

## HIDROQUÍMICA DE AGUAS TERMALES EN LA ZONA GEOTÉRMICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO JUNTHUMA – PARQUE NACIONAL SAJAMA

### HYDROCHEMISTRY OF HOT SPRINGS IN THE GEOTHERMAL ZONE OF THE JUNTHUMA RIVER MICRO-BASIN – SAJAMA NATIONAL PARK

AGUIRRE DE LA QUINTANA, K. V.

*Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Universidad Mayor de San Andrés*

ORMACHEA MUÑOZ, M.

*Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Universidad Mayor de San Andrés*

La Paz, Bolivia

ktlynag@gmail.com

Recibido en 7 de octubre de 2024  
Aceptado en 23 de octubre de 2024

#### Resumen

Las aguas termales son cuerpos de agua subterránea calentados por el magma que emergen a la superficie con altas temperaturas. El objetivo de este estudio, realizado en el Parque Nacional Sajama (PNS), Bolivia, fue caracterizar la hidroquímica de estas aguas, comprobar si presentan características similares entre sí y evaluar su impacto sobre el río Junthuma.

Se recolectaron 37 muestras de agua, 34 de fuentes termales y 3 del río Junthuma, siguiendo el protocolo del USGS. Se midieron parámetros fisicoquímicos, pH, temperatura y conductividad eléctrica (CE). Los cationes mayoritarios ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) fueron determinados mediante absorción atómica, técnica llama y los aniones mayoritarios ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) mediante cromatografía iónica.

Las aguas termales presentaron un pH entre 6,6 a 8,8 (mediana: 7,4), la CE entre 2496 a 7007  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mediana: 6601  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y temperatura de 42 a 87°C (mediana: 76,4°C). Los iones predominantes son  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , en un rango de 771 a 1575 mg/L (mediana: 1287,2 mg/L) y 1033 a 1967 mg/L (mediana: 1821,4 mg/L), respectivamente. Por otra parte, aguas arriba de la zona geotérmica, el río nace con características típicas de aguas de deshielo (CE: 174,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; temperatura: 13,6 °C; pH: 7,3). Sin embargo, al atravesar la zona geotérmica el río presentó un incremento en la CE y temperatura hasta 322,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 15,9°C, respectivamente, mientras que el pH se mantuvo en 7,3. Finalmente, aguas abajo, la CE incrementó a 1585,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la temperatura a 21,2°C y el pH a 8,1; mostrando un impacto de las aguas termales sobre el río.

El análisis hidroquímico confirmó el tipo de agua Na-Cl, las correlaciones estadísticas sugieren procesos de minerales carbonatados y posibles influencias volcánicas en las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . El diagrama de Giggenbach indicó un sistema geotérmico parcialmente equilibrado con una temperatura de reservorio de aproximadamente 211°C. Además, la composición del río Junthuma cambió de un tipo Ca-Mg-Na- $\text{HCO}_3$  a Na-Cl debido al impacto de las aguas termales.

**Palabras clave:** aguas termales, hidroquímica, impacto ambiental

#### Abstract

Hot springs are bodies of groundwater heated by magma that emerge to the surface with high temperatures. The objective of this study, carried out in Sajama National Park (SNP), Bolivia, was to characterize the hydrochemistry of these waters, check if they present similar characteristics among themselves and evaluate their impact on the Junthuma River.

Thirty-seven water samples were collected, 34 from hot springs and 3 from the Junthuma River, following the USGS protocol. Physicochemical parameters, pH, temperature and electrical conductivity (EC) were measured. The major cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ ) were determined by atomic absorption, flame technique, and the major anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ) by ion chromatography.

The thermal waters had a pH between 6.6 and 8.8 (median: 7.4), EC between 2496 and 7007  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (median: 6601  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and temperature from 42 to 87°C (median: 76.4°C). The predominant ions are  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , ranging from 771 to 1575 mg/L (median: 1287.2 mg/L) and 1033 to 1967 mg/L (median: 1821.4 mg/L), respectively. On the other hand, upstream of the geothermal zone, the river originates with characteristics typical of meltwater (EC: 174.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; temperature: 13.6 °C; pH: 7.3). However, when crossing the geothermal zone, the river presented an increase in EC and temperature up to 322.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 15.9°C, respectively, while pH remained at 7.3. Finally, downstream, the EC increased to 1585.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , temperature to 21.2°C and pH to 8.1; showing an impact of the thermal waters on the river.

Hydrochemical analysis confirmed the Na-Cl water type, statistical correlations suggest carbonate mineral processes and possible volcanic influences on  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations. The Giggenbach diagram indicated a partially equilibrated geothermal system with a reservoir temperature of approximately 211°C. In addition, the composition of the Junthuma River changed from a Ca-Mg-Na- $\text{HCO}_3$  to Na-Cl type due to the impact of hot springs.

**Keywords:** thermal waters, hydrochemistry, environmental impact