

EL ACUÍFERO DE GUADIX Y SU RELACIÓN CON LA EXPLOTACIÓN DE LAS MINAS DE ALQUIFE

Pablo FERNÁNDEZ MÉNDEZ*

1. Introducción

La hidrogeología es una ciencia cuyo desarrollo tiene algo más de un centenar de años, aunque la inquietud humana sobre el origen y movimiento del agua se remonta a la Antigüedad Clásica.

Según la definición de Castany y Margat, trata del estudio de las aguas subterráneas y persigue el conocimiento de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y de las leyes físicas que rigen el origen, la presencia, los movimientos y las propiedades de las aguas subterráneas. Se ocupa también de las aplicaciones de estos conocimientos a las acciones humanas sobre las aguas subterráneas, sobre todo prospección, captación y protección. Es importante constatar también que tiene una gran importancia en el estudio del medio ambiente, constituyendo uno de sus pilares más sólidos. El entendimiento de esta materia es fundamental, desde mi punto de vista, para un futuro Licenciado en Ciencias Ambientales.

Soy estudiante de esta carrera, y como tal, he recibido formación docente en la materia durante el segundo curso, por el profesor D. Antonio Pulido Bosch, a quien quiero agradecer la ayuda prestada para la realización de este artículo. También quiero agradecer a mi padre y Presidente del I.E. Pedro Suárez, la oportunidad de publicarlo en el Boletín. A ellos dos les dedico este, mi primer artículo.

Mi intención con el, es simplemente una introducción general al funcionamiento del acuífero de Guadix y a la estrecha relación que tenía (y quizá en un futuro siga teniendo), con la explotación de las Minas de Alquife, consultando para ello, diversos trabajos anteriores. La realización del artículo asimismo, coincide con mi deseo de comenzar a estudiar acerca de la situación actual de la explotación, ya que, sea ahora o a largo plazo (en el caso de que se continúe explotando), constituye un claro caso de impacto ambiental.

2. Breve reseña histórica sobre las minas del Marquesado

Las minas del Marquesado se encuentran ubicadas en la vertiente norte de Sierra Nevada, en el término municipal de Alquife, y en la extremidad sur de la llanura diluvial del Marquesado del Zenete, con una altura media de 1.150 m.

Según Fueyo Cuesta los primeros trabajos datan de principios de siglo, en que varias compañías llevaron a cabo exploraciones en la parte norte del Cerro de Alquife. En 1914 la compañía escocesa William Baird & Co Ltd. de Glasgow, comenzó a explotarlo y construyó una línea férrea que conectó la mina con la línea existente hacia Almería. Las producciones alcanzaron solo las 50.000 tm anuales, debido a problemas de huecos en la explotación.

* Estudiante de Ciencias Ambientales (Universidad de Almería).

En 1929 la compañía francesa Cie de Motka adquirió la concesión que cubría toda la mina y continuó con la explotación, teniendo dos importantes interrupciones, por la Guerra Civil española y la II Guerra Mundial, aunque se continuó en 1947.

Estudios posteriores de la Compañía Andaluza de Minas (C.A.M.), acerca de la friabilidad del mineral, de los estratos horizontales con frentes de poca potencia y los huecos anteriormente citados, llevaron a la firma francesa a la conclusión de que el método de minería a cielo abierto sería mucho mas eficiente que el subterráneo que venía desarrollando.

En 1967, la producción alcanzó el millón de toneladas y en 1971 los dos millones, hasta llegar, en los últimos años, a los cuatro millones y medio, de los que 3.700.000 eran de material vendible. El movimiento total de estéril-mineral alcanzaba anualmente los 34 millones de toneladas.

Desde que se inició la minería a cielo abierto, hasta finales de la década de los ochenta se extrajeron de la corta un total de 350 millones de toneladas de mineral y se embarcaron hacia Almería un total aproximado de 60 millones de toneladas.

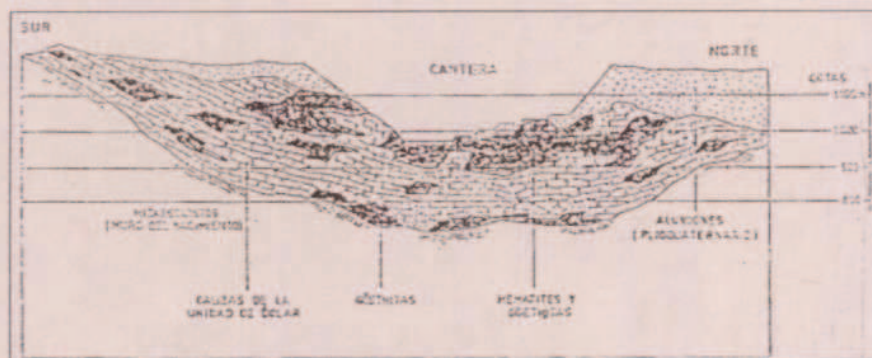


Fig.1: Yacimiento del Marquesado.

3. Antecedentes

En la década de los sesenta, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y el Gobierno Español, a través del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), llevaron a cabo el Proyecto de Investigaciones Hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir (AGL:SF/SPA 9); en el, entre otras áreas, se estudió y definió la de la Vega de Guadix y del Llano del Marquesado. Se analizaron las características geológicas e hidrogeológicas de la zona (ver apartado 4) y se presentaron resultados sobre los recursos y reservas del acuífero y su utilización.

En 1971, y como consecuencia del Proyecto anterior, se llevó a cabo el Proyecto de Utilización de las Aguas Subterráneas para el Desarrollo Agrícola (AGL:SF/SPA 19), en el cual, se cuantificaron con mayor precisión los recursos del acuífero de Guadix en el Informe técnico nº 3 (1972).

El 3 de Abril de 1971 se emitió el Decreto 735/71, en el cual, se definió el acuífero como «Zona de Explotación Controlada» (Zona nº 7), se limitó el volumen de las extracciones a 30 hm³/año y se establecieron las normas técnicas y administrativas para su gestión (ver apartado 7) que pasó a depender de la Comisaria de Aguas del Guadalquivir, actuando el IGME como organismo asesor.

En 1981 el IGME emite el «Informe sobre la evolución piezométrica y estado de la explotación del Sistema Acuífero de Guadix», en el cual, entre otras conclusiones, se relacionaron los descensos de nivel observados con el caudal de las emergencias y se indicó que los 3 hm³/año correspondientes al drenaje (ver apartado 5) de la explotación antes del Decreto 735/71 no debían ser nuevamente descontados del volumen disponible de la zona nº 7.

Desde esa fecha se fueron otorgando nuevos permisos de explotación hasta complementar prácticamente los 30 hm³/año disponibles, a pesar de lo cual no se experimentó una mejora sensible en la dotación de los riegos tradicionales de la Vega de Guadix.

4.Descripción del acuífero de Guadix

4.1.Ubicación y ámbito geológico

Este acuífero se extiende por los Llanos del Marquesado y la Vega de Guadix, en la cuenca del río Verde o Guadix, afluente del río Fardes, el cual forma parte del sistema hidráulico del río Guadalquivir. La extensión de la cuenca del río Verde es de aproximadamente 610 km², dentro de la cual se distinguen dos grandes grupos de materiales: **los bordes** están constituidos por formaciones preorogénicas¹ que ocupan los relieves más altos. Son materiales triásicos, paleozoicos y más antiguos, afectados todos ellos por estructuras alpínicas y, en parte, por procesos metamórficos. Se diferencian, dentro de estas formaciones, varias unidades estructurales, correspondientes a mantos de corrimiento² superpuestos. En el área de la explotación minera sólo está representado el llamado complejo Nevado-Filábride. Hacia **el centro** de la depresión, los materiales constituyentes, son terrenos postorogénicos¹ de relleno, cuya distribución no guarda relación directa con la tectónica de mantos, sino que está condicionada por la estructura de pliegues de gran radio. (Loisy y Medina, 1992).

El acuífero está constituido por un conjunto de materiales detríticos de origen fluvial, denominado «Formación Guadix, cuyo depósito tuvo lugar durante el Plioceno y Cuaternario antiguo; su litología es variable de unos puntos a otros. Sus características, por sectores, son:

- Sector de La Peza; constituido por conglomerados de matriz predominantemente arenosa, con intercalaciones de arcillas rojas.

- Sector de Alcudia-Esfiliana: conglomerados y arenas. Los primeros son los más abundantes en el borde meridional, donde se pueden observar tránsitos laterales hacia los conglomerados de La Peza. Las arenas predominan en el centro de la cuenca, con intercalaciones de arcillas rojas.

- Zona Norte: arenas y niveles de lutitas grises y azuladas, con algunas intercalaciones de conglomerados. Son menos permeables y representan un tránsito lateral de los materiales del sector Alcudia-Esfiliana.

¹ **Orogénesis:** se define como un conjunto de procesos geológicos que determinan la formación de un cordillera de montañas (en nuestro caso Sierra Nevada).

-Zona Este: el acuífero se prolonga en la provincia de Almería, en la cabecera del río Nacimiento.

4.2.Límites y superficie

El borde septentrional está condicionado por los conglomerados, menos permeables, que representan un tránsito lateral de los materiales de Alcudia-Esfiliana (visto en 4.1), de tal manera que sólo está bien definido donde corresponde a las elevaciones de la Sierra de Baza.

El límite meridional del acuífero está constituido por las metapelitas y mármoles del Complejo Nevado-Filábride; estos últimos están conectados hidráulicamente con el acuífero detrítico plio-cuaternario.

Por último, el borde occidental, el cual es complejo; en el sector de La Peza el material acuífero contacta con términos predominantemente margosos impermeables del Mioceno, pero más hacia el norte, fuera del acuífero afloran materiales carbonatados de unidades subbéticas y afines.

En total el acuífero cubre una superficie de 518 km², pero en superficie existen afloramientos de materiales poco permeables, hasta el punto de que el acuífero es confinado en varios sectores. De este modo, la superficie de afloramientos permeables ha sido evaluada entre 250 y 310 km².

En cuanto al sustrato³, encontramos diferencias dependiendo del sector considerado. En los Llanos del Marquesado se trata principalmente de esquistos, si bien se han

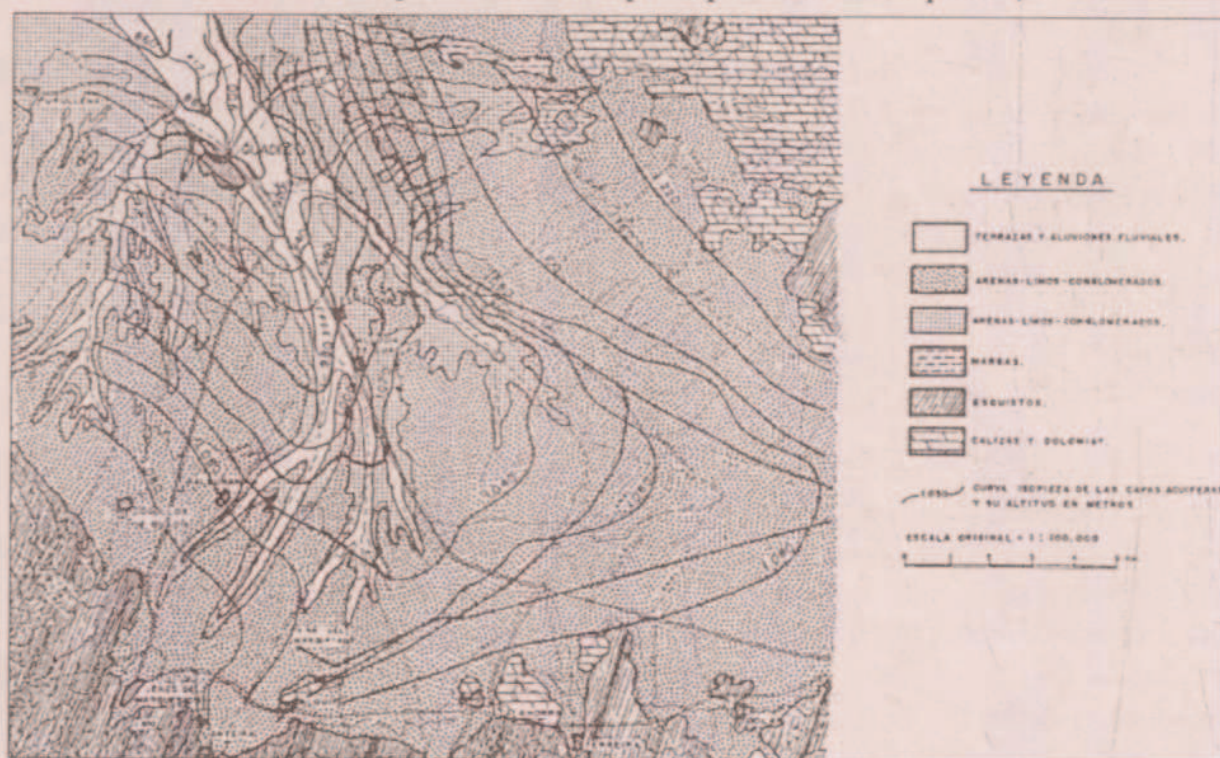


Fig.2: El acuífero de Guadix (Delgado et al, 1983)

² **Manto de corrimiento:** es un cabalgamiento (formación en que uno o varios estratos se pliegan sobre si mismos o sobre otros más modernos) de grandes dimensiones cuya superficie de rotura no es un plano, sino una superficie compleja que se acerca a la horizontal. Son las principales estructuras de las cadenas alpinas.

³ **Sustrato:** es un complejo de rocas indiferenciadas, que sirven de base o de soporte a otra unidad litológica más moderna. Hidrogeológicamente se comportan como acuífugos, o sea, como materiales que ni almacenan ni transmiten el agua (por analogía, se comportan como las paredes de un embalse).

identificado materiales carbonatados en algunos puntos. Al noroeste y oeste de Guadix el sustrato es margoso.

El espesor del acuífero también es variable. A partir de los datos de la cota del sustrato, se deduce un espesor máximo superior a 300 m en las cercanías de Albuñán, al SSW de Alcudia de Guadix, y un mínimo de 80 m en el área de Huéneja, donde se identifica precisamente una elevación del sustrato, que coincide muy aproximadamente con la divisoria actual de aguas superficiales.

4.3. Características hidráulicas

Las diferencias granulométricas y de espesores del material acuífero condicionan la distribución espacial de transmisividades⁴. Los valores máximos se encuentran en la parte central del Llano del Marquesado, coincidiendo con los sectores en los que los sedimentos son más homométricos.

En la mayor parte de la superficie la transmisividad está comprendida entre 100 y 900 m²/día. Los valores mínimos, inferiores a 100 m²/día, corresponden a áreas cercanas a Guadix y al borde meridional, donde los sedimentos son más heterométricos o con matriz lutítica más abundante.

Los datos sobre el valor del coeficiente de almacenamiento⁵ son escasos y generalmente estimados por métodos indirectos. Los valores comprendidos entre 0.05 y 0.01, han suministrado resultados aceptables cuando han sido utilizados en modelos matemáticos.

En el cuadro se muestran las características hidráulicas de los diferentes materiales presentes en la explotación, debido a que en ellos se centra la problemática hidrogeológica de la mina del Marquesado (sobre la que se tratará en el apartado 5), y que tiene que ver con la presencia de un nivel colgado⁶ (la Formación de Guadix). Se diferencian pues, dos niveles piezométricos distintos en ambas formaciones, donde se ejecutaron sondeos⁷ que los pusieron en contacto (sondeos denominados perdidos).

⁴ **Transmisividad:** se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado¹¹, bajo un gradiente (medida de la variación de algún parámetro según la distancia y la dirección) unidad y a una temperatura determinada. Sus dimensiones son la de una velocidad por una longitud.

⁵ **Coeficiente de almacenamiento:** se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado¹¹ si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico (vid. nota 12).

⁶ **Acuífero colgado:** en la naturaleza los materiales perfectamente impermeables no existen, por lo que es más correcto considerar a los acuíferos confinados (esto es, los que poseen una capa impermeable por encima), como semiconfinados, en los que normalmente existe un intercambio hídrico con el nivel semipermeable superior. Este nivel es considerado acuífero, y denominado colgado. En el caso del acuífero de Guadix es el nivel de aluviones.

⁷ **Sondeo:** es una perforación vertical, de profundidad y diámetro variables, con la que se pretende la medida de niveles piezométricos¹², la inyección de agua para recarga artificial o la función más característica que es, la de captación de aguas subterráneas.

Según Loisy y Medina (1992), las características hidráulicas de estos materiales serían:

TERRENO	PERMEABILIDAD ⁸ (m/día)	TRANSMISIVID. (m ² /día)	COEFIC. DE ALMACENAMIEN.
CALIZA	50-100	800-2500	5%
«RUBIAL» ⁹ Y MINERAL	0.01-0.005		
ALUVIONES	kh: 0.5-5 kh: 0.05-0.1	50-150	4%-12%
SEDIMENTOS ALUVIALES	10-40		

Cuadro: características hidráulicas de los materiales presentes en la explotación (Loisy y Medina, 1992).

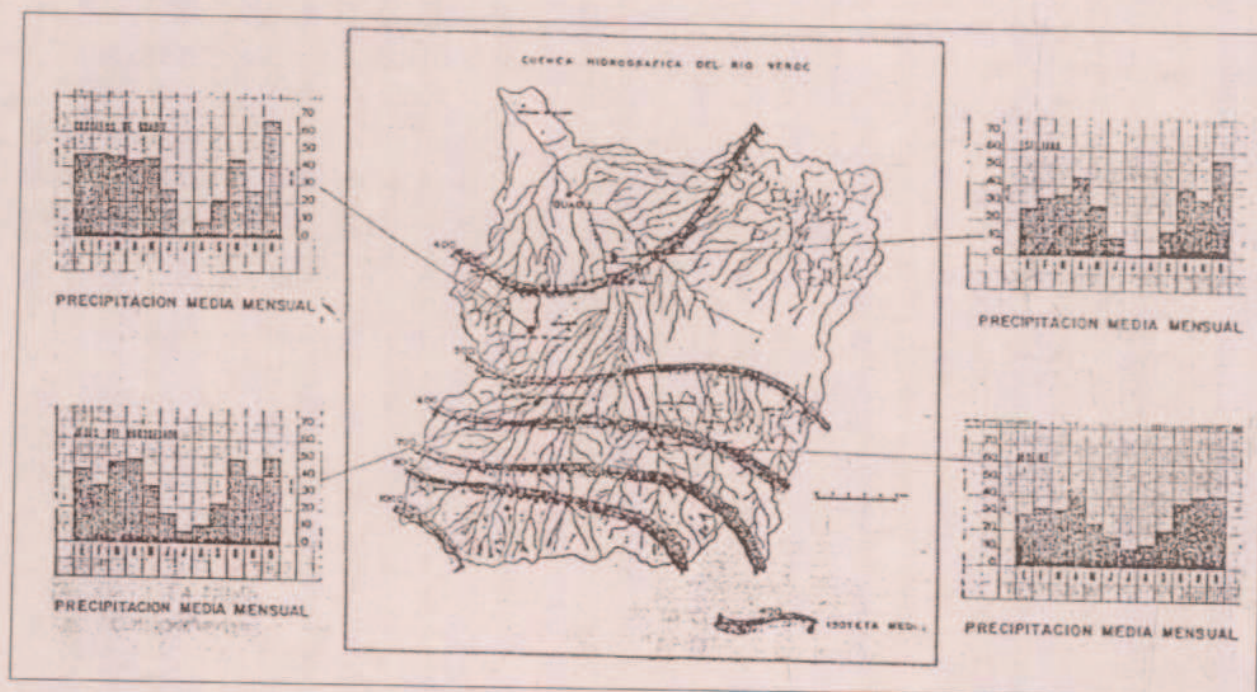


Fig. 3: Curvas isoyetas medias anuales (valores en mm) (Loisy y Medina, 1992).

⁸ **Permeabilidad:** se define como el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero, bajo un gradiente unidad y a una temperatura determinada. Tiene las dimensiones de una velocidad. Para hacerse una buena idea de su significado, se podría comentar que un terreno muy poroso puede ser muy permeable si sus poros son grandes y bien interconectados, o bien puede ser casi impermeable si sus poros son muy pequeños y/o semicerrados, como sucede en una arcilla o en ciertos materiales volcánicos.

⁹ **«Rubial»:** conglomerado brechoide (la brecha es una roca clástica formada por diversos elementos de tamaño variable unidos por un cemento de naturaleza diversa) cementado por una matriz calizo-arcillosa ferruginosa, que se encuentra, no siempre, sobre las calizas y la hematites, en el contacto con los materiales postorogénicos. Igual que la hematites, posee escasa permeabilidad y mal drenaje.

4.4. Aspectos climáticos e hidrológicos

En la figura 3 se pueden observar grandes diferencias en la distribución de curvas isoyetas, entre la llanura y la zona montañosa de Sierra Nevada, donde las precipitaciones ocurren, generalmente, en forma de nieve, la cual es la fuente de alimentación de los caudales superficiales de los cauces que descienden por la ladera impermeable de la Sierra, con régimen permanente, hasta alcanzar los conos de deyección¹⁰ y los aluviones¹¹.

El agua que alcanza los aluviones no es utilizada en su totalidad por los agricultores de la zona, por lo que, en ese punto, el agua sobrante se infiltra fácilmente en estos materiales. La mayor parte del agua infiltrada, procedente de las lluvias, lo hace durante los meses de Enero a Abril y según el balance hídrico del suelo, el porcentaje de agua infiltrada es del 12 %.

Los cultivos de regadío, pues, se encuentran localizados en las vegas al pie de las laderas de la Sierra, sobre los conos de deyección, donde se utiliza la mayor parte de las aguas derivadas de los cauces. En el llano, la agricultura se caracteriza por el sistema de riego eventual, generalmente de Marzo a Junio, a partir de las aguas superficiales no utilizadas en las vegas, y distribuidas por una red de acequias, en su mayor parte, no revestidas (Loisy y Medina, 1992)

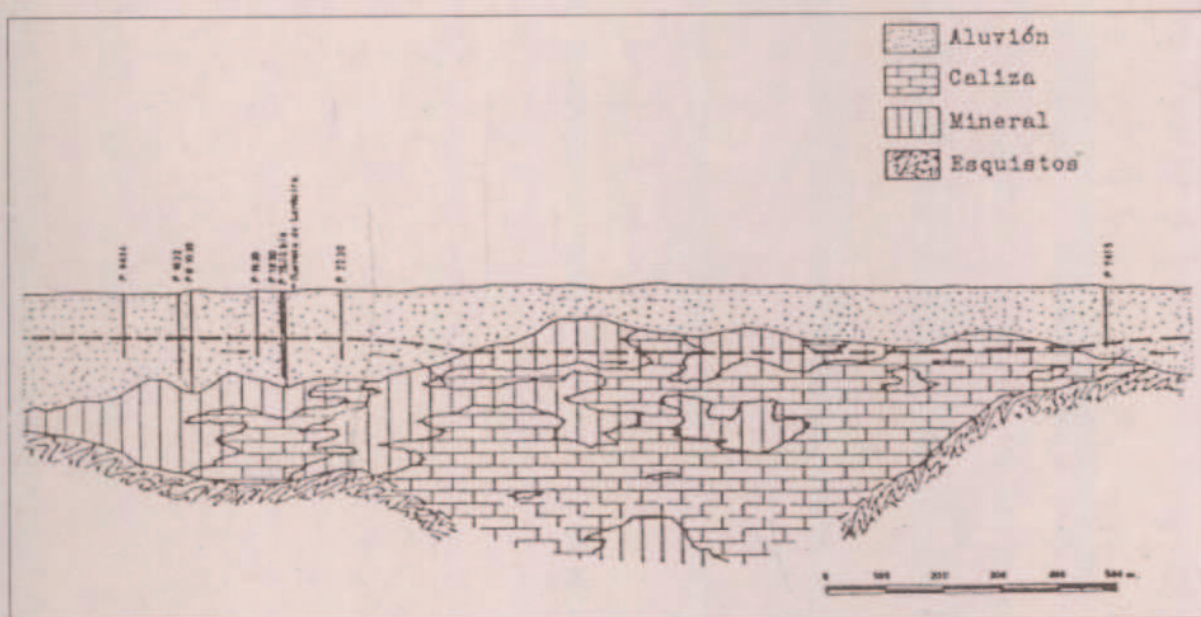


Fig. 4: Situación inicial del nivel piezométrico¹² (Loisy y Medina, 1992)

¹⁰ **Conos de deyección:** una deyección es un conjunto de materias arrojadas por un volcán o desprendidas de una montaña.

¹¹ **Aluviones:** son materiales o terrenos que quedan al descubierto después de las avenidas, y también de los que se forman lentamente por desvíos o variaciones en los cursos de los ríos.

¹² **Nivel piezométrico:** es el lugar geométrico de los puntos que señalan en un perfil, igual altura de lámina de agua (es análogo a la superficie del agua contenida en un embalse). Su conocimiento es clave para poder estudiar el movimiento del agua subterránea.

4.5. Funcionamiento hidráulico del acuífero

El funcionamiento hidráulico del acuífero viene determinado por la alimentación y la descarga. La alimentación principal procede de la infiltración de la escorrentía superficial de los bordes montañosos, mientras que los terrenos aluviales del cauce del río Verde constituyen el nivel de drenaje o descarga de la cuenca.

A escala del yacimiento, en el borde de Sierra Nevada, los aluviones tienen el mismo comportamiento, con la diferencia de que, en la parte alta de su curso en terrenos permeables, el río Verde funciona también como nivel de recarga, y que la presencia de la caliza del yacimiento modifica localmente el sistema general del flujo. En efecto, el acuífero calizo de características hidráulicas más favorables, es alimentado en profundidad por los aluviones que lo recubren, actuando como sumidero en el seno de los aluviones.

El componente principal de la alimentación subterránea es la infiltración del agua en los cauces, cuyo valor es de 26 hm³/año, de los cuales, el 50% se infiltra en el entorno de la explotación. Esta zona se corresponde con los cauces del río Verde, la rambla de Lanteira y el barranco del Pueblo.

Esto es determinante de las condiciones poco favorables en que había de realizarse el drenaje de los aluviones (Loisy y Medina, 1992).

5. Drenaje de la Mina. Problemática existente

Como se comentó anteriormente, en este apartado se tratará la problemática hidrogeológica existente en la explotación de Alquife, debida a la necesidad de ampliación de la superficie explotada a cielo abierto. A causa de esta relativamente reciente necesidad surgió el problema sobre 1962 y 1964, cuando galerías de reconocimiento excavadas hacia el NW del yacimiento, desde la explotación subterránea, contactaron con aluviones saturados¹³ que dieron lugar a hundimientos y avenidas de lodo y barro dentro de las galerías, haciendo imposible su continuidad.

En el tratamiento que realizaré acerca de esta problemática no me referiré a las características técnicas de los dispositivos de drenaje, que se han venido utilizando desde 1963, debido a que mi intención con este apartado es la de realizar un resumen acerca de las consecuencias hidráulicas de los desagües y del uso que se hacía del agua bombeada.

5.1. Drenaje de la caliza-mineral

Datos piezométricos, anteriores al comienzo del bombeo en el yacimiento, dieron a conocer un nivel piezométrico a cota 1050, el cual se encontraba en la caliza, por lo que los aluviones, estaban secos en su totalidad en el área de explotación.

En 1957 se estudiaron diferentes métodos para la extracción de las reservas de mineral inundadas.

En 1963 se decidió bombear a una galería excavada a cota 1050 (túnel del Berral, fig. 5) que se extendía hacia el río Verde, y que tenía una longitud de 3.5 km. Para el bombeo se utilizaron bombas de achique, dispositivo que planteó serios problemas, esencialmente de calidad.

¹³ Zona saturada: en un acuífero la zona saturada es la zona más profunda e inundada con agua, la cual circula libremente por efecto de los gradientes piezométricos, es decir desde las zonas con mayor altura de nivel hasta las zonas con menor nivel.

En 1972 el dispositivo de achique fue sustituido por otro de captación profunda, sondeos equipados con bombas sumergidas, los cuales han sido sustituidos por otros nuevos debido a avances en la explotación.

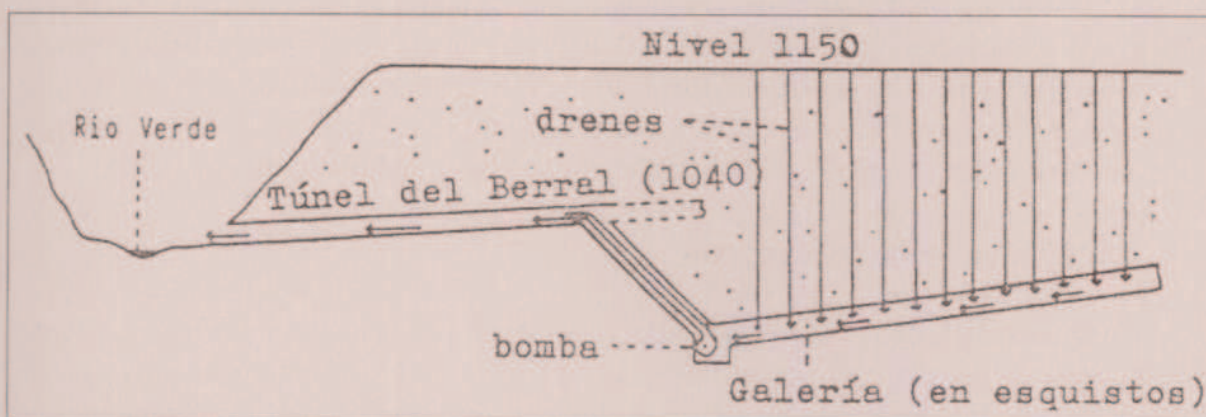


Fig. 5: Túnel del Berral (Loisy y Medina, 1992).

El bombeo ha sido permanente, con caudales que han sido diferentes, dependiendo de las necesidades de la explotación. La situación de los pozos obedece a dos criterios: uno basado en la densa malla de sondeos mineros de reconocimiento, que permite el conocimiento de la distribución y el espesor de la facies de calizas más favorables para captar el agua; y un segundo basado en estudios de continuidad, que dieron a conocer aquellos lugares que no interfirieran en el desarrollo de las labores mineras y dieran una mayor vida a los sondeos.

Teniendo en cuenta que se llegó a descender el nivel por debajo de la cota 900, el caudal máximo para mantenerlo estabilizado a cualquier cota, por debajo de la 990, era de 400 l/s.

El bombeo en aluviones interceptaba un flujo que circula hacia la caliza infrayacente, de manera que el caudal de estabilización fue disminuyendo en la medida en que fue aumentando el bombeado en los aluviones.

Fue entonces cuando apareció el problema, ya que en un principio el nivel en los aluviones coincidía sensiblemente con el de la caliza, y el bombeo en la caliza provocó un descenso del último y una permanencia en la situación inicial del primero (colgado). A pesar de que existe comunicación hidráulica entre los dos acuíferos, el problema no era sencillo debido a varias causas:

- * Diferencias de permeabilidad entre ambos acuíferos.
- * Anisotropía y escasa permeabilidad vertical del aluvión.
- * Presencia, en el contacto, de mineral y «rubial»¹⁴.

¹⁴ «Rubial»: conglomerado brechoide (la brecha es una roca clástica formada por diversos elementos de tamaño variable unidos por un cemento de naturaleza diversa) cementado por una matriz calizo-arcillosa ferruginosa, que se encuentra, no siempre, sobre las calizas y la hematites, en el contacto con los materiales postorogénicos. Igual que la hematites, posee escasa permeabilidad y mal drenaje.

El agua procedente del drenaje de la caliza era vertida en su mayor parte al río Verde, a través de la galería de desagüe, y una parte más pequeña era utilizada en las instalaciones de tratamiento del mineral. El déficit de agua durante la época de riego, hizo que se tratara de mejorar el aprovechamiento de los caudales vertidos al río Verde procedentes de la explotación, evitando cuantiosas pérdidas en el cauce y mejorando la regulación de los excedentes invernales. Además había otro problema añadido, ya que el total del caudal vertido quedaba a disposición de los agricultores, lo cual era motivo de permanente controversia sobre el derecho de utilización (Loisy y Medina, op.cit. 1992).

5.2.El drenaje de los aluviones

A finales de la década de los sesenta, el desarrollo de la explotación a cielo abierto obligó a abordar por primera vez el problema de los aluviones saturados; la presencia de agua suponía un factor claramente desfavorable para la estabilidad de los paramentos en aluviones, que, en seco, soportaban sin dificultad taludes de 45 y hasta 50 grados (Loisy y Medina. 1992).

Los aluviones poseen niveles finos, que están constituidos casi en su totalidad por limos, con una composición mineralógica muy uniforme, con moscovita como componente mayoritario y una escasa cementación. Esta estructura de minerales micáceos, con estructura hojosa, en presencia de agua disminuye sus propiedades resistivas, por lo que se trataba de un problema geotécnico de estabilidad de los taludes. En 1971 se realizaron diversos ensayos sobre los aluviones, que dieron a conocer diferentes valores de algunos parámetros importantes, a la hora de abordar el problema; una de las conclusiones más importantes, fue la de la imperiosa necesidad del drenaje de los aluviones, previo al desmonte y excavación de los taludes. En 1970 se realizó un ensayo de bombeo, que no consiguió sobrepasar los 2 l/s.

Durante el período 1972-1976 se implantó un dispositivo de drenes verticales y piezómetros de observación, que atravesaban el aluvión, el rubial, el mineral y la caliza, facilitando el paso del agua del aluvión hasta la caliza, por gravedad. Se les denominó pozos perdidos (*puits perdus*).

En 1976 el drenaje del aluvión fue abordado dentro del contexto de la hidrogeología regional, más allá de los límites del área de explotación. Se tuvieron en cuenta dos aspectos:

- * la alimentación hidráulica de este sector del acuífero;
- * y la convergencia del flujo subterráneo hacia las calizas del yacimiento.

En 1977 se realizó un estudio conjunto entre la Escuela de Minas de París y la Escuela de Minas de Madrid, acerca de la estabilidad de los taludes y el drenaje en los aluviones, con el que se llegó de nuevo a la conclusión de que el drenaje en los aluviones debería ser previo al desmonte de los taludes. Se propuso una galería periférica a la explotación, excavada en los esquistos, y la construcción de una serie de drenes verticales cuya función sería la de conectarla con la galería.

En 1978 la consecución de un caudal de 40 l/s en un pozo de bombeo en aluviones, hizo que el drenaje de estos se enfocara dicho año, definitivamente, bajo la perspectiva de pozos de bombeo.

En 1979 tras diversas investigaciones, por parte de la INTECSA¹⁵ y del Grupo de Trabajo de Hidrogeología de la Universidad de Granada (Yagüe, 1979) se puso en funcionamiento el primer pozo de bombeo. En 1981 entraron en funcionamiento 6 pozos más, constituyendo una primera barrera experimental de bombeo. Como consecuencia de la instalación de este dispositivo, los niveles piezométricos comenzaron a descender, y el frente saturado experimentó un retroceso de entre 50 y 150 m, de Octubre de 1980, a Octubre de 1984. Pero el dispositivo de 7 pozos resultaba insuficiente para el drenaje global de los aluviones conforme a las necesidades de desarrollo de la cantera (el caudal de los siete pozos se había estabilizado en torno a los 50 l/s) (Loisy y Medina, op. cit. 1992).

En 1983 se elaboró un programa de perforación de nuevos pozos, de bombeo y de agotamiento, los cuales se situaron entre los primeros y el frente saturado, para acelerar el descenso de los niveles en esa zona. En 1984-1985 se perforaron 19 nuevos pozos de bombeo y 14 nuevos drenes verticales. Además se incrementó la red de piezómetros de observación, con el fin de seguir con un mayor control, el funcionamiento del dispositivo.

El esfuerzo económico realizado con esta primera ampliación, con el consiguiente aumento de consumo energético, apenas si había duplicado el efecto producido por la barrera experimental, teniendo el frente saturado un retroceso de 50 a 200 m desde Octubre de 1984 a Octubre de 1986 (los caudales se habían estabilizado en torno a los 100 l/s) (Loisy y Medina, op. cit. 1992).

En 1987 INTECSA y el especialista norteamericano Prickett, llegaron a la conclusión de que no había otro dispositivo más aconsejable que el estudiado hasta entonces. Así, durante el período 1987-1989 se perforaron 5 nuevos pozos de bombeo y 23 drenes verticales. Como resultado de esta nueva ampliación del dispositivo, se consiguió, de Octubre de 1986 a Octubre de 1989, un retroceso máximo, muy local, de 150 m; en gran parte, el frente saturado apenas si tuvo retroceso apreciable (el caudal de bombeo, en 1989, se estabilizó en 110 l/s). Con esta última ampliación se puso de manifiesto la creciente dificultad del drenaje (Loisy y Medina, op. cit. 1992).

En 1989 se planteó una nueva ampliación del dispositivo, con el único objetivo de atender las necesidades más inmediatas del desarrollo de la cantera.

En el período 1990-1991 se construyeron 8 nuevos pozos de bombeo y 15 nuevos drenes verticales. Con esta última ampliación se consiguió un incremento máximo considerable del caudal a 160 l/s, el cual disminuyó hasta 120 l/s a finales de 1991, conforme descendían los niveles piezométricos.

Todo este despliegue de dispositivos suponía un peso económico cada año más importante, hasta que rebasó las posibilidades financieras de la explotación. Por tanto, ante esta situación se llevó a cabo un nuevo proyecto, en colaboración con INTECSA y BOSISA¹⁶, con el que se pretendía cortar el problema de raíz, uno de cuyos principales condicionantes era que se redujeran al mínimo las infiltraciones en los conos de deyección y los cauces. Este proyecto exigía una mejor ordenación de las aguas de riego de los cultivos existentes en la zona.

¹⁵ INTECSA: Ingenieros Técnicos, S.A.

¹⁶ BOSISA: Bombeos y Sistemas, S.A.

Aún así, este proyecto, se basaba en algo que tardaría cierto tiempo en surtir el efecto esperado, por lo que mientras tanto, se hacía necesario seguir bombeando a un fuerte ritmo y seguir con un estricto control la evolución de los niveles piezométricos y, por tanto, la del frente saturado.

A partir de 1985, el agua procedente de este drenaje fue evacuada al río Verde y otra parte elevada hasta Lanteira y Alquife. El resto fue utilizada en las instalaciones de tratamiento para disminuir en lo posible el bombeo desde la caliza hasta la superficie (Loisy y Medina, op. cit. 1992).

5.3. Recarga artificial¹⁷

5.3.1. Dispositivo de recarga

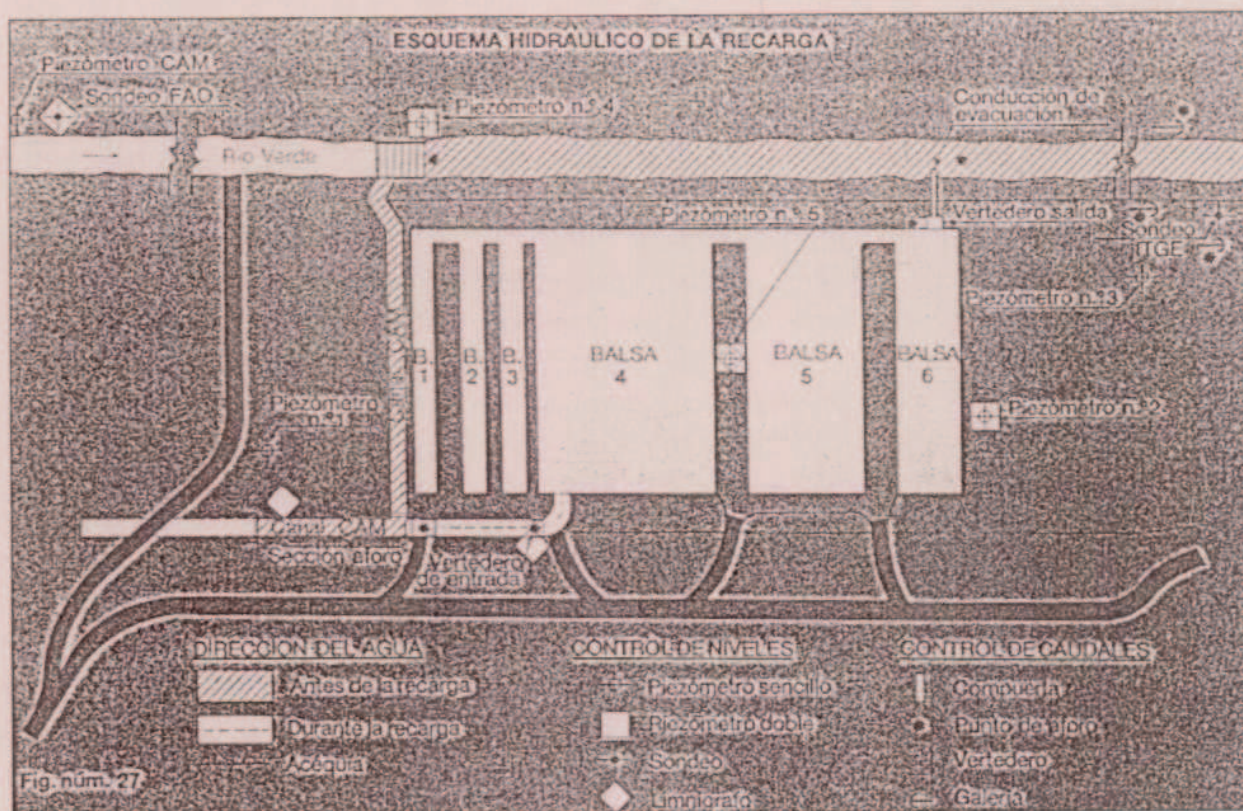


Fig.6. Esquema del sistema de recarga (ITGE, 1992).

El dispositivo de recarga se situó sobre un aluvial poco potente (20-25 m), con anchura de 250 metros y espesor saturado de unos 10 metros. Está situado sobre la Formación Guadix, en las proximidades del túnel del Berral, por el cual la mina vierte parte del caudal de bombeo. Para poder ubicar allí el dispositivo, se hubo de limpiar y acondicionar las balsas utilizadas años atrás por la Compañía Andaluza de Minas para la decantación de finos. En total se dispuso de una superficie útil inicial del fondo de las balsas, de 5.805 m², que se repartían en tres balsas con capacidad variable hasta un total de 18.400 m³

¹⁷ **Recarga artificial:** se refiere al conjunto de estudios y dispositivos que se realizan y establecen con el objetivo de la introducción de una cierta cantidad de agua en una formación acuífera.

Se construyeron nueve piezómetros, que junto con un sondeo FAO y los cuatro sondeos de explotación del ITGE, han constituido los puntos de control de las pruebas. Hay que añadir también las galerías y surgencias aforadas en el cauce del río Verde, señalando que cinco de estos puntos de control poseen limnígrafos¹⁸.

También se ejecutaron cuatro sondeos de explotación que tenían carácter experimental, con resultados óptimos (valores de transmisividades comprendidas entre 450 y 700 m²/día excepto en uno, en el que se obtuvo 2900 m²/día; porosidad eficaz¹⁹ del 1 %; y caudal conjunto de 350 l/s) (ITGE. 1992).

5.3.2. Características del agua de recarga y explotación

Debido a que el agua utilizada en la recarga es la misma procedente del bombeo de la mina, es del mismo acuífero a recargar; carece de materia en suspensión y presenta bajas concentraciones de flora bacteriana, la temperatura es constante y cercana a los 15°C, y es de facies bicarbonatada cálcico-magnésica con baja concentración salina (247 mg/l de sólidos disueltos), con lo que se evitan problemas apreciables de colmatación e incrustación.

Tras diversos ensayos que se prolongaron desde 1984 a 1989, se constató la viabilidad de la recarga artificial, y se propuso el siguiente programa de explotación:

- El dispositivo de recarga se haría mediante balsas de recarga artificial, de manera continua durante los meses de noviembre a marzo y discontinuamente, durante las horas nocturnas, el resto del año.

- Si se operaba de esta manera el volumen de agua disponible ascendería a 5.2 hm³/año.

- La superficie útil necesitada, para lograr la recarga de este volumen, sería de 8000 m².

- Durante cuatro meses se bombearía en los pozos del ITGE, para la extracción de un caudal punta de 300 l/s.

- Estimaciones diversas, basadas en la configuración geométrica y las características hidrogeológicas del acuífero, calculaban una recuperación de un 80 % del volumen recargado (ITGE, op. cit. 1992).

¹⁸ **Limnígrafo:** para definir este término se hace necesario la definición de limnigrama. Un limnigrama es la curva que registra en cada instante el valor del nivel o altura del río, o sea, el gráfico representativo del trabajo útil del limnígrafo.

¹⁹ **Porosidad eficaz:** la porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía y ocupada por aire y/o agua y su volumen total, es decir, es la relación en porcentaje (o tantos por uno), del total de huecos presentes en un volumen del material. La porosidad eficaz se refiere a la cantidad en porcentaje (o tantos por uno), de esos huecos, que están interconectados entre ellos, y por lo tanto, por los que puede circular el agua. Es la responsable, por decirlo de alguna manera, de que de las reservas del suelo sólo sea recuperable mediante captaciones el agua contenida en esos huecos, denominada gravífica.

6. Características químicas del agua del acuífero

En el sector meridional la facies suele ser bicarbonatada cálcica y los contenidos salinos inferiores a 350 mg/l; en el sector central la facies es bicarbonatada-clorurada cálcica, con contenidos que, en general, superan los 450 mg/l; en el sector nororiental la facies es bicarbonatada cálcico-magnésica con contenidos salinos comprendidos entre 250 y 400 mg/l. En Alcudia y Benalúa las aguas muestran características hidroquímicas heterogéneas. Se trata, pues, de aguas de bajo contenido salino.

7. El balance y la gestión de los recursos del acuífero

7.1. Salidas

Las salidas por galerías con caudales de hasta 100 l/s (con fuertes oscilaciones), pueden evaluarse en conjunto entre 28 y 30 hm³/año, de los que 24 corresponden a la aportación media (período 70-71/82-83) de las emergencias controladas en las redes hidrométricas del IGME y de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Los restantes 4 a 6 hm³/año han sido estimados a partir de aforos puntuales y de los datos de encuestas sobre utilización del agua.

Las extracciones medias por bombeo en el período 1970-71 a 1982-83 fueron de 17.5 hm³/año. En el año 1983 los bombeos alcanzaron el valor de 20 hm³, de los que 13 correspondieron al desagüe de la Mina del Marquesado.

Finalmente, hay que considerar como salidas del acuífero la descarga que se realiza subterráneamente desde el aluvial del río Verde al del río Fardes. Este componente del balance representa en torno a 4 hm³/año.

7.2. Pérdidas

La realización de un balance hídrico ajustado en el acuífero de Guadix exige tener en cuenta el hecho de que, desde el año 1970-1971, se observa un descenso ininterrumpido en los niveles piezométricos que ha supuesto el vaciado de un volumen de acuífero en torno a 750 hm³.

Con un valor del coeficiente de almacenamiento del orden del anteriormente citado, entre el 5% y el 10%, ello supondría una disminución de las reservas entre 37.5 y 75 hm³, que equivaldría a una media en este período de 3 a 6 hm³/año.

7.3. Alimentación

Se produce por la percolación generada a partir de la precipitación sobre los afloramientos permeables, la infiltración en los cauces de una parte de la escorrentía superficial procedente de los relieves de Sierra Nevada y de la Sierra de Baza y por la infiltración de una parte del agua utilizada en el regadío, sobre todo en el Llano del Marquesado y en la Vega de Guadix.

Frente a estos aportes, parece tener una importancia secundaria la posible alimentación subterránea procedente de los materiales carbonatados de los bordes. La recarga producida por la escorrentía procedente de la vertiente septentrional de Sierra Nevada ha sido estimada en 19-20 hm³/año. Por su parte, la percolación inducida por los cauces que drenan la Sierra de Baza ha sido evaluada en 2-2.6 hm³/año. El retorno de riegos de la Vega de Guadix se ha cifrado en 5.4 hm³/año.

Con los datos de la alimentación, las salidas y las pérdidas, puede estimarse la infiltración directa del agua de lluvia. Debe estar comprendida entre 15.5 y 22.1 hm³/año, con un valor más probable en torno a 18.8 hm³/año. Este valor representaría, para una precipitación media de 325 mm, un coeficiente de infiltración próximo al 20% (suponiendo una superficie de afloramientos permeables de 278 km²), lo que totalizaría unos recursos que oscilan en torno a 43.5-48.5 hm³/año.

7.4. Gestión de los recursos

El problema principal de la gestión de los recursos del agua subterránea, procedente del acuífero, radica en la falta de regulación estacional y en la adecuada gestión; ya que, los recursos superan la demanda consuntiva de los riegos, que es de 25 hm³/año.

Así pues, se tendrán que tomar soluciones que tiendan a aprovechar al máximo la capacidad de regulación natural del acuífero, debido a que las posibilidades de regulación de las aportaciones superficiales son casi nulas y limitadas a las laderas de Sierra Nevada. Delgado et al, proponen las siguientes acciones:

- Modificación del sistema de captación mediante galerías por el de pozos y en último caso dotar a las galerías de sistemas que permitan regular estacionalmente los caudales drenados.

- Aprovechamiento de los excedentes de agua del invierno para recargar al acuífero mediante balsas de infiltración.

- Construcción de una batería de pozos en el río Verde al objeto de garantizar la demanda en los meses de estiaje.

Mediante la acción combinada de estas acciones se espera conseguir un ordenamiento de los recursos, y un aprovechamiento integral, sin causar perjuicio al acuífero y respetando los usos estacionales que en la actualidad se están llevando a cabo.

8. Breve reflexión acerca de la situación actual

En la actualidad la explotación se encuentra paralizada y, como consecuencia, los bombeos han cesado. En las figuras 7 y 8 se pueden observar la corta, inundada y los taludes de la misma, en abril y octubre de 1998, respectivamente.

Estas imágenes sintetizan muchos de los problemas que ha acarreado la paralización de la explotación, la mayoría de los cuales, necesitan solución inmediata. Entre los de mayor impacto, a mi juicio, se pueden destacar los siguientes:

-Inestabilidad de los taludes de la corta, los cuales corren el peligro de derrumbarse. En el centro de la fotografía tomada en abril se puede ver claramente el inicio del derrumbe de varios niveles inferiores, y en la de octubre, seis meses después, el de los que había en la parte superior. Esta inestabilidad genera también diversos problemas relacionados con la geotecnia de la zona.

-Ruptura repentina del funcionamiento hidráulico que los alrededores de la mina y, por tanto, el acuífero, han mantenido durante años, consecuencia de las actividades de bombeo. Debido a esto la dinámica hidráulica del acuífero ha cambiado, afectando a la mayoría de las actividades que se venían realizando entorno al mismo, como el uso de sus recursos o la recarga artificial. Hoy por hoy, el IGME está realizando un modelo matemático actualizado para describir el nuevo funcionamiento hidráulico que se ha establecido tras la paralización de los bombeos.

-La relativa proximidad de Alquife a la explotación. La inestabilidad de los taludes de la Mina suponen un peligro potencial para la población y para las actividades agrícolas que se realizan entorno a la explotación.

-Alto es, también, el impacto paisajístico que supone la presencia de la corta y de la enorme escombrera.

-No menos importantes son las consecuencias socioeconómicas que supone la paralización de la actividad minera, para determinados sectores de nuestra comarca.



Fig. 7: Vista de la corta (Abril, 1998). Al fondo, Sierra Nevada.

Estos son algunos de los problemas existentes en la actualidad, sobre los que se deberá tratar y tomar decisiones inmediatas. En el caso de que se continuaran las tareas de explotación habría que tener en cuenta que el mineral no es inagotable, y aunque no fuera ahora de manera definitiva, alguna vez tendría que finalizar su extracción y los problemas, anteriormente expuestos, volverían a surgir.

Finalmente, ya sea ahora o dentro de unos años, cuando se terminen las tareas de explotación, las diferentes Administraciones deberán dilucidar soluciones alternativas e inteligentes a estos problemas de las minas de Alquife, foco minero que ha formado parte de nuestra vida económica y social, a lo largo del siglo que termina.



Fig. 8: Vista de la corta (Octubre, 1998).

-BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1983). «Hidrología Subterránea». Ediciones Omega, S.A.

DELGADO, S. y otros. (1983). «Problemática de los recursos de agua subterránea en la región de Guadix (Granada)», en: III Simposio de Hidrogeología. (pp. 173-179).

FUEYO, L. «La Compañía Andaluza de Minas-C.A.M.», en: Grandes explotaciones españolas. (pp. 20-40).

ITGE/Diputación de Granada. (1990). «Acuíferos detríticos. Depresiones intramontañas: Acuífero de Guadix», en: Atlas Hidrogeológico de la provincia de Granada.

ITGE. (1991). «Tecnología básica de la Recarga Artificial de Acuíferos», en: Serie/Lucha contra la contaminación. (pp. 37-45).

LOISY, P. y MEDINA, F. (1992). «Caso de minas del Marquesado (C.A.M.)». en: Jornadas sobre Tecnología del Agua en la Minería. ITGE.

-BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

BLEDA, J.M. (1991). «Las Minas de Alquife», en: Visitas e itinerarios didácticos de Guadix y Comarca. (pp. 69-76). CEP de Guadix. Seminario permanente de Ciencias Sociales. Ed. T.G. ARTE. Granada.

IGME. (1981). «Modelo matemático de la Depresión de Guadix» (Informe interno).

IGME. (1985). «Proyecto de optimización en el uso de los recursos hidráulicos de la Vega de Guadix, mediante bombeo y recarga artificial del acuífero. 1983-1984.» (Informe interno).

IGME-FAO. (1972). «Proyecto de utilización de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la zona de Guadix. AGL:SF/SPA 16, nº3. Informe técnico nº 3.»

LARA, A. (1995) «Comunicaciones y desarrollo económico. Ferrocarril y azúcar en la comarca de Guadix. Su repercusión socioeconómica (1850-1910)». Ed. Universidad de Granada.

TORRES RUIZ, J. (1980). «Los yacimientos de hierro de la comarca del Marquesado del Zenete: Alquife y las Piletas». Tesis Doctoral. Ed. Universidad de Granada.