J. & Gallardo E. 1997. *Estructura del área geotérmica de Rosario de la Frontera, Salta, Argentina*. VIII Congreso Geológico Chileno. Actas Vol (I):390-394.
- Pesce A. & Miranda F. 2003. *Catálogo de manifestaciones termales de la República Argentina*. Volumen I – Región Noroeste. SEGEMAR. Buenos Aires. Argentina.
- GRIER, M., SALFITY J., AND ALLMENDINGER R. W. (1991) - *Andean reactivation of the Cretaceous Salta rift, northwestern Argentina*. Journal of South American Earth Sciences, 4, 351–372.
- Hongn F. & Seggiaro R. 1998. *Estructuras del basamento y su relación con el rift cretácico, Valles Calchaquíes, provincia de Salta*. X Congreso latinoamericano de geología. Actas Vol (II):4-9. Buenos Aires. Argentina.
- Gonfiantini R. 1978. *Standards for stable isotope measurements in natural compounds*. Nature 271, 534-536.