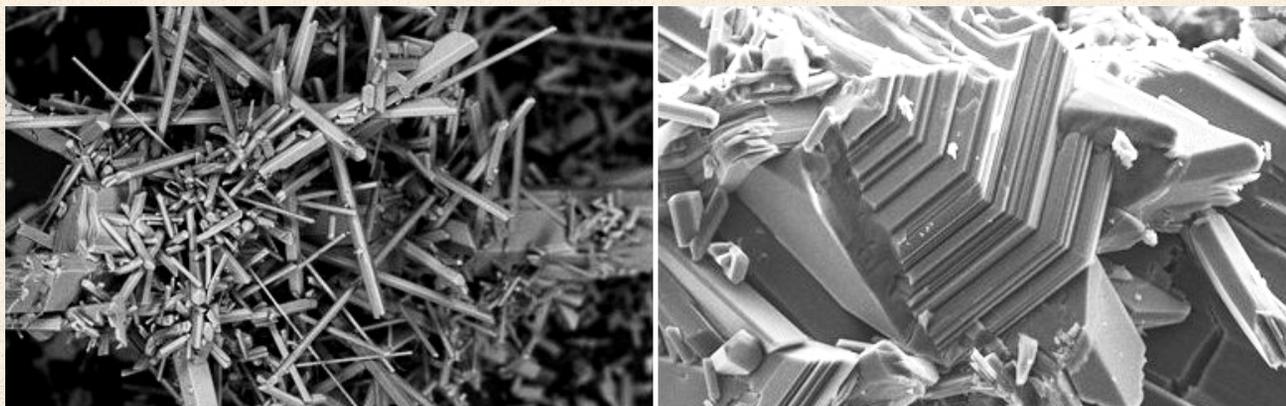


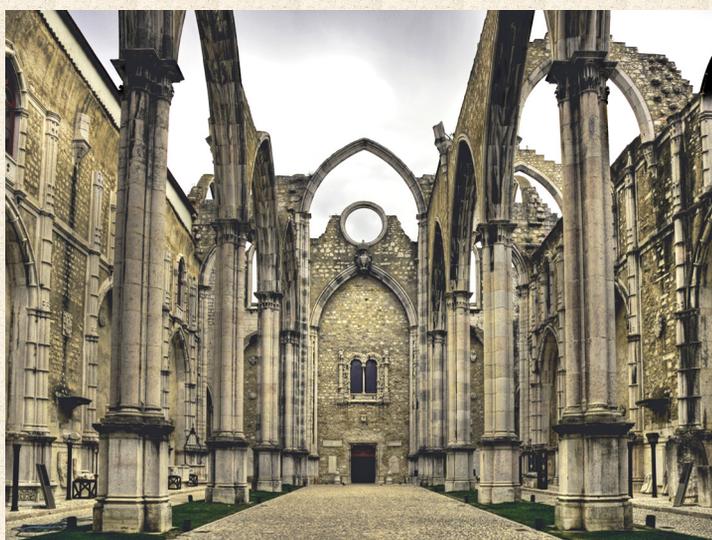
LA GEOLOGÍA ES NOTICIA

El embalse de Gossan-Cobre (Huelva): un laboratorio natural para estudiar los procesos de precipitación química



Francisco Macías y Juan Antonio Morales

(p. 138)



A la búsqueda del gran terremoto de Lisboa de 1755

João C. Duarte

(p. 143)

El embalse de Gossan-Cobre (Huelva): un laboratorio natural para estudiar los procesos de precipitación química

FRANCISCO MACÍAS¹ Y
JUAN ANTONIO MORALES¹

*1 Departamento de Ciencias de la Tierra.
Universidad de Huelva. Avenida 3 de
marzo, s/n. 21007 Huelva.
jmorales@uhu.es;
francisco.macias@dgeo.uhu.es*

Introducción

El embalse de Gossan-Cobre ha recogido durante décadas los residuos del complejo industrial de las famosas minas de Riotinto. La masa de agua se localiza en el cauce del arroyo Rejondillo, al norte de la mina y dentro del término municipal de Minas de Riotinto, en la cuenca minera de la provincia de Huelva. La carretera regional A-461, que conecta las localidades de Minas de Riotinto y Campofrío en su camino hasta la provincia de Badajoz atraviesa el reservorio de agua dividiéndolo en dos partes. La mitad Oeste toma el nombre de embalse de Gossan, mientras que la mitad Este se denomina embalse de Cobre, denominándose el conjunto como una combinación de ambos nombres.

El dique de contención se levantó en 1960 con el fin de recibir los residuos químicos sólidos y líquidos originados en la planta de concentración de cobre del complejo minero-

industrial, aunque posteriormente también se vertieron en él los residuos generados en los concentradores de plata y oro procedentes de las formaciones de gossan de varios yacimientos de la Faja Pirítica Ibérica. El embalse se utilizó hasta 2001 cuando se produjo el abandono de la actividad minera. En la actualidad vuelve a recibir los residuos generados en el nuevo periodo de actividad de la mina.

Con una superficie máxima de 125 hectáreas y una capacidad de 22 hectómetros cúbicos, el equivalente a 8800 piscinas olímpicas, hoy por hoy, el embalse de Gossan-Cobre es la balsa de lodos tóxicos más grande de Europa. Su enorme capacidad le permitiría albergar en estado de colmatación unos 90 millones de toneladas de lodos con altas concentraciones de todos los metales, entre los que destacan hierro, cobre y zinc, con altos contenidos en sustancias tan tóxicas como arsénico y cianuro.

El abandono de la actividad ha conllevado la desecación de las partes más altas del depósito, por evaporación, favoreciendo los procesos de precipitación química. Esta precipitación ha generado complejas geoformas (Fig. 1) con un alto valor estético y también didáctico, ya que en ellas se puede estudiar prácticamente *in situ* los procesos de preci-

pitación. Este alto valor patrimonial ha contribuido a que el complejo fuese declarado en 2005 como Bien de Interés Cultural, encontrándose catalogado en el Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico (IAPH).

¿Qué contienen las aguas?

Se comentaba en los párrafos iniciales que durante más de cuarenta años a este embalse se vertían las aguas procedentes de plantas de procesamiento mineral en las que se realizaban procesos de concentración de metales. Para extraer los metales de los sulfuros polimetálicos se trata el mineral con aguas ácidas que extraen mediante lixiviado todos los metales que deben ser posteriormente separados. Sin embargo, el agua ácida resultante del tratamiento sigue conteniendo normalmente altas concentraciones de metales, por lo que antes de ser arrojada al embalse debe recibir un tratamiento para eliminar la mayor parte posible de estos metales. Este tratamiento consiste en añadir hidróxido de calcio al agua rebajando su acidez. La neutralización conlleva la sobresaturación y precipitación de la mayor parte de los metales. Aún así, el agua vertida desde la planta seguía conteniendo hierro y azufre, además del calcio añadido durante el tratamiento.



Figura 1. Vista general del embalse de Gossan y las geoformas de precipitación química. Se aprecia la carretera A-461 que delimita el embalse de Cobre.

Debido a estos procesos, durante su época de actividad el embalse siempre estuvo caracterizado por su carácter ácido y su alto contenido en hierro, azufre y calcio, además de otros metales como cobre, zinc, cadmio o arsénico. El vertido continuado de estos elementos a una masa de agua en reposo y las altas tasas de evaporación que tienen lugar en el sur de España durante el verano elevaba las concentraciones de metales a un nivel de saturación.

A través de los años el embalse ha sufrido sucesivos cambios de nivel relacionados con el caudal de los vertidos y los periodos de lluvia y sequía. En los momentos de máximo nivel no han sido pocas las ocasiones en que se han producido reboses incontrolados que terminaron con vertidos de agua tóxica al cauce del río Tintillo, uno de los afluentes del Odiel. Un ejemplo de ello es el vertido más reciente, ocurrido en octubre de 2010, en el que la empresa entonces responsable del embalse, fue expedientada por la Junta de Andalucía. A fin de evitar acontecimientos como éste, desde la reapar-

tura de las actividades mineras de Riotinto en 2015, las aguas de este embalse se han venido drenando artificialmente para su tratamiento, de tal forma que en los últimos años el nivel ha bajado unos tres metros dejando expuesto un extenso campo de geoformas de precipitación en sus orillas (Fig. 1).

Los procesos de evaporación y precipitación a simple vista

Las geoformas del embalse de Gossan-Cobre muestran estructuras arborescentes y ramificadas a escala métrica (Figs. 1 y 2), ya que los cristales precipitados crecieron sobre la antigua vegetación arbórea que quedaba sucesivamente sumergida y expuesta por las aguas ácidas. El paisaje en el que se enmarcan estas geoformas es muy singular y, desde luego, de gran belleza. La presencia de las estructuras arborescentes precipitadas sobre las arcillas rojas de la orilla y las aguas verdes del embalse son tremendamente sugerentes y uno puede imaginar fácilmente que se encuentra en un escenario de ciencia ficción (Fig. 2).

El mecanismo por el que estas formas se originaron es un proceso sencillo relacionado con los periodos de subida y bajada del nivel de las aguas y, a su vez, generado por ciclos de disolución-precipitación asociados a evaporación. De hecho, la mayor parte de los minerales tienen un carácter evaporítico, al tratarse de sales. Al encontrarse el agua inicialmente saturada en azufre y calcio, los periodos de evaporación conllevan una sobresaturación que provoca la precipitación de yeso. Para precipitar el yeso basta con evaporar un 2% del volumen de agua. El yeso es un sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que cristaliza a partir de los iones de azufre y calcio que quedan en exceso al evaporarse el agua. Este yeso tiene una fábrica fibrosa y un color blanco que, en un primer momento, se adhiere a las ramas de la vegetación sumergida, recubriéndola por completo y dándole un aspecto “peludo”. Los sucesivos periodos de evaporación van formando sucesivas capas que incrementan el volumen de la geoforma. En sección se observa



Figura 2. Imagen de detalle de las geoformas.

un crecimiento concéntrico de diferentes niveles de yeso en los que los cristales se disponen de forma radial (Fig. 3). Dependiendo del exceso de metales que haya en el agua este yeso puede recubrirse de otros minerales que precipitan por procesos similares, adquiriendo otras coloraciones más amarillentas y/o anaranjadas.

Con la evaporación de un volumen mayor de agua, otros metales como el hierro entran también en sobresaturación. Cuando esto ocurre se precipita la **schwertmannita**. La schwertmannita es otro sulfato hidratado, pero en este caso de hierro. Su fórmula es compleja (Fe^{3+})₁₆O₁₆(OH)_{9.6}(SO₄)_{3.2}·10H₂O (Bigham et al., 1996), su aspecto de visu es terroso y su color pardo-anaranjado. Este mineral fue nombrado así en honor a su descubridor, el geólogo alemán Udo Schwertmann. En las secciones rotas de las geoformas se observa cómo la schwertmannita precipita entre las fibras de yeso (Fig. 3), dando finalmente a la forma un color amarillento-anaranjado y haciendo que la estructura de la *geoforma* sea más compacta.

Este último sulfato, puede captar otros metaloides, fundamentalmente arsénico (Asta et al., 2000). Sin embargo, la schwertmannita es un mineral inestable, que tiende a transformarse en otros minerales más estables como la **goethita** o la **jarosita** (Acero et al., 2000) con la desecación y el paso del tiempo, eliminando de su estructura estos otros metaloides, que pasan al medio ambiente contaminando así el entorno.

Una mirada microscópica

A fin de observar con mayor detalle los resultados de los procesos de precipitación y disolución de minerales en las geoformas se tomó una sección de una de ellas. El fragmento seleccionado presentaba una sección circular de unos 6 centímetros de radio con una disposición de 4 anillos concéntricos visibles de diferentes tonalidades correspondientes a un crecimiento rítmico alrededor de un núcleo vegetal central (similar al observado en la figura 3).

La capa más interna, de una tonalidad blanca, mostraba cristales aciculares y prismáticos de yeso de tamaño micrométrico, aunque también son

visibles cristales de hasta medio milímetro de longitud. Estos cristales presentan una superficie limpia con frecuentes maclas en punta de flecha, donde destaca la ausencia de texturas de disolución (Fig. 4). El pequeño tamaño de los cristales parece sugerir una sobresaturación brusca. Este periodo debe de corresponder al primer periodo de vertidos anterior al año 2000.

En el segundo anillo aparecen ya cristales prismáticos de tamaño milimétrico mejor desarrollados, sin embargo, se observan ya texturas de disolución, como cavidades de corrosión de forma angulosa (Fig. 5). Dentro de estas cavidades se observan microcristales cuyo espectro corresponde a hidrosulfatos de hierro ricos en K y Na (posiblemente jarosita) (Fig. 5A). Estas cavidades podrían haberse formado en un periodo de abandono, donde las lluvias comenzaron a introducir aguas ácidas procedentes de lixiviados desde el entorno cercano. La presencia de estas aguas ácidas favorecería la disolución a la vez que aportaría el hierro presente en estos cristales. A medida que



Figura 3. Sección de una geoforma con crecimiento concéntrico de diferentes niveles de yeso.

nos desplazamos hacia el exterior del segundo anillo los minerales ferrosos se vuelven más abundantes (Fig. 5B). En este segundo anillo destaca la presencia de algunas diatomeas asociadas a los cristales de yeso (Fig. 5C). El grosor de este segundo anillo y el mayor tamaño de los cristales sugieren un periodo

prolongado de estabilidad en estas condiciones ácidas.

En la tercera capa, de color anaranjado, los cristales de yeso son observables ya a simple vista. En este caso los cristales con morfologías aciculares, tabulares y prismáticas presentan un verdadero entramado donde se observan pequeñas estruc-

turas pseudo-radiales selladas por una matriz microcristalina con textura granular, constituida por cristales de schwertmannita, donde están ausentes el K y el Na observado en el anillo anterior. En este anillo las cantidades relativas de schwertmannita son mucho mayores, lo que sugiere que esta etapa correspondería a un

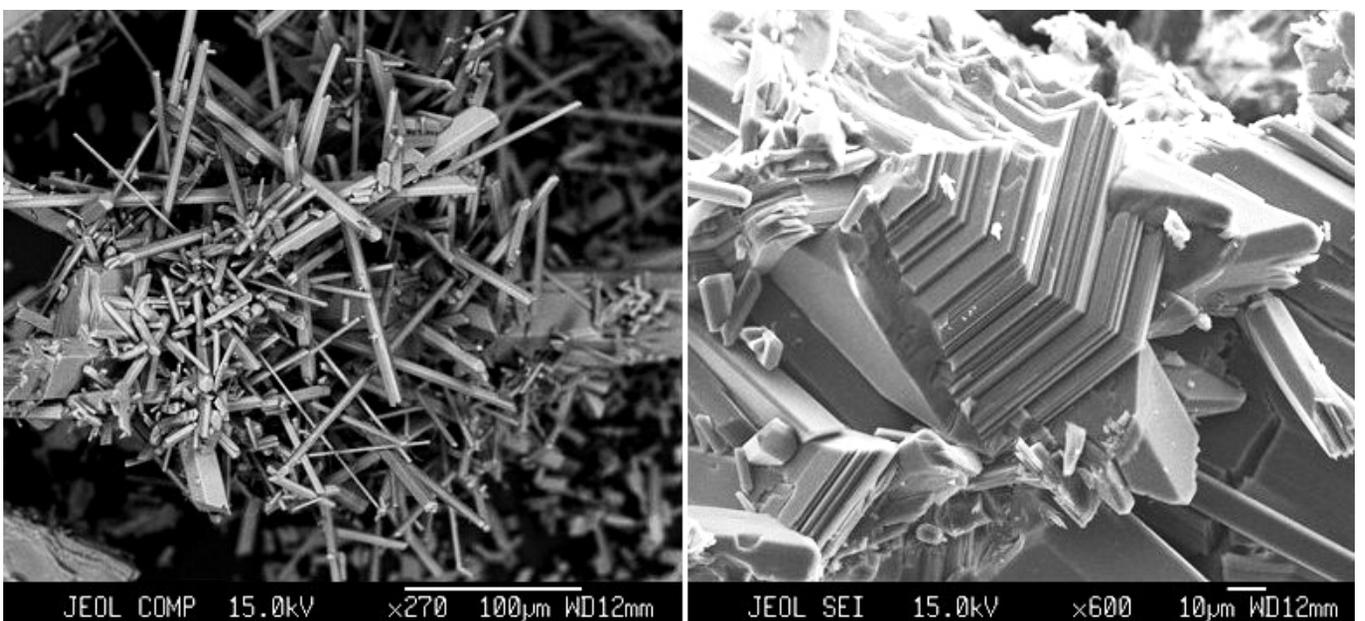


Figura 4. Imágenes de microscopio electrónico del primer anillo de crecimiento. A: Texturas de yeso aciculares. B: Macla en punta de flecha.

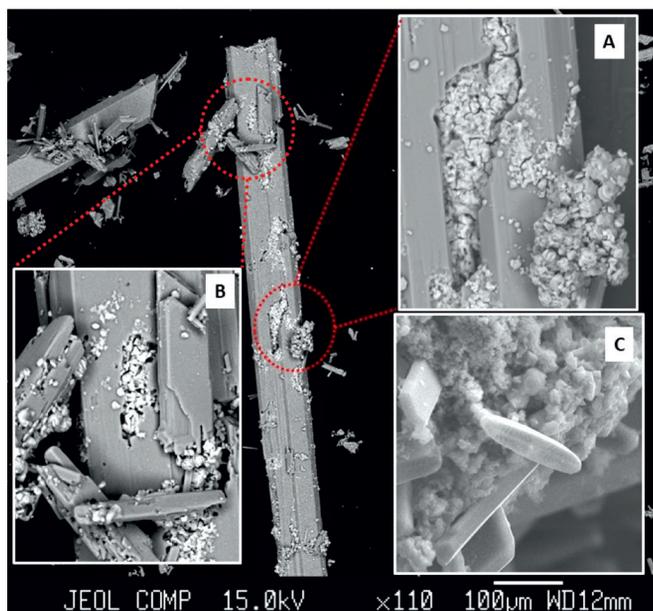


Figura 5. Cristal prismático de yeso en el segundo anillo con texturas de corrosión rellenas. A y B: Detalles de texturas de corrosión. C: Imagen de diatomea asociada al yeso.

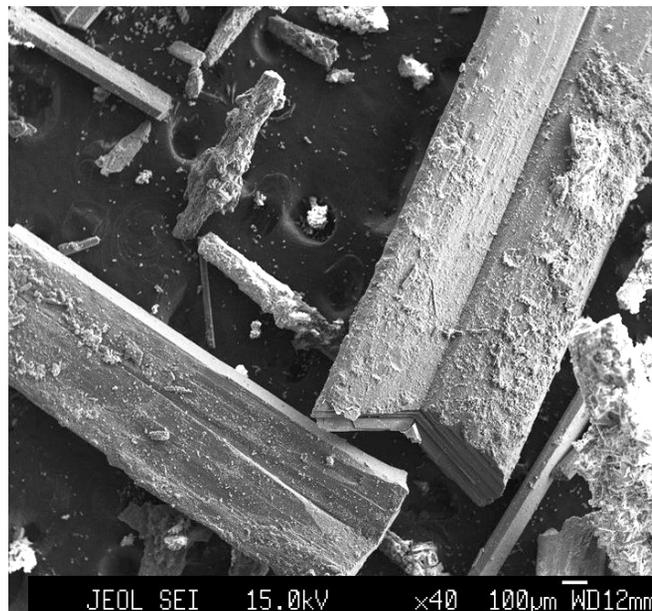


Figura 6. Imagen de microscopio electrónico de grandes cristales de yeso en el anillo superficial con maclas en punta de flecha.

incremento de la acidez y el contenido en Fe debido a la continuidad de la inactividad de la balsa.

Finalmente, el anillo superficial es el más fino de todos ellos. Presenta un color amarillento y grandes cristales de yeso fácilmente observables a simple vista, llegando incluso al tamaño centimétrico (Fig. 6). Se aprecian numerosas maclas en punta de flecha y no se observan otro tipo de cristales precipitados sobre ella, aunque se encuentra “sucia” debido a que este último anillo ha estado a la intemperie, lo cual nos ha permitido acceder a ellas (Figs. 1 y 2). Todo ello nos permite interpretar este anillo como resultado de la última fase de reapertura de la mina en 2015, volviendo a las condiciones de

vertido de aguas tratadas y ricas en calcio. A diferencia del primer anillo las condiciones de sobresaturación serían más progresivas, lo que permitiría el desarrollo de estos grandes cristales.

Una mirada al futuro

Esta bajada programada del nivel de agua del embalse ha permitido el acceso a unas maravillosas *geoformas* que hasta ahora habían permanecido sumergidas y ocultas a nuestra vista salvo en periodos secos. Sin embargo, estas formas son efímeras, ya que los sulfatos como el yeso son altamente solubles y pueden disolverse fácilmente con el agua de lluvia y los aportes del drenaje ácido pudiendo destruirse

por completo. Por el contrario, si el nivel del embalse vuelve a subir por el vertido de nuevas aguas de la planta de depuración, estas formas quedarán de nuevo protegidas y preservadas, aunque serán ocultas a nuestros ojos.

En cualquier caso, este es un ejemplo de cómo los procesos geológicos pueden crear bellas formas dando un aspecto positivo a algo tan negativo como la contaminación ambiental. Mientras las *geoformas* estén accesibles permitirán la utilización de este espacio de alto interés científico y didáctico como laboratorio al aire libre para enseñar de una forma atractiva los procesos de precipitación y disolución asociados a los medios ácidos. ●

Bibliografía

- Acero, P., Ayora, C., Torrento, C. y Nieto, J.M. (2006). The behavior of trace elements during schwertmannite precipitation and subsequent transformation into goethite and jarosite. *Geochim. Cosmochim. Ac.* 70 (16), 4130-4139.
- Asta, M.P., Ayora, C., Román-Ross, G., Cama, J., Acero, P., Gault, A.G., et al. (2010). Natural attenuation of arsenic in the Tinto Santa Rosa acid stream (Iberian Pyritic Belt, SW Spain): the role of iron precipitates. *Chem. Geol.*, 271 (1-2), 1-12.
- Bigham, J.M., Schwertmann, U., Traina, S.J., Winland, R.L. y Wolf, M. (1996). Schwertmannite and the chemical modeling of iron in acid sulfate waters. *Geochim. Cosmochim. Ac.*, 60 (12), 2111-2121.