



## ROL DE PROCESOS HIDROGEOQUÍMICOS EN UN ESTERO DE MONTAÑA CON DRENAJE ÁCIDO NATURAL.

Álvaro Navarrete<sup>1,2</sup>,  
Miguel Lagos<sup>1,3</sup>,  
Leonardo Navarro<sup>1,2</sup>,  
Andreina García<sup>1</sup>,  
Manuel Caraballo<sup>1,4</sup>,  
James McPhee<sup>1,3</sup>

### RESUMEN EXTENDIDO

Dentro del proyecto de Modelación hidrológica integral del Mapocho Alto desarrollado por AMTC, se busca complementar distintas disciplinas, como hidrología, hidrodinámica, e hidrogeoquímica. El presente trabajo está orientado a integrar herramientas hidrológicas e hidrogeoquímicas para identificar los procesos más relevantes que afectan la calidad de las aguas del estero Yerba Loca (YL), en particular en términos de los metales, como por ejemplo Al, Fe, Cu, Mn y Zn. El especial interés científico que levanta éste estero, que muestra un pH ácido y altas concentraciones de sulfato y metales, reside en que es un sistema no intervenido antropogénicamente, por lo que puede ser considerado como un sistema de drenaje ácido natural (en inglés, acid rock drainage, ARD). Además, el estero YL es considerado como afluente importante del río Mapocho, el cual es una fundamental fuente de agua potable y de riego para la región Metropolitana. Este contexto, convierte al YL en el principal aporte potencial de contaminantes metálicos al Mapocho. Para este estudio se utiliza la norma secundaria de calidad de aguas (NSCA) para la cuenca del río Maipo, debido a que hasta ahora es la forma más actualizada y contextualizada geográficamente para evaluar la calidad de las aguas del estero.

Se cuenta con datos de monitoreo de calidad de agua y caudales de la DGA, así como también datos tomados por consultores privados (Fig.1). De acuerdo a estos, el estero YL presenta gran variabilidad temporal y espacial en caudales y en algunos parámetros físico-químicos incluyendo metales. Es por ello que un análisis multidisciplinario aporta sinérgicamente a la comprensión de un sistema tan complejo y variable.

1: Álvaro Navarrete Calvo, [alvaro.navarrete@amtc.cl](mailto:alvaro.navarrete@amtc.cl), Advanced Mining Technology Center, FCFM, U. de Chile

2: Departamento de Geología, FCFM, U. de Chile

3: Departamento de Ingeniería Civil, FCFM, U. de Chile

4: Departamento de Ingeniería de Minas, FCFM, U. de Chile

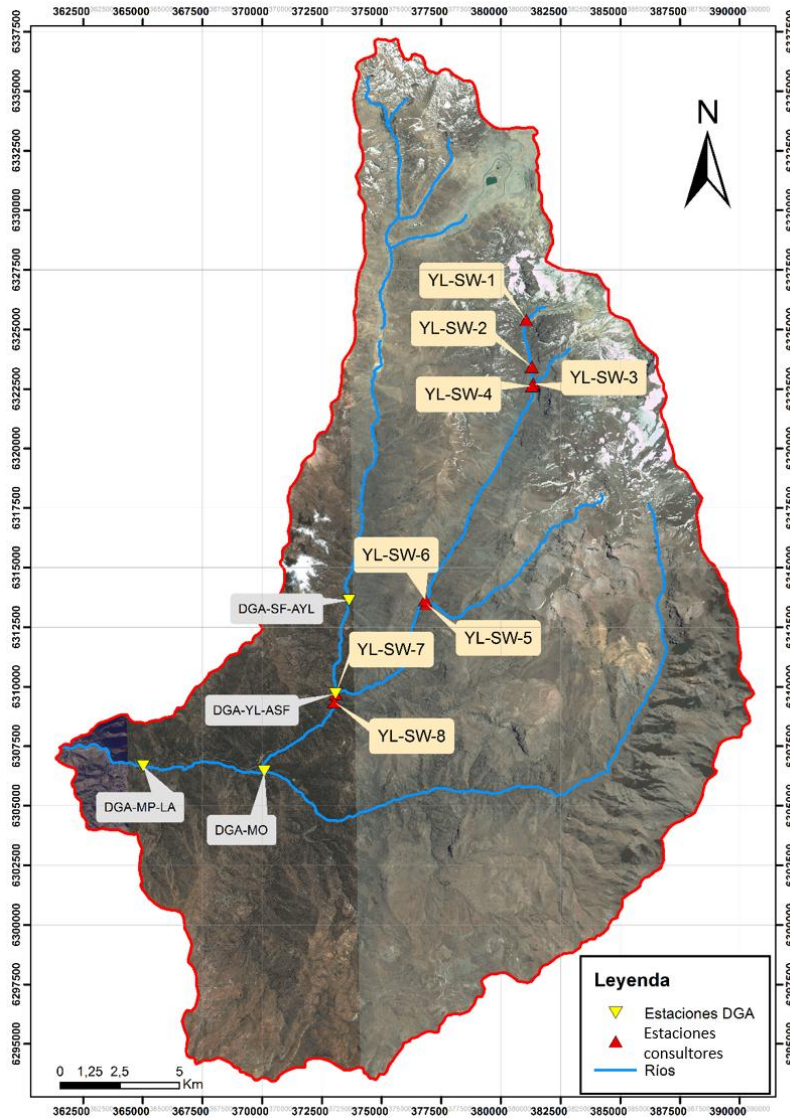


Figura 1: Puntos de Monitoreo cuenca Mapocho Alto

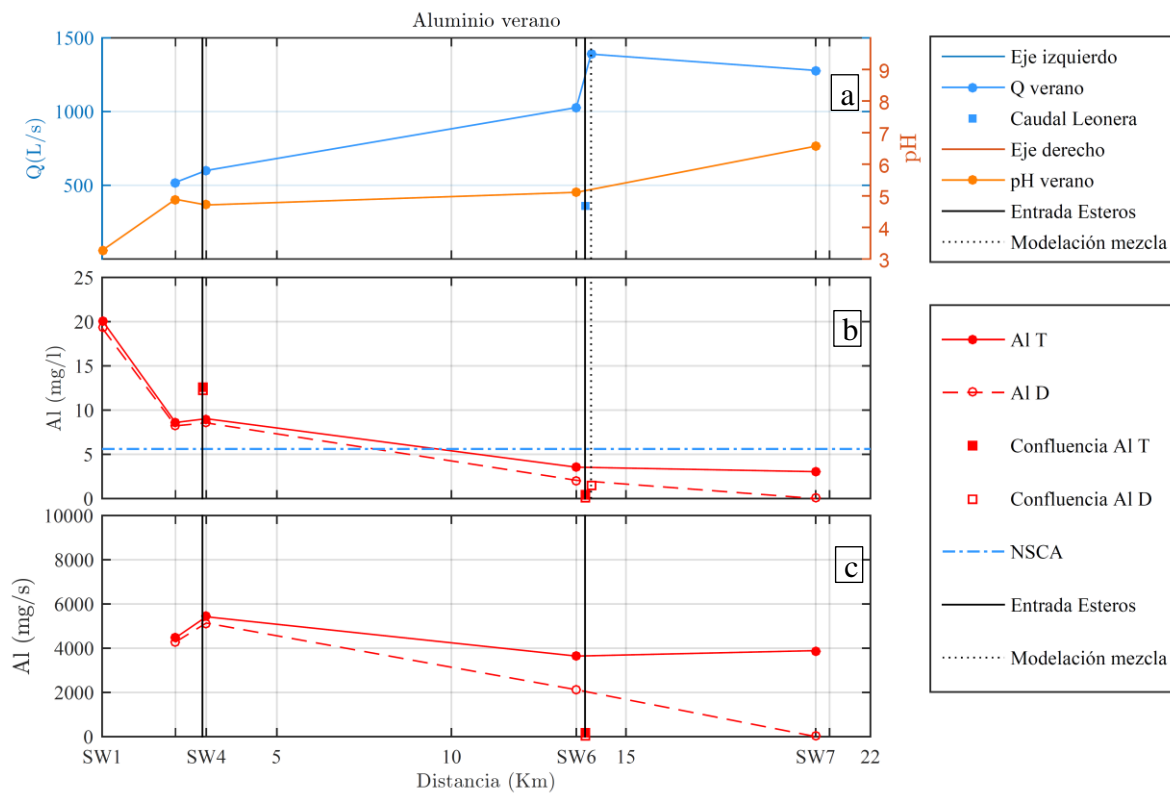
Desde el punto de vista hidrológico, se construye un modelo en la plataforma WEAP (Stockholm Environment Institute, 2016) a escala diaria, modelando explícitamente los glaciares (Castillo, 2015) diferenciando los aportes según los procesos hidrológicos involucrados: deshielos, lluvia-escorrentía y glaciares en distintas épocas del año.

Desde el enfoque hidroquímico, se analizan concentraciones de metales totales y disueltos (mg/l), además de carga másica de metales (mg/s), calculado como la concentración multiplicada por el caudal asociado, medido o modelado (ecuación 1). Todo lo anterior respecto de variables determinantes para este sistema, como pH y los caudales simulados (Fig.2).



$$C \left( \frac{mg}{l} \right) * Q \left( \frac{l}{s} \right) = Q_m \left( \frac{mg}{s} \right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

C: Concentración en volumen  
Q: Caudal  
Q<sub>m</sub>: Carga másica



**Figura 2:** Diagrama de variación espacial en cauce de YL en verano 2015: a) Variación de caudal (L/s) y pH. b) Variación del aluminio total y disuelto (mg/l) con respecto a la norma NSCA. c) Variación de aluminio como carga metálica (mg/s).

Los resultados de este análisis, desde cabecera del YL hasta su desembocadura, permiten establecer variaciones de primer orden, como aumentos o descensos en las concentraciones a lo largo del tiempo. Éstas no sólo responden a cambios en el régimen hidrológico a través de diluciones en zonas de confluencias de esteros o aportes sub-superficiales, sino que también serían resultado de procesos químicos, como neutralización del pH que conlleva procesos de precipitación, co-precipitación o adsorción mineral (Bigham & Nordstrom, 2000). Mediante diagramas que integran la información físico-química, química y de caudales modelados, se afirma cualitativamente la importancia de la precipitación mineral



en los descensos de las concentraciones de algunos metales disueltos y de la neutralización de las aguas (aluminio en Fig. 2). Luego, con herramientas de modelación numérica a través del software PHREEQC (Parkhurst & Appelo, 2013) se infiere qué minerales estarían precipitando. Dado que estos modelos son una aproximación a la realidad del sistema, se necesitan estudios mineralógicos de los sedimentos, los cuales están en desarrollo.

Como conclusión, se pudo determinar que los procesos determinantes de la calidad de las aguas son: dilución, neutralización del pH por aportes laterales, y precipitación y adsorción mineral, cuya relevancia dependerá de la estación del año. Tanto la dilución como la precipitación de fondo están involucrados en la disminución de concentraciones de metales totales, factor importante en la evaluación de la calidad de las aguas.

### **Agradecimientos**

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento del AMTC para el desarrollo de esta investigación.

### **Referencias**

- Bigham, J., & Nordstrom, D. (2000). Iron and Aluminum Hydroxysulfates. *Mineralogical Society of America, Washington, DC*, 351-403.
- Castillo, Y. (2015). *Caracterización de la hidrología glaciar de la cuenca del río Maipo mediante la implementación de un modelo glacio-hidrológico semi-distribuido físicamente basado*. Santiago.: Memoria para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, mención recursos y medio ambiente hídrico.
- Parkhurst, D., & Appelo, C. (2013). Description of input and examples for PHREEQC version 3 - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *Mineralogical Society of America*, 351-403.
- Stockholm Environment Institute. (2016). Water Evaluation and Planning (WEAP) model.