

# Consecuencias hidrogeológicas del cese de actividades mineras. El caso del "socavón general de desagüe" de Linares (Jaén)

*Hydrogeological effects of mining closure. The Linares "general drainage gallery" case*

J. Benavente Herrera <sup>(1)</sup>, M.C. Hidalgo Estévez <sup>(2)</sup>, C. Marín Lechado <sup>(3)</sup> y J.C. Rubio Campos <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto del Agua, Universidad de Granada, c/ Ramón y Cajal, nº 4, Edif. Fray Luis de Granada, 18071-Granada, España. E-mail: jbenaven@ugr.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Geología, Universidad de Jaén, E.U.P. Linares, c/ Alfonso X El Sabio, 28, 23700-Linares, España. E-mail: chidalgo@ujaen.es

<sup>(3)</sup> Instituto Geológico y Minero de España, IGME. Oficina de Proyectos de Granada. Urb. Alcázar del Genil, 4, bajo. 18006-Granada, España. E-mail: granada@igme.es

## ABSTRACT

*The general drainage gallery of the Linares mining district was designed to minimize elevation cost from dewatering the deepest levels of the underground works. Following the mining closure and the flooding of the mining voids, this gallery (the so-called "socavón") is draining by gravity groundwater resources of the Linares batolith. In addition, an exploitation of these resources is taking place by pumping directly from old shafts, some of them connected through the gallery. The gallery discharge has been monitored during a year as well as the physico-chemical characteristics of the water. The flow averages 60 l/s and both the electrical conductivity and temperature of the water are quite stable. Flow variations suggest a relatively quick response to the infiltration inputs as well as the effect of pumpings. E.C. values point out to an homogeneous process of mineralisation of groundwater, which can be attributed to sulphide oxidation buffered by carbonates. The groundwater balance of the batolith is at present equilibrated. The increasing in pumping is likely to be accompanied by the progressive exhaustion of the gallery flow.*

**Key words:** drainage gallery, flooded mines, Linares batolith.

Geogaceta, 32 (2002), 187-189  
ISSN:0213683X

## Introducción

En el batolito granítico de Linares (Jaén) existe un importante enclave metalogénico filoniano. En la figura 1 se representa la localización del área y las principales características geológicas de este distrito minero. La extensión del batolito, incluyendo la cobertera tabular areniscosa triásica, es de aproximadamente 80 km<sup>2</sup>.

Las principales mineralizaciones son sulfoantimoniuros de Pb-Ag y sulfuros de Cu-Fe. La explotación minera de este enclave adquirió un gran impulso bajo la dominación romana. Luego continuó con más o menos altibajos hasta que, durante el último tercio del siglo XIX y principios del XX, se alcanza el mayor desarrollo en esta actividad. Así, en el periodo 1875-1920 la producción media anual de 65.000 T de Pb convierte a este distrito en el primer productor mundial (Azcarate, 1977). Por diferentes circunstancias, desde mediados del siglo XX la actividad minera comienza a declinar; el cierre de minas se intensifica y la última explotación se clausura en 1991 (Gutiérrez-Guzmán, 1999).

La importante fracturación de este enclave granítico, circunstancia responsable de la génesis del campo filoniano como consecuencia de la orogenia Hercínica, debe ser también la causa de que -a lo largo de las diferentes fases históricas de trabajos subterráneos- se registrasen afluencias relativamente importantes de agua hacia las labores mineras, lo que hacía necesario proceder a su evacuación para el progreso de las explotaciones. De hecho, las etapas de máximo desarrollo minero en el distrito de Linares estuvieron relacionadas con la generalización del empleo de las bombas de balancín, accionadas por máquinas de vapor -y, posteriormente, de bombas accionadas por energía eléctrica- para el drenaje de las minas. Por el contrario, en el vecino distrito minero de La Carolina-El Centenillo era más generalizado el desagüe por gravedad de las labores mineras mediante "socavones" o "caños", favorecido por la existencia de mayores desniveles topográficos. Este sistema se basa en galerías, generalmente de pequeñas dimensiones, que parten de la que explota

el filón y conducen el agua hacia el exterior merced a una ligera pendiente.

En las últimas fases de la explotación del distrito minero estudiado, en torno a la década de los 50, algunas labores se localizaban a profundidades del orden de 600 metros. Con el objetivo principal de reducir costes de bombeo, se proyectó en 1950 una galería de drenaje -a unos 200 m de profundidad bajo la superficie del batolito, es decir, a una cota aproximada de 250 m- que atravesara los principales filones explotados. La obra se terminó en 1963, con algo más de 12 km de longitud y salida hacia el río Guadalimar, afluente del Guadalquivir por su margen derecha (Fig. 1), a unos 7 m sobre el nivel de agua normal de éste. Las dimensiones del socavón se adaptan a un caudal de desagüe previsto de 600 l/s, con una altura libre total de 2 m, anchura de 1,60 m y pendiente del uno por mil (Gutiérrez-Guzmán, 1999).

La ejecución de esta galería, el denominado "socavón general de desagüe", no impidió que las explotaciones fueran abandonándose progresivamente, según se ha expuesto. Al cesar las

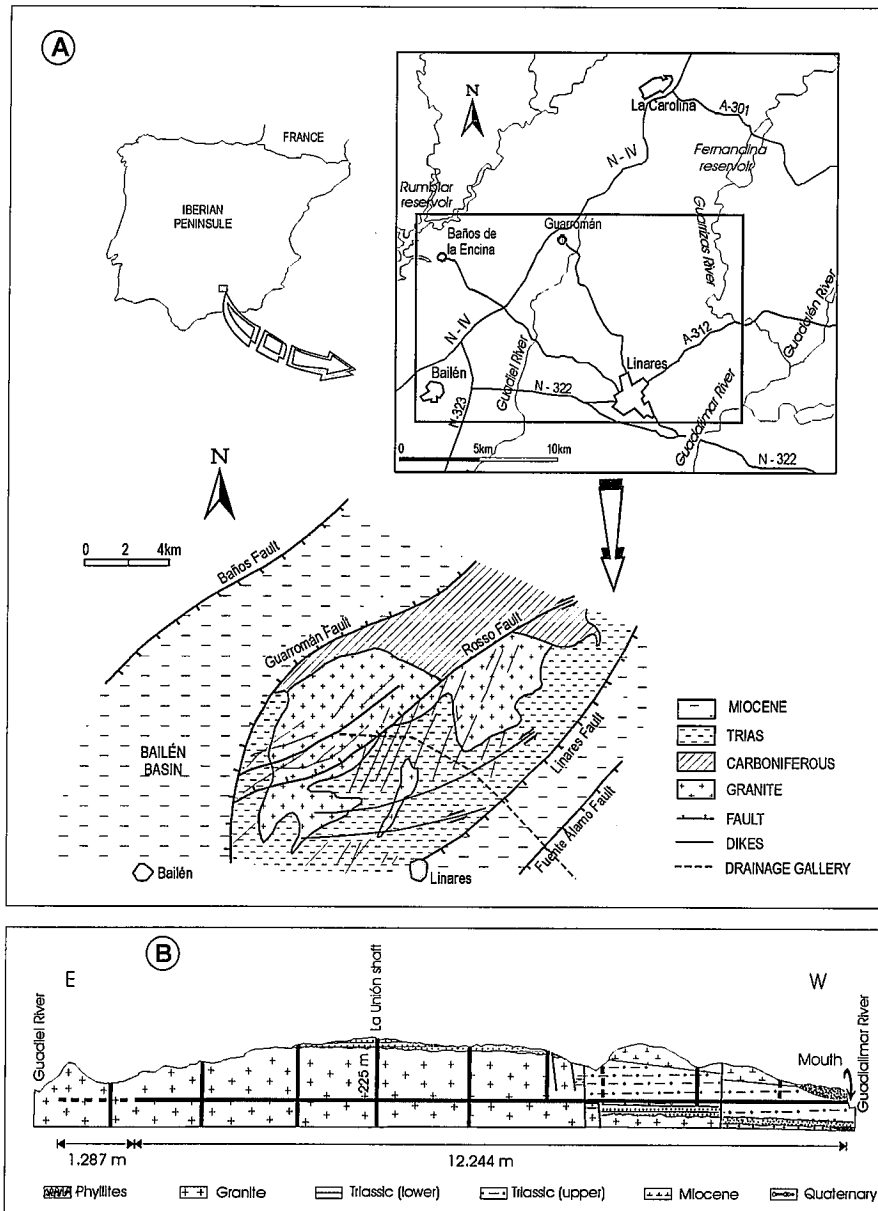


Fig. 1.- A: Localización de la zona de estudio, mapa geológico simplificado del distrito minero de Linares (Jaén) y situación del "socavón general de desagüe". B: Corte geológico simplificado del socavón minero.

Fig. 1.- A: Location of the studied area, geological map of the Linares mining district (Jaén) and situation of the general drainage gallery. B: Geological sketch (not to scale) of the general drainage gallery.

actividades mineras y, consiguientemente, las labores de drenaje, los huecos mineros, pozos y galerías se inundaron. La citada galería funciona desde entonces como el principal punto de descarga por gravedad de las aguas subterráneas dentro del batolito. Una circunstancia a destacar es que la explotación mayoritaria de los recursos hídricos subterráneos en el batolito se lleva a cabo a partir del bombeo directo en antiguos pozos de mina, algunos de ellos interconectados por el mencionado socavón.

**Objetivos y métodos**

El presente trabajo se basa en la caracterización hidrogeológica del socavón a partir del control del caudal y de algunas características físico-químicas de sus aguas en la boca de salida. Esta labor se ha realizado con periodicidad mensual entre noviembre de 2000 y noviembre de 2001, aunque se dispone también de algunos datos dispersos obtenidos desde mayo de 1996.

El caudal se ha controlado periódicamente mediante aforos químicos automa-

tizados, pues en el área de descarga es difícil encontrar alguna sección apropiada para el uso de micromolinet. También se han realizado aforos directos, químicos y con micromolinet, en el río Guadiel, el principal curso que atraviesa el batolito, en dos secciones distantes unos 3 km, situadas aproximadamente bajo los puentes de las carreteras a Bailén y Baños de La Encina (Fig. 1.A). Las características físico-químicas de las aguas superficiales y subterráneas se han medido con instrumentos portátiles (WTW).

La interpretación del funcionamiento hidrogeológico del socavón requiere otros conocimientos que se han adquirido a lo largo del periodo 1998-2001 en el marco de una investigación más amplia, de la cual sólo se utilizará aquí los resultados de la cuantificación del balance hídrico del batolito para un año-tipo medio (Marín-Lechado, 2002). Para esta última labor se ha efectuado un estudio hidrometeorológico del área, con evaluación de la precipitación efectiva, y un inventario de las principales captaciones existentes, con estimación de volúmenes y uso de las aguas extraídas, así como análisis de la piezometría en el interior del batolito y sectores adyacentes.

**Resultados**

La infiltración media de la precipitación sobre el batolito ha sido estimada en unos 7-8 hm<sup>3</sup>/año, lo que representa un coeficiente del 15 %. La piezometría en el acuífero de la Fosa de Bailén, adyacente al batolito, refleja la existencia de transferencias subterráneas hacia éste, cuantificadas en 1-2 hm<sup>3</sup>/año como media. La recarga media al batolito es, pues, de 8-10 hm<sup>3</sup>/año. Los aforos diferenciales efectuados en dos campañas a lo largo del río Guadiel no sugieren la existencia de relaciones de influencia o efluencia respecto del batolito (Marín-Lechado, 2002).

Se ha estimado que, como media de los últimos años, los bombeos en el batolito están comprendidos entre 6 y 8 hm<sup>3</sup>/año. El uso mayoritario es para riego de olivar. El proceso de cuantificación se ha basado en la estimación indirecta a partir de dotaciones y de superficies de cultivo que no son conocidas con precisión. Los datos piezométricos también sugieren la existencia de salidas subterráneas hacia materiales miocenos permeables al sur del batolito, aunque de menor magnitud que las entradas de este tipo: 0,5-1 hm<sup>3</sup>/año.

En la figura 1.A se representa la traza del socavón en planta, perpendicular a al-

gunos de los filones más importantes, y un corte geológico a lo largo del mismo (Fig. 1.B). El caudal medio del socavón es de unos 60 l/s. En la figura 2 se representa la evolución de las medidas de caudal en esta captación y se compara con las medidas en las mismas fechas en el río Guadiel, en una sección situada en la parte central del batolito.

En el agua del río Guadiel se han medido valores de conductividad entre aproximadamente 400 y 1200 mS/cm (16 muestras). Se identifica la lógica relación inversa entre esta variable y el caudal circulante. En la salida de la galería el rango de valores de conductividad es muy reducido: entre 800 y 900 mS/cm, aproximadamente (21 muestras). La temperatura del agua es también poco variable: entre 20 y 24 °C. El pH es ligeramente básico: entre 6,8 y 8,3; media de 7,5.

### Discusión y conclusiones

El rango de variación de los registros de caudal de la figura 2 es muy diferente, lo cual es lógico dada la diferente naturaleza, superficial y subterránea, de cada uno. No obstante, la coincidencia de los valores máximos sugiere una respuesta rápida en el drenaje subterráneo respecto a las aportaciones pluviométricas, al igual que para el flujo superficial. En el periodo estival se registran los caudales superficiales mínimos, incluso nulos, mientras que en la galería se advierten variaciones sensibles entre medidas consecutivas, circunstancia que se aprecia igualmente en las medidas de invierno y denota una tendencia opuesta a la de la descarga fluvial. Esta circunstancia, además de eventuales errores en las medidas, podría reflejar el efecto de bombeos en pozos directamente conectados con la galería. La sensibilidad del sistema a este respecto sugiere un escaso tiempo de residencia de las aguas de recarga en el seno del complejo de huecos mineros.

La muy escasa variabilidad registrada en las características físico-químicas de las aguas de la galería refleja el elevado grado de homogeneización que, respecto de las aguas de infiltración, se produce en el seno de los huecos mineros inundados, independientemente de la magnitud de los caudales drenados. Estas aguas son más mineralizadas que otras del mismo distrito en captaciones en granito fracturado, no afectado por labores mineras. Otros índices hidroquímicos inducen a pensar que las

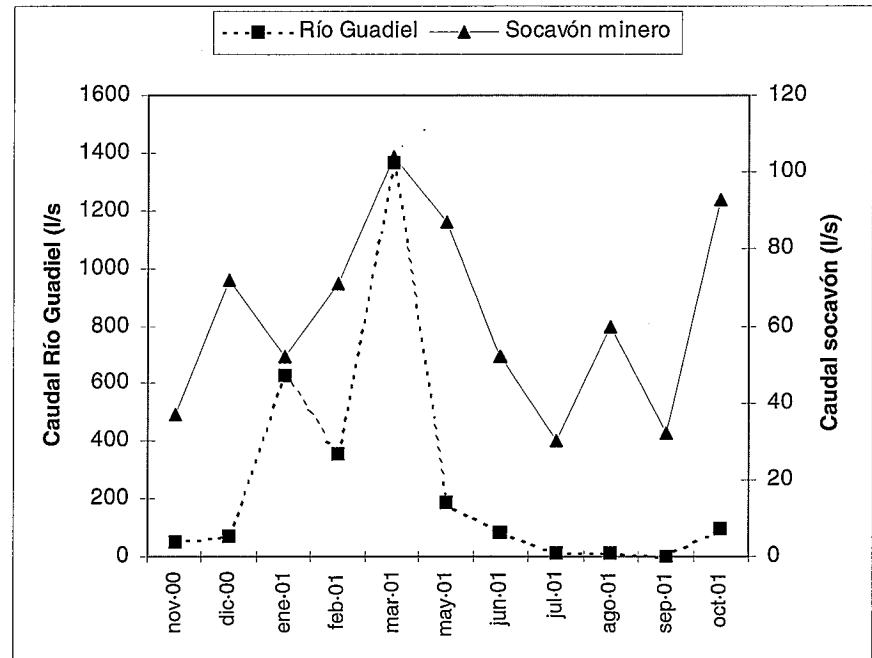


Fig. 2.- Evolución del caudal del socavón general de desagüe y del Río Guadiel durante el periodo comprendido entre Noviembre de 2000 y Octubre de 2001.

Fig. 2.- Discharge evolution of the general drainage gallery and the Guadiel River from November 2000 to October 2001.

características de las aguas del socavón responden a procesos de oxidación de sulfuros con efectos asociados de disolución de carbonatos en el sistema de huecos mineros inundados (Hidalgo *et al.*, 1999; Hidalgo y Benavente, 2001).

Las medidas de caudal, habida cuenta de que la pluviosidad del periodo controlado ha sido algo superior a la media, permiten acotar la descarga promedio por la galería en 1-2 hm<sup>3</sup>/año. El total de salidas del batolito es, pues, como media, de un rango similar al conjunto de las entradas (unos 8-10 hm<sup>3</sup>/año), de manera que el balance se encuentra equilibrado en las condiciones actuales, sin afección a reservas, es decir, al almacenamiento en los huecos mineros inundados bajo la cota del socavón.

La descarga actual de la galería es un orden de magnitud inferior a la establecida en el proyecto de la obra. Carecemos de datos sobre la veracidad de dicha estimación a partir de medidas de caudal en fechas más cercanas a la clausura de las minas. Parece lógico suponer que entonces debía ser superior, en mayor o menor medida, y que la instalación de bombeos en los antiguos pozos de mina supone una merma progresiva en los caudales drenados, de acuerdo con las cifras del balance hídrico. Si los bombeos continúan aumentando, habría que esperar la desaparición del

flujo por la boca de la galería. Esta circunstancia debería controlarse. De hecho, es más fácil el control de la descarga del socavón que la cuantificación directa de los bombeos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a D. Tomás Peinado Parra y a D. Miguel Ángel Sanz Rodríguez la ayuda prestada en el trabajo de campo. Este estudio ha sido financiado por el proyecto HID98-0983 de la C.I.C.Y.T.

### Referencias

- Azcárate, J.E. (1977). *Hoja 905 (Linares), escala 1:50.000. Serie M.A.G.N.A. Ed. I.G.M.E.*, 35 p.
- Gutierrez-Guzmán, F. (1999). *Las minas de Linares. Apuntes históricos*. Ed. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Minas, Linares.
- Hidalgo, M.C. y Benavente, J. (2001). *XXXI International Association of Hydrogeologists Congress*, Munich. Vol. 2, 1199-1202.
- Hidalgo, M.C., Benavente, J. y Rey, J. (1999). *Mine, Water & Environment for the 21<sup>st</sup> Century*. Proc. International Mine Water Association Cong., Sevilla.
- Marín-Lechado, C. (2002). *Tesis de Licenciatura*. Univ. de Granada. 118 p.