



II CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

UN ANÁLISIS SIMPLE Y AGREGADO DE LA IMPORTANCIA RELATIVA DE PROCESOS Y CONDICIONES HIDROGEOQUÍMICAS E HIDRÁULICAS EN EL TRANSPORTE DE METALES PESADOS EN UN SISTEMA FLUVIAL DEL CENTRO-NORTE DE CHILE

Catalina Rossi¹, José L. Arumi^{2,3}, Denisse Duhalde⁴, Hugo Maturana⁵, Jorge Núñez^{4,6},
Jorge Oyarzún⁴, Pablo Pastén^{7,8}, Eduardo Rojas⁴, Ricardo Oyarzún^{4,9}

RESUMEN EXTENDIDO

La contaminación de aguas superficiales por metales pesados es un importante problema a nivel mundial (Caruso et al., 2008), siendo una de las fuentes más relevantes las zonas con actividades mineras de sulfuros metálicos con potencial de generación de drenaje ácido (Butler et al., 2008). Considerando que en Chile la actividad minera es una importante actividad económica, y que la mayor parte de las minas se encuentran en las cabeceras de las cuencas (zona andina), la contaminación de agua por metales pesados, su estudio y modelación representan un problema situación de permanente preocupación y actual interés (Oyarzún and Oyarzún, 2011; CNID, 2016).

El transporte de metales pesados en ríos se ve afectado por una serie de procesos y condiciones hidrogeoquímicas, hidráulicas e hidrológicas que hacen de su caracterización y modelación una tarea compleja aún en nuestros días (Caruso et al., 2008; Guerra et al., 2016). Puede ser altamente difícil y muy costoso analizar en detalle cada uno de los factores que influyen en el transporte y destino de estos contaminantes. Por ello, el disponer de una metodología simple que permita advertir la real necesidad (o no) de su estudio detallado resulta de interés. En este contexto, este trabajo considera el uso de un enfoque simple de mezcla completa (ec. 1)

¹ Ingeniería Civil Ambiental, Universidad de La Serena (crossi@alumnosuls.cl)

² Departamento de Recursos Hídricos, Universidad de Concepción (jarumi@udec.cl)

³ CRHIAM

⁴ Departamento Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena (dduhalde@userena.cl; joyarzun@userena.cl; edoarojas@userena.cl)

⁵ Departamento de Ingeniería en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente, Universidad Católica del Norte (hugo.maturana@gmail.com)

⁶ CAZALAC (jhnunez@userena.cl)

⁷ Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile (ppasten@ing.puc.cl)

⁸ CEDEUS

⁹ CEAZA (royarzun@userena.cl)



$$C_f = \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i + C_2 Q_2 + \dots + C_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n} \quad (\text{ec. 1})$$

siendo $C_{1,2,\dots,n}$ y $Q_{1,2,\dots,n}$ las concentraciones y caudales respectivamente en los ríos tributarios y C_f la concentración en el río receptor. Se puede asumir que en la medida que los procesos de transporte y destino se vuelven más complejos, ya sea por la ocurrencia de reacciones químicas o la existencia de características específicas en las condiciones de flujo, las concentraciones estimadas en un cuerpo receptor por el modelo de mezcla completa se alejarán de aquellas realmente existentes. En cambio, si los procesos de transporte están dominados por la advección (por sobre los de dispersión), y no ocurren en forma importante reacciones químicas (ej. precipitación) o no existen condiciones hidráulicas (ej. zonas muertas) que puedan modificar las concentraciones de ciertos elementos o compuestos en la columna de agua, entonces el modelo de mezcla completa debiese representar adecuadamente las características hidroquímicas del río receptor.

La zona de estudio corresponde a la parte alta de la cuenca del río Elqui (Fig. 1). Se consideraron datos de caudales y calidad de agua (pH, CE, SO_4 , Cu, Fe, As) obtenidos a partir del registro (1990-2016) de la Dirección General de Aguas.

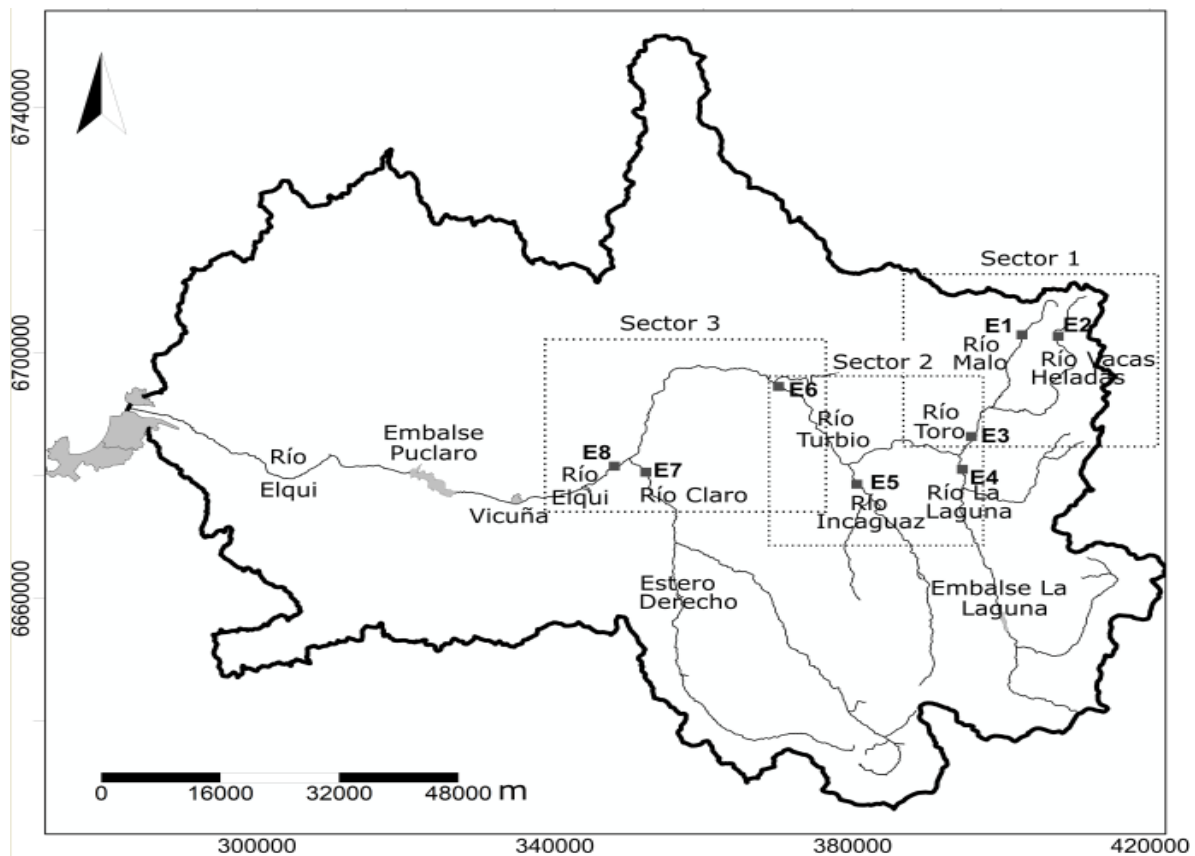


Fig. 1. Zona de estudio y estaciones (E) consideradas



Resultados preliminares muestran que mientras que el modelo de mezcla completa permite predecir en forma “razonable” la CE, pH y SO_4 , los errores de estimación son considerables (ej. RRMSE sobre 50%) para Cu, Fe y As. Lo anterior se debe a que dichos parámetros experimentan reacciones químicas (ej. precipitación) o se ven afectados por procesos hidráulicos (ej. zonas muertas, procesos hiporreicos) que desvían su comportamiento del esperado (ec. 1). Por lo tanto, futuros esfuerzos desde el punto de vista de la modelación debieran considerar aspectos como la partición de estos elementos en las fases disuelta y particulada y la importancia de la zona hiporreica.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento del Programa Fondecyt de Conicyt a través del proyecto Fondecyt 1180153. Se agradecen los comentarios realizados por dos revisores

Referencias

Butler, B.A., Ranville, J.F., Ross, P.E. 2008. Observed and modeled seasonal trends in dissolved and particulate Cu, Fe, Mn, and Zn in a mining-impacted stream. *Water Res* 42, 3135-3145.

Caruso, B.S., Cox, T.J., Runkel, R.L., Velleux, M.L., Bencala, K.E., Nordstrom, D.K., Julien, P.Y., Butler, B.A., Alpers, C.N., Marion, A., Smith, K.S. 2008. Metals fate and transport modeling in streams and watersheds: state of the science and USEPA workshop review. *Hydrol Proc* 22, 4011-4021.

CNID, 2016. Ciencia e Innovación para los desafíos del agua en Chile. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo, 113 p. Disponible en <http://www.cnid.cl/2016/12/20/ciencia-e-innovacion-para-los-desafios-del-agua-en-chile>

Flores, M. 2014. Análisis del efecto potencial de la variabilidad climática en la calidad de las aguas en la cuenca del río Elqui, centro norte de Chile. Memoria de Título Ingeniero Civil Ambiental, Universidad de La Serena.

Guerra, P., Gonzalez, C., Escauriaza, C., Pizarro, G., Pasten, P. 2016. Incomplete mixing in the fate and transport of arsenic at a river affected by acid drainage. *Water Air Soil Poll* 227, 73. doi:10.1007/s11270-016-2767-5.

Oyarzún, J., Oyarzún R. 2011. Sustainable development, threats, inter-sector conflicts, and environmental policy requirements in the arid, mining rich, northern Chile territory. *Sustain Dev* 19(4): 263-274.