



I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

MODELACIÓN DEL TRANSPORTE DE METALES EN UN CAUCE DE MONTAÑA CON DRENAJE ÁCIDO NATURAL. APLICACIÓN AL ESTERO YERBA LOCA.

GERARDO ZEGERS¹
SANTIAGO MONTSERRAT²
LEONARDO NAVARRO³
ALVARO NAVARRETE⁴
YARKO NIÑO⁵

RESUMEN EXTENDIDO

El estudio de la geoquímica del agua y sedimentos, acoplado al transporte hidrodinámico en cauces de montaña, resulta de particular interés en la cordillera central de Chile debido a la ocurrencia natural de aguas ácidas y proyecciones de desarrollo de la minería. En este trabajo, se presenta un estudio multidisciplinario tendiente a estimar el transporte de metales en la cuenca del estero Yerba Loca, ubicada en la cordillera de los Andes centrales. En su parte alta, el estero Yerba Loca se caracteriza por la presencia de glaciares que cubren zonas con alteración hidrotermal, ricas en sulfuros y sulfatos; una situación comúnmente encontrada en la Cordillera de los Andes Chilenos. En esta zona, la interacción agua-roca producto del derretimiento glaciar genera aguas sulfatadas-cálcicas con bajo pH (~3) y altas concentraciones de hierro, aluminio, cobre, manganeso y zinc. Las aguas tienden a neutralizarse hacia aguas abajo producto de dilución y/o precipitación de metales (Figura 1).

El modelo de transporte de metales se compone de 4 submodelos [Garneau *et al.*, 2015] (Figura 2): (i) modelo hidrodinámico, (ii) modelo de transporte de sedimentos, (iii) modelo de transporte de solutos y (iv) modelo de adsorción y desorción de metales.

Para la modelación hidrodinámica se utilizó el modelo 1D HEC-RAS. El modelo de transporte de sedimentos se apoya en los resultados obtenidos por HEC-RAS cuantificando el transporte potencial de fondo y suspensión. También permite calcular tasas de erosión y depositación, las que determinan los flujos de metales desde y hacia los sedimentos del fondo. El transporte de solutos se basa en el modelo 1D OTIS [Bencala and Walters, 1983],

¹ Advance Mining Technology Center, Universidad de Chile. Contacto: gerardo.zegers@amtc.cl

² Advance Mining Technology Center, Universidad de Chile. Contacto: santiago.montserrat@amtc.cl

³ Advance Mining Technology Center, Universidad de Chile. Contacto: leonardo.navarro@amtc.cl

⁴ Advance Mining Technology Center, Universidad de Chile. Contacto: alvaro.navarrete@amtc.cl

⁵ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Advanced Mining Technology Center.

Contacto: ynino@ing.uchile.cl



el cual resuelve los procesos de advección y difusión de solutos, además de otros procesos importantes como aportes laterales y el “almacenamiento transitorio”, el cual da cuenta del retraso temporal en el transporte de solutos, típicamente observado en cauces naturales [Bencala and Walters, 1983]. Los coeficientes para implementar las ecuaciones de almacenamiento transitorio fueron calibrados en terreno mediante experimentos de inyección y medición de sal.

El modelo de adsorción y desorción simula la transferencia de metales desde su fase disuelta a particulada y viceversa. El modelo utilizado considera un coeficiente de partición, k_d , entre las fases disuelta y particulada [Garneau *et al.*, 2005]. Dado que la fase particulada puede sedimentar o resuspenderse, siguiendo el transporte de sedimentos, el equilibrio entre ambas fases puede ser interrumpido. Normalmente el coeficiente k_d ha sido considerado constante [Ji *et al.*, 2002; Garneau *et al.*, 2015]. Sin embargo, dadas las características ácidas de las aguas del estero Yerba Loca, el coeficiente de partición resulta variable en función de la hidroquímica. Por ello, la determinación de los coeficientes k_d se realizó en función de observaciones de terreno y modelación hidrogeoquímica.

Los resultados obtenidos a la fecha dan cuenta de la mecánica del transporte de metales en la cuenca del estero Yerba Loca, permitiendo cuantificar los principales procesos involucrados y capacidad de almacenamiento y aporte de metales desde los sedimentos. El modelo se encuentra en etapa de validación en función de nuevos datos de terreno.

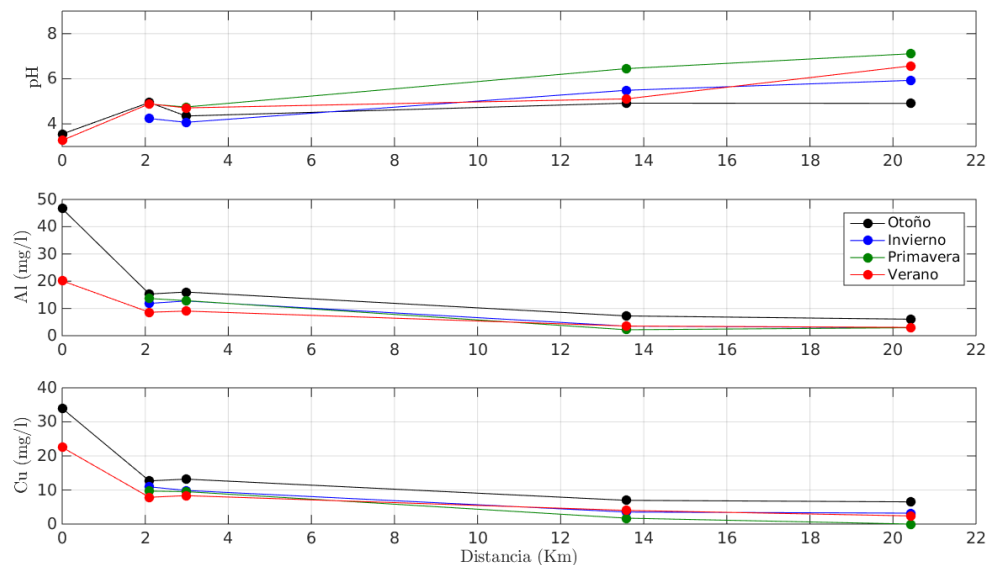


Figura 1. Variación espacial observada de pH, aluminio (Al) y cobre (Cu) a lo largo del estero Yerba Loca para distintas épocas del año.

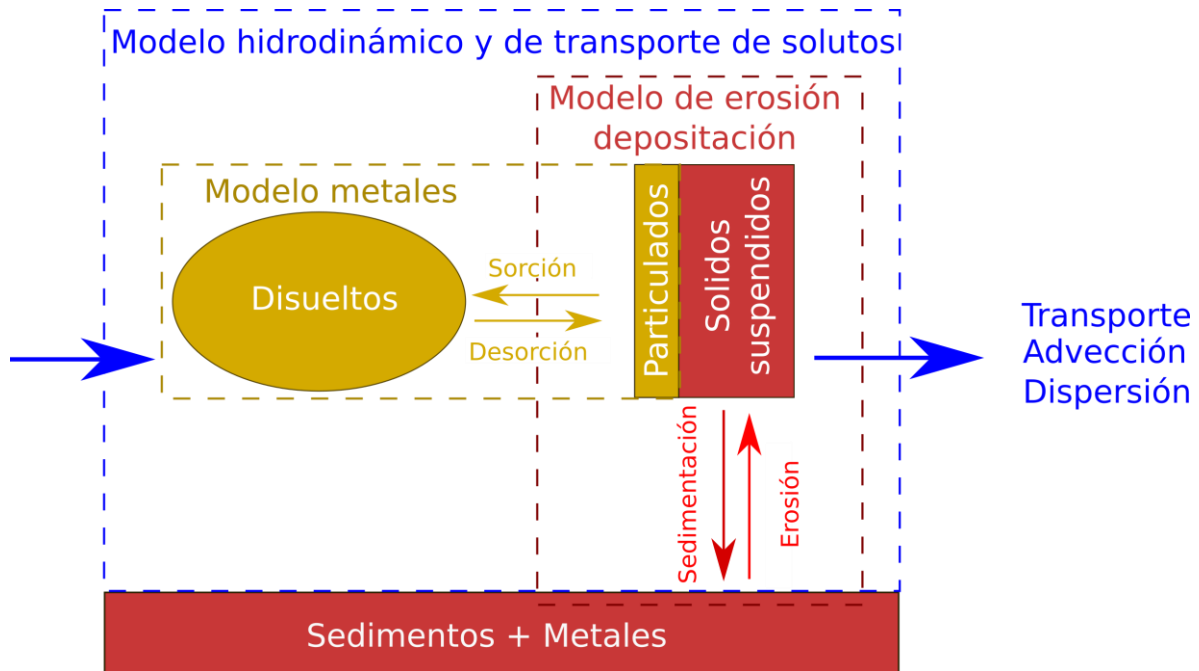


Figura 2. Representación esquemática del modelo de transporte de metales (modificado de Garneau *et al.* [2005])

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería Civil y Advanced Mining Technology Center, AMTC, de la Universidad de Chile y el apoyo del Proyecto Fondecyt 1140767 y Anglo American en la realización de este trabajo.

Referencias

- Bencala, K. E. (1983). Simulation of solute transport in a mountain pool-and-riffle stream with a kinetic mass transfer model for sorption. *Water Resources Research*, 19(3), 732-738.
- Garneau, C., Sauvage, S., Probst, A., & Sanchez-Pérez, J. M. (2015). Modelling of trace metal transfer in a large river under different hydrological conditions (the Garonne River in southwest France). *Ecological Modelling*, 306, 195-204.
- Ji, Z. G., Hamrick, J. H., & Pagenkopf, J. (2002). Sediment and metals modeling in shallow river. *Journal of Environmental Engineering*, 128(2), 105-119.