



# GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y EFECTOS DE LA METEORIZACIÓN EN LA CUENCA ALTA-MEDIA DEL RÍO CTALAMOCHITA

## GEOCHEMISTRY OF SURFACE WATERS AND WEATHERING EFFECTS IN THE HIGH-MEDIUM BASIN OF THE CTALAMOCHITA RIVER

Destéfani, Georgina<sup>2</sup>; Martínez Jorge O.<sup>1,2</sup>; Gaiero, Diego M.<sup>1,2</sup>; Ribeiro, Guillermo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), CONICET Universidad Nacional de Córdoba, Avenida Vélez Sarsfield 1611, X5016DGA Córdoba, Argentina. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Avenida Vélez Sarsfield 1611, X5016DGA Córdoba, Argentina.

[jomartinez@unc.edu.ar](mailto:jomartinez@unc.edu.ar)

### Resumen

La cuenca alta-media del río Ctalamochita se ubica al suroeste de la provincia de Córdoba. Está comprendida por cuatro subcuencas: R<sup>o</sup> Santa Rosa, R<sup>o</sup> Grande, R<sup>o</sup> Quillinzo y R<sup>o</sup> De Los Sauces. El objetivo de este trabajo es caracterizar la señal química de las aguas superficiales, asociándola a forzantes climáticos, litológicos y antrópicos. La composición de las aguas es bicarbonatada cálcica a bicarbonatada mixta. Las subcuencas de los ríos Santa Rosa y De Los Sauces se distinguen de las correspondientes a los ríos Grande y Quillinzo por presentar valores superiores de los parámetros físico-químicos. La hidrólisis de andesina y oligoclasa, y la disolución de bancos carbonáticos calcomagnesianos serían los principales procesos liberadores de solutos. Los índices de saturación muestran que las aguas de las subcuencas de los ríos Santa Rosa y De Los Sauces están sobre saturadas en calcita, dolomita y talco.

**Palabras claves:** hidrogeoquímica, meteorización, índice de saturación.

### Introducción

El estudio de la meteorización química del sustrato rocoso que drenan las aguas permite caracterizar la dinámica hidrogeoquímica de las mismas. El término meteorización se usa en las Ciencias de la Tierra para denotar la degradación y alteración in situ de rocas y minerales (Campodonico *et al.*, 2014). Esto tiene lugar cuando actúan sobre el sustrato rocoso distintos procesos físicos, químicos y biológicos impulsados por factores externos, transformando a las rocas expuestas, y otorgando como resultado el movimiento de materiales como productos sólidos y soluciones cargadas de solutos.

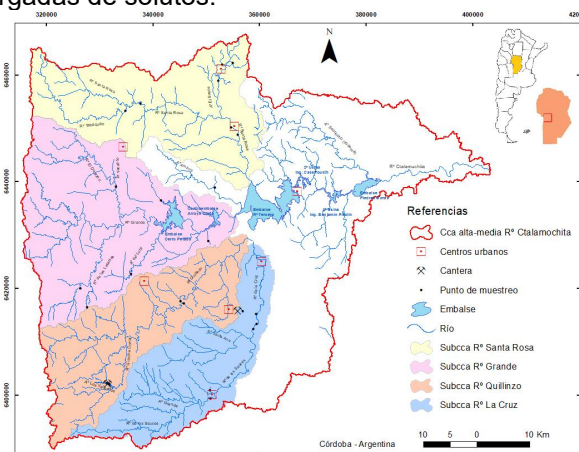


Figura 1. Mapa de ubicación del área de trabajo.

En la meteorización química, ocurre la descomposición de la roca con los consecuentes cambios químicos en las fases minerales preexistentes (Gifford, 2005; Butz, 2004; Rose, 1979). Los principales productos son iones en solución, especies químicas que precipitan, nuevos minerales formados por disolución incongruente de minerales primarios y minerales resistentes a la meteorización.

En este trabajo se intenta caracterizar la hidrogeoquímica de las aguas de la cuenca alta-media del río Ctalamochita, como así también determinar el comportamiento que adquieren en las cuatro subcuencas más relevantes, de norte a sur: R° Santa Rosa (**A**), R° Grande (**B**), R° Quillínz (C) y R° De Los Sauces (también llamado río de La Cruz) (**D**) (Fig. 1). De esta manera, se busca determinar las principales fuentes de solutos, tomando como consideración que la litología es la principal responsable de los iones en solución.

### Materiales y Métodos

Las muestras de agua, y los resultados analíticos con los que se cuenta para este trabajo, fue parte del desarrollo del Plan Provincial de Muestreo (PPM), de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), durante el año 2001. Se llevaron a cabo dos campañas de muestreo. La primera, denominada C-I, los días 25 de mayo hasta el 3 de junio de 2001; la segunda campaña, denominada C-II, entre los días 24 de julio al 5 de agosto de 2001.

Se trabajó con un total de 33 muestras de agua superficial, entre las dos campañas. En cada sitio de muestreo se recolectaron 5 litros de agua. Una fracción filtrada empleando membrana de tamaño de poro de 0,45  $\mu\text{m}$ , sin agregado de acondicionantes, se destinó a la determinación de aniones mayoritarios por cromatografía líquida de iones. Otra fracción filtrada y acidulada se destinó al análisis de cationes mayoritarios, elementos trazas y tierras raras, por la técnica de ICP-MS y OES. Se realizaron mediciones *in situ* de rutina, tales como pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), alcalinidad.

Se utilizó el programa InfoStat para el tratamiento estadístico de los datos, y los programas AQUACHEM y PHREEQC para el modelado geoquímico.

### Resultados

Las aguas superficiales de la cuenca presentan un valor medio de pH de 7,60, una alcalinidad media de 2320,61  $\mu\text{eq/L}$ , 253,02  $\mu\text{S/cm}$  de CE y 164,46 mg/L de STD. La composición es bicarbonatada cálcica a bicarbonatada mixta. Si bien las aguas de la C-II presentan una leve tendencia a ser más cálcicas desde el punto de vista catiónico, y las aguas de la C-I evidencian una señal clorurada de las precipitaciones atmosféricas. La diferencia composicional entre ambas campañas no es estadísticamente significativa, por lo cual la componente climática no estaría controlando las diferencias descriptas. A nivel de subcuenca, si bien todas las aguas se clasifican como bicarbonatadas, la subcuenca C presenta términos levemente más clorurados y las subcuencas A y D, términos más sulfatados. En cuanto a la composición catiónica, la subcuenca B presenta aguas mixtas con tendencia a términos magnésicos, las subcuencas A y C se clasifican como mixtas con algunos términos levemente sódico-potásicos, mientras que las aguas de la subcuenca D son cálcicas a mixtas (Fig. 2-a).

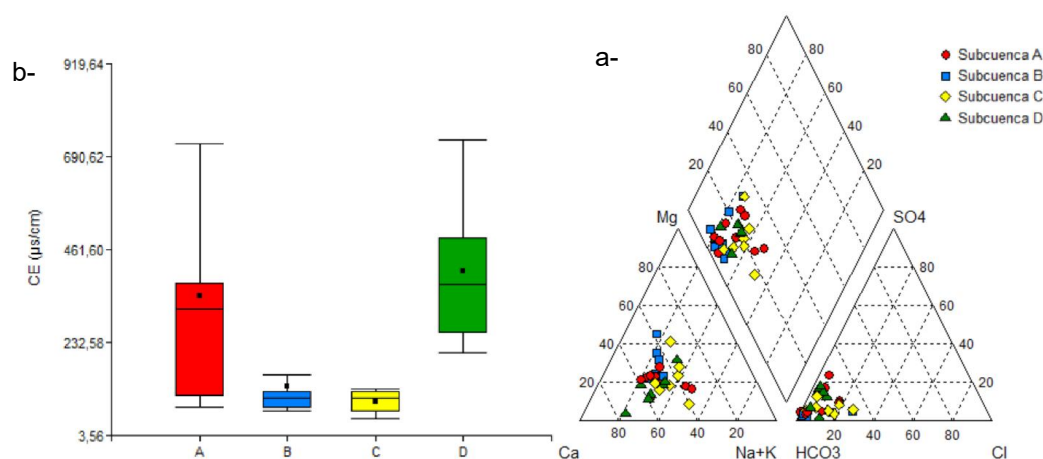


Figura 2. a- Diagrama de Piper, con muestras diferenciadas por subcuencas. b- Diagrama de caja mostrando la distribución de conductividad eléctrica por subcuencas en  $\mu\text{S/cm}$ .

El análisis de la CE (Fig. 2-b) permite diferenciar que las aguas de las subcuencas A y D presentan mayor concentración de solutos (CE media: 347,59 y 409,00  $\mu\text{S/cm}$

respectivamente), que las subcuencas B y C (CE media: 125,56 y 87,54  $\mu\text{S/cm}$  respectivamente). Las aguas de las subcuencas B y C, con menor conductividad drenan sobre rocas metamórficas, y granitos; mientras las subcuencas A y D están conformadas, además, por afloramientos carbonáticos, máficos y ultramáficos. Otro factor a considerar es la actividad minera presente en la subcuenca D, con explotación de canteras de calizas. La presencia de centros urbanos parece jugar un rol importante en la señal química de la subcuenca A.

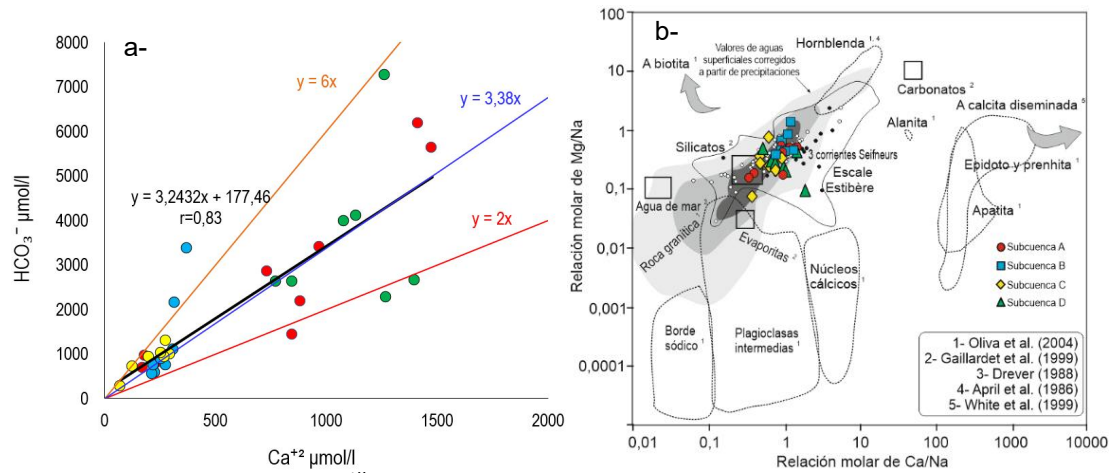


Figura 3. a- Relación  $\text{HCO}_3^-:\text{Ca}^{+2}$ . Línea naranja: disolución oligoclasa; línea azul: andesina; línea roja: calcita. b- Diagrama de relaciones molares de  $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$  frente a relaciones molares de  $\text{Mg}^{+2}/\text{Na}^+$ , tomado de Oliva *et al.*, (2004).

Entre los procesos de meteorización que aportan solutos a las aguas, la hidrólisis de las plagioclasas genera alcalinidad, y es una fuente de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{+2}$  en solución, siendo la oligoclasa y la andesina las especies dominantes en los gneis y granitos de la cuenca. En la Figura 3-a, la relación  $\text{HCO}_3^-:\text{Ca}^{+2}$  en las muestras de agua de la cuenca se aproxima, mayoritariamente, a la recta teórica de disolución de la andesina ( $y=3,38x$ ), aunque con una componente de aporte de las oligoclasas. También se observa que la disolución de calcita estaría contribuyendo al aporte de un exceso de  $\text{Ca}^{+2}$ . La representación de la relación entre  $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}/\text{Na}^+$  de cada muestra usando el diagrama propuesto por Oliva *et al.* (2004) (Fig. 3-b) permite reforzar la idea anterior. Las muestras se ubican entre los miembros finales silicatados y carbonatados. La relación molar  $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$  presente en las aguas de la cuenca alta-media es  $\approx 1$ , superando el valor de 0,35 propuesto por Gaillardet *et al.* (1999), para aguas que drenan por rocas silicatadas. La hidrólisis de las plagioclasas no termina de explicar la señal química de las aguas, haciéndose evidente el efecto que tendría la presencia de carbonato en las rocas de la cuenca, tanto en forma de calcita diseminada en el granito como de bancos carbonáticos intercalados en las metamorfitas. Minerales ferromagnesianos presentes en la cuenca, como la horblenda, clinopiroxenos y ortopiroxenos podrían explicar las altas relaciones de  $\text{Mg}^{+2}/\text{Na}^+$  para algunos miembros.

Los productos disueltos de la meteorización pueden mantener su capacidad reactiva o depositar minerales. Para evaluar el grado de saturación de las distintas especies minerales en la solución, se recurrió al cálculo del índice de saturación (IS). Todas las aguas están subsaturadas en yeso y fluorita, a pesar de tener algunos puntos de muestreo con elevada concentración de fluoruro próximos a las explotaciones de fluorita. La Figura 4 representa los IS de las muestras organizadas por subcuencas y en orden descendiente hacia la desembocadura, para la calcita, dolomita, cuarzo y talco, donde nuevamente se puede registrar la diferencia de comportamiento de las subcuencas A y D con respecto a B y C. Las aguas en general se encuentran sobresaturadas con respecto al cuarzo, salvo los puntos próximos a la desembocadura de las subcuencas A y D.

Las aguas de las subcuencas A y D presentan valores más altos de IS con respecto al talco, con algunas muestras sobresaturadas. Las aguas de estas dos subcuencas drenan cuerpos de rocas metagábricas ricas en horblenda y con presencia de espinelo y broncita, que por meteorización podrían dar origen al talco. Estas subcuencas también muestran una evolución creciente de los índices de saturación de calcita y dolomita hacia la desembocadura. Los bancos de mármoles dolomíticos a calcodolomíticos, característicos en estas dos subcuencas,

podrían explicar estos IS. Las subcuencas B y C no alcanzan la saturación en talco, calcita y dolomita en ninguno de sus puntos de muestreo, pero si lo hacen las especies asociadas a los niveles de ácido silícico, como el cuarzo.

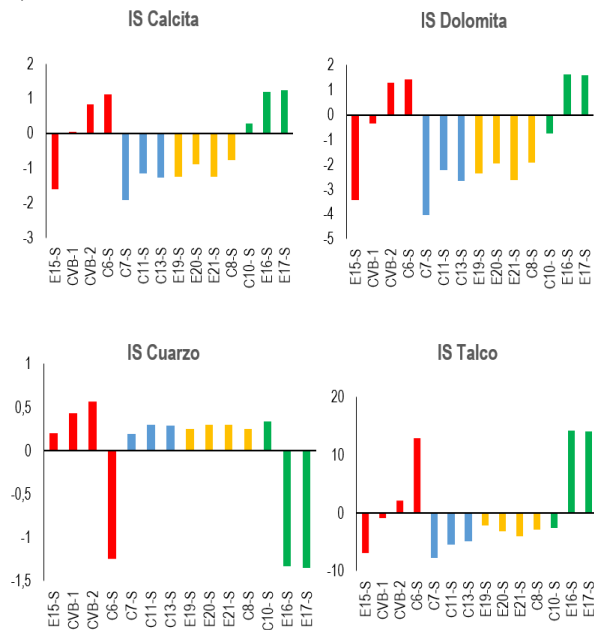


Figura 4. Diagramas de índices de saturación mineral.

## Conclusiones

Las aguas superficiales de la cuenca presentan un valor medio de pH de 7,60, una alcalinidad media de 2320,61  $\mu\text{eq/L}$ , 253,02  $\mu\text{S/cm}$  de CE y 164,46 mg/L de STD. La composición es bicarbonatada cálcica a bicarbonatada mixta. No se registra diferencia significativa entre los registros de las dos campañas, pero si en la carga disuelta de las distintas subcuencas.

Las fuentes de soluto responsables de la química de las aguas provienen del aporte de dos componentes principales, una silicatada y otra carbonática. La hidrólisis de andesina y oligoclasa no termina de explicar la química de las aguas, por lo que, a pesar de su menor expresión superficial, la disolución de carbonatos cálcicos magnésicos sería una fuente significativa de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en las aguas. En el caso del  $\text{Mg}^{+2}$ , el aporte de la meteorización de minerales máficos no sería despreciable.

Los índices de saturación también reflejan un comportamiento distintivo de acuerdo a las diferentes subcuencas. Las subcuencas A y D se comportan de manera similar mostrando saturación en calcita, dolomita y talco, mientras que las subcuencas B y C se encuentran subsaturadas con respecto a estos minerales, pero si presentan cierto grado de saturación para el cuarzo.

## Bibliografía

- Campodonico, V.A., Martínez, J.O., Verdecchia, S.O., Pasquini, A.I., Depetris, P. J.** 2014. Weathering assessment in the Achala Batholith of the Sierra de Comechingones, Córdoba, Central Argentina. I: Granite-regolith fractionation. *Catena* 123, 121-134.
- Butz, S.** 2004. *Science of Earth Systems*. Estados Unidos; Delmar Learning, 661p.
- Gaillardet, J., Dupré, B., Louvat, P., Allègre, C.J.** 1999. Global silicate weathering and CO<sub>2</sub> consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chem. Geol.* 159, 3-30.
- Gifford, C.** 2005. *Looking at landscapes: Weathering and Erosion*. Londres, Inglaterra: Evans Brothers Limited, 47p.
- Oliva, P., Dupré B., Martin F. y Viers J.** 2004. The role of trace minerals in chemical weathering in a high-elevation granitic watershed (Estibère, France): Chemical and mineralogical evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 68, No. 10, pp. 2223-2244.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. Webb, J.S.** 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, London, 657p.