



## EVALUACIÓN DE LA GEOQUÍMICA DE SUPERFICIE A TRAVÉS DEL GIS, SIERRA DE COMECHINGONES, PROVINCIA DE CÓRDOBA

### GIS-BASED SURFACE GEOCHEMISTRY ASSESSMENT, SIERRA DE COMECHINGONES, PROVINCE OF CÓRDOBA

Ribeiro, Guillermo<sup>2</sup>; Martínez, Jorge O.<sup>1,2</sup>; Ávila, Pilar<sup>1</sup>; Destéfanis, Georgina<sup>2</sup>

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

[guillermoribeiroa@gmail.com](mailto:guillermoribeiroa@gmail.com)

#### Resumen

*En este trabajo se cuantificó la influencia de diversos forzantes naturales y antrópicos sobre la química del agua superficial de la cuenca alta y media del río Ctalamochita. Se utilizaron herramientas del software ArcGIS® y técnicas de análisis multivariado que permitieron desarrollar un índice de susceptibilidad del agua superficial (ISAS) a los forzantes naturales y antrópicos intervinientes en la cuenca. A partir de estas técnicas y herramientas se obtuvo una salida gráfica de tipo ráster que muestra los sectores de mayor aporte de elementos químicos al agua de los ríos. Esta imagen del ISAS se comparó con datos geoquímicos obtenidos de muestras de agua, y que fueron interpolados con la herramienta geoestadística kriging. De estas imágenes se pudieron distinguir y cuantificar los aportes de los diferentes forzantes.*

**Palabras clave:** meteorización, GIS, kriging.

#### Introducción

Los ríos han jugado un papel trascendente en el desarrollo de la humanidad, por lo tanto la caracterización de este servicio ambiental hídrico a nivel de cuenca social, es estratégico para la planificación de actividades productivas y proyecciones del crecimiento urbano. En este sentido, distintos investigadores vienen desarrollando nuevas líneas de investigación para cuantificar la sensibilidad de las distintas variables que pueden afectar la calidad de los servicios ambientales hídricos. Estos trabajos se desarrollan haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y herramientas de análisis geoestadístico (Al-Adamat, 2017; Yazidi et al., 2017; Khalil, et al., 2014), que complementan los estudios geoquímicos de ríos de montaña (por ej., Aubert, Stille, y Probst, 2001; Douglas, 2006; Hagedorn y Whittier, 2015; Oliva et al., 2004).

Este trabajo constituye un aporte al estudio de la cuenca tributaria del río Ctalamochita, haciendo uso de herramientas de mapeo digital y de GIS para relacionar la geoquímica con el análisis de factores morfométricos y geológicos de la cuenca.

#### Materiales y Métodos

Para poder caracterizar las señales geoquímicas del agua de los ríos de esta cuenca social, se desarrolló un índice de susceptibilidad del agua superficial (ISAS), a los forzantes naturales y antrópicos que intervienen en la cuenca, y así poder conocer la influencia de estos sobre la geoquímica de las aguas.

Este ISAS, es generado a partir de técnicas de análisis multivariado, en este caso se usó el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que permite ponderar los forzantes de acuerdo a su impacto particular y luego combinarlos a través del GIS. Para esto fue necesario reclasificar estos forzantes, asignándole un valor a cada uno dentro de una escala arbitraria del 1 al 9, según su menor o mayor influencia respectivamente y de acuerdo a diferentes criterios según el forzante analizado. Con una herramienta del GIS, llamada suma ponderada que multiplica cada forzante por su respectivo peso y los suma, se obtiene una salida gráfica de tipo ráster que nos permitirá conocer los sectores de la cuenca con mayor influencia sobre la geoquímica del agua del río Ctalamochita y sus tributarios (Figura 1).

Los datos geoquímicos utilizados pertenecen al Plan Provincial de Muestreo (PPM) que es parte de los Estudios Ambientales de Base del proyecto llamado Programa de Asistencia al Sector Minero Argentino (PASMA) que se llevó adelante entre 1997 y 2001. De este muestreo, se seleccionaron una serie de variables químicas, que se interpolaron con una herramienta de tipo kriging en ArcGIS® versión 10.1 y se obtuvieron salidas gráficas de tipo ráster para cada variable geoquímica (Figura 2).

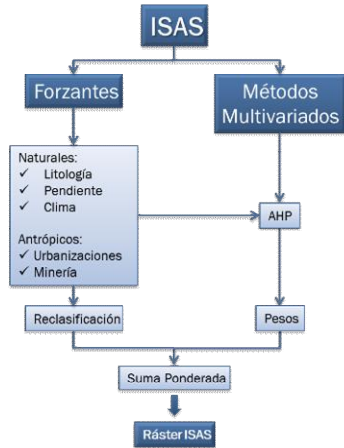


Figura 1. Componentes del ISAS.



Figura 2. Datos geoquímicos.

Las escalas de influencias de los distintos forzantes son sumamente diversas, especialmente el forzante que corresponde a la minería que para este trabajo es de sumo interés. Por esta razón se trabajó a dos escalas distintas. El cálculo del ISAS se realizó para la cuenca del río Ctlamochita y para la subcuenca del río Santa Rosa. La elección de esta se debe a la cantidad de datos geoquímicos que contiene.

Además, sobre los puntos de muestreo, de la cuenca del río Santa Rosa, se colocaron diagramas de Stiff, modelados con Aquachem® para poder relacionar los datos geoquímicos con los parámetros geológicos.

## Resultados

En la cuenca del río Ctlamochita, de la comparación de los mapas de predicción de tipo kriging de los sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), alcalinidad, cationes y aniones mayoritarios, tierras raras (REE) (Figura 3), con el mapa del ISAS (Figura 4), vemos que todos muestran una tendencia creciente hacia el este, excepto las TRR y el Th. Al noroeste un leve aumento de los valores del índice y de las variables geoquímicas mencionadas, puede ser atribuido a la presencia del granito Champaquí y/o al levantamiento producto de la falla de Los Gigantes. Al N y S de la cuenca, el aumento importante de los STD, CE e ISAS se puede vincular al impacto de la actividad urbana de Villa Gral Belgrano y Santa Rosa de Calamuchita, mientras que en el sur se debe a la explotación de carbonatos en Las Caleras de Calamuchita y a la presencia de sedimentos loésicos de la Fm Pampeano.

Las anomalías de  $\text{NO}_3^-$  son indicadores de efluentes orgánicos y este alcanza sus máximos valores sobre las localidades de Villa Gral Belgrano y Santa Rosa de Calamuchita. Mientras que la anomalía positivas de  $\text{F}^-$  está asociada a la explotación minera de fluorita (mina Fluorita Córdoba) ubicada al SO de la cuenca.

En la figura 5 se observa que el ISAS para la subcuenca del río Santa Rosa está fuertemente controlado por la litología y las pendientes. Se observó que al oeste se encuentran los valores más bajos del ISAS, debido a las anatexitas presentes y la baja pendiente. Mientras que en el sector central el ISAS alcanza sus máximos valores, debido a la presencia de la falla de Los Gigantes, rocas ultrabásicas y carbonáticas. Además, hay intensa actividad minera a cielo abierto para la extracción de dolomitas, cromo y cordierita. Y en el sector este se observan los valores más altos sobre las áreas urbanizadas y sobre el flanco abrupto de las Sierras Chicas.

La figura 6 corresponde a un perfil extraído a partir de las trazas de los ríos Tabaquillo-Santa Rosa y Arroyo el Sauce-Santa Rosa, sobre el mapa del ISAS. En este se relacionan los valores

del ISAS con los diagramas de Stiff, y se observa que el río Tabaquillo presenta una composición bicarbonatada cálcica, representada por la muestra C17-S, y que las concentraciones de estas aguas disminuyen luego del punto 3, donde el Tabaquillo desemboca en el río Santa Rosa, muestra E15-S.

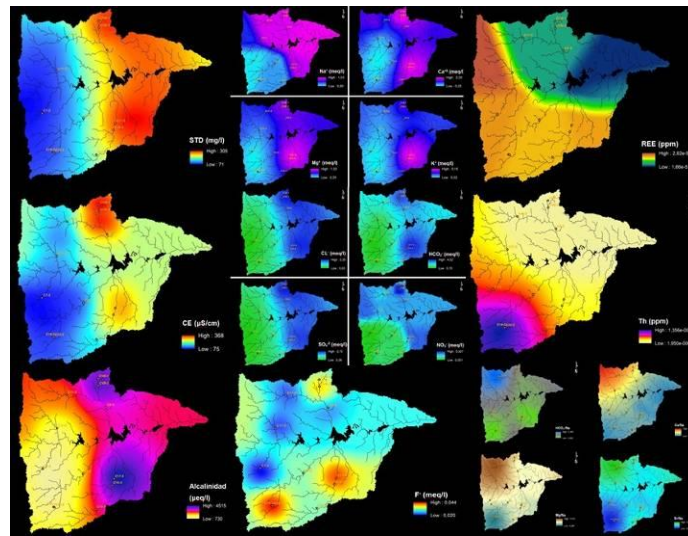


Figura 3. Mapas de predicción de tipo kriging de

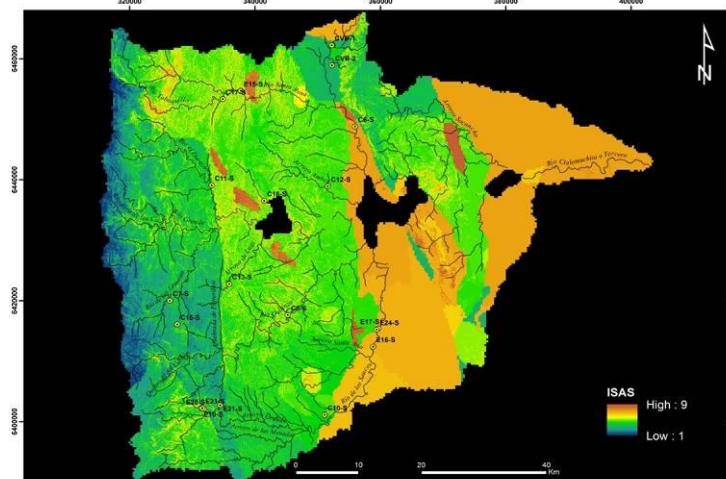


Figura 4. ISAS para la cuenca del río Ctlamochita.

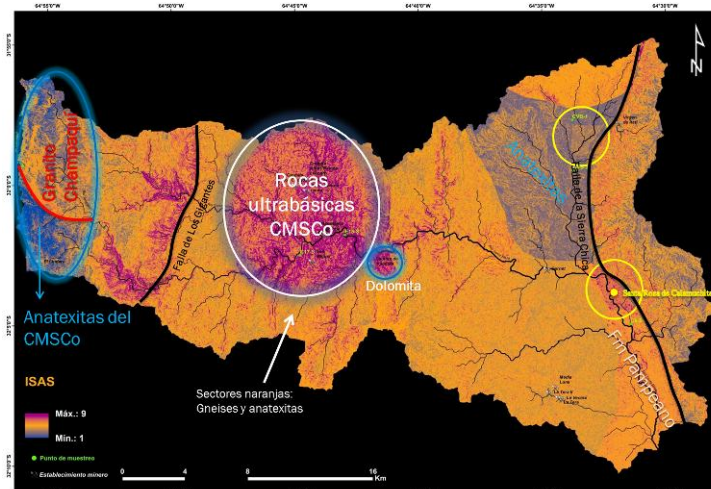


Figura 5. ISAS para la subcuenca del río Santa Rosa.

Además, la cabecera del arroyo El Sauce, muestra CVB-1, presenta una composición bicarbonatada cálcica. Estas aguas luego de atravesar la ciudad de Villa General Belgrano, muestra CVB-2, cambian a una composición bicarbonatada sódica, con alta carga de STD. El Sauce desemboca en el río Santa Rosa en el punto 4, y aguas debajo de la ciudad de Santa Rosa de Calamuchita la muestra C6-S muestra una composición bicarbonatada cálcica y una disminución de los STD respecto de la CVB-2.

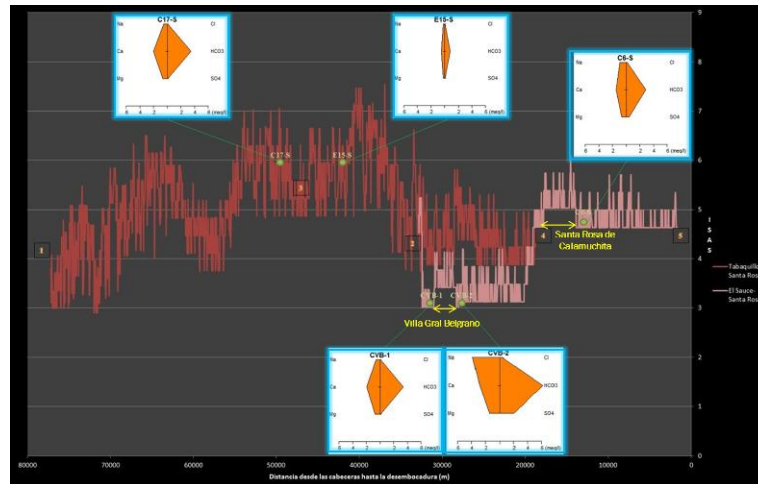


Figura 6. Perfiles siguiendo la traza de los ríos, Tabaquillo- Santa Rosa y El Sauce- Santa Rosa, en relación al ISAS y diagramas de Stiff para elementos mayoritarios.

## Conclusiones

A partir del ISAS se pudo cuantificar la influencia de los forzantes sobre la geoquímica de las aguas de la cuenca de Ctlamochita y subcuenca del río Santa Rosa. De esta relación ISAS-geoquímica, se pudo evidenciar el impacto de la localidad de Villa Gral Belgrano reflejado en un alto ISAS y un importante incremento de la carga química en el agua del arroyo El Sauce, tanto a nivel de cuenca como de subcuenca. También se observa que al sur de la cuenca las formaciones loésicas, carbonáticas y la actividad minera, elevan el ISAS y aportan gran cantidad de elementos químicos.

Finalmente, se concluye que el río Santa Rosa tiene un gran efecto de dilución sobre sus afluentes, a pesar de atravesar sectores de alto ISAS.

## Bibliografía

- Al-Adamat, R.,** 2017. Modelling surface water susceptibility to pollution using GIS. *Journal of Geographic Information System*, 293-308.
- Aubert, D., Stille, P. y Probst, A.,** 2001. REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended load: Sr and Nd isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 387-406.
- Douglas, T.,** 2006. Seasonality of bedrock weathering chemistry and CO<sub>2</sub> consumption in a small watershed, the White River, Vermont. . *Chemical Geology*, 236-251.
- Hagedorn, B. y Whittier, R.,** 2015. Solute sources and water mixing in a flashy mountainous stream (Pahsimeroi River, U.S. Rocky Mountains): Implications on chemical weathering rate and groundwater–surface water interaction. *Chemical Geology*, 123-137.
- Khalil, A., Hanich, L., y Lepage, M.,** 2014. GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: A case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*, 468-477.
- 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*, 2223-2244.
- Yazidi, A., Saidi, S., Ben Mbarek, N. y Darragi, F.,** 2017. Contribution of GIS to evaluate surface water pollution by heavy metals: Case of Ichkeul Lake (Northern Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*.