

# Caracterización de Sales Precipitadas a Partir de Aguas Procedentes del Drenaje Ácido de Mina

/ MARI LUZ GARCÍA-LORENZO (1), CARMEN PÉREZ-SIRVENT (2\*), MARÍA JOSÉ MARTÍNEZ-SÁNCHEZ (2)

(1) Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid. 28040, Madrid (España)

(2) Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, Facultad de Química, Campus de Espinardo, Universidad de Murcia. 30100, Murcia (España)

## INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras han incrementado favorecido el aumento de la concentración de elementos traza en la corteza terrestre. Particularmente, las explotaciones a cielo abierto pueden causar un elevado impacto en suelos y aguas (Bhattacharya et al., 2006; Rodríguez et al., 2009).

A la hora de estudiar emplazamientos mineros que han sufrido o están sufriendo una alteración supergénica de sulfuros, es de gran importancia estudiar los procesos de precipitación a partir de las aguas presentes en la zona (Rull et al., 2010).

El objetivo de este trabajo es el estudio de la precipitación a partir de solución como fenómeno físico-químico y el estudio detallado de las fases precipitadas mediante técnicas analíticas. Además, se ha simulado le geoquímica de estas aguas mediante el programa MINTeq.

## ZONA DE ESTUDIO

La Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Murcia, España) se localiza en el extremo suroriental de la Región de Murcia. Ocupa una extensión aproximada de 50 km<sup>2</sup>. Presenta una temperatura media de 17°C y las precipitaciones son escasas (<300 mm/año), presentando un carácter torrencial (García-Lorenzo et al., 2012).

Constituye la estribación más oriental de la Cordillera Bética peninsular, y se encuentra en las zonas internas o Zona Bética ss. El área se caracteriza por su gran complejidad litológica y estructural, constituida por la superposición de tres mantos de cabalgamiento complejos, afectados por metamorfismo de grado decreciente de abajo a arriba, tanto dentro de cada complejo como en la serie completa. Posteriormente al emplazamiento de los mantos de cabalgamiento y levantamiento de la cordillera, se produjo una importante fase erosiva y de relleno de las cuencas

intramontañosas generadas. A continuación tuvo lugar una fase de distensión y fractura junto con magmatismo. Finalmente, se produjo un nuevo levantamiento (reajuste orogénico), es la fase compresiva que llega hasta la actualidad. La zona presenta elevado interés por la variedad de especies mineralógicas presentes, por los procesos mineralogénicos que las han originado y por los procesos de alteración pasados y actuales que actúan sobre estos materiales (Navarro et al., 2008).

Como resultado de la intensa actividad extractiva llevada a cabo en la zona, se han cuantificado numerosos focos de contaminación (García-Lorenzo et al., 2009) por metales pesados, cuyo transporte se ve favorecido por las aguas de escorrentía (Figura 1). Este proceso de movilización de metales pesados como consecuencia de la disolución oxidativa de sulfuros ha culminado en la redistribución de estos materiales en distintas formas químicas entre las fases sólida y líquida (Navarro et al., 2012; Lottermosser, 2007).



fig 1. Zona de estudio

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se recogieron un total de 9 muestras de agua en dos zonas de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión: el Llano del Beal y el Gorguel.

Las muestras recogidas fueron analizadas, determinando: pH,

conductividad eléctrica (CE) e iones solubles mediante cromatografía iónica. El contenido en Zn, Pb, Cd, Fe, Cu y Mn se determinó mediante espectrometría de absorción atómica (con atomización en llama y/o horno de grafito). El contenido en As se determinó mediante fluorescencia atómica.

Estas aguas fueron evaporadas en las mismas condiciones (misma cantidad de líquido de partida, 50°C en estufa) y el residuo seco se recogió y pesó.

A continuación, los residuos fueron analizados mediante difracción de Rayos X con un difractómetro PW3040 Philips. Los difractogramas fueron interpretados con el programa X-powder, utilizando la base de datos PDF2 (Martín, 2004).

Los resultados analíticos de las aguas fueron introducidos en el software VISUAL MINTeq para su modelización geoquímica. MINTeq es un modelo de especiación geoquímica para sistemas acuosos, que permite estimar la distribución entre fases disueltas, adsorbidas y sólidas bajo una gran variedad de condiciones, incluyendo fases gaseosas. Los datos requeridos para predecir la composición de equilibrio consisten en un análisis químico de la muestra, incluyendo las concentraciones disueltas de los elementos y cualquier otra medida relevante para el sistema, pudiendo incluirse el pH, el potencial redox y las presiones parciales de los gases. MINTeq tiene una base de datos extensa, adecuada para estudiar una amplia gama de datos sin la necesidad de añadir constantes de equilibrio adicionales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de agua recogidas en la zona del Llano del Beal (B8, B10, B12 y B14) presentan elevada influencia minera y se caracterizan por un pH ácido, elevado contenido en elementos traza solubles, así como de sulfatos y cloruros solubles.

**palabras clave:** Soluciones acuosas; Cristalización; Drenaje ácido min; Difracción Rayos X

**key words:** Aqueous solutions; Crystallization; Acid mine drainage; X Ray diffraction

	pH	CE dS/m	Zn mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Mn mg/l
<b>B8</b>	3,0	0,9	83	1,3	0,7	7,3	0,5	6
<b>B10</b>	3,9	7,8	1015	4,9	4,5	1,8	0,6	75
<b>B12</b>	4,5	1,4	41	3,4	0,05	<ld	0,1	55
<b>B14</b>	5,7	3,3	216	0,7	2,9	<ld	0,05	10

Tabla 1. Características analíticas y concentración de metales pesados en las aguas del Llano del Beal.

El análisis por Difracción de Rayos X (DRX) de las aguas evaporadas demuestra la presencia de gran cantidad de sulfatos hidratados; en el caso de la muestra B8, yeso, polihalita, bianchita, paracoquimbita, halotrichita y siderotilo (Figura 2) y en la muestra B12 yeso, bianchita, paracoquimbita y coquimbita.

Para las muestras B10 y B14 el modelo estima la precipitación de anglesita, yeso e hidroxilcloruro de hierro.

Todas las aguas recogidas en el Gorguel (D1, D2, D4, D9 y D10) tienen valores de pH ácidos, junto con elevadas concentraciones de elementos traza, fundamentalmente cinc, cadmio y arsénico (Tabla 2).

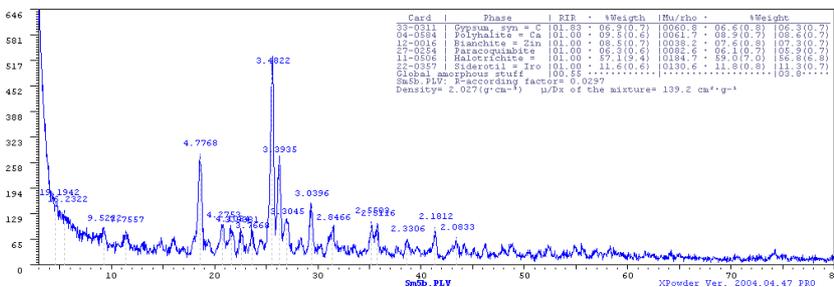


fig 2. Difractograma de la muestra de agua evaporada B8

En el residuo de la muestra B10 se ha cuantificado yeso, hexahidrita, carnalita, bianchita, copiapita y siderotilo, es decir sulfatos de hierro y cinc con diferentes grados de hidratación y cloruros de magnesio y potasio. En el residuo de la muestra B14 se ha cuantificado yeso, polihalita, bianchita, coquimbita y paracoquimbita, que como en el caso anterior, son sulfatos hidratados de hierro y cinc.

Además, la aplicación del modelo de especiación MINTEQ en la muestra B8 concluye que existe la posibilidad de que el hierro precipite en forma de hidroxilcloruro mientras que en la B12, se formaría alunita.

Para las muestras B10 y B14 el modelo estima la precipitación de anglesita, yeso e hidroxilcloruro de hierro.

Los resultados obtenidos con la aplicación del programa MINTEQ muestran que los elementos traza solubles pueden precipitar formando óxidos de hierro y aluminio y sulfatos, jarositas fundamentalmente, aunque también yeso, en el caso del agua recogida en el punto D9.

El análisis por DRX de las aguas evaporadas muestra la presencia de se formaron copiapita, coquimbita, yeso, bianchita y ferroxhexahidrita y en el caso del agua D11 se formó yeso, bianchita, halotrichita y siderotilo. Por último, en la muestra D1 se cuantificó halita, hexahidrita y yeso.

	pH	CE dS/m	Zn mg/l	Pb mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Mn mg/l
<b>D1</b>	4,8	2,12	180	0,87	0,43	<ld	3,72	0,012
<b>D2</b>	2,7	2,19	44	0,1	1	98,5	<ld	12,9
<b>D4</b>	2,6	3,12	1020	0,058	2,2	975	457,72	19,6
<b>D9</b>	4,0	5,71	200	1,23	1,1	0,48	4,36	0,053
<b>D10</b>	3,1	28,5	540	2,26	25	5,31	5,01	0,25

Tabla 2. Características analíticas y concentración de metales pesados en las aguas del Gorguel.

## REFERENCIAS

- Bhattacharya, A., Routh, J., Jacks, G., Bhattacharya, P., Mörth, M. (2006): Environmental assessment of abandoned mine tailings in Adak, Västerbotten district (northern Sweden). *Appl. Geochem.*, **21**, 1760-1780.
- García-Lorenzo, M.L. (2009): Evaluación de la contaminación por vía hídrica de elementos traza en áreas con influencia de actividades minero-metalúrgicas. Aplicación a la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Murcia). Tesis Doctoral, Universidad de Murcia.
- García-Lorenzo, M.L., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Molina, J. (2012). Trace elements contamination in an abandoned mining site in a semiarid zone. *J. Geochem. Explor.*, **113**, 23-35.
- Lottermoser, B.G. (2007): Mine wastes characterization, treatment, environmental impacts, 2nd ed. Springer, Berlin.
- Martín, D. (2004). Qualitative, quantitative and microtextural powder X-Ray diffraction analysis. <http://www.xpovder.com>.
- Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Tovar, P.J., Bech, J. (2008): Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *J. Geochem. Explor.*, **96**, 183-193.
- Navarro, M.C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., García-Lorenzo, M.L., Molina, J. (2012). Weathering processes in waste materials from a mining area in a semiarid zone. *Appl. Geochem.*, **27**, 1991-2000.
- Rodríguez, L., Ruiz, E., Alonso-Azcárate, J., Rincón, J. (2009): Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *J. Environ. Manage.* **90**, 1106-1116.
- Rull, F., Medina, J., Alonso, C., Alonso, M., Belmonte, T., Daza, A., Ferradas, A., González, D., González, B., Marcos, A., Notario, B., Pinedo, G., Rey, A., Rodríguez, M., Sanz, M., Velasco, A. (2010). Caracterización de Sales Precipitadas a partir de Aguas de la Red Hidrológica de la Provincia de Valladolid. *Macla*, **13**, 191-192.