

## ESTABLECIMIENTO DE VALORES DE FONDO Y DE REFERENCIA EN LAS AGUAS DE ZONAS MINERALIZADAS

Javier Samper<sup>1</sup>, Luis Montenegro<sup>1</sup>, Marcos Lado<sup>2</sup>, Bruno Pisani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, UDC, Campus Elviña s/n, 15071 A Coruña. [j.samper@udc.es](mailto:j.samper@udc.es)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas, Facultad de Ciencias, UDC, Campus Zapateira s/n, 15071 A Coruña. [marcos.lado@udc.es](mailto:marcos.lado@udc.es)

### 1. Introducción

- La concentración de fondo natural indica la cantidad de una sustancia en aire, agua, suelos y sedimentos que aparece en una determinada zona sin influencia de ningún tipo de actividad antropogénica.
- El valor de fondo puede superar en algunos casos el valor de referencia establecido por la normativa para la calidad del aire, agua, suelos y sedimentos.
- NARD (*natural acid rock drainage*): zonas mineralizadas que presentan de forma natural aguas con valores ácidos de pH y elevadas concentraciones de sulfatos y metales tóxicos. El drenaje ácido

- natural de roca presenta los mismos procesos geoquímicos y microbiológicos que el drenaje ácido de mina (AMD, *acid mine drainage*).
- Las diferencias entre el AMD y el NARD son que la actividad minera aumenta: (1) La cantidad de sulfuros metálicos expuestos a la acción del aire y del agua; (2) La superficie específica de la pirita y de otros sulfuros, incrementando sustancialmente su velocidad de oxidación; y (3) La movilización de metales al establecerse nuevas vías de salida para las aguas de mina.



### 4. Aplicación: Distrito minero de Coeur d'Alene (Ohio, USA)

- Zona con actividad minera: yacimientos de Pb, Ag y Zn con cantidades menores de Au, Cu, As y Sb.
- Para restaurar el emplazamiento a su estado previo a la explotación minera fue necesario establecer los niveles de referencia (*baseline*) en aguas, suelos y sedimentos anteriores a la explotación utilizando la información proporcionada por los análogos naturales situados en la misma zona (Nordstrom, 2015).
- Los valores de referencia para el Cd, Pb y Zn son menores que las concentraciones producidas por la actividad minera.

Mediana de las concentraciones ( $\mu\text{g/L}$ ) de referencia (*baseline*) y de las concentraciones de las aguas afectadas por la actividad minera de Cd, Pb y Zn en las aguas superficiales en el distrito minero de Coeur d'Alene (Stratus Consulting Inc., 2000).

Zona	Cd <sub>baseline</sub>	Cd <sub>mineria</sub>	Pb <sub>baseline</sub>	Pb <sub>mineria</sub>	Zn <sub>baseline</sub>	Zn <sub>mineria</sub>
Upper South Fork	0.06	1.17	0.15	7.00	5.35	170
Page-Galena Mineral Belt	0.10	8.12	0.44	10.9	9.04	1080
Pine Creek drainage	0.03	3.09	0.11	2.77	3.68	1140
Entire South Fork Coeur d'Alene Basin	0.06	3.75	0.18	7.17	6.75	769

### 6. Conclusiones

- Establecer el valor de fondo natural del Cd en una zona afectada por actividades mineras durante un largo periodo de tiempo es extremadamente complejo.
- Los datos disponibles suelen ser escasos y presentar muchas carencias. En muchas ocasiones los límites de detección superan los valores de las NCA. Estos datos no permiten establecer de forma precisa el valor de fondo.
- Su determinación requiere la realización de estudios de detalle y campañas de campo para:
  - La caracterización detallada de las anomalías geológicas y su geoquímica.
  - El seguimiento temporal de las características hidrológicas y de la calidad de las aguas durante al menos un año hidrológico.
  - El estudio de zonas mineralizadas sin presencia de actividad minera (análogos naturales).
  - La realización de modelos hidrológicos y de estudios hidrogeológicos de detalle.
  - La modelización geoquímica y la modelización del transporte reactivo.

### 2. Objetivos

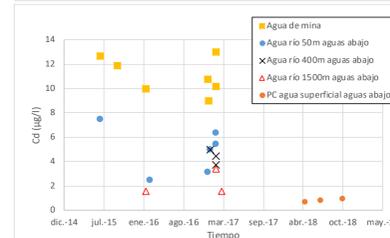
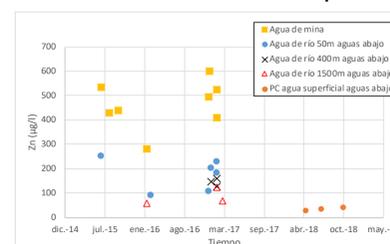
- Demostrar cómo la actividad minera (durante y después de su explotación) aumenta el riesgo potencial sobre la salud de los seres vivos respecto a las condiciones previas a la actividad minera por la liberación de metales tóxicos durante la oxidación de los sulfuros.
- Demostrar que las concentraciones de metales tóxicos en aguas de NARD pueden ser varios órdenes de magnitud inferiores a las concentraciones de las aguas de AMD para el mismo tipo de roca y mineralización.
- Identificar los procesos que producen el NARD ya que son esenciales para comprender y establecer las condiciones de la calidad química tanto en zonas mineralizadas sin actividad minera como en zonas mineras en las condiciones previas a su explotación minera.
- Presentar una revisión de los métodos actuales para establecer los valores de fondo en aguas de zonas mineralizadas, así como una recopilación de casos reales donde se han empleado.

### 3. Métodos de estimación de valores de fondo naturales en aguas

- Análisis de datos históricos (si están disponibles)
- Estudio de análogos naturales (zonas mineralizadas sin actividad minera)
- Estudio geoquímico de sedimentos
- Análisis estadísticos
- Balances de masa.
- Modelización geoquímica con reacciones cinéticas
- Isótopos estables.
- Modelos de transporte reactivo

### 5. Aplicación: Valores de fondo y de referencia de cadmio en aguas

- Ejemplo de una mina con problema de aporte de cantidades elevadas de Cd en disolución.
- Necesidad de establecer valores de referencia naturales para el Cd sin afección minera.
- RD 817/2015: valores de concentración media anual, NCA-MA (entre 0.08 y 0.25  $\mu\text{g/L}$  para el Cd en función de la dureza del agua) y la concentración máxima admisible, NCA-CMA (entre 0.45 y 1.5  $\mu\text{g/L}$ ).
- El efecto de la actividad minera se aprecia en el aumento de las concentraciones de la mayoría de especies disueltas en las muestras tomadas aguas abajo de la mina.
- Los valores medidos de Cd disuelto aguas abajo de la mina (2.5  $\mu\text{g/L}$ ) y en la mina (10  $\mu\text{g/L}$ ) no cumplen con la NCA-MA ni la NCA-CMA, mientras que aguas arriba de la mina si cumple.



	Aguas arriba de la mina	Aguas abajo de la mina	Agua de la mina
pH	5.8	6.0	6.4
CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	41	47	81
Cloruros ( $\text{mg/l}$ )	7.4	7.1	6.6
Sulfatos ( $\text{mg/l}$ )	2.8	4.6	17
Calcio ( $\text{mg/l}$ )	1.4	1.6	4.9
Magnesio ( $\text{mg/l}$ )	0.72	0.91	2.8
Sílice <sub>dis</sub> ( $\text{mg/l}$ )	4.4	4.5	7.6
Mn <sub>dis</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	9	52	101
Al <sub>dis</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	73	110	151
Cd <sub>dis</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<0.024	2.5	10
Cd <sub>tot</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<0.024	2.6	11
Cu <sub>dis</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<1.0	95	283
Cu <sub>tot</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<1.0	98	289
Zn <sub>dis</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<9	92	403
Zn <sub>tot</sub> ( $\mu\text{g/L}$ )	<9	95	412
Dureza ( $\text{mg/l}$ )	6.4	8	24

#### Referencias

Nordstrom, D.K., (2015). *Baseline and premining geochemical characterization of mined sites*. *Appl. Geochem.* 57, 17-34.  
Stratus Consulting Inc., (2000) Report of Injury Assessment and Injury Determination: Coeur d'Alene Basin Natural Resource Damage Assessment.

**Agradecimientos:** El trabajo presentado se ha realizado en el marco de estudios sobre niveles genéricos de referencia de calidad de las aguas realizados para Aguas de Galicia. Se agradece además el apoyo recibido del Programa de Consolidación y Estructuración de las unidades de investigación competitivas de la Xunta de Galicia (Ref. ED431C 2017/67).