

Estudio hidrogeológico de la cuenca potásica catalana en el entorno de Sallent y la antigua Mina Enrique. Provincia de Barcelona (España)

F. Ribera⁽¹⁾, H. Dorca⁽¹⁾, P. Martínez⁽²⁾, J. Piña⁽²⁾, N. Otero⁽³⁾, J. Palau⁽³⁾ y A. Soler⁽³⁾

(1) Fundación Privada Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). Provença 102, 6ª planta. 08029 Barcelona, España.
gerencia@fcihs.org

(2) Institut Geològic de Catalunya (IGC). Balmes 209-211. 08006 Barcelona, España.
pmartinez@igc.cat; jpina@igc.cat

(3) Grup de Mineralogia Aplicada i Medi Ambient. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. Martí i Franqués, s/n. 08028 Barcelona, España.
albertsolergil@ub.edu

RESUMEN

La Cuenca Potásica Catalana está constituida por una potente serie sedimentaria del Terciario, de tipo regresivo, que incluye de base a techo depósitos marinos, niveles evaporíticos de transición y potentes formaciones continentales, sobre los que posteriormente se han depositado sedimentos no consolidados, básicamente aluviales de edad cuaternaria. El desarrollo minero ha generado también un importante volumen de escombreras de sal, las cuales presentan contenidos trazas de los compuestos orgánicos sintéticos usados en el proceso de flotación mineral. Las escombreras se encuentran depositadas sin ningún tipo de impermeabilización sobre la zona no saturada, provocando la modificación del flujo y la calidad original del agua de los distintos acuíferos. La minería subterránea además ha producido problemas locales de subsidencia. Todo ello da lugar a una compleja gestión del territorio, que afecta al medio natural y socioeconómico, y que requiere de un mayor grado de conocimiento hidrogeológico. Por ello se está realizando un conjunto de estudios geológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, isotópicos, geofísicos y geotécnicos cuyos primeros resultados se exponen en el presente artículo. La integración de todos ellos se utilizará finalmente para definir el modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero, así como para profundizar en las relaciones entre subsidencia e hidrogeología de la zona.

Palabras clave: acuífero, contaminación, mina, sal, subsidencia

Hidrogeological study in the catalonian potassic tertiary basin. Sallent-Barcelona, Spain

ABSTRACT

The Catalanian Potassic Basin is described as a tick regressive-sedimentary Tertiary basin that includes marine, evaporitic-transitional and continental facies, overlying by no-consolidated quaternary alluvial sediments. The intense underground mining activity used in the exploitation of salts with rich K contents in the CPC during the last century, has provoked some problems related to surface and ground-water contamination and the existence of subsidence areas. The objective of the hidrogeological studies in the CPC area are focused in the characterization of the Tertiary aquifer and the definition of their conceptual model of behaviour. The last challenge of the project is to determine the relationship between subsidence and hidrogeology in these salt bodies.

Key words: aquifer, contamination, mine, salt, subsidence

Introducción

La Cuenca Potásica Catalana se ubica a unos 70 kilómetros al norte de la ciudad de Barcelona, en el centro de Cataluña, siendo intersectada por los tramos medios de los ríos Llobregat y Cardener (Figura 1). Desde principios del siglo XX y hasta la actualidad una de sus principales actividades ha sido la minería, beneficiando los niveles estratiformes de sales potásicas (silvita y carnalita) que se intercalan dentro de

una potente serie evaporítica precipitada durante el Terciario (Eoceno), junto con potentes paquetes de halita y yeso-anhidrita.

La minería desarrollada para la extracción de las sales potásicas ha sido siempre de interior. Los métodos de explotación han sido mediante grandes cámaras separadas por pilares del propio macizo rocoso, de hasta 90 m de altura en la antigua mina de Cardona (IGME, 1983), divididas en niveles de unos 20 m cada uno hasta alcanzar más de 800 m de pro-

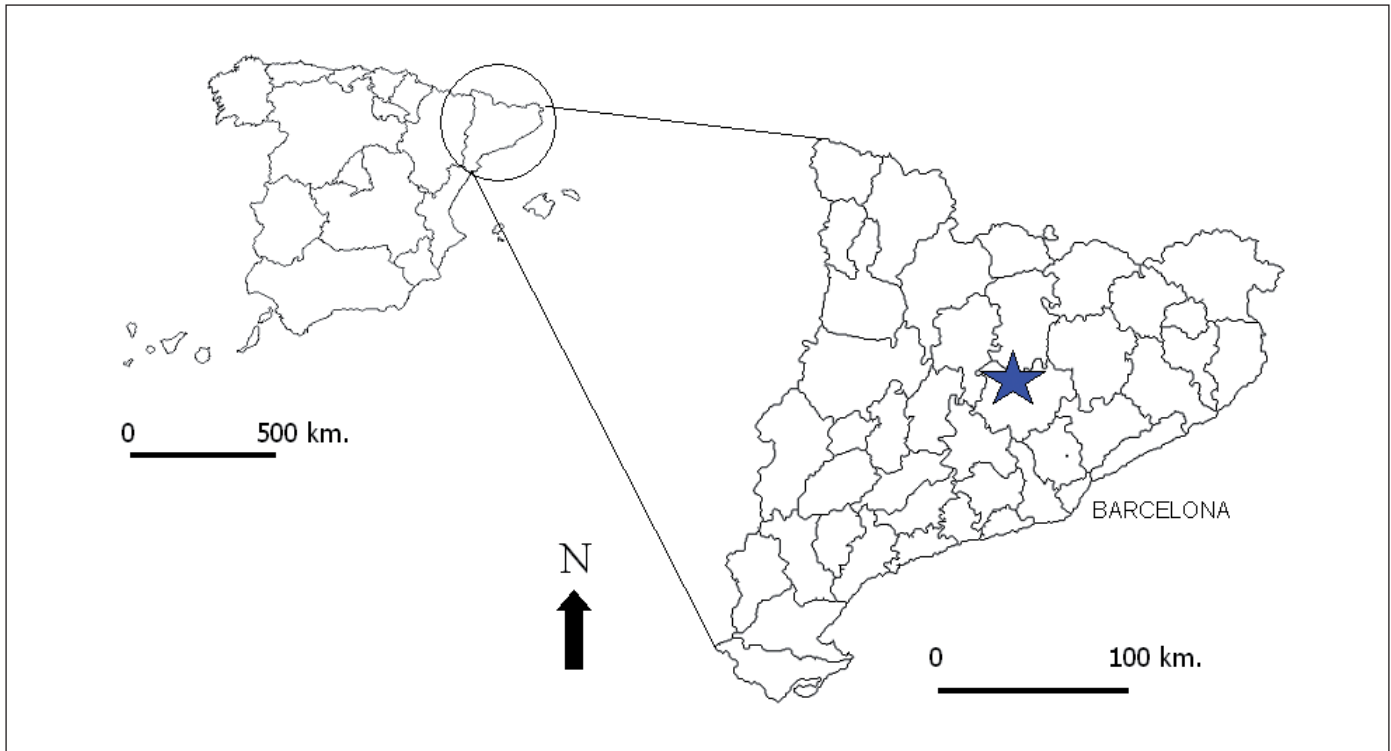


Figura 1. Marco geográfico de la zona de estudio
Figure 1. Geographical situation of the studied area

fundidad. En la zona de Sallent-Balsareny el yacimiento se compone de dos estratos de sales potásicas separados por un nivel de halita, lo que condicionó la explotación antigua y también la actual.

La primera mina en Sallent, o Mina Enrique, se construyó para explotar el nivel superior de sales potásicas, a unas profundidades entre 260 y 300 m. Informaciones de antiguos mineros indican que al menos una parte de las cámaras fue posteriormente rellenada con estériles de cola de flotación, antes del cese definitivo de su actividad en los años 1970. La mina actual de Sallent se encuentra al norte de Mina Enrique, separada de ésta, a mayor profundidad alcanzando los 500 metros bajo la superficie del terreno. La explotación del mineral tiene lugar a partir de 2 galerías paralelas, con tajos de extracción de 300 metros de largo y 80 de ancho.

Además de problemas de contaminación de ríos y acuíferos derivados sobre todo de los lixiviados de las escombreras (FCIHS, 1998; Otero y Soler, 2002; Rovira *et al.*, 2006; 2008 y Otero *et al.*, 2008), en amplias zonas de la Cuenca Potásica Catalana se han detectado significativos problemas de subsidencia (Biescas *et al.*, 2005). Uno de los más graves es el que tiene lugar al sur del núcleo urbano de Sallent, que diversos estudios geotécnicos relacionan con la anti-

gua Mina Enrique y la presencia de una gran cámara o cavidad ubicada en el límite sur de las labores mineras. En la zona de Mina Enrique, a diferencia de lo que habitualmente ocurre en otras explotaciones de sales (Bérest *et al.*, 2005) se ha producido a lo largo del tiempo una aceleración del proceso de hundimiento del terreno, generando asientos diferenciales significativos, que han obligado a actuar a las diversas administraciones públicas implicadas, tomando medidas preventivas y paliativas.

Los diversos sondeos geotécnicos realizados en la zona han detectado la existencia de agua freática. Se ha documentado la existencia de eventos de entrada de agua subterránea en las instalaciones mineras subterráneas (Manzano y Custodio, 1993; ICC, 2003) que han podido alcanzar la zona de sales.

Marco geológico e hidrogeológico

El contexto geológico de la zona de estudio se caracteriza por la existencia de un potente paquete sedimentario Terciario que hasta el nivel de sales oscila entre los 140 y 300 m de potencia, compuesto básicamente por arcillitas grises y rojas con nódulos de yeso, margas y areniscas alternando con estratos,

normalmente de orden métrico, de calizas grises con fauna de bivalvos y gasterópodos y brechas-conglomerados finos. En los sondeos realizados en Sallent, es posible discriminar dos subunidades. La primera, hasta los 150 m de profundidad, donde el componente detrítico fino (lutitas, limos y areniscas de grano fino) es muy predominante, detectándose únicamente de 4 a 5 niveles calizos, y un segundo tramo, donde la proporción y potencia de las calizas y brechas aumenta hasta alcanzar el techo de la formación salina.

Estructuralmente la formación se dispone en una serie monoclinall ligeramente buzante hacia el NW, formando parte de los flancos del Anticlinal de Sallent-Sinclinal de Callús. En el límite sur de la zona de estudio, espacialmente cercana a la gran cavidad detectada en Mina Enrique, la serie anterior se encuentra afectada por una zona de falla inversa regional (Falla del Guix), con una dirección similar al eje de los pliegues (SWW-NEE) y buzamiento inferido hacia el N-NW (Figura 2).

La piezometría regional de la parte más superficial del acuífero terciario y aluvial, realizada por Díaz y Jodar (1996) y posteriormente actualizada por FCIHS (1998), constituyó una de las primeras aportaciones conocidas del comportamiento regional del flujo subterráneo en estas unidades. En ella se pone de manifiesto un flujo regional N-NW a S-SE de las unidades del Terciario con gradientes elevados, fruto de una baja conductividad hidráulica general, cuyos ejes de drenaje parecen ser los depósitos aluviales y, en determinadas ocasiones los ríos conectados con los mismos. En dichos estudios ya se detectó la existencia de surgencias salinas y la exis-

tencia de flujo de agua subterráneo a partir de la Falla del Guix y/o de los niveles de calizas parcialmente tectonizados.

Descripción de los estudios realizados

El estudio actual se basa en la recopilación de toda la información previa disponible y en la ejecución de 5 sondeos de investigación hidrogeológica de los niveles de Terciario sobre la formación salina, con profundidades entre 100 y 175 m. Los 5 nuevos pozos de investigación hidrogeológica, que serán posteriormente empleados y monitorizados como piezómetros estables se disponen a lo largo de un corte N-S, que engloba en su trazado la Mina Enrique. De esta forma, se tienen diversos registros del flujo y la calidad del agua en: aguas arriba de la mina fuera de la zona de subsidencia (sondeos S-4 corto y largo), flujo abajo del inicio de la zona de hundimiento (sondeo S-3), en la propia zona de Falla del Guix y cercano a la zona de mayor subsidencia (sondeo S-2) y en el flanco sur de la Falla, fuera de la zona subsidente (Sondeo S-1).

En la zona de máxima subsidencia se dispone además de piezómetros de cuerda vibrante. En los sondeos, se han programado una serie de ensayos hidráulicos, testificaciones y series de perfiles de conductividad-temperatura, muestras para el análisis hidroquímico de compuestos mayoritarios y compuestos trazas (compuestos orgánicos de flotación) y análisis de isótopos estables: D, O y T del agua, y S y O del sulfato disuelto.

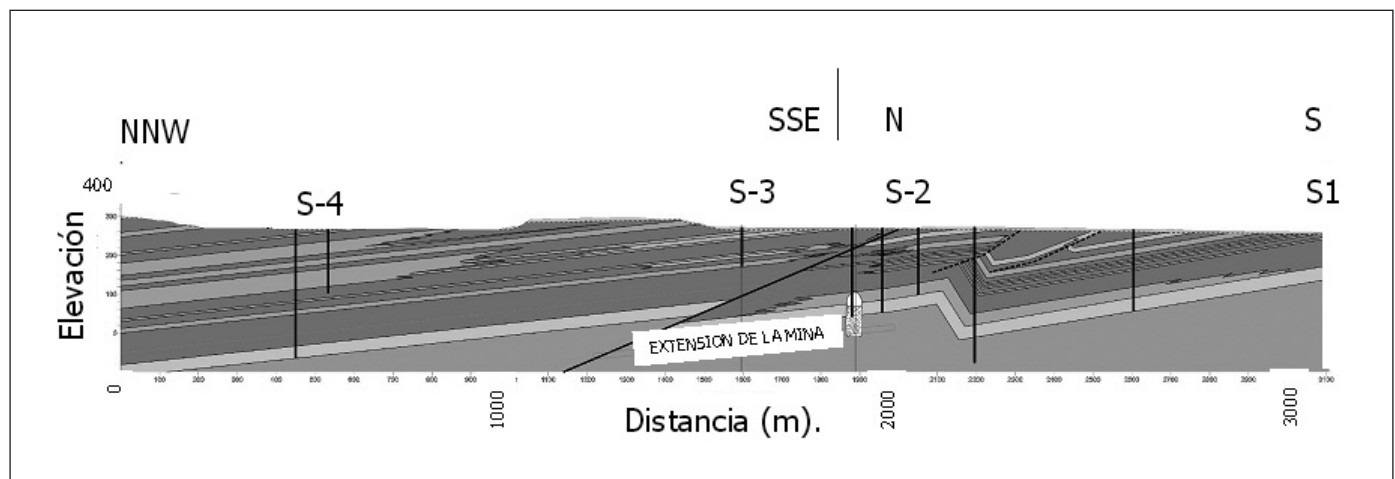


Figura 2. Corte geológico-estructural N-S del sector de Sallent, a partir de sondeos preexistentes y de la información aportada por los nuevos sondeos hidrogeológicos (IGC, 2009)

Figura 2. N-S Geological section across the Sallent Area (IGC, 2009)

Piezometría y evolución piezométrica

Los niveles estáticos del agua subterránea medidos en los pozos de investigación hasta la fecha indican cotas cercanas, y normalmente algo más altas, a la cota de aguas altas del río Llobregat (Tabla 1). Por otro lado, el perfil hidrogeológico N-S registrado por

la línea de sondeos indica una zona de menor gradiente hidráulico en el sector de la Mina Enrique y en la Falla del Guix, donde es posible apuntar un cierto domo. Flujo arriba y abajo de esta zona, los gradientes aumentan considerablemente, denotando probablemente una menor conductividad hidráulica (Figura 3).

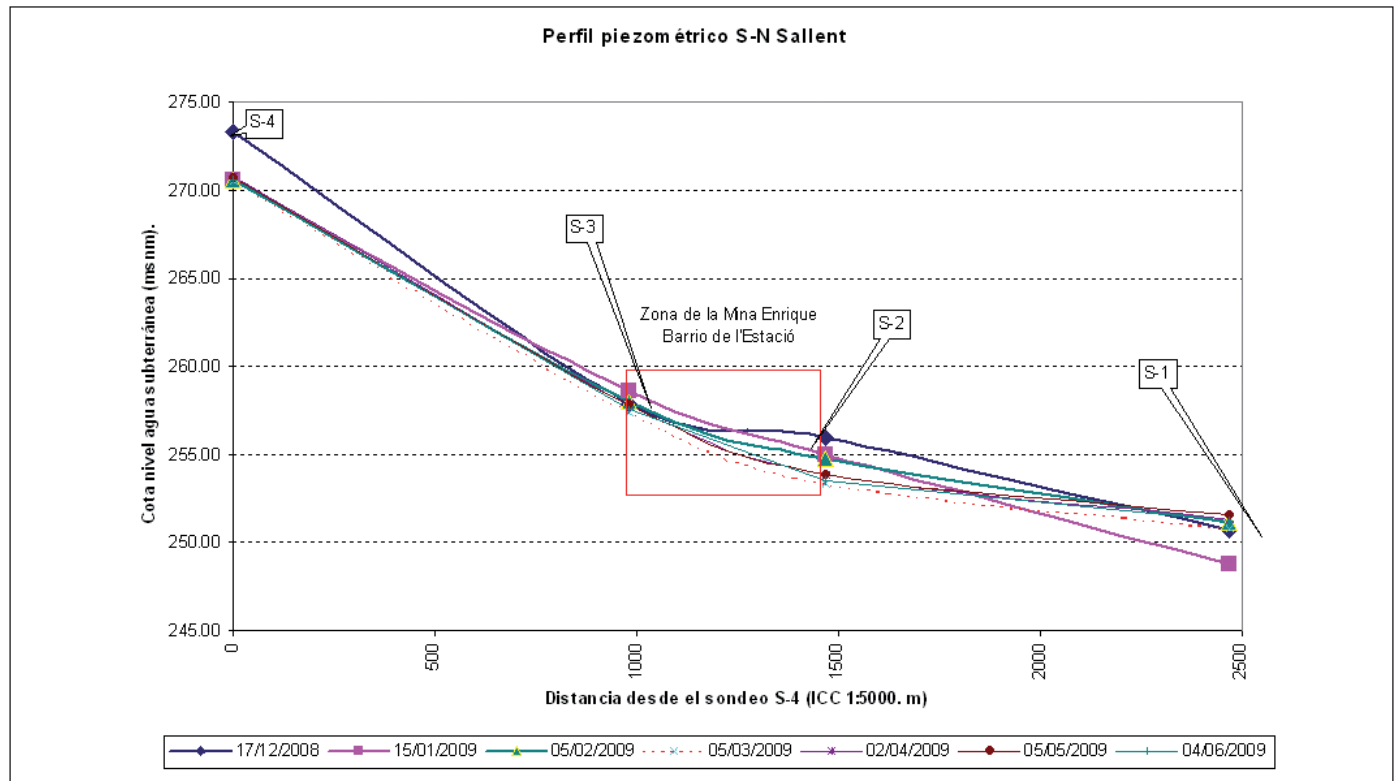


Figura 3. Evolución del perfil piezométrico N-S a lo largo de los sondeos de investigación del acuífero terciario profundo en Sallent
 Figure 3. Evolution of N-S piezometric section along the investigation wells in the Tertiary Deep Aquifer in Sallent

	Cota río Llobregat *. msnm	diferencia cota acuífero-cota río (m)	diferencia cota acuífero-cota río (m)	diferencia cota acuífero-cota río (m)
	ICC 1:5000	17/12/2008	15/01/2009	05/02/2009
S-1 Sallent	250.7	-0.04	-1.93	0.45
S-2 Sallent	254.4	1.59	0.57	0.32
S-3 Sallent	258.4	-0.53	0.16	-0.45
S-4_Largo	268.1	5.19	2.49	2.54
S-4_corto	268.1	5.08	2.65	3.00

Tabla 1. Diferencias de nivel observadas entre la cota del nivel piezométrico del acuífero terciario y la cota del río Llobregat en Sallent (diciembre 2008-abril 2009)
 Table 1. Water level differences between the Tertiary aquifer and the Llobregat river (December 2008-April 2009)

En detalle, la evolución piezométrica en el tiempo de cada uno de los puntos de control es más compleja (Figura 4) implicando tanto causas hidrogeológicas naturales (variación de la recarga) y probablemente antrópicas, sin descartar que también puedan estar representados en el registro obtenido efectos derivados de la subsidencia del terreno.

Este último aspecto está siendo actualmente analizado, a partir de la comparación de los registros piezométricos y los de deformación. Sin embargo, las cotas de emplazamiento de los extensómetros y piezómetros de cuerda vibrante son diferentes a las cotas de rejilla de los pozos de investigación, lo que dificulta la correlación entre ambos tipos de datos.

Hidroquímica

El quimismo de las aguas subterráneas del acuífero aluvial y del terciario más superficial no afectadas por la actividad minera es normalmente dulce y bicarbonatado-sulfatado-cálcico-magnésico. Por otro lado el quimismo del acuífero terciario profundo es claramente clorurado-sódico y de muy alta salinidad (Figura 5).

El lixiviado y percolación de lixiviados de las escombreras en los acuíferos terciario superficial y aluvial genera la presencia local de aguas altamente salinas con contenidos en potasio variables, según la antigüedad del residuo minero (Otero y Soler, 2002).

Las composiciones generales obtenidas en estos casos son, sin embargo, muy similares a las que muestra el acuífero terciario profundo.

En general se ha observado un incremento de la salinidad y la concentración de Na^+ , Cl^- , K^+ y Mg^{2+} con la profundidad, asociado a una disminución de NO_3^- . El gradiente geotérmico es superior en el sondeo S-2 (zona de falla) duplicando o incluso triplicando el gradiente de temperatura medido en el resto de sondeos de investigación.

La relación $r\text{Ca}/\text{Mg}$ se ha revelado útil para diferenciar preliminarmente las aguas de los aluviales principales (>2.3) y de los ríos (> 2.5) del acuífero terciario (<2). En profundidad, la relación $r\text{Ca}/r\text{Mg}$ disminuye en proporción inversa al aumento de cloruro lo que sugiere: una mayor proporción de dolomías frente a calizas en los tramos profundos de la serie, o bien una mayor concentración en Mg, debido principalmente a la disolución de la carnalita y, en mucho menor grado, a la presencia de magnesita (detectada por difracción de rayos X).

Por último, hay que destacar que la ausencia de los compuestos orgánicos (VOC's y SVOC's) empleados en la flotación de las potasas en las muestras de agua de los nuevos sondeos sería indicativa, en estos puntos y profundidades de investigación (100-170 m), bien de que las aguas subterráneas no tienen una influencia minera directa y su salinidad procede de fuentes naturales, bien que los procesos de dilución condicionan concentraciones por debajo de límite de

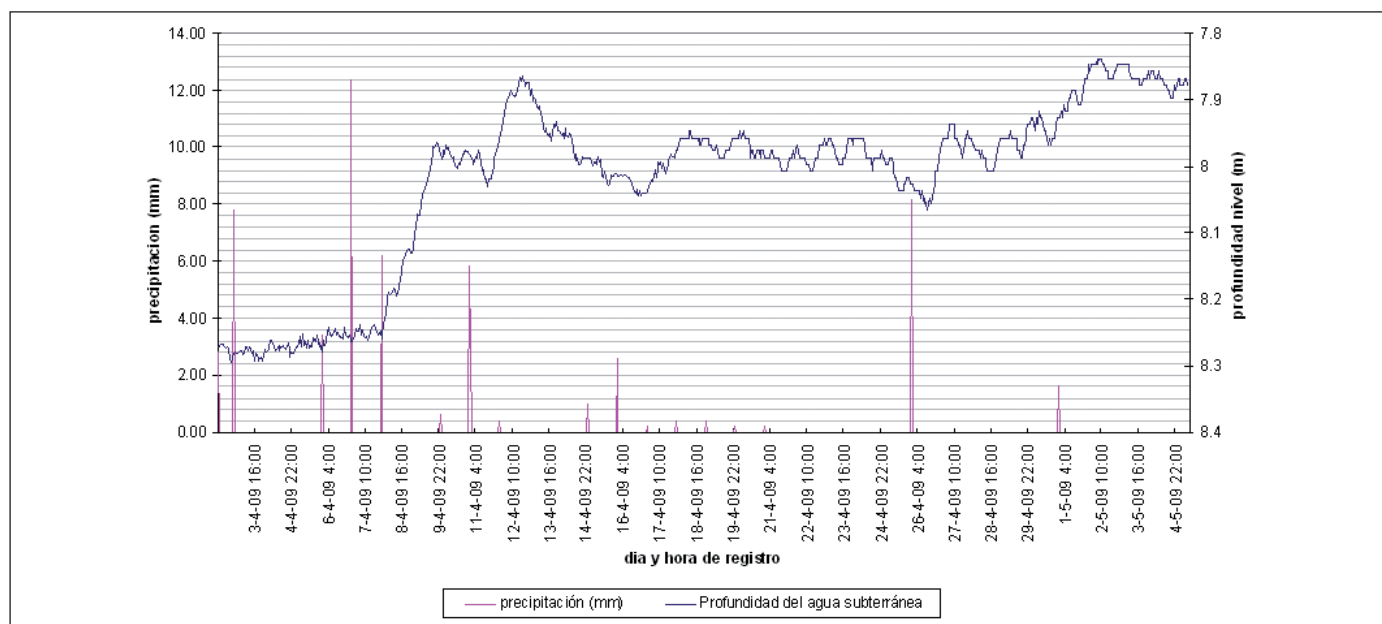


Figura 4. Evolución piezométrica horaria del sondeo S-2 en el área de Sallent (abril de 2009)
 Figure 4. Temporal continuous piezometric evolution of S-2 well in Sallent area (April 2009)

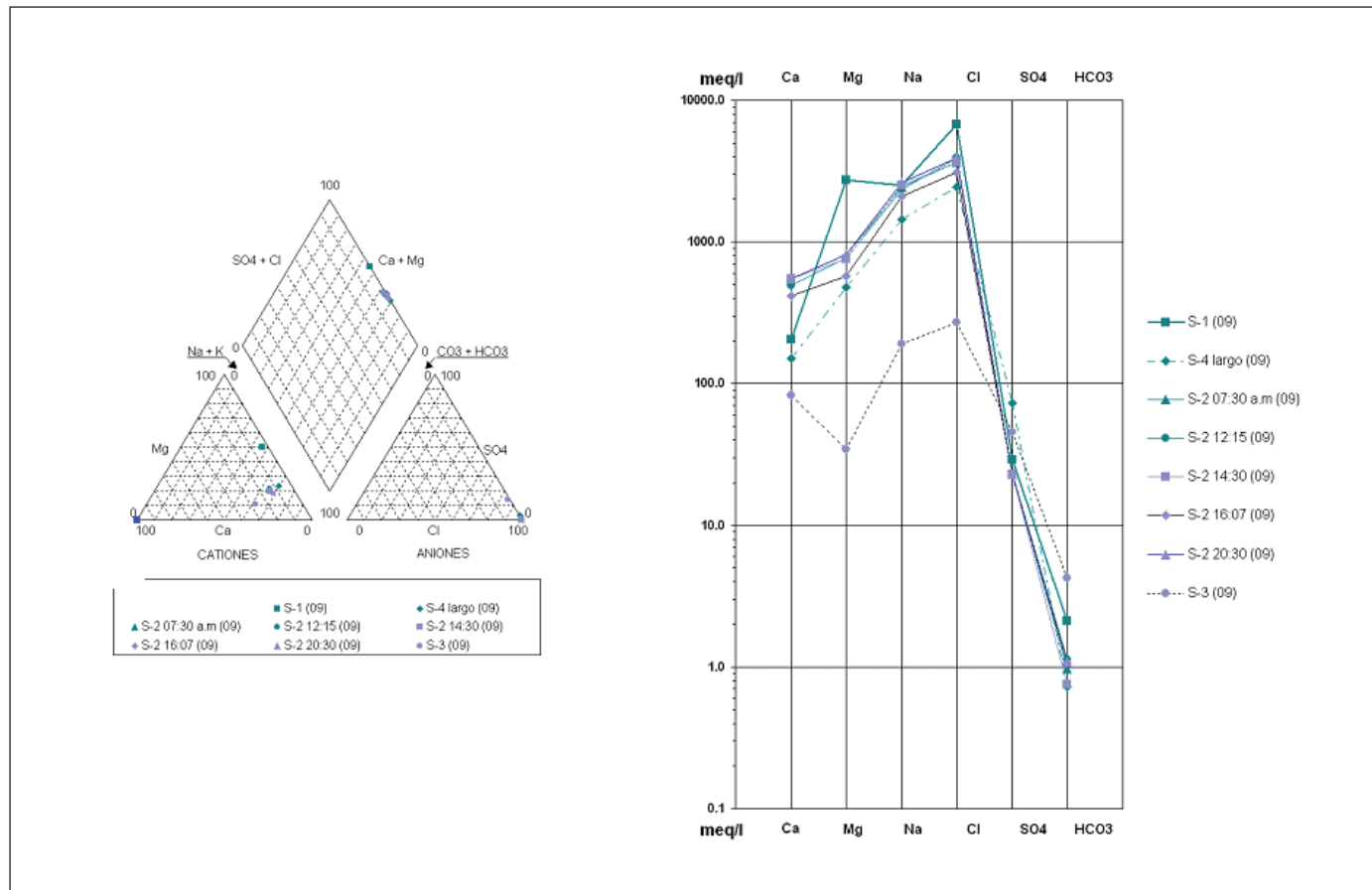


Figura 5. Diagramas de Piper y de Schoeller-Berkaloff de las muestras del acuífero terciario profundo
 Figure 5. Chemical distribution of Water Samples from Deep Tertiary Aquifer in Piper and Schoeller-Berkaloff Diagrams

detección. Sin embargo, en los sondeos más cortos y con mayor influencia superficial (S-3 y S-4 corto, con rejilla entre 30 y 100 m) sí se han detectado compuestos BTEX (hidrocarburos) y aditivos del tipo MTBE, propio de gasolinas sin plomo.

Estudios isotópicos

La caracterización y modelación geoquímica de la formación evaporítica Terciaria de la Cuenca Potásica Catalana realizada por Ayora *et al.* (1995) y Cendón (1999), demuestra que la composición isotópica del sulfato en el tramo de las sales potásicas ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} = +20\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4} = +9\text{‰}$) es claramente diferente de la de los tramos superiores de la serie ($\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4} = +12,7\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4} = +15,5\text{‰}$). Basándose en esta diferente composición isotópica del sulfato, Otero y Soler (2002, 2003) demuestran que a partir de la composición isotópica del sulfato disuelto en las aguas de fuentes y surgencias salinas de la cuenca del río Llobregat, se

puede discriminar el origen del sulfato entre aquel que proviene de la interacción natural, del procedente de lixiviados mineros, y de fertilizantes agrícolas.

Los resultados muestran que la composición isotópica del azufre y del oxígeno del sulfato evoluciona desde la parte basal con valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ comprendidos entre +19 y +20‰ a valores comprendidos entre +14‰ y +16‰ en la parte superior, validando el modelo conceptual elaborado por Ayora *et al.* (1995) y por Cendón (1999). Esta diferencia isotópica permite, tal y como ya pusieron de manifiesto Otero y Soler (2002) utilizar la composición isotópica del sulfato disuelto en las aguas para discriminar las aguas salinizadas por interacción natural agua-roca, de aquellas procedentes de los lixiviados mineros (que corresponden también a los valores del nivel de potasa).

Los resultados preliminares en relación al azufre y oxígeno de la molécula de sulfato en los sondeos realizados indican una fuente triple del mismo: natural-superficial, agroquímicos e influencia minera-nivel de potasas, así como una mezcla en diferentes propor-

ciones según el punto muestreado. Como en el caso del estudio hidroquímico, la influencia del nivel de sales potásicas se hace más patente en los sondeos más profundos: S-1, S-2 y S-4 largo y menor en los sondeos más superficiales: S-3 y S-4 corto. Dichos datos son, a priori, coherentes con los contenidos en Tritio encontrados y los correspondientes a la composición isotópica de la molécula de agua (D,O).

Parámetros hidrogeológicos

El análisis de los caudales aforados en la perforación ya indica el importante contraste encontrado en el sondeo ubicado en la zona de fractura (Falla del Guix 30000-36000 L/h aforado durante la ejecución del sondeo) frente al resto (300-600 L/h).

Sin embargo, una vez entubado, la diferencia de conductividad hidráulica (K) medida en los ensayos hidráulicos entre el sondeo S-2 (con rejilla entre 100 y 170 m de profundidad), y el resto de sondeos ha sido solamente de un orden de magnitud (K de 0.1-0.4 m/d

en el S-2 frente a 0.01 m/d en el resto de sondeos). Probablemente, la causa de esta discrepancia reside en que la zona de mayor fracturación de la falla (y previsiblemente, mayor permeabilidad) se sitúa por encima de la rejilla de este pozo.

Desarrollo del modelo conceptual

Con los resultados ya obtenidos se confirma la presencia de flujo subterráneo regional a través de las unidades del Terciario con potencial muy por encima de la cota de techo de la antigua Mina Enrique, que se halla bajo condiciones de saturación y que puede haber inducido, junto con la zona de falla, un aumento local de la transmisividad. Dicho flujo puede tener un papel muy significativo en los procesos de subsidencia y asientos diferenciales detectados.

El acuífero terciario presenta cotas de nivel piezométrico muy cercanas a la superficie topográfica en el eje del río Llobregat y un grado de salinidad muy elevado en todos los piezómetros de control, así como

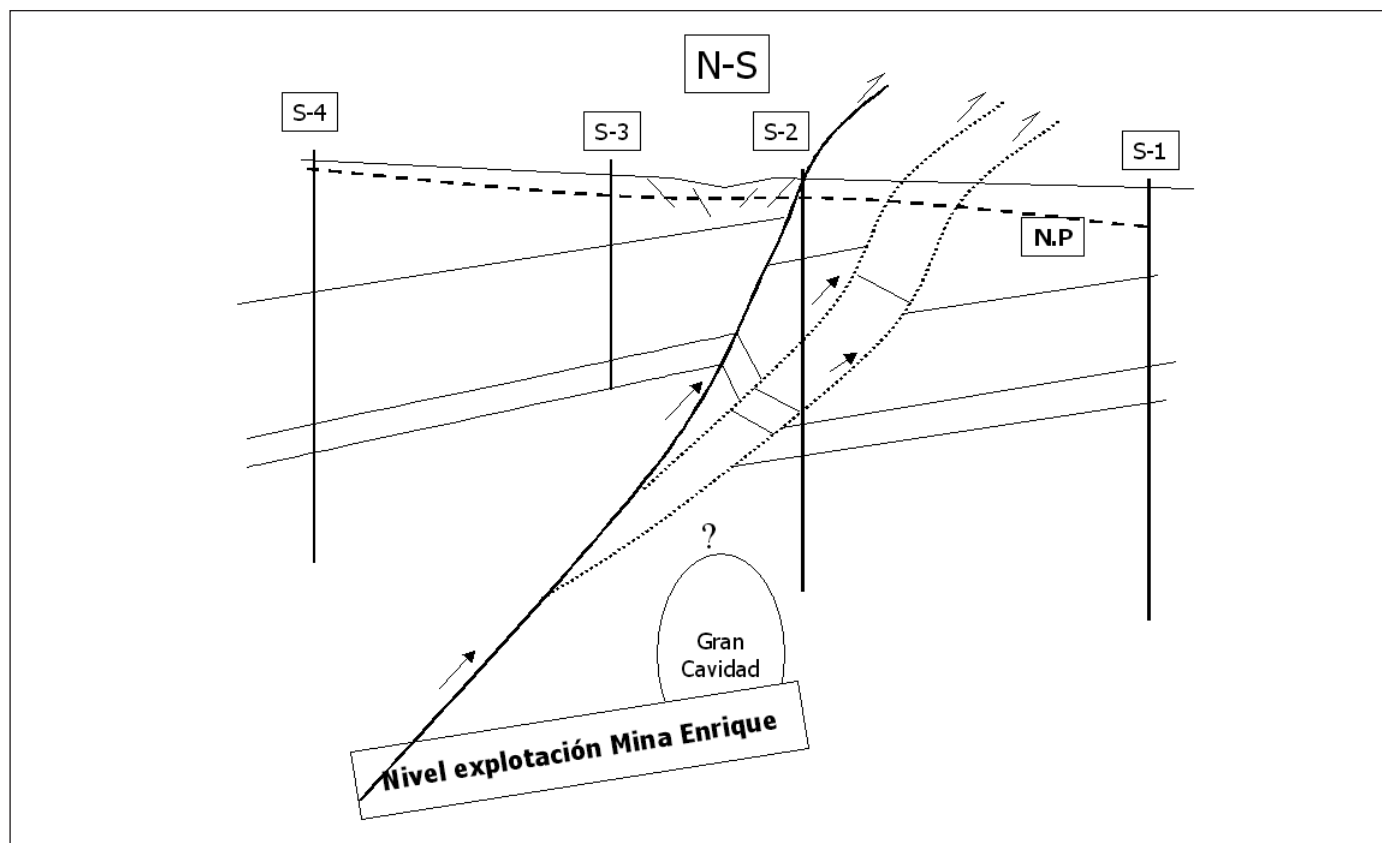


Figura 6. Corte hidrogeológico conceptual del acuífero terciario profundo en Sallent
Figure 6. Conceptual hydrogeological section of Tertiary deep aquifer in Sallent

un gradiente hidráulico que probablemente se suaviza en la zona de Mina Enrique debido al efecto de la propia labor minera, así como a la existencia de zonas de fracturación más transmisivas relacionadas con la zona de Falla del Guix.

La propia zona de falla puede haber generado una zona de trituración o debilidad estructural, afectando también a los niveles salinos infrayacentes, que geográficamente podría corresponder con la gran cavidad detectada por las antiguas labores mineras en su límite meridional. La Falla del Guix se revelaría entonces como una zona de flujo preferencial regional y drenaje del acuífero terciario confinado, que atraviesa y fractura la serie incluído el paquete salino, permitiendo la salida de agua subterránea con muy elevados contenidos en sal hacia niveles superiores más permeables, como pueden ser las terrazas aluviales cuaternarias del Llobregat o hacia surgencias salinas en el propio Terciario, relacionadas con la zona de fractura. Con los datos obtenidos hasta la fecha el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico puede ser similar al que representa el corte N-S de la Figura 6.

Lateralmente al eje del Llobregat el acuífero terciario más superficial (no se dispone de sondeos profundos) es mayoritariamente dulce y también presenta cotas de nivel del agua superiores a las del acuífero aluvial. Las surgencias detectadas pueden ser, sin embargo, dulces o salinas. En algunos casos el origen de la salinidad es antrópico; con presencia de compuestos trazas de origen minero, en otros puede ser una mezcla de una fuente antrópica y/o una fuente natural, procedente del acuífero terciario profundo. En este caso, el control estructural de la zona puede ser básico para una adecuada interpretación.

Conclusiones

En la Cuenca Potásica Catalana existen dos tipos de acuíferos: el acuífero libre-granular correspondiente a los aluviales actuales y terrazas antiguas de los ríos principales (Llobregat y Cardener) y el acuífero multicapa del Terciario, analizado en este caso hasta la cota de techo del nivel de sales, objeto actual de explotación minera en Sallent-Balsareny y en Súrria.

Los materiales del Terciario de la Cuenca Potásica Catalana en la subcuenca del río Llobregat constituyen acuíferos de baja capacidad general a menos que estén afectados por fracturas conductivas, que pueden alcanzar transmisividades considerables. Asimismo, el actual carácter surgente de dicho acuífero en el Llobregat en Sallent y su elevada salinidad le otorga a estas zonas de fractura, si hay conexión hidráulica con la superficie, un papel de conducción preferente de las aguas salinas profundas, a favor de

su potencial, hacia los aluviales o los estratos más superficiales del Terciario, pudiendo afectar a algunas de las surgencias detectadas en la serie.

La salinidad del acuífero terciario profundo es elevada, generalmente con conductividades superiores a los 100000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y altas concentraciones en Na^+ , K^+ y Cl^- . En general parece verificarse un aumento de la salinidad en profundidad. Con todo, el eje del actual río Llobregat es una de las zonas de la cuenca donde las aguas de alta salinidad se sitúan más cercanas a la superficie.

Los huecos generados por las labores mineras en los niveles de sales de la Cuenca Potásica Catalana, una vez inundadas por cese del drenaje, han generado un aumento de la transmisividad en aquellas zonas donde las galerías no han convergido o donde han existido derrumbes de su techo no soluble. El proceso de no convergencia de las galerías de Mina Enrique y su subsidencia podría estar ligado a la existencia de dichas fracturas conductivas, que provocan que el agua subterránea no saturada en halita o silvita, procedente del acuífero regional circule por Mina Enrique sin llegar a saturarse y perder totalmente su capacidad de disolución.

De forma específica, una vez implantada la red básica de control y establecido un modelo conceptual hidrogeológico general, se considera que los estudios futuros para tratar de relacionar subsidencia y aguas subterráneas deberían enfocarse a establecer una clara correlación entre deformación y variación de nivel o de la hidroquímica.

De este modo, sería necesaria la construcción de nuevos sondeos para medir la deformación en zonas más alejadas de la actual zona monitorizada y con profundidades de investigación coherentes con las zonas de rejillas de los actuales pozos, así como la construcción de nuevos pozos auxiliares a menores profundidades, en especial en la zona de falla. El objeto final del proyecto, en función de los resultados anteriores, sería la realización de un modelo matemático que acople ambas variables.

Referencias

- Ayora, C.; Taberner, C.; Pierre, C. & Pueyo, J.J., 1995. Modelling the sulfur and oxygen isotopic composition of sulfates through a halite-potash sequence: Implications for the hydrological evolution of the Upper Eocene Southpyrenean Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 59, No. 9, 1799-1808.
- Bérest, P.; Diamond, B.; Duquesnoy, A.; Durup, G.; Feuga, B. & Hoff, L., 2005. Salt and brine production methods in France : *Main conclusions of the international group of experts (IEG) Comissioned by the French Regulatory*

- Authorithies. Post-Mining 2005 Congress*, Nov 16-17, Nancy, France.
- Biescas, E.; Agudo, M.; Montserrat, O.; Ibáñez, C. y Crosseto, M., 2005. Aplicaciones de la interferometría SAR para el análisis de las deformaciones del terreno. *Semana Geomática 2005*. Barcelona. www.isprs.org.
- Cendón, D., 1999. *Evolución geoquímica de cuencas evaporíticas terciarias: implicaciones en la composición isotópica del sulfato disuelto en el océano durante el terciario*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, 270pp.
- Díaz, J. y Jodar, M., 1996. *Caracterización hidrogeológica del sector Callús-Santpedor-Sallent (Barcelona)*. 30 CIHS. Barcelona. Documento inédito.
- FCIHS, 1998. *Aspectos hidrogeológicos de los programas de restauración de las explotaciones de potasas de Súria y de Sallent-Balsareny*. Dpt. de Medio Ambiente Gobierno Autónomo Catalán. Barcelona. Informe inédito.
- ICC, 2003. *Estudio del proceso de hundimiento que afecta al barrio de L'Estació y de La Rampinya de Sallent, Bages*. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona. Informe inédito.
- IGME, 1983. *Depósitos Minerales de España*. Ed. IGME. Madrid.
- Manzano, M. y Custodio, E., 1993. *Estudio hidroquímico de la Mina de Súria y del Pozo Sallent*. FCIHS, Barcelona. Informe inédito.
- Otero, N. y Soler, A., 2002. Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water Research*, 36: 3989-4000.
- Otero, N. y Soler, A., 2003. Stable isotopes of dissolved sulphate as tracers of the origin of groundwater salinization in the Llobregat River (NE Spain). *Extended Synopsis of the International Symposium on Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management*, IAEA, Vienna, 2003. 190-191.
- Otero, N.; Soler, A. y Canals, A., 2008. 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*, 23 (55), 1166-1185.
- Rovira, J.M.; Casas, A. y Soler, A., 2006. Balance salino en la cuenca del río Llobregat. *Afinidad*, 63, 438-443.
- Rovira, M.; Casas, J.M.; Soler, A. y Ginebreda, A., 2008. Empleo de isótopos ambientales para discernir la contaminación salina de la cuenca del río Llobregat. *Afinidad*, LXV, 537, V63, 350-359.

Recibido: junio 2009

Revisado: agosto 2009

Aceptado: agosto 2009

Publicado: diciembre 2009

