

Evolución del nivel del agua en una corta inundada de la Faja Pirítica Ibérica: Implicaciones ambientales

Evolution of the water level in a flooded open pit from the Iberian Pyrite Belt: Environmental implications

Raúl Moreno-González, Manuel Olías, Ainara Rodrigo García y Carlos R. Cánovas

Dpto. Ciencias de la Tierra y Centro de Investigación en Recursos Naturales, Salud y Medio Ambiente (RENSMA). Universidad de Huelva, 21071, Huelva (España).
raul.moreno@dct.uhu.es; manuel.olias@dgyp.uhu.es; ainara.rodrigo241@alu.uhu.es; carlos.ruiz@dgeo.uhu.es

ABSTRACT

In May 2017, an acidic water spill of approximately 270,000 m³ occurred from the La Zarza mine pit lake, when the seal of an old mining adit was broken. In order to prevent the acidic water continuing to flow out the pit lake, waterproofing substances were injected into the adit. This paper studies the evolution of the water level in the open pit and the efficiency of the new sealing of the adit. The water level in the open pit has remained approximately constant in recent years, due to the low rainfall recorded. However, the water balance carried out shows that the level will continue to rise when this dry period ends. On the other hand, the hydrochemical analyses carried out at the mouth of the adit, where there is a small leachate of acidic water, show that the sealing carried out in 2017 is being effective and this water does not come from the pit lake.

Key-words: Acid mine drainage, La Zarza mine, pit lake, water balance.

RESUMEN

En mayo de 2017 se produjo un vertido de aproximadamente 270.000 m³ de aguas ácidas desde la corta de La Zarza, al romperse el sellado de una antigua galería minera. Para impedir que el agua siguiera saliendo de la corta, se inyectaron sustancias impermeabilizantes en la galería. En este trabajo se analiza la evolución del nivel del agua en la corta y la eficacia del nuevo sellado de la galería. El nivel del agua en la corta se ha mantenido aproximadamente constante en los últimos años, debido a que las precipitaciones en este periodo han sido escasas, pero los resultados del balance muestran que el nivel continuará ascendiendo cuando finalice este periodo seco. Por otro lado, los análisis hidroquímicos realizados en la boca de la galería, donde existe una pequeña surgencia de aguas ácidas, muestra que el sellado realizado en 2017 está siendo efectivo y que el agua que sale por este punto no procede de la corta inundada.

Palabras clave: Drenaje ácido de minas, mina La Zarza, lago minero, balance de agua.

Geogaceta, 73 (2023), 55-58
<https://doi.org/10.55407/geogaceta95454>
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 08/07/2022
Fecha de revisión: 28/10/2022
Fecha de aceptación: 02/12/2022

Introducción

El cese del bombeo de agua una vez que termina la actividad minera produce frecuentemente una progresiva inundación de las cortas a cielo abierto, generando lagos mineros. El nivel del agua ascenderá hasta que se alcance un equilibrio entre las entradas de agua a la corta y las salidas. Estas últimas se producen por la evaporación de la superficie de agua libre, pero también pueden originarse salidas superficiales y/o subterráneas. En el caso de la minería de sulfuros, las cortas suelen almacenar aguas ácidas con concentraciones extremas de metales, por lo que la liberación de estas aguas puede ocasionar graves impactos (Sánchez España *et al.*, 2008; Castendyk, 2011; Boehrer *et al.*, 2016).

La Faja Pirítica Ibérica (FPI) es una de las regiones metalogénicas con mayores depósitos de sulfuros polimetálicos masivos del mundo. La intensa actividad minera, desarrollada sobre todo desde la segunda mitad de siglo XIX, ha dejado un

gran volumen de residuos mineros y cortas inundadas donde se producen drenajes ácidos de mina que causan un fuerte impacto sobre los ríos del entorno (e.g. Sánchez España *et al.*, 2005). En la actualidad hay 22 cortas mineras inundadas en la parte española de la FPI (Sánchez España *et al.*, 2008; Moreno-González *et al.*, 2018).

La paralización en 1991 de la explotación de la mina de La Zarza produjo la inundación progresivamente de la corta, con un ascenso del nivel del agua de 52 m entre 2002 y 2016 (Olías *et al.*, 2019). En mayo de 2017, se produjo la rotura del sellado de una galería (Los Cepos) que conecta con el lago minero y, como consecuencia, se vertieron al río Odiel alrededor de 270.000 m³ de aguas ácidas extremadamente contaminantes. Las aguas ácidas alcanzaron rápidamente el río Odiel y posteriormente la ría de Huelva, produciendo un notable empeoramiento de las condiciones habituales de ambos. Para evitar que continuara el vertido desde la corta se inyectaron materiales

impermeabilizantes en la boca de esta galería (Olías *et al.*, 2019).

En este contexto, los principales objetivos del presente estudio son actualizar la información disponible sobre la evolución del nivel de agua del lago minero de La Zarza y comprobar si el nuevo sellado realizado sigue siendo efectivo.

Zona de estudio

La FPI se extiende desde aproximadamente 200 km de largo y 40 km de ancho desde la parte occidental de España hasta la costa portuguesa y está formado por tres unidades litológicas: el Grupo filítico-cuarcítico (PQ), el Complejo Volcánico-Sedimentario (CVS) y el Grupo Culm. En el CVS existen numerosos yacimientos de sulfuros masivos, constituidos principalmente por piritita (FeS₂) y con cantidades menores de calcopirita (Cu-FeS₂), esfalerita (ZnS) y galena (PbS). El distrito minero La Zarza está ubicado en la parte central de la FPI, con una altitud máxima de 326 m.

La mina de La Zarza ha sido explotada desde periodos prerromanos. La actividad moderna comenzó en 1853, explotándose inicialmente de forma subterránea mediante pilares y cámaras. La galería de Los Cepos (Fig. 1) era utilizada para el drenaje de la mina y facilitar el transporte de mineral (Gonzalo y Tarín, 1888). También existían en la zona otras galerías de origen romano, como la de Algaida (Fig. 1). En 1888 comenzó la minería a cielo abierto que finalizó en 1920, cuando la corta había alcanzado una profundidad de 130 m. Sin embargo, la minería subterránea continuó mediante el método de corte y relleno, alcanzando alrededor de 300 m de profundidad (Pinedo Vara, 1963). La explotación de la mina de La Zarza cesó en 1991, aunque las operaciones de desagüe se extendieron hasta 1995. En los años 90, la Autoridad Ambiental realizó el sellado de la galería de Los Cepos en el marco de un plan para la mejora de las condiciones en el río Odiel, que fue el que se rompió en 2017. Actualmente existe un nuevo proyecto para reanudar la explotación en La Zarza por parte de la compañía Tharsis Mining.

Metodología

Para obtener la evolución del nivel del agua en el lago minero de La Zarza, se han utilizado las ortofotos Plan Nacional de Ortofotografía Aérea hasta julio de 2019. A partir de la superficie inundada medida en las ortofotos y el Modelo Digital del Terreno, se obtuvo la cota del nivel del agua y el volumen de agua almacenado (Moreno-González *et al.*, 2018). Desde el año 2019, la superficie inundada se ha calculado a partir de los datos del nivel del agua aportados por Tharsis Mining.

Los datos diarios de precipitación, temperatura, radiación solar y velocidad del viento se han obtenido de la estación meteorológica de El Campillo de la Junta de Andalucía, ubicada a unos 18 km al este de la mina La Zarza. La evaporación diaria se calculó utilizando la ecuación de Penman (1948). Se ha calculado la precipitación directa sobre la lámina de agua y la escorrentía superficial generada en su cuenca vertiente. Como una primera aproximación y dado el fuerte relieve de las paredes de la corta, se ha considerado coeficientes de escorrentías del 60 y el 90% de las precipitaciones. Las salidas

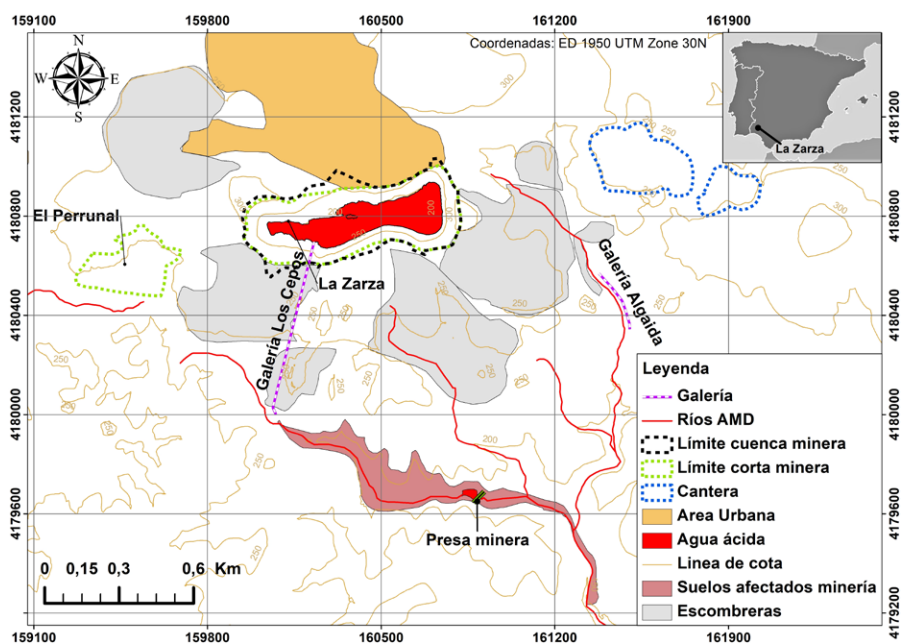


Fig. 1.- Mapa de localización de la mina de La Zarza donde se muestra la corta minera, la mina de El Perrunal, las galerías, escombreras y otras instalaciones mineras. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location map of La Zarza mine showing the open pit, El Perrunal mine, the adits, dumps and other mining facilities. See color figure in the web.

por evaporación se obtuvieron multiplicando la evaporación acumulada en los periodos estudiados por la superficie inundada. Por último, se han estimado los aportes subterráneos a la corta a partir del cierre del balance hídrico, es decir la variación del volumen de agua almacenada, más la evaporación, menos las entradas de aguas superficiales.

Por otro lado, para investigar si el agua ácida que surge actualmente de la galería de Los Cepos procede del lago minero, se han utilizado los datos de varios muestreos realizados entre 2015 y 2021, así como datos de los años 2003 y 2004 obtenidos por Sánchez España *et al.* (2005).

Resultados

El valor medio de las precipitaciones en el periodo 1998 a 2022 fue de 725 mm. Se distinguen dos periodos húmedos, desde 1999/00 hasta 2003/04 y los años 2009/10 y 2010/11 (Fig. 2). Por otra parte, existe un largo periodo seco en los últimos 9 años, más intenso a partir del año 2018/19 (precipitación media en los últimos 4 años de 494 mm). El valor de la evaporación obtenida por el método de Penman es próximo a 1700 mm/año.

La inundación de la corta comenzó en el año 2002, desde esta fecha se produjo un fuerte ascenso del nivel del agua hasta el año 2016 (52.5 m; Olías

, 2019), coincidiendo los mayores incrementos con periodos de fuertes precipitaciones (Fig. 2). A partir de 2011, se observa una ralentización del incremento de nivel del agua y una tendencia a la estabilización. Tras el vertido en 2017 de 270000 m³ de aguas ácidas a través de la galería de Los Cepos, el nivel del agua descendió aproximadamente 3.5 m hasta los 210.6 m, situándose sólo ligeramente por encima de la cota de la galería. En los años siguientes al vertido, el nivel de agua almacenada en la corta volvió a subir ligeramente hasta estabilizarse próximo a 213 m desde el año 2019 (Fig. 2).

Las entradas medias a la corta en el periodo de estudio ascienden a 0.21 hm³/año, que equivale a un caudal de 6.7 L/s. Ello coincide con los datos previos disponibles que señalan que esta mina era pobre en agua y que el desagüe no suponía un gran problema (Pinedo Vara, 1963; Junta de Andalucía, 1986). Con un coeficiente de escorrentía del 90%, el 75% procedería de aportes superficiales mientras que el 25% restante serían subterráneos. Con una escorrentía del 60% las entradas superficiales supondrían el 57% de las totales y las subterráneas el 43%. Las entradas totales son las mismas en ambos casos, ya que la menor escorrentía superficial se compensa con mayores aportes subterráneos al calcularse estos últimos por la diferencia de cierre del balance. En la figura 3 se observa

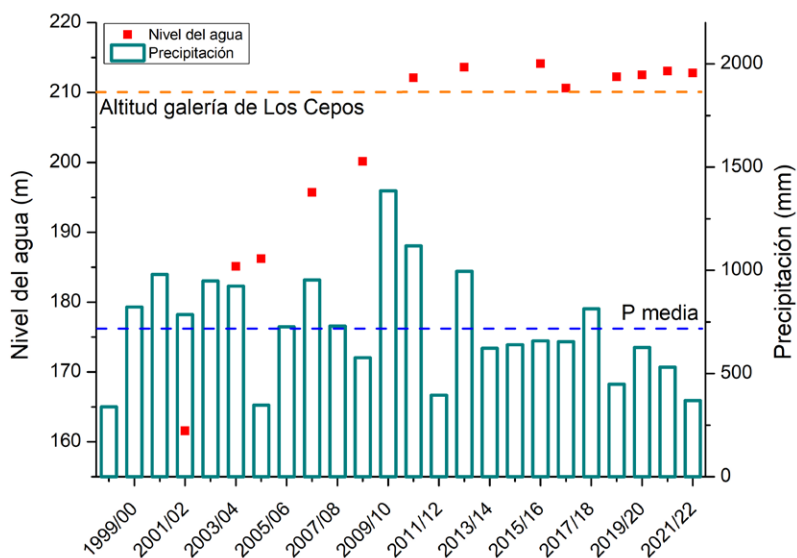


Fig. 2.- Evolución de las precipitaciones y de la cota del nivel del agua en la corta de La Zarza. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Evolution of rainfall and water level of La Zarza open pit. See color figure in the web.

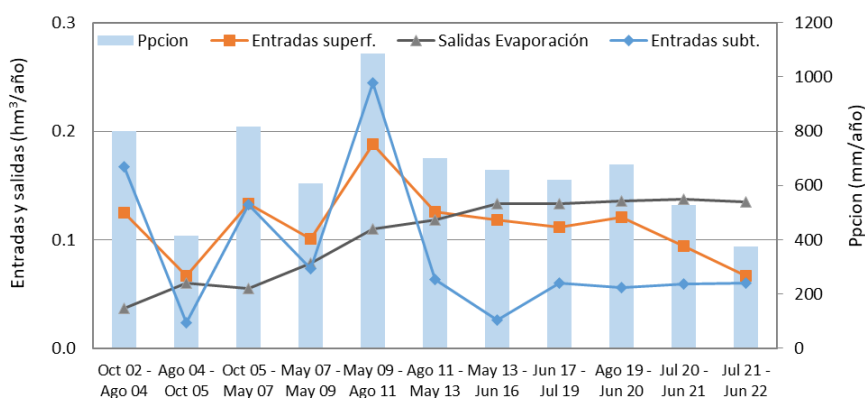


Fig. 3.- Evolución entradas y salidas de agua en la corta para un coeficiente de escorrentía del 60%, junto con los valores de precipitación. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Evolution water inputs and outputs in the open pit for a runoff coefficient of 60%, together with the rainfall values. See color figure in the web.

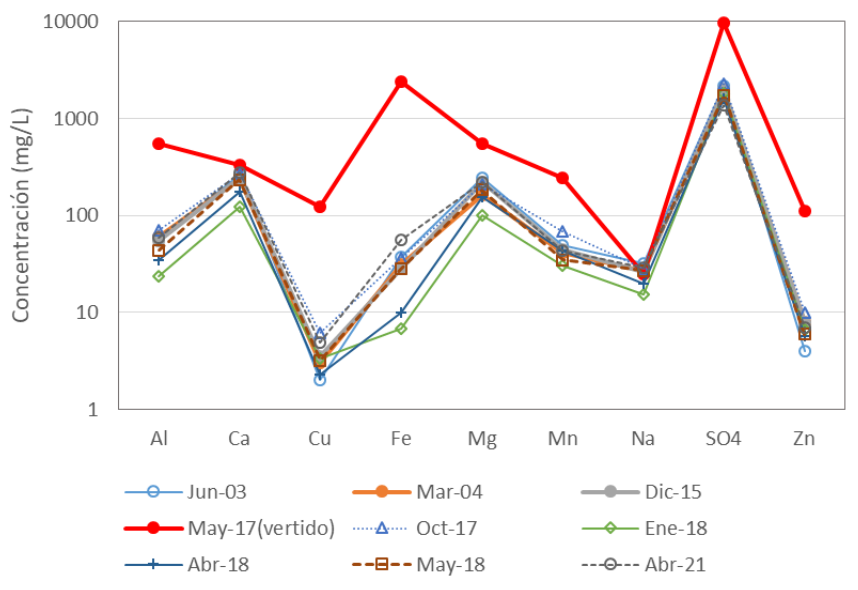


Fig. 4.- Concentraciones de las muestras de agua de la galería Los Cepos. Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- Concentrations of water samples from Los Cepos adit. See color figure in the web.

cómo en los años más lluviosos las entradas subterráneas se incrementan, lo que indicaría que se trata de flujos locales por la infiltración del agua en el entorno de la zona minera, especialmente en las escombreras y las antiguas canteras utilizadas para extraer el material de relleno (Fig. 1). Existe un dato anómalo de entradas subterráneas en el periodo julio-21 a junio-22 que podría deberse a unas mayores precipitaciones en la Zarza que en la zona donde está situado el pluviómetro.

En cuanto a las salidas por evaporación, se han incrementado como consecuencia de la mayor superficie inundada (Fig. 3), situándose en un valor próximo a 0.14 hm³/año, menor que el de las entradas medias (0.21 hm³/año). Esto implica que la estabilización del nivel del agua que se observa en los últimos años no es definitiva y se debe a las menores precipitaciones registradas. Con unos valores normales de precipitación, el nivel del agua en la corta continuará ascendiendo.

Por otro lado, en la figura 4 se muestran las concentraciones disueltas de los muestreos analíticos realizados en la galería Los Cepos. El dato de mayo de 2017 corresponde al vertido, cuando salía por la galería agua procedente de la corta. Se comprueba que las concentraciones de mayo de 2017 son considerablemente más elevadas, con valores de Al, Cu, Mn y Zn superiores a 100 mg/L y hasta 2374 mg/L de Fe. El resto de las muestras son todas muy semejantes, con concentraciones muy inferiores y con un patrón de concentraciones claramente diferente del vertido de 2017. En resumen, las condiciones actuales de esta surgencia ácida son las mismas que existían previamente a la inundación de la corta y al vertido, lo que implica que su alimentación no procede del lago minero y que la impermeabilización realizada en 2017 está siendo efectiva. No obstante, hay que señalar que la presión a la que está sometida el sellado es relativamente baja (sólo unos 3 metros de columna de agua). Se deberían continuar estos controles si se produce un ascenso importante del nivel del agua en la corta.

Conclusiones

El nivel del agua en la corta de la Zarza muestra una estabilización en los últimos años en torno a la cota 213 m, 3 m por encima de la cota de la galería Los Cepos, a través de la cual se produjo un importante

vertido de aguas ácidas en mayo de 2017. Las entradas medias de agua a la corta en el periodo 2002 a 2022 se estiman en 0.21 hm³/año, mientras que las salidas por evaporación en los últimos años son de 0.14 hm³/año. La estabilización observada del nivel del agua se debe a que se ha producido un periodo seco en los últimos 9 años, más severo desde el año hidrológico 2018/19. En condiciones normales de pluviometría el nivel del agua continuará ascendiendo, por lo que es necesario mantener los controles en la zona. No obstante, sería conveniente determinar experimentalmente la evaporación del agua de la corta y disponer de datos pluviométricos y de escorrentía superficial para tener una estimación más precisa.

Por otro lado, los muestreos hidroquímicos realizados en la boca de la galería Los Cepos ponen de manifiesto que la impermeabilización realizada en 2017 sigue siendo efectiva y que las aguas ácidas que surgen en este punto no proceden de la corta.

Contribución de los autores

Moreno-González: metodología, adquisición de datos, edición, figuras,

revisión del manuscrito, investigación/análisis,

Olías: estructura del trabajo, metodología, investigación/análisis, supervisión.

Cánovas: coordinación, revisión del manuscrito.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto "Infraestructuras científicas para la vigilancia y adaptación al cambio global en Andalucía (INDALO)" de la Junta de Andalucía.

Referencias

- Boehrer, B., Yusta, I., Magin, K., Sánchez España, J. (2016). *Science of The Total Environment*. 563–564, 468–477. <https://doi.org/jbvr>
- Castendyk, D.N. (2011). *Lessons learned from pit lake planning and development*. In: McCullough, C.D. (Ed.), *Mine Pit Lakes: Closure and Management*. Australian Centre for Geomechanics, University of Western Australia, pp. 15–28.
- Gonzalo y Tarín, J. (1888). *Descripción física, geológica y minera de la provincia de*

Huelva. Memorias de la Comisión del Mapa geológico de España, Tomo II, Madrid, p. 660.

Junta de Andalucía (1986). *Libro blanco la minería andaluza*. Dirección General de Industria Energía y Minas. Sevilla. 2 vol. Moreno-Gonzalez, R., Olías, M., Macías, F., Cánovas, C.R., Fernandez de Villaran, R. (2018). *Journal of Hydrology*. 566, 807-817. <https://doi.org/gfqk3j>

Olías, M., Cánovas, C.R., Basallote, M.D., Macías, F., Pérez-López, R., Moreno-González, R., Millán-Becerro, R., Nieto, J.M. (2019). *Environmental Pollution*, 250, pp. 127-136. <https://doi.org/hx69>

Penman, H. L. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146.

Pinedo Vara, I. (1963). *Piritas de Huelva. Su historia, minería y aprovechamiento*. Summa, Madrid.

Sánchez España, J., López Pamo, E., Santofimia, E., Aduvire, O., Reyes, J., Baretino, D. (2005). *Applied Geochemistry*, 20, 1320–1356. <https://doi.org/bj27dm>

Sánchez España, J., López-Pamo, E., Santofimia, E., Díez, M., 2008. *Applied Geochemistry*. 23, 1260–1287. <https://doi.org/bx8wgr>