

## Geoquímica de las aguas y gases en las áreas termales del Complejo Volcánico Copahue-Caviahue

Llano, J.<sup>1,2</sup>, Lamberti, M.C.<sup>1,2</sup>, Forte, P.<sup>1,3</sup>, Sierra Vaca, D.<sup>1,2</sup>, Massenzio, A.<sup>1,2</sup>, Albite, J.M.<sup>1,4</sup>,  
Núñez, N.<sup>5</sup>, Carbajal, F.<sup>7</sup>, García, S.<sup>7</sup>, Agosto, M.<sup>1,2</sup>, Vela, L.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> GESVA, Dpto. Cs. Geológicas, FCEN, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> IDEAN (UBA-CONICET), Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Instituto de Geociencias, Universidad Johannes Gutenberg, Mainz, Alemania.

<sup>4</sup> IGEBA (UBA-CONICET), Buenos Aires, Argentina.

<sup>5</sup> ICES, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.

<sup>6</sup> Ente Provincial de Termas, Neuquén, Argentina.

<sup>7</sup> OAVV – Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina.

Mail autor sénior: joaquinllano28@gmail.com

**Palabras claves:** Volcán Copahue, áreas termales, precipitados sólidos, Schwermannita.

### EL COMPLEJO VOLCÁNICO COPAHUE-CAVIAHUE (CVCC)

El CVCC aloja un sistema magmático hidrotermal, cuyas manifestaciones superficiales son el edificio del volcán Copahue (37,9°S – 71,2°O, 2977m, provincia de Neuquén, Argentina) y las áreas geotermales que se encuentran dentro de la caldera de Caviahue, cercanas a la localidad de Copahue. En estas últimas se distinguen fumarolas, piletas burbujeantes y lagunas de fango. En particular, las aguas presentes de la región se manifiestan de diferentes formas, ya sea como lagos, lagunas, ríos de gran caudal, arroyos efímeros de deshielo o charcos de pequeñas dimensiones (Figura 1). Estos cuerpos de agua presentan diferentes características geoquímicas y han sido clasificadas por Agosto et al. (2012) en 3 grupos distintos. Un primer grupo está representado por las aguas del Sistema Volcánico-Hidroológico (SVH), las cuales están directamente vinculadas en sus nacientes a la emanación de gases ácidos del cuerpo magmático. Característicamente, estas aguas poseen un pH menor a 3, altas conductividades (70-1 mS/cm) y una alta concentración de iones en solución. La presencia de dichos iones se produce por las reacciones desarrolladas entre el cuerpo de agua y los gases y rocas del ambiente. Por un lado, los gases de origen magmáticos (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, HF) se solubilizan, dismutan y disocian produciendo los aniones principales del sistema (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>). Por otro lado, los cationes mayoritarios (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) y los otros elementos minoritarios (Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, B<sup>3+</sup>, etc) son llevados a solución a partir de la interacción del agua con la roca de caja, disolviendo la misma y siendo favorecido este proceso por la alta acidez y temperatura de las aguas (de hasta 80°C). Otro grupo de aguas del área de estudio son las Aguas Calentadas por Vapor (ACV), ubicadas en la zona geotermal de Copahue donde un acuífero en profundidad funciona como filtro de los gases ácidos más solubles del sistema (HCl, HF) por presentar estos una alta constante de acidez, disociándose completamente en profundidad. Esta situación favorece el enriquecimiento en las emisiones de las áreas termales de las especies gaseosas de Carbono (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) y Azufre (H<sub>2</sub>S principalmente por las condiciones reductoras de estos ambientes) que controlan las composiciones bicarbonatadas y sulfatadas de las aguas termales (Agosto et al, 2013). De esta manera, dichas aguas pueden presentar tanto un pH ácido (1-3) como neutro (6-8), como también conductividades (0,5-20 mS/cm) y concentraciones iónicas de distinta magnitud. El tercer grupo de aguas del sistema son las Aguas de Deshielo (AD), de composiciones característicamente meteóricas con un pH entre 6-8 y bajas conductividades (<0,5 mS/cm) y concentraciones de iones. Dichas aguas se generan mayormente por el derretimiento de las grandes capas de nieve acumuladas durante el invierno.



Figura 1: Ubicación de las distintas aguas del Complejo Volcánico Copahue-Caviahue.

### LAS AGUAS DE LAS ÁREAS TERMALES (ACV)

Particularmente en las ACV de las aguas termales se pueden diferenciar dos subgrupos composicionales: i) por un lado las aguas ácidas sulfatadas (Las Máquinas, Las Maquinitas, Agua de Limón, Laguna Verde, Laguna el Chanco, Laguna Sulfurosa) que presentan un pH ácido (1-3,5), altas conductividades (de hasta 7 mS/cm) y altas concentraciones iónicas, y ii) por otro lado las aguas neutras bicarbonatadas (Laguna de los Callos, Agua Sulfurada, Agua del Mate, Laguna de las Algas, Agua Ferruginosa) con valores de pH entre 6 y 8 y conductividades por debajo de 1 mS/cm. Pocos son los autores que han indagado sobre esta diferencia sustancial en cuerpos de aguas que se encuentran a escasos metros de distancia. Augusto (2011) ha propuesto que dicha diferencia se debe a la ubicación de los cuerpos de aguas ácido-sulfatadas por sobre una estructura lineal del sistema estructural del área con disposición Este-Oeste aproximadamente. Este control estructural favorece el ascenso de los fluidos ácidos magmáticos-hidrotermales desde el acuífero profundo de la zona, enriquecidos en gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ . Esto también es observable en Las Maquinitas y Las Máquinas, donde estructuras someras permiten el ascenso de gases magmáticos-hidrotermales ácidos. En cambio, las aguas bicarbonatadas de las termas de Copahue, al encontrarse topográficamente más elevadas y alineadas en paralelo a las aguas ácidas, no estarían siendo afectadas por el flujo principal de ascenso de gases ácidos. De esta manera, las características de estas aguas termales bicarbonatadas estarían controladas principalmente por un flujo térmico, posiblemente asociado a los gases de  $\text{CO}_2$  de manera difusa (Lamberti et al. 2019). Esta disposición de los cuerpos de agua respecto a las estructuras señaladas podría explicar la diferencia composicional de las aguas de las termas de Copahue. De todas maneras, más información con respecto a estas aguas es necesaria. En esta dirección, durante la campaña de febrero de 2019 realizada por el grupo de trabajo, se han tomado muestras para analizar  $\delta^{13}\text{C}$ , el cual podría brindar mayor información respecto al origen del carbono de las aguas muestreadas.

### MINERALIZACIÓN ASOCIADA A LAS AGUAS DEL SVH

Por otro lado, el SVH está compuesto por la laguna cratélica ubicada en la cima del volcán, donde a partir del acuífero ácido y termal que se encuentra por debajo de la laguna, emanan hacia el Este dos vertientes, con pH entre 1-2,5 y temperaturas de 30-60°C, que se unen aguas abajo para dar nacimiento al río Agrio Superior (pH 2-2,5). Dicho río escurre desde el flanco del volcán por 18 kilómetros aproximadamente hasta desembocar en el lago Caviahue (pH 2,5-3,2). El único efluente del lago se ubica en el brazo norte y es el río Agrio Inferior, el cual continúa aguas abajo hasta la confluencia con el río Ñorquin y el río Loncopue, por fuera de la caldera del Agrio. A lo largo de todo

el recorrido del río Agrio, es constante el ingreso de las AD al sistema, produciendo un continuo aumento del pH y una disminución en las conductividades y concentraciones de los iones (Agusto et al., 2012; Llano, 2016). Dadas las altas concentraciones de hierro y sulfato en el sistema, cuando el mismo alcanza un pH de 3 se desarrolla la precipitación de un mineral de hierro denominado Schwertmanita (Agusto y Varekamp, 2016; Llano, 2016). Este mineral es un hidroxisulfato ( $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_x(\text{SO}_4)_y$ ) de color naranja con una estructura interna cuasi amorfa que se deposita como pátina o barro sobre las rocas del lecho, típico de ambientes ácidos como volcanes o de drenaje ácido de minas. Dado que el factor principal para la precipitación de este mineral es el pH, la ubicación espacial donde se desarrolla este proceso varía según las condiciones del medio. Es decir, que depende tanto del estado de actividad del volcán como del caudal de las AD. Un ejemplo claro de esto es la aparición del precipitado en las costas del lago Caviahue en el año 2018, presentando el mismo un pH de 3,1. Un rasgo que aún no ha sido explorado en el análisis de este mineral es el rol que juegan las algas que se observan en las zonas donde se produce el precipitado.

### CONSIDERACIONES FINALES

Como conclusiones, se destaca que las variaciones geoquímicas reconocidas en las aguas ubicadas dentro de la localidad de Copahue (parte del grupo ACV) responderían a un control estructural somero de la geología local. Las mismas controlarían el ascenso de los fluidos magmáticos que otorgan la acidez y las altas conductividades y concentraciones iónicas de las aguas, mientras que las aguas neutras y bicarbonatadas no estarían afectadas por gases ácidos sino por un flujo geotermal vinculado a las emisiones de  $\text{CO}_2$  difuso. Este tipo de conocimiento es fundamental para el entendimiento de los sistemas termales y sus composiciones, así como el tipo de mineralizaciones que se desarrollan en los mismos.

Por otro lado, al analizar el sistema SVH, se concluye que el ingreso de aguas de deshielo a lo largo de su recorrido sería el responsable de generar un cambio en las condiciones físico-químicas del sistema, favoreciendo la precipitación de Schwertmanita, un hidroxisulfato de hierro casi amorfo.

### REFERENCIAS

- Agusto, M. 2011. Estudio geoquímico de los fluidos volcánicos e hidrotermales del Complejo Volcánico Copahue Caviahue y su aplicación para tareas de seguimiento. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 291p., Buenos Aires.
- Agusto, M., Caselli, A., Tassi, F., Dos Santos M. y Vaselli O. 2012. Seguimiento geoquímico de las aguas ácidas del sistema volcán Copahue-Río Agrio: Posible aplicación para la identificación de precursores eruptivos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69: 481-495.
- Agusto, M., Tassi, F., Caselli, A. T., Vaselli, O., Rouwet, D., Capaccioni, B., Caliro, S., Chiodini, G. y Darrah, T. 2013. Gas geochemistry of the magmatic-hydrothermal fluid reservoir in the Copahue-Caviahue Volcanic Complex (Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 257: 44-56.
- Agusto, M. y Varekamp, J. 2016. The Copahue Volcanic-Hydrothermal System and Applications for Volcanic Surveillance. En Tassi F., Vaselli O. y Caselli A. (ed). *Copahue Volcano*. Springer International Publishing.
- Lamberti, M.C., Vigide, N., Venturi, S., Agusto, M., Yagupsky, D., Winocur, D., Barcelona, H., Velez, M.L., Cardellini, C. y Tassi, F. 2019. Structural architecture releasing deep-sourced carbon dioxide diffuse degassing at the Caviahue-Copahue Volcanic Complex. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 374: 131-141.
- Llano, J. 2016. Hidrogeoquímica de las aguas ácidas del río Agrio inferior, provincia de Neuquén. Tesis de licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédita), 111 p., Buenos Aires.