

# EL PAPEL DE LOS ADITIVOS DE FLOTACIÓN EN EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINERÍA POTÁSICA EN LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO LLOBREGAT (NE ESPAÑA)

A. SOLER <sup>(1)</sup>, M. ROVIRA <sup>(2)</sup>, J. PALAU <sup>(1)</sup> Y N. OTERO <sup>(3)</sup>

(1) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona.

(2) Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals. Universitat Politècnica de Catalunya. Avgda. Bases de Manresa, 61-73. 08240-Manresa (Barcelona).

(3) Unitat de Hidrogeologia. Institut Ciències de la Terra – Jaume Almera. CSIC.

## RESUMEN

En este trabajo se caracteriza el impacto ambiental de la minería de la Cuenca Potásica Catalana producido por los compuestos orgánicos utilizados en el proceso de flotación mineral. Se han determinado los compuestos orgánicos presentes en los residuos mineros, así como los disueltos en el agua de los lixiviados mineros, los cuales se han relacionado con los aditivos de flotación denominados «philphlo», «aceite de pino» y «aceite de antraceno». El análisis de compuestos orgánicos disueltos en aguas subterráneas y superficiales salinizadas ha permitido poner de manifiesto la presen-

cia de estos compuestos, permitiendo relacionar la salinización de las aguas con la actividad minera.

## INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental de las actividades mineras a las aguas superficiales y subterráneas, a menudo es motivo de controversia, debido a la dificultad de diferenciar entre los aportes de solutos procedentes de la extracción y tratamiento mineral (balsas de lodos, escombreras, etc.), y los procedentes de la interacción natural agua/roca. En este sentido, en aquellas actividades mineras que usan métodos de concentración por

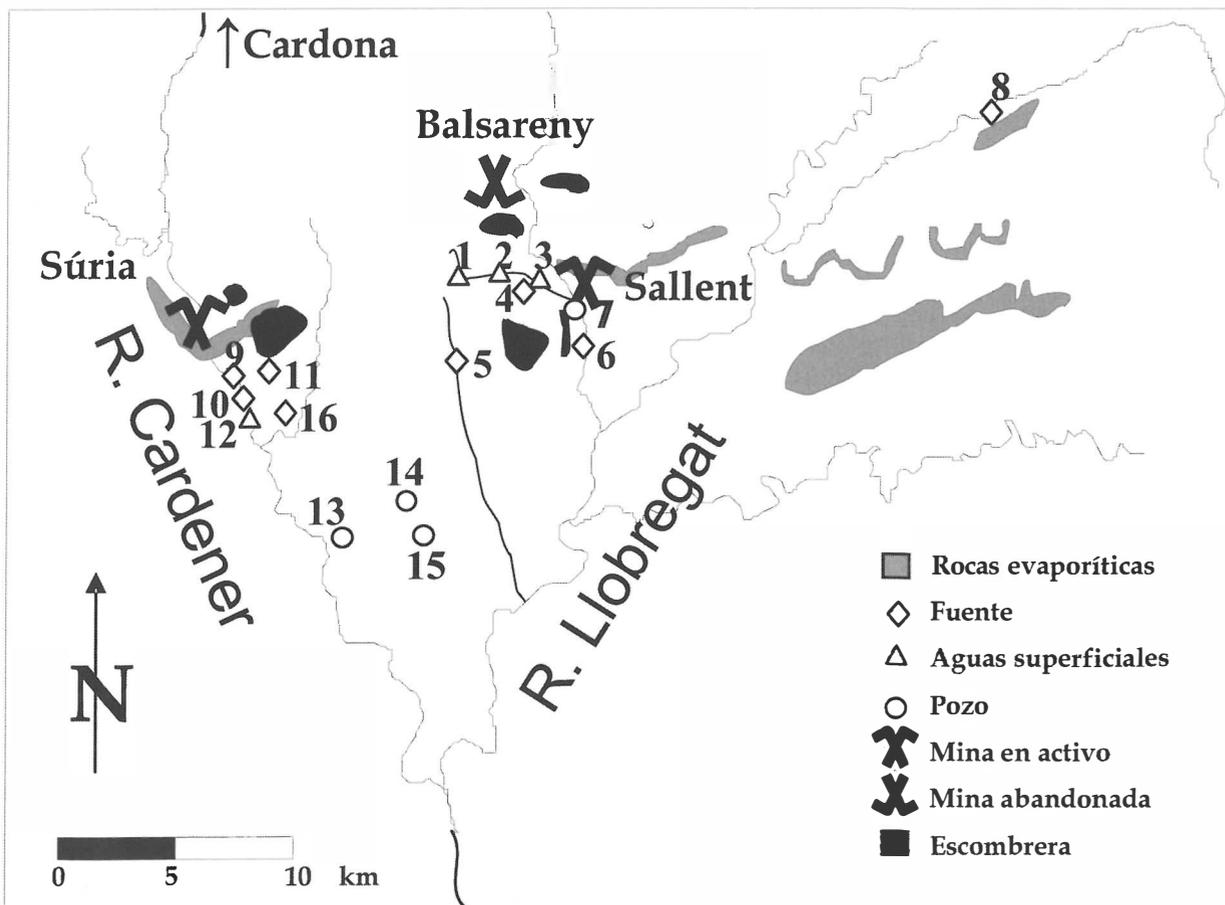


Figura 1: Esquema de la zona de estudio donde se muestran las principales escombreras, afloramientos de rocas evaporíticas (sulfatos y haluros) y la situación de las muestras de agua estudiadas. La mina de Cardona se encuentra al norte fuera de la figura.

Escombrera Súrria	MUESTRAS							
	9	10	11	12	13	14	15	16
acenaftaleno	*							
acenafteno	*	*			*		*	
alfa pineno		*						
alfa terpineol		*						
antraceno					*	*		*
benzotiofeno	*		*					
borneol		*						
butil hidroxitolueno		*		*				
canfor		*						
carbazol					*			
decano		*		*				
endo-borneol				*				
eucaliptol		*						
etilhexanol		*		*				
fenantreno	*				*	*	*	*
fluoranteno	*							
fluoreno	*				*	*	*	*
linalool		*		*				
mentol				*				
metilbenzofurano					*			
metilnaftaleno					*		*	
naftaleno	*	*	*	*	*	*	*	*
pireno	*						*	*
tetradecano		*		*				
trimetilbenceno		*		*				
undecano		*		*				
xileno		*		*				

Tabla I: Coincidencia entre algunos de los componentes orgánicos de los aditivos de flotación presentes en la escombrera y lixiviados de Súrria y los encontrados en las muestras de agua estudiadas.

flotación mineral, los aditivos utilizados para este fin, tales como colectores, espumantes, etc. pueden ser usados como trazadores de pérdidas de lixiviados del proceso de flotación, de las balsas de decantación de lodos estériles, o bien de la interacción del agua de lluvia sobre las escombreras de estériles de flotación. A menudo los compuestos utilizados en el proceso de tratamiento mineral, son compuestos orgánicos (hidrocarburos aromáticos, cianuros, alcoholes terpénicos, etc.), algunos de los cuales debido a su toxicidad pueden representar por sí mismos una grave afección sobre el medio natural.

La zona estudiada se sitúa en la sección media de la Cuenca del Llobregat (NE España), donde existen diversas explotaciones mineras de potasas en Súrria, Sallent, Cardona y Balsareny, así como diversos afloramientos evaporíticos naturales (Fig. 1). Las minas de potasa de Sallent y Súrria están actualmente activas, mientras que las de Balsareny y Cardona se encuentran abandonadas. El desarrollo de la actividad minera produce grandes escombreras, que se almacenan alrededor de las zonas mineras sin ningún tipo de impermeabilización. El origen de la salinización de algunos acuíferos en la zona es motivo de controversia ya que éste puede atribuirse tanto a la interacción natural del agua con las formaciones salinas, como a la contaminación de lixiviados de las escombreras. En aquellos lugares en que el acuífero es donante al río, tiene

lugar la salinización de las aguas superficiales, las cuales drenan al río Llobregat, que es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Barcelona y su área metropolitana. La explotación de las minas de potasa de la comarca del Bagès (Barcelona) desde principios del siglo XX, ha incidido notablemente en la calidad del agua de los ríos Cardener y Llobregat (Soler et al., 2002; Godé, 2003; Rovira et al., 2006). Desde la formación de las escombreras, la salinidad del agua de los ríos Cardener y Llobregat, así como también las fuentes y pozos de las cercanías de las zonas mineras, ha aumentado. Por este motivo se proyectó un Colector de Salmueras que entró en funcionamiento a principios del año 1990. Aunque el colector ha supuesto una gran mejora, la problemática de la salinidad en la cuenca del río Llobregat no ha quedado totalmente solucionada, ya que se encuentran tramos de la cuenca en que las concentraciones en cloruros están muy por encima de los valores permitidos (Godé, 2003; Rovira et al., 2006). Este hecho pone de manifiesto que aún quedan muchos aportes de aguas salinas, que no son captadas por el colector, que vierten directamente a torrentes de la zona, los cuales finalmente tributan al río Llobregat. Otero y Soler (2002), Otero (2004) y Otero et al. (2006), realizan un exhaustivo estudio del sulfato disuelto en la cuenca del río Llobregat a lo largo de dos años hídricos, poniendo de manifiesto que el sulfato disuelto en las aguas de esta cuenca procede principalmente de la interacción natural con las evaporitas aflorantes, de los aportes antrópicos de las escombreras mineras y de los fertilizantes agroquímicos, con una clara influencia estacional de estos últimos

**METODOLOGÍA.**

Se ha estudiado la mineralogía y el quimismo de diversas muestras procedentes de las escombreras, así como de lixiviados de estas. También se han muestreado las aguas de diversos pozos, fuentes y torrentes con aguas salinas. Algunas, cuya salinidad se atribuye a un origen natural (muestra 8), otras que corresponden a lixiviados mineros directos (Sallent, Súrria, Balsareny y Cardona, no diferenciadas en este estudio) y un tercer grupo, cuya salinidad es de origen dudoso (muestras de 1 a 7 y de 9 a 15), y que en este trabajo se pretende su determinación (Fig. 1). Las muestras del residuo sólido de las escombreras se han estudiado mediante microscopía óptica y difracción de polvo de rayos X. Las muestras de aguas se han filtrado a 0.45 µm y se han determinado aniones por cromatografía y cationes junto a elementos traza mediante ICP-OES y ICP-MS. Los compuestos orgánicos disueltos se han determinado por Cromatografía de Gases acoplado a un espectrómetro de masas.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Mineralógicamente las escombreras se caracterizan por presentar contenidos superiores al 90% de halita, con contenidos menores en minerales del grupo de las arcillas, anhidrita y polihalita, entre otros. La marcada solubilidad de los minerales que conforman las escombreras da lugar a una clara relación entre el quimismo de los lixiviados mineros y la mineralogía de éstas. En las minas activas, los estériles de flotación se

	MUESTRAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Escombreras Sallent								
derivados. Pineno	*		*	*	*	*	*	
derivados terpineno	*		*		*			
derivados terpineol	*		*	*	*	*	*	
canfeno	*	*	*	*	*			
eucaliptol	*			*	*	*		
fenchol	*	*		*		*		
gamma terpineno		*		*				
limoneno	*	*		*	*		*	
derivados canfeno					*			
derivados mentol					*			
tolueno							*	
derivados borneol				*		*	*	
derivados benceno						*		
derivados xileno						*		
para-cimeno	*	*	*	*	*		*	
derivados fenchona						*		
derivados de canfor					*	*		
derivados linalool	*			*	*		*	
fencheno					*			
terpinoleno	*	*	*					
derivados cineol	*	*						

Tabla II: Coincidencia entre algunos de los componentes orgánicos de los aditivos de flotación presentes en la escombrera y lixiviados de Sallent y los encontrados en las muestras de agua estudiadas.

vierten a la escombrera con un 8% de humedad correspondiente a una solución saturada en halita, silvita y yeso, por ello en estas escombreras la composición de los lixiviados presenta relaciones K/Na mayores que los lixiviados de las escombreras abandonadas, las cuales presentan contenidos menores en K debido al lavado progresivo de los minerales más minoritarios (silvita). Otra característica de estos lixiviados mineros, y especialmente de los de la zona de Sallent, son los contenidos en metales, pudiendo llegar a presentar concentraciones de hasta 12 mg/L de Mn, 9 mg/L de Zn, 5 mg/L de Pb y 3 mg/L de Cu (Otero y Soler, 2002). La presencia de estos metales se ha relacionado con los residuos metálicos (cableado, vagonetas, vigas, vías, etc.,) vertidos junto a los estériles de flotación.

En cuanto a compuestos orgánicos, tanto las muestras sólidas como los lixiviados de las escombreras se caracterizan por presentar, entre otros compuestos, alcoholes terpénicos. Los residuos del sector de Súría se caracterizan por presentar, a diferencia de los residuos del sector de Sallent, hidrocarburos saturados, e hidrocarburos aromáticos además de terpenos (Tabla I y II). Los compuestos detectados, son ampliamente conocidos como componentes de los aditivos de flotación denominados «Aceite de Pino», «Aceite de Antraceno» y «Philphlo» (Tagart, 1966).

En las tablas I y II se presentan algunos de los compuestos orgánicos procedentes de los aditivos de flotación presentes en los lixiviados de las escombreras, comparados con los compuestos orgánicos encontrados en las muestras de las aguas salinas estudiadas, poniendo

de manifiesto un origen antropogénico de la salinización de estas aguas, y el impacto ambiental de los aditivos de flotación sobre la hidrología del sector. Entre ellos destacan algunos compuestos (naftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno) incluidos en la lista de contaminantes prioritarios de la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos. También se puede observar (Tabla II) que la muestra 8, correspondiente a una fuente salada natural ubicada en una zona alejada de la minería, no presenta ninguno de los compuestos orgánicos.

Es de destacar que la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la escombrera de Súría (naftaleno, fenantreno, antraceno, metilnaftaleno, bromofluoreno, pireno, etc), y su ausencia en la escombrera de Sallent parece ser un indicador para diferenciar la procedencia de la contaminación. En este sentido los pozos salinizados en el sector intermedio entre ambas escombreras (muestras 13, 14 y 15) corresponderían principalmente a la afección de la escombrera de Súría.

Los compuestos orgánicos presentes en los aditivos de flotación parecen ser unos buenos indicadores de la contaminación por actividades mineras. No obstante, hay que considerar que se trata de compuestos que se encuentran en las aguas en bajas concentraciones (ppb), y que por tanto, los procesos de dilución que tienen lugar al incorporarse los pequeños cauces a los tributarios principales de la cuenca, conllevan que la concentración de estos compuestos se encuentre por debajo de límite de detección de las técnicas analíticas. Por ello se recomienda su uso sólo en muestras correspondientes a fuentes y pequeños arroyos.

### CONCLUSIONES.

Se ha puesto de manifiesto la presencia de los aditivos de flotación y de sus derivados de degradación en las aguas de escorrentía y subterráneas del sector estudiado. Los compuestos orgánicos presentes en los residuos del sector de Súría son distintos a los del sector de Sallent, permitiendo determinar que el origen de la salinización de las aguas subterráneas de algunos pozos situados entre los dos sectores mineros está relacionada con los lixiviados de la escombrera de Súría. Es necesario un estudio exhaustivo sobre la toxicidad de estos compuestos para determinar su afección al medio natural.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CICYT 08019-C04-01 del Gobierno Español, y parcialmente por el proyecto SGR2005-00933 de la Generalitat de Catalunya. Queremos agradecer la colaboración de la Agència Catalana de l'Aigua y de los Serveis Científics Tècnics (Universidad de Barcelona).

### REFERENCIAS

Godé, Ll. (2003).- Tecnología del Agua., 241, 48-60  
 Otero, N. y Soler, A. (2002). Water Research, 36: 3989-4000.  
 Otero, N. (2004).- Dades isotòpiques ( $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) i anàlisi estadística aplicades a l'estudi de la contaminació a les aigües superficials: el cas del riu

Llobregat. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona.  
Otero, N.; Soler, A. and Canals, A. (2006).- Controls of  $\delta^{34}\text{S}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in dissolved sulphate: learning from a detailed survey in the Llobregat River (Spain). Applied Geochemistry, submitted.  
Rovira, M.; Casas, J.M.; Soler, A.; Ginebreda, A. (2006).

Afinidad, en prensa.  
Soler, A.; Canals, A.; Goldstein, S.L.; Otero, N.; Antich, N. y Spangenberg, J. (2002). Water, Air & Soil Pollution, 236: 207-224.  
Taggart, A.F. (1966). Elementos de preparación de minerales. Ed. Interciencia. Madrid, 648 pp.