

Geoquímica y mineralogía del sistema fluvial del río Lluta

Leonardo Baeza* y Juan Pablo Lacassie

Servicio Nacional de Geología y Minería, Alberto Reyes 035, Santiago, Chile

* E-mail: lbaeza@sernageomin.cl

Resumen. El presente trabajo, enmarcado en el plan de cartografía geoquímica del Sernageomin, busca caracterizar geoquímica y mineralógicamente el sistema fluvial del río Lluta, mediante el estudio de la fracción <180 μm de sedimentos activos y pre-industriales recolectados desde los cauces de esta cuenca de drenaje. Los datos fueron analizados usando diagramas de variación geográfica y una avanzada técnica estadística multidimensional (redes neuronales artificiales). Los resultados permiten evaluar la influencia de factores naturales y/o antropogénicos. En particular, el estudio permite reconocer: 1) Contaminación por As, regionalmente causado por las características geológicas de la zona y, localmente, empeorado por el aporte de la ex mina de azufre Aguas Calientes, ubicada en la rivera del río Azufre, uno de los principales afluentes del río Lluta; 2) Signaturas geoquímicas específicas, asociadas con áreas mineralizadas y/o alteradas hidrotermalmente; 3) Presencia de minerales de uranio en toda la cuenca. Los resultados muestran que este tipo de estudio permite generar líneas de base para monitorear la calidad de los sedimentos, además de su aplicación en la identificación de áreas prospectivas y sus características signaturas geoquímicas.

Palabras Claves: Geoquímica, río Lluta, sedimentos, contaminación, redes neuronales, mineralogía

1 Introducción

En un sistema fluvial existen factores naturales y antropogénicos que modifican la composición sedimentaria a través del área de drenaje (Sensarma et al., 2008; Lacassie, 2009). El estudio de datos geoquímicos y mineralógicos de los sedimentos fluviales se utilizan, comúnmente, para determinar la influencia de estos factores naturales y el impacto de los factores antropogénicos sobre la calidad ambiental de estos sistemas (Ohta et al., 2005; Gordeev et al., 2004; Ortiz y Roser, 2006; Oyarzun et al., 2007), además de ser utilizados como método de exploración para la identificación de áreas de interés prospectivo.

En este trabajo se analiza la composición química y mineralógica de las muestras de sedimentos activos y pre-industriales recolectados desde los principales cauces de la cuenca del río Lluta. Se estudia la fracción <180 μm de los sedimentos recolectados, ya que se considera como representativa de la carga en suspensión, principal medio de transporte para los elementos mayores y en traza (Ortiz y Roser, 2006). Los resultados de los análisis químicos (ICP-MS e ICP-ES) y mineralógicos (XRD) fueron

analizados utilizando diagramas convencionales y redes neuronales artificiales.

El objetivo de este estudio es determinar qué factores (naturales y/o antropogénicos) están afectando la composición sedimentaria de este sistema fluvial.

2 Metodología

2.1 Muestreo, preparación de la muestra, análisis químico y mineralógico

Las muestras son recolectadas utilizando una pala de PVC y almacenadas en bolsas de polietileno transparente. Cada muestra corresponde a un compuesto resultante de la mezcla de sub-muestras tomadas a lo largo de un tramo de los canales de aproximadamente 100 m. En el caso de las muestras pre-industriales, éstas corresponden al muestreo de terrazas fluviales antiguas, donde se obtienen las sub-muestras desde distintos niveles de la terraza fluvial. En el laboratorio del Sernageomin, las muestras son secadas en un horno (25-30 °C), luego son tamizadas en mallas de acero inoxidable para separar la fracción fina < 180 μm , ésta fracción es pulverizada posteriormente en un mortero de ágata y almacenada en frascos plásticos estériles. El material pulverizado se envía a AcmeLabs. Allí se determina la química de las muestras mediante ICP-ES e ICP-MS. También se determinó la composición mineralógica de la fracción < 180 μm de 41 muestras seleccionadas de sedimentos activos y pre-industriales, mediante difracción de Rayos-X (equipo modelo Pananalytical X'pert Pro) en el laboratorio del Sernageomin.

2.2 Redes neuronales artificiales

El set de datos fue analizado usando redes neuronales artificiales no-supervisadas del tipo Growing Cell Structures (Fritzke, 1994). Esta técnica permite encontrar patrones en problemas multivariados utilizando los mismos datos del problema. El proceso de aprendizaje y crecimiento de la red es auto-organizativo, comienza con un mapa de tres unidades y continúa con o sin la inserción de una nueva unidad, la que se conecta localmente a las unidades presentes en su vecindad (Lacassie, 2003). Para decidir el tamaño final de la red, se utiliza el criterio del experto. A través de esta técnica es posible visualizar de manera simple y directa estructuras de grupo ("clusters") y

relaciones lineales y no-lineales entre las variables (Lacassie et al., 2004a; Lacassie et al., 2006).

3 Resultados y discusión

3.1 Contaminación por arsénico

Los resultados muestran que en la mayoría de los sedimentos, tanto activos como pre-industriales, las concentraciones de arsénico están por sobre el valor PEC de 33 ppm (Probable Effect Concentration, MacDonald et al., 2000), por lo que en este sistema fluvial se esperarían efectos adversos sobre los organismos dada las altas concentraciones de As presentes. Lo anterior sugiere que la contaminación está ligada a la geología de base de la zona. Sin embargo, en las nacientes del río Lluta, se observa una notoria diferencia entre las concentraciones de los sedimentos activos con respecto a los pre-industriales (figura 1). Es probable que esta diferencia se deba a un proceso antropogénico, particularmente al aporte del río Azufre (afluente del río Lluta en la cabecera), y las azufreras abandonadas en los faldeos del volcán Tacora y el cauce del río Azufre, las que disminuyen el pH de los ríos y permiten una mayor movilización de elementos tales como el arsénico (Baeza, 2010). Patrones como el de la figura 1 han sido asociados al "input" generado por actividades mineras en otros estudios (Lacassie, 2009; Gordeev et al., 2004; Hudson-Edwards, 2003).

3.2 Areas mineralizadas y/o alteradas hidrotermalmente

La red neuronal permite distinguir diversas asociaciones de nodos en el área de estudio. En particular, la asociación de nodos 1-5-6, coincide geográficamente con la zona de alteración hidrotermal Putre-Vilañumani, en las cercanías de Putre y Socoroma (figura 2). Las muestras de sedimentos asociadas a estos nodos presentan una signatura geoquímica con altas concentraciones de As-Au-Hg-Mo-Ba-S-Bi-Se-W (nodo 1), U-Rb-Be-K₂O-Al₂O₃ (nodo 5) y Be-HREE-As-Sb-Cs-Al₂O₃ (nodo 6). Lo anterior sugiere que la zona de alteración Putre-Vilañumani es una de las áreas prospectivas de mayor importancia dentro del sistema fluvial del río Lluta.

3.3 Minerales de uranio

Los resultados de la difracción de rayos-X muestra que el sistema fluvial del río Lluta presenta minerales de uranio en todos los sectores de la cuenca. Minerales como iriginita, iantinita, petscheckita, furongita, sengierita, metauranocircita, betafita e hidróxidos de uranio forman parte de este set. Es probable que existan cuerpos mineralizados con Cu-U y/o U-Mo adyacentes a los cauces que estén aportando con minerales como iriginita y sengierita (Baeza, 2010).

Agradecimientos

Se agradece al Proyecto Basal PB0809 y su sub-proyecto "Estudio de tres cuencas fluviales asociadas a la minería", el cual se realizó en cooperación entre el AMTC (Advanced Mining Technology Center) de la Universidad de Chile, y el Servicio Nacional de Geología y Minería.

Referencias

- Baeza, L. 2010. Estudio ambiental y económico: análisis mineralógico y geoquímico de sedimentos del sistema fluvial del río Lluta, XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Memoria de Título, Departamento de geología, Universidad de Chile
- Fritzke, B. 1994. Growing cell structures-A self-organizing network for unsupervised and supervised learning. *Neural Networks*; 7:1441-1460.
- Gordeev, V.V.; Rachold, V.; Vlasovaa, I.E. 2004. Geochemical behaviour of major and trace elements in suspended particulate material of the Irtysh river, the main tributary of the Ob river, Siberia. *Applied Geochemistry*; 19:593-610.
- Hudson-Edwards, K.A. 2003. Sources, mineralogy, chemistry and fate of heavy metal-bearing particles in mining-affected river systems. *Mineralogical Magazine*; 6:205-217.
- Lacassie, J.P. 2003. Estudio de la proveniencia sedimentaria de los complejos metamórficos de los Andes Patagónicos (46°-51° Lat. S) mediante la aplicación de redes neuronales e isótopos estables. Tesis (Doctor en Ciencias, mención Geología). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Geología, 204 p.
- Lacassie, J.P. 2009. Estudio mineralógico y geoquímico del sistema fluvial del río Rapel, VI Región, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-37, 69 p., 10 figuras, 2 tablas. Santiago
- Lacassie, J.P. 2009. Estudio mineralógico y geoquímico del sistema fluvial del río Rapel, VI Región, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-37, 69 p., 10 figuras, 2 tablas. Santiago.
- Lacassie, J.P.; Ruiz del Solar, J.; Roser, B.P.; Hervé, F. 2006. Visualization of volcanic rock geochemical data and classification with artificial neural networks. *Mathematical Geology*; 3:697-710.
- Lacassie, J.P.; Ruiz-Del-Solar, J.; Roser, B.; Ortiz, E. 2004a. Discovering geochemical patterns using artificial neural networks: Kando River case study *GeoscienceAfrica 2004*:620-621.
- MacDonald, D.; Ingersoll, C.; Berger, T. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*; 3:20-21.
- Ohta, A.; Imai, N.; Terashima, S.; Tachibana, Y. 2005. Influence of surface geology and mineral deposits on the spatial distributions of elemental concentrations in the stream sediments of Hokkaido, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*; 8:86-103.

Ortiz, E.; Roser, B. 2006. Major and trace element provenance signatures in stream sediments from the Kando River, San'in district, southwest Japan. *The Island Arc*; 1:223–238.

stream sediments from the semiarid Coquimbo Region, Chile. *Environmental Geology*; 5:283–294.
 Sensarma, S.; Rajamani, V.; Tripathi, J.K. 2008. Petrography and geochemical characteristics of the sediments of the small River

Oyarzún, R.; Oyarzún, J.; Lillo, J.; Maturana, H.; Higuera, P. 2007. Mineral deposits and Cu–Zn–As dispersion–contamination in

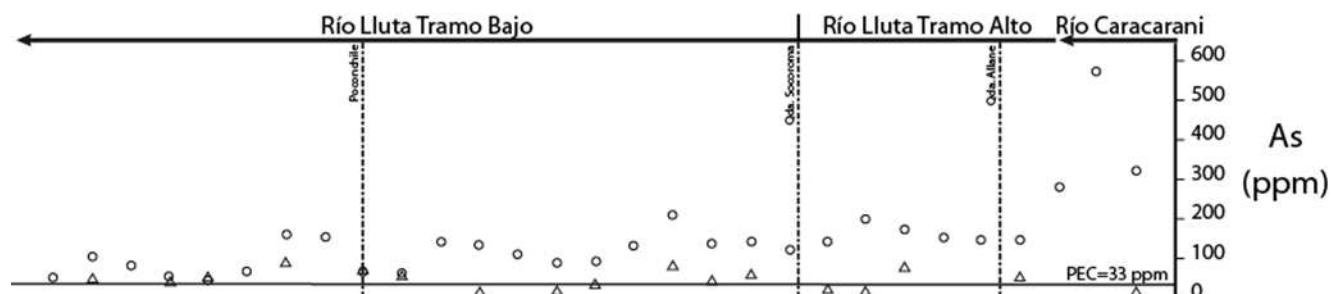


Figura 1. Evolución, aguas abajo, de la concentración de arsénico asociado a la fracción < 180 μm de los sedimentos del Sistema Fluvial del río Lluta. Los círculos corresponden a los sedimentos activos y los triángulos a los sedimentos pre-industriales. Las muestras se distribuyen en el diagrama (de derecha a izquierda) de acuerdo a su aparición desde la cabecera del río en la zona cordillerana, hasta la desembocadura. Incluye el parámetro ambiental PEC (Probable Effect Concentration; MacDonald et al., 2000).

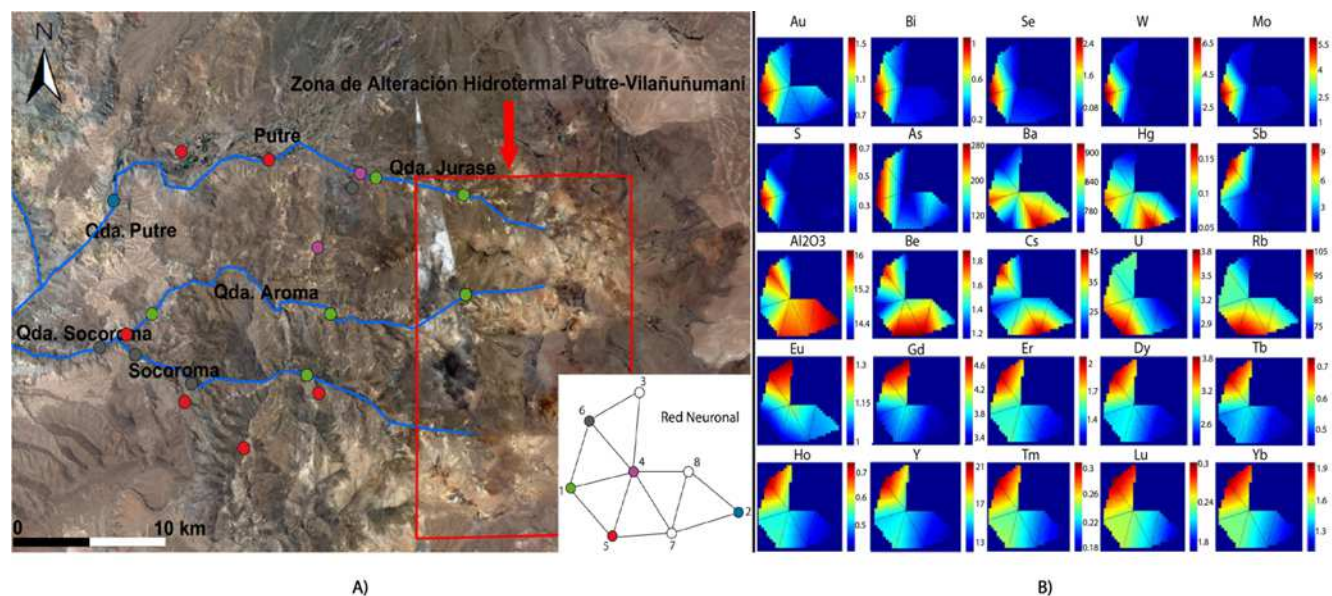


Figura 2. a) Distribución de muestras asociadas a los nodos en sector adyacente a la zona de alteración hidrotermal Putre-Vilañuñumani. El inserto muestra la red neuronal y en colores se observan los nodos relevantes para esta área. b) Visualización bi-dimensional de la distribución de cada variable de entrada en el mapa neuronal. Se puede notar que las distribuciones de las distintas variables son comparables visualmente con facilidad. Las escalas de color a la derecha indican concentraciones (wt% o ppm para los elementos mayores o en traza, respectivamente, a excepción del Au que está en ppb).