

## **ANÁLISIS DE DATOS MINERALÓGICOS Y GEOQUÍMICOS DE SEDIMENTOS ACTIVOS DEL SISTEMA FLUVIAL DEL RÍO HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA, NORTE DE CHILE.**

Díaz, A.<sup>1,3</sup>, Lacassie, J.P.<sup>1,3</sup> y Ruiz-Del-Solar, J.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología Económica, SERNAGEOMIN, Av. Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile.  
Email: adiaz@sernageomin.cl

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, Av. Tupper 2007, Santiago, Chile.

<sup>3</sup> Advanced Mining Technology Center (AMTC).

### **INTRODUCCIÓN**

En este trabajo se presentan algunos de los resultados más relevantes del análisis de datos mineralógicos y geoquímicos de los sedimentos activos del sistema fluvial del río Huasco, en la Región de Atacama, norte de Chile. El set de datos analizado, contiene información geológica y geoquímica de la fracción <180 micrones de 110 muestras de sedimentos fluviales recolectadas a lo largo de canales activos de los ríos Huasco, Del Tránsito, Conay, Chollay, Estrecho, Carmen, Potrerillo y Tres Quebradas. La información geoquímica de cada registro incluye las concentraciones de 10 óxidos mayores (concentraciones en wt% de SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 24 elementos traza (concentraciones en ppm de Ag, As, Ba, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, La, Li, Mo, Nb, Ni, Pb, Sn, Sb, Sr, V, W, Y, Zn, Zr, Au y Hg). Por otra parte, la información geológica corresponde a las características de los ríos asociados a las muestras analizadas, e incluye mineralogía de los sedimentos, ambiente geológico y descripciones geológicas realizadas en terreno. Esta información fue generada en el Departamento de Geología Económica de SERNAGEOMIN y su compilación es uno de los resultados del Proyecto Innova-Corfo: "Evaluación hidrogeológica de la cuenca del Río Huasco, con énfasis en la cuantificación y dinámica de los recursos hídricos superficiales y subterráneos", co-ejecutado entre la Universidad Católica del Norte y el Sernageomin.

### **METODOLOGÍA**

Las concentraciones de la mayoría de los elementos químicos (32 elementos) se determinaron mediante Fluorescencia de Rayos X. El Au se determinó por disolución de agua regia, extracción y lectura por Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) y el Hg por descomposición térmica y AAS. Adicionalmente, mediante difracción de Rayos X se determinó la composición mineralógica de las 110 muestras de sedimentos. Por tratarse de un problema de alta complejidad, el análisis estadístico del set de datos se realizó mediante redes neuronales artificiales (RNA), la cual constituye una moderna técnica de análisis multivariado que ha resultado efectiva para el análisis de datos geoquímicos de diversos materiales (Lacassie et al., 2006a; Lacassie et al., 2006b). Este análisis se realizó en una modalidad de agrupamiento auto-organizativo a fin de reconocer grupos de muestras con señales químicas con características específicas y de distinto orden, en forma automática (Fig.1: A y B). Posteriormente se contrastaron las características químicas y geológicas de las muestras asociadas a cada grupo identificado. Finalmente las muestras de cada grupo, fueron proyectadas sobre una versión simplificada de la información geológica utilizada para la confección del Mapa Metalogénico de la Región de Atacama a escala 1:500.000 (Vivallo et al., 2008), con el objetivo de visualizar coincidencias entre la distribución espacial de las muestras y la de rasgos geológicos o unidades geológicas específicas (Fig.2).

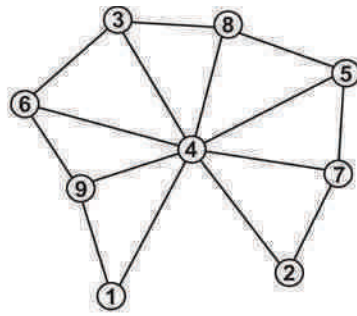
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados muestran que los ríos estudiados presentan firmas químicas distintivas, las cuales están asociadas a factores geológicos y antropogénicos. Estos últimos incluyen actividad minera y agroindustrial, la presencia de las ciudades de Vallenar, Huasco y de otras áreas urbanizadas, y la presencia del Embalse Santa Juana. Los resultados permiten la caracterización geoquímica y mineralógica de los sedimentos de este sistema fluvial y la evaluación de la influencia de factores naturales y antropogénicos. Los factores naturales corresponden principalmente a la composición litológica del basamento rocoso y a los efectos de dilución y de cambios de pH en la confluencia con afluentes. Por otra parte, los factores antropogénicos corresponden

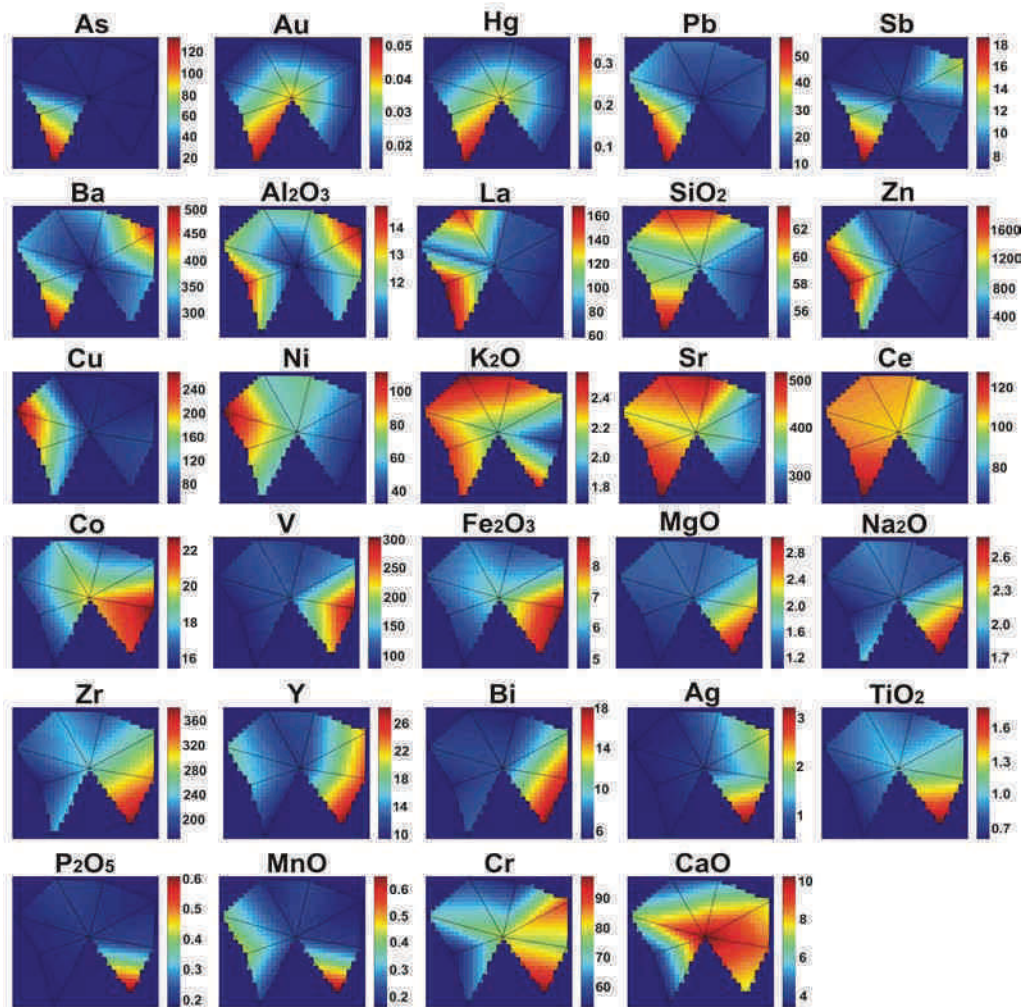
principalmente al efecto de las actividades mineras. Específicamente, se puede concluir que, la composición química y mineralógica de los sedimentos de la parte alta de la cuenca (ríos Estrecho, Chollay, Conay, Tres Quebradas y Potrerillo) refleja la presencia de zonas de alteración hidrotermal y mineralizada. En este contexto, destaca la zona asociada al Proyecto Pascua-Lama, la cual está aportando detritos ricos en minerales de mena y de alteración, con altos contenidos de Au, Hg, Sb, Pb y As. Específicamente, en el río Estrecho la presencia de arcillas (montmorillonita y menos illita y dickita), muscovita, alunita (sólo en el tramo superior), junto con clinocloro hacia la parte baja y la ausencia de calcita, son los rasgos distintivos. En la parte alta del río Estrecho predominan la argentopirita y arsenopirita, para dar paso aguas abajo a la ocurrencia de abundante anglesita, menor cantidad de galena y cincopirita. En las proximidades de la localidad de Conay (río Chollay), los minerales de mena consisten en bornita, tetrahedrita, cuprita y covelina. Los minerales metálicos en el río Potrerillo consisten de argentopirita, bornita, argentopentlandita, covelina, además de espangolita y malaquita, mientras que en el río Carmen consisten de dioplasa, crisocola y covelina. En la parte media de la cuenca, la composición química de los sedimentos del río Carmen, corresponde preponderantemente a la dilución aguas abajo de la señal química de los sedimentos de los ríos Potrerillo y Tres Quebradas. Sin embargo, la composición química de los sedimentos del curso medio del río Carmen (valores altos de Ag, Cr, Sb, Bi e Y), sugiere la presencia de sectores con mineralización argentífera en ese sector de la cuenca. En este tramo del río en general no se describen minerales metálicos, pero si es común la ocurrencia de distintas variedades de ceolita (phillipsita, barrerita, heulandita y natrolita) que por la propiedad de intercambiador iónico es posible que expliquen los valores altos de algunos de estos elementos. Los sedimentos con abundante materia orgánica descritos en diferentes sectores del sistema fluvial, constituyen una trampa geoquímica que concentra elementos metálicos, tales como Hg, Sb, Pb, Zn, As, Ag, Bi y Cu. La composición química de los sedimentos del río Del Tránsito sugiere la presencia de sectores con mineralización de Cu-Ni-Zn en ese sector de la cuenca. La ocurrencia de minerales metálicos es puntual y se concentra en el sector central de la mitad superior del río Tránsito (wulfenita) y en la parte central de la mitad inferior del mismo río (cuprita) y en la parte superior del río Conay (cuprita). La composición química y mineralógica de los sedimentos de la parte baja de la cuenca (río Huasco) refleja el aporte de detritos carbonatados, la presencia de zonas con mineralización de Fe, Cu, Fe-Cu-Au, Ag, Co y Mn, y la actividad minera que se desarrolla en esta parte de la cuenca. En las muestras de sedimento recolectadas para este tramo, se ha identificado la presencia de magnetita, titanomagnetita, titanita, variedades de anfíbol (tremolita, actinolita, ferroactinolita, edenita, y riebeckita), diópsido, subordinadamente calcopirita y covelina, además de albita, biotita, menos sericita, clinocloro y caolinita. La comparación con parámetros ambientales revela que, en general, serían esperables efectos adversos para la biota de Sistema Fluvial del Río Huasco, debido a las altas concentraciones de Ni de sus sedimentos. Estos efectos adversos serían aun más acentuados en la parte alta de la cuenca, debido a concentraciones altas de As, Zn y Cu en los sedimentos fluviales.

## REFERENCIAS

- Lacassie, J.P., Gutzmer, J., McClung, C., Bailie, R., Ruiz-del-Solar, J., 2006a. Geochemical patterns of schists from the Bushmanland Group: an artificial neural networks approach. *Journal of Geochemical Exploration* 91, p. 81–98.
- Lacassie, J. P., Ruiz del Solar, J., Roser, B.P., Hervé, F., 2006b. Visualization of volcanic rock geochemical data and classification with artificial neural networks. *Mathematical Geology*, Vol. 38, No 6.
- Vivallo, W., Díaz, A., Jorquera, R., 2008. Yacimientos metalíferos de la Región de Atacama. Servicio Nacional de geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Recursos Minerales y Energéticos, No 27.



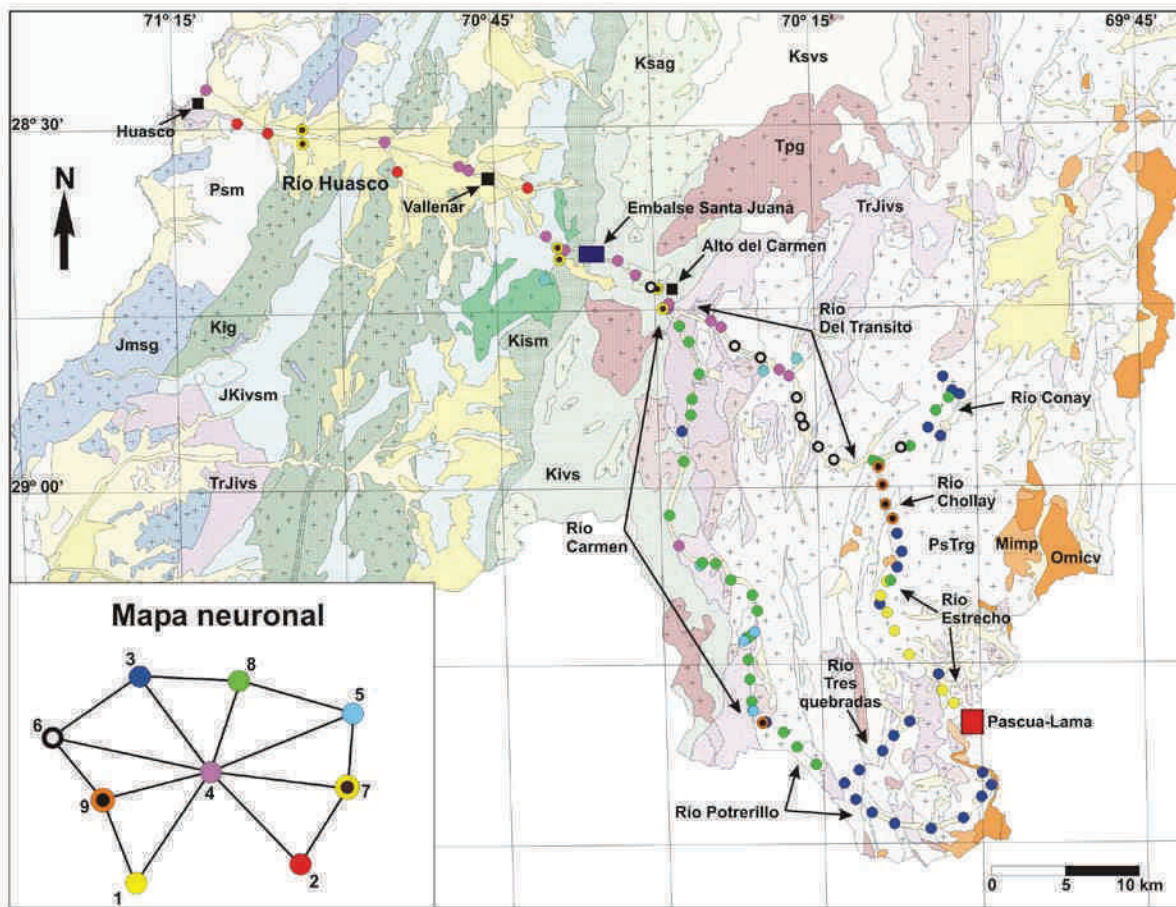
(A)



(B)

Figura 1. A: Mapa neuronal resultante del análisis de los datos geoquímicos de los sedimentos del Sistema Fluvial del Río Huasco. Cada nodo (círculos blancos) está identificado por un número. B: Visualización bi-dimensional de la distribución de cada variable de entrada en el mapa neuronal. Las distribuciones de las distintas variables pueden ser comparadas visualmente con facilidad. Las escalas de color a la derecha indican concentraciones (wt% o ppm para los elementos mayores o en traza respectivamente)





**UNIDADES AL ESTE DEL EMBALSE SANTA JUANA**

	Sed. cont. (Plio-Q)
	Intrusivos (Cret Inf)
	Volc-sed. marinas (Jur-Cret Inf)
	Volc-sed. marinas (Jur-Cret Inf)
	Intrusivos (Jur Sup)
	Volc-sed. cont.-mar. (Tr Med-Jur Inf)
	Roc. Metamórficas (Pz Sup-Tr Inf)

**UNIDADES AL OESTE DEL EMBALSE SANTA JUANA**

	Volc-sed. y Porfidos (Oligoceno-Mioceno)
	Volc-sed. y Porfidos (Oligoceno-Mioceno)
	Intrusivos (Paleoceno)
	Intrusivos (Cret Sup)
	Volc-sed. cont. (Cret Sup)
	Volc-sed. cont. (Cret Inf)
	Volc-sed. cont. y mar. (Tr Med-Jur Inf)
	Intrusivos (Pz Sup-Tr Inf)

Figura 2: Distribución geográfica de las muestras de sedimento recolectadas en el sistema fluvial del río Huasco. Se incluye información acerca del nodo al cual cada muestra esta asociada (según código de color que se muestra en el inserto). Los nodos son los correspondientes al mapa neuronal asociado al análisis de redes neuronales artificiales utilizando los datos geoquímicos de los sedimentos recolectados (ver inserto). La información geológica ha sido modificada a partir del Mapa de Yacimientos metalíferos de la Región de Atacama, Escala 1:500.000 (Vivallo et al., 2008).