

EL ACUIFERO DE LA VEGA DE GRANADA, SEGUN FUE DESCRITO EN LOS "PROYECTOS DE LA F.A.O." (1966-72)

A. Castillo¹, M. del Valle² y G. Perandrés³

- 1 Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Instituto del Agua de la Universidad de Granada*
- 2 Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Granada*
- 3 Instituto Tecnológico Geominero de España. Granada*

RESUMEN.- Con esta comunicación se pretende dar mayor divulgación, y rendir con ello un sincero homenaje, a la investigación hidrogeológica realizada por la FAO y el Gobierno Español entre los años 1966-72 en el acuífero de la Vega de Granada (en la "capa freática de la Vega", en terminología FAO). El origen de estas investigaciones fue el "*Proyecto de investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir*", llevado a cabo entre los años 1966-69, y publicado en 1970. Los prometedores resultados obtenidos en varias zonas de la cuenca aconsejaron la prolongación de las investigaciones en tres áreas piloto, una de las cuales fue la Vega de Granada; a principios de 1969 se decidió la continuación de los estudios con un nuevo Proyecto, titulado "*Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir; utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada*", publicado en 1972.

Estos Proyectos representaron el inicio de la investigación hidrogeológica del acuífero de la Vega de Granada, y, por tanto, supusieron un fuerte impulso en el conocimiento de la época sobre el mismo; aún hoy día, 30 años después, se siguen utilizando como referencia habitual los mapas de cota del substrato impermeable, isotransmisividades e isocoeeficientes de almacenamiento obtenidos en aquellos primeros estudios. Especial interés tienen, por lo que representan de constancia histórica referencial, tanto el mapa hidrogeológico de Trac (1968a), como los primeros mapas hidroquímicos obtenidos sobre el acuífero (1967-69).

Palabras clave: hidrogeología histórica, FAO, acuífero de la Vega de Granada

INTRODUCCION

En 1966, el Gobierno Español, a través de sus Ministerios de Industria, Obras Públicas y Agricultura, y en colaboración con el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, a través de la FAO, emprendió un Proyecto de investigaciones hidrogeológicas, denominado *Proyecto del Guadalquivir* (SPA 9) (figura 1). A este siguió inmediatamente un segundo Proyecto, titulado *Proyecto piloto de utilización de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir; utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada* (SPA 16). Durante el mismo periodo, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir revisaba, para el mismo área de la Vega de Granada, su plan de aguas superficiales de 1964, encargando a empresas privadas la preparación de los estudios de factibilidad, que fueron presentados al final de 1970 y en julio

de 1971. Ello representó un gran revulsivo en el conocimiento de las aguas en la Vega de Granada, que dispuso de dos planes distintos, uno para las aguas subterráneas y otro para las superficiales.



PROYECTO DEL GUADALQUIVIR



Figura 1.- Encabezado del Proyecto del Guadalquivir, con los anagramas de la FAO y del Gobierno Español

Pues bien, el presente artículo es básicamente un recordatorio, extractado y ordenado, de lo publicado por la FAO y el Gobierno Español a principio de los años 70 sobre las aguas subterráneas del acuífero de la Vega de Granada (figura 2). Los autores se han limitado a hacer la correspondiente labor de síntesis, sin apenas añadir comentarios, que habrían distorsionado y distraído al lector sobre el verdadero objetivo del artículo, considerado como la divulgación y reconocimiento de las referidas investigaciones. Muy interesante fue la información complementaria aportada por los autores de este trabajo participantes en los referidos proyectos: Sres. D. Manuel del Valle y D. Gabriel Perandrés.

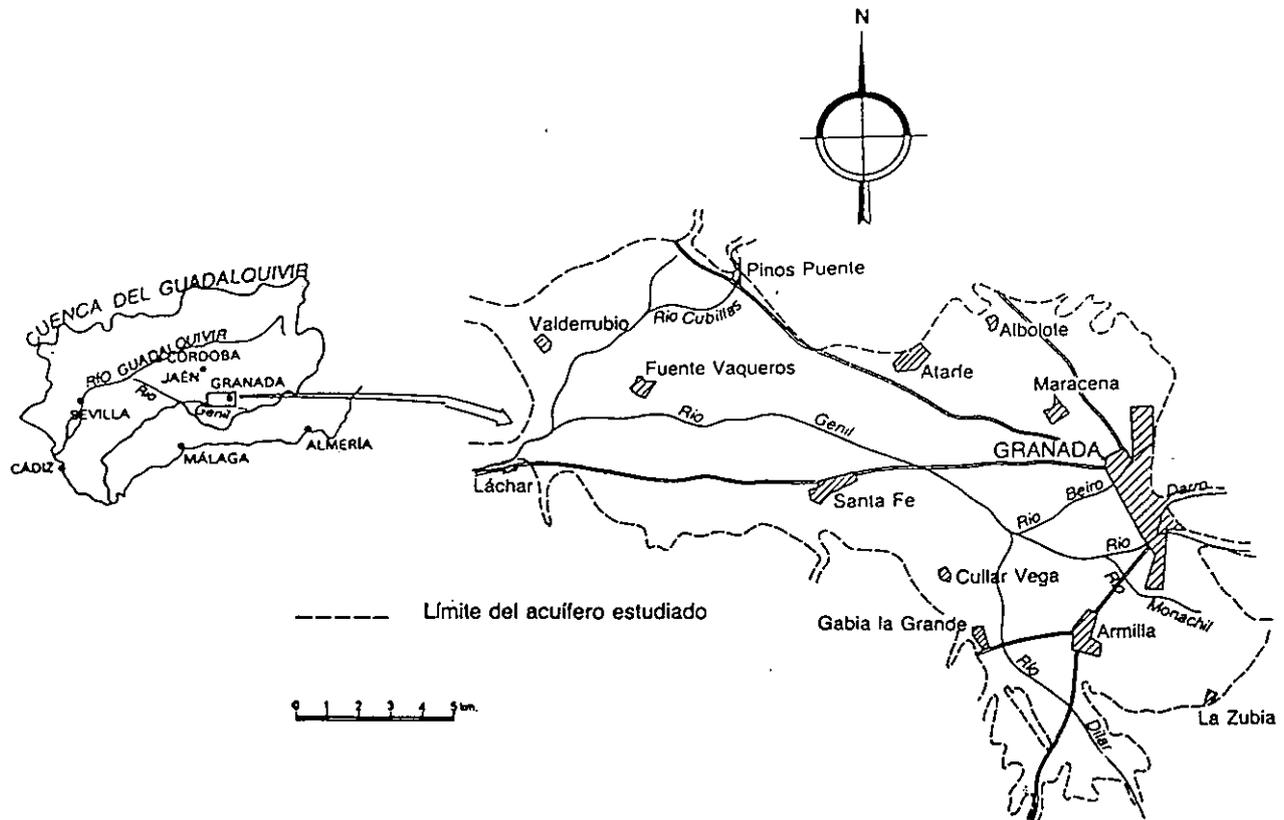


Figura 2.- Localización geográfica del acuífero de la Vega de Granada

En ciertas ocasiones se creyó de suma oportunidad acudir a la reproducción literal de lo publicado, dado el valor intrínseco de las descripciones y datos aportados. Las

reproducciones literales aparecen impresas en letra itálica. En aras al estricto respeto por el texto original, no se han realizado alteraciones de redacción ni de puntuación, aunque en algunos casos hubieran estado indicadas.

Los ejemplares originales de los proyectos citados son relativamente escasos; en Granada se conservan sendos ejemplares en las delegaciones del ITGE y de la CHG. Los mapas expuestos no pudieron ser obtenidos de los originales, dado su excesivo tamaño y la deficiente calidad que la reproducción hubiera tenido, y, en algún caso, porque no se realizaron hasta mucho después; en todos los casos fueron tomados de la Tesis Doctoral de Castillo (1986).

EL ACUIFERO DE LA VEGA DE GRANADA EN EL PRIMER PROYECTO DE LA FAO Y EL GOBIERNO ESPAÑOL (1966-69)

Introducción

El Proyecto a que hace referencia el presente apartado (FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1970) fue preparado para el Gobierno del Estado Español por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, en su carácter de Organismo Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; se publicó de forma restringida en Roma en 1970. El Proyecto tuvo por título *Investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir*. El objetivo del mismo era efectuar investigaciones hidrogeológicas en las cuencas del Guadalquivir, Guadalete y la región baja de Huelva. Los trabajos de campo se llevaron a cabo principalmente de marzo de 1966 a diciembre de 1967, sobre una superficie de 53.000 km² (si bien se continuó con la toma de observaciones hasta principios de 1969); el año 1968 estuvo consagrado a la síntesis cartográfica e hidrogeológica, publicándose finalmente los resultados en 1970.

Entre las zonas acuíferas estudiadas figuró la *Capa freática de la Vega de Granada*, tratada en el epígrafe 4.11 de la memoria original (pág. 90 a 105). Los trabajos realizados partieron casi de cero, y permitieron hacer aportaciones originales sobre aspectos básicos, como el inventario de puntos de agua (más de 400), su nivelación topográfica, trazado de isopiezas (con más de 250 puntos de nivel), cartografía hidrogeológica, establecimiento de las redes periódicas de piezometría, foronomía y calidad, y estimación preliminar del balance hídrico, entre otras tareas e investigaciones más particulares.

Investigaciones hidrogeológicas

Como documento más representativo habría que referirse al mapa hidrogeológico del acuífero a escala 1:25.000 (Trac, 1968a; figura 3), en el que se volcó el inventario de puntos de agua realizado y se plasmó el estado de las curvas isopiezas a fecha de noviembre de 1967 (también se aportó un pequeño mapa de iso-residuos secos de las aguas del acuífero). La red de observaciones de nivel contó con más de 250 puntos, y de ella se hicieron dos levantamientos piezométricos, uno el comentado para noviembre de 1967, y el otro con medidas de marzo a julio de 1966 y de septiembre de 1966 a febrero de 1967. Del análisis de estos, y en especial del de noviembre de 1967, se hicieron las siguientes observaciones de interés: *La capa se halla muy cerca del suelo en toda la parte situada al oeste de una*

línea Santa Fe-Maracena. A partir de esta línea hacia el sur la profundidad del nivel del agua aumenta rápidamente a consecuencia directa de la subida topográfica: en Armilla el agua está a 60 m y en la Zubia está a más de 100 m. La planimetría de las superficies entre curvas de igual profundidad han dado los resultados siguientes: sobre una superficie total de 200 km² de la capa en estiaje, 25% está a menos de 3 m del suelo, 25% está entre 3 m y 10 m, 15% entre 10 y 20 m y 20% tiene el nivel a más de 60 m de profundidad.

En su conjunto la capa corre desde el suroeste, donde llega la mayor parte de la alimentación, hacia el oeste-noroeste;...el borde norte y noroeste...son los sectores donde la capa tiene más fuerte pendiente hidráulica con un valor medio del 15 por 1000. Ello es debido a la mala permeabilidad del acuífero. La pendiente media en el centro de la Vega es de 5 por 1000, con dos zonas de pendiente particularmente débil: la zona comprendida entre Fuente Vaqueros y Valderrubio, a lo largo del río Cubillas, lo cual constituye un eje de drenaje, con 3 por 1000, y la zona de Purchil-Ambroz donde la pendiente es igual a 2 por 1000 bajándose hasta 1,2 por 1000 entre Churriana la Vega y Armilla. Hacia el sur, entre Armilla y la Zubia, la falta de puntos acuíferos no permite trazar la superficie de la capa y calcular su pendiente, pero por extrapolación...permite estimarla en unos 2 ó 4 por 1000.

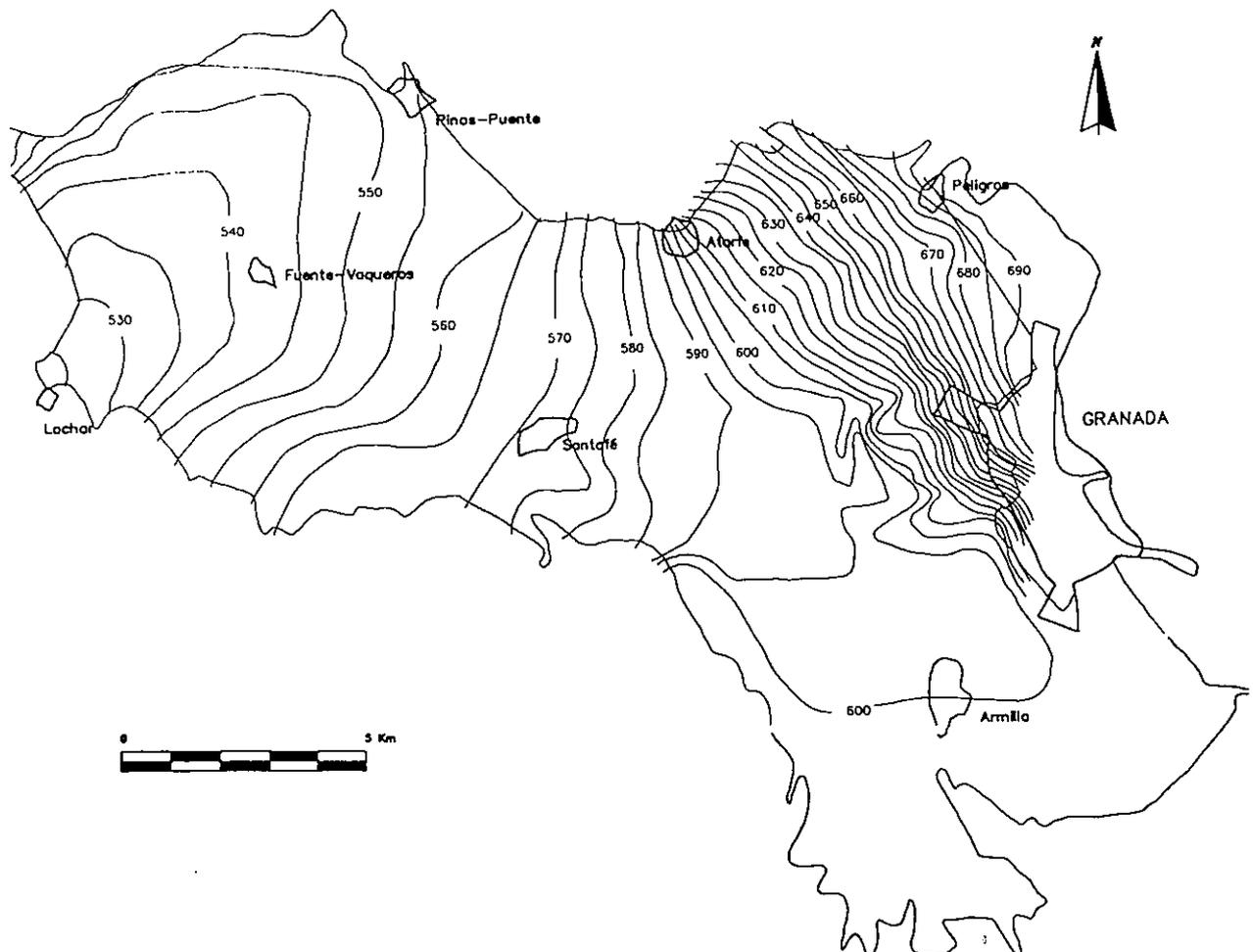


Figura 3.- Mapa piezométrico (en m s.n.m.) del acuífero de la Vega de Granada en noviembre de 1967 (a partir del original de Trac, 1968a; en Castillo, 1994)

Aparte de las campañas de piezometría general, se estableció una red de piezometría

mensual de 15 pozos testigo controlados desde septiembre de 1966, completada con 22 más en noviembre de 1967. Para ese fin se construyeron expresamente cuatro sondeos piezométricos en la zona oriental del acuífero, a la que apenas se tenía acceso por obras de captación. De los piezómetros realizados, los denominados Zubia 1 y 2, y Gójar 1 y 2, sólo se conserva hoy el Zubia 1, conocido actualmente como el de la Marquesa, seco por primera vez en 1996 desde que se inició su registro en 1967.

Las instituciones que tomaron el relevo de la investigación hidrogeológica (IGME, después ITGE, CHG, Universidad de Granada o CSIC), incorporaron, en su mayor parte, la primitiva red piezométrica a sus redes de observación; así, de los primeros 37 piezómetros que comenzaron a controlarse allá por los años 1966-67, hoy siguen midiéndose los del C^o de Purchil, cortijo de Trevijano, Casas Nuevas, Valderrubio y cortijo del Alitaje.

Las observaciones de evolución de nivel obtenidas por la citada red piezométrica permitieron efectuar las siguientes consideraciones de interés: *El régimen de la capa está vigilado por una red de control mensual de 15 pozos testigo desde septiembre 1966, completada en noviembre 1967 por otros 22. Esta observación relativamente corta todavía, permite sacar los datos siguientes:*

- *las alturas máximas de los niveles en los pozos corresponden en general al final de la primavera (abril-mayo) y a veces al principio (febrero-marzo) mientras que las mínimas ocurren entre agosto y noviembre.*
- *las mayores variaciones del nivel de la capa están en relación con una causa indirecta, o sea, no con la infiltración directa de las lluvias que caen en la Vega, sino con la de las aguas de escorrentía de la cuenca del Genil (2900 km² a Trasmulas), derivadas permanentemente por las numerosas acequias que constituyen una especie de red de recarga artificial.*

El seguimiento mensual del acuífero contemplaba también la realización de aforos en las principales surgencias del sistema. En concreto, se aforaban los manantiales de Fuente de La Reina, Isabel La Católica, Canal de San José, Canal de San Juan, Canal de Aragón, Ojos de Viana, Madres del Rao (de Santafe y Atarfe), San Jorge, La Laguna, Berrales, Fontana y El Martinete. Todos ellos, a excepción del Martinete, permanecen secos en la actualidad; en realidad, su agotamiento generalizado se produjo en el estiaje de 1992, coincidiendo con un periodo de sequía, con la regulación de las aguas del río Genil por el embalse de Canales y con el continuo incremento de los bombeos del acuífero (Castillo, 1994). También se efectuaron ensayos de bombeo de larga duración (de 48 a 72 horas); en concreto, se ejecutaron once pruebas en el Cuaternario resistente, que dieron valores de transmisividad comprendidos entre $0,9 \times 10^{-2}$ y 10×10^{-2} m²/s. El valor de transmisividad medio fue de 5×10^{-2} m²/s, sobrepasando en algunos sectores 10^{-1} m²/s. Se hicieron solamente dos pruebas en el cuaternario medio y antiguo, que dieron un valor medio de transmisividad de $0,5 \times 10^{-2}$ m²/s. Por falta de piezómetro de observación, en la mayoría de los casos, no se pudo evaluar el coeficiente de almacenamiento; únicamente se dispuso de dicha información en tres pruebas, que arrojaron valores de $S = 2,5, 4$ y 5% . Dichos valores se consideraron bajos por la insuficiente depresión alcanzada (sobre materiales más limosos), por lo que se aventuró que los valores de S podrían haber estado comprendidos del 5 al 10%

Investigaciones hidroquímicas

Como complemento a las investigaciones hidrogeológicas realizadas, se efectuó un estudio físico-químico de las aguas. En concreto, se realizaron 257 análisis entre los años

1966-68; aparte de alguna campaña más extensa, se estableció una red de calidad de unos 30 puntos, con control bianual. Al igual que se comentó para la red piezométrica y foronómica, en la medida de lo posible se ha seguido controlando esta red de calidad. De la red original aún se controlan por ciertos organismos e investigadores los puntos de Sierra Elvira, cortijo de Cobos, cortijo del Alitaje, El Martinete, "Central Lechera", bodegas Espinosa, destilerías García de la Fuente, El Serrallo y los Rebites; en la mayoría de los casos, las muestras no se toman ya sobre las captaciones primitivas, sino sobre las reprofundizadas o realizadas junto a las antiguas. Los primeros análisis eran remitidos al laboratorio del IGME en Madrid y a partir de ellos se llegaron a efectuar las siguientes observaciones: *Las aguas de la capa tienen una gama de concentraciones relativamente estrecha, de 180 mg/l a 2710 mg/l. El análisis cuantitativo de la repartición de las concentraciones por planimetría de las zonas "inter-isoconas" del mapa de los residuos secos, proporcionan los resultados siguientes: más de 35% de la superficie total de la capa (200 km²) tiene una concentración inferior a 500 mg/l, más de 80% embarcan las zonas inferiores a 1000 mg/l, y casi 95% se sitúa a menos de 1500 mg/l. Se nota que la gran zona de concentración inferior a 500 mg/l se extiende desde la Zubia hasta Fuente Vaqueros a lo largo del valle del río Genil... En el sector noreste la transmisividad baja del cuaternario medio y antiguo implica un contacto prolongado del agua de la capa con el terreno y una mayor disolución de sales, las concentraciones sobrepasan así los 1500 mg/l. Las demás zonas de fuertes concentraciones se explican por la implantación de aguas de regadío procedentes de un arroyo salado (parte este Chanchinar), por alimentación lateral a partir de una capa profunda cargada (pie de Sierra Elvira), o por presencia de materiales de origen triásico en el acuífero (zona de Láchar, Pinos Puente).*

Las aguas con residuos secos inferiores a 500 mg/l tienen una facies bicarbonatada cálcico-magnésica normal de las aguas dulces. A medida que aumenta la concentración, pasan a la facies sulfatada cálcico-magnésica, particularmente en la parte noreste de la capa. En la zona de Fuente Vaqueros la fuerte concentración de cloruro sódico denota una influencia de la evaporación. En el mapa hidrogeológico de la Vega de Granada de Quang Trac (1968) figura un pequeño mapa de iso-residuos secos, para el que no se precisa la fecha de la toma de muestras. En dicho mapa ya se observaba la existencia de una banda de baja salinidad (inferior a 500 mg/l), aproximadamente coincidente con el curso del río Genil, entre las localidades de la Zubia y Fuente Vaqueros; del mismo modo, se observan cuatro zonas relativamente salinas, ligadas a lixiviados evaporíticos de los materiales del contorno, localizadas al sur de Chauchina, borde de Sierra Elvira, Fuente Vaqueros-Cijuela y Láchar.

Balance hídrico

En el informe se reconoce expresamente el carácter preliminar del balance hídrico realizado, con datos escasos y fragmentados. Sin embargo, se consideró útil su estimación, en la medida que permitía disponer de los órdenes de magnitud de los recursos renovables del sistema, junto al de las diferentes partidas de alimentación y descarga.

El balance que se presenta seguidamente fue establecido en marzo de 1967, y fue dado a conocer por primera vez por Trac (1968b). Se comenzó describiendo la estimación de las diferentes partidas de alimentación. Con respecto a la infiltración eficaz de las aguas de precipitación, y tras aplicar el método de Thornwaite, se estimó una recarga de 6 hm³/año. Otra de las partidas de alimentación contemplada fue la infiltración de las aguas superficiales, la mayor parte de ellas procedentes del río Genil y de sus afluentes los ríos

Monachil y Dílar. Por falta completa de información de caudales y de porcentajes de infiltración, se consideraron unas entradas superficiales de 300 a 400 hm³/año, de los que, a su vez, se estimó factible una infiltración de 45 a 80 hm³/año. La contabilización de recursos alcanzó también a la consideración de la infiltración de las aguas importadas desde el canal de Deifontes para el regadío de la zona de Albolote-Maracena; a partir de unos recursos de 30 hm³/año, y tras considerar un porcentaje de infiltración del 20%, se estimó una recarga adicional de 6 hm³/año. Con respecto a la alimentación procedente de las aguas subterráneas adyacentes o profundas, se admitió, nuevamente, la dificultad de su evaluación. Al respecto son de interés los siguientes comentarios: *Estamos seguros de que existe un derrame de la capa profunda de agua caliente de Sierra Elvira en la capa freática por la anomalía de las temperaturas en los pozos que se encuentran alrededor de la fuente de los baños de Sierra Elvira. En el sur, cerca del río Dílar, un contacto directo de la formación de la Zubia con las dolomías afectadas de fallas, hace suponer una posible alimentación lateral.* Para esta partida de alimentación oculta se ofreció una aportación mínima de 6 hm³/año.

La evaluación de las salidas se inicia por la partida correspondiente a las emergencias altas del acuífero. Tras reconocer, otra vez, la precariedad de los datos de aforo disponibles, se estimó una descarga comprendida entre 15 y 30 hm³/año, admitiendo su posible infravaloración. Mayor precisión atribuyen a la estimación de los bombeos; tras medir las extracciones de 260 pozos equipados, se llegó a la conclusión de que los caudales detraídos del acuífero estaban comprendidos entre 10 y 15 hm³/año. Por último, se consideraron las emergencias de salida del sistema, fundamentalmente a través del río Genil; tomando como dato de partida el caudal de base del río Genil en Trasmulas en septiembre de 1967 (evaluado de 1.000 a 1.200 l/s), y tras aplicar un factor de corrección para su ponderación anual, se estimó una descarga comprendida entre 40 y 60 hm³/año. A fin de cerrar el balance, se hizo referencia a la variación de la reserva, considerada despreciable a raíz de los datos piezométricos y de las encuestas de campo disponibles.

Como resultado del balance independiente de entradas y salidas realizado, se obtuvieron valores de recursos muy semejantes, comprendidos entre 70 y 100 hm³/año. Las grandes cifras obtenidas permitían, por primera vez, identificar la principal fuente de alimentación del sistema, la recarga a partir de aguas superficiales y de regadío (cerca del 75% de los recursos totales); del mismo modo, con unas extracciones por bombeo mínimas (del orden de 10 hm³/año), la descarga mayoritaria se producía por emergencias, unas localizadas en el sector central del acuífero, y otras en el cierre occidental del mismo. Como síntesis de todos los cálculos realizados se expuso el correspondiente cuadro resumen del balance, al que siguió un juicio crítico acerca de la diferente precisión de las diferentes partidas de entradas y salidas estimadas.

EL ACUIFERO DE LA VEGA DE GRANADA EN EL SEGUNDO PROYECTO DE LA FAO Y EL GOBIERNO ESPAÑOL (1969-72)

Introducción

Los resultados obtenidos por el Proyecto de *Investigaciones hidrogeológicas en la cuenca del Guadalquivir*, llevado a cabo entre los años 1966-69 (FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1970), indujeron, a principios de 1969, a que se continuaran los estudios en un

nuevo Proyecto. Los objetivos principales del mismo consistieron básicamente en hacer una investigación cuantitativa detallada de los recursos hídricos subterráneos; en estudiar los problemas agrícolas y socioeconómicos; preparar los anteproyectos de explotación de las aguas subterráneas en las áreas más favorables; y cifrar las inversiones necesarias y estudiar su rentabilidad. Así pues, los objetivos de este segundo Proyecto estuvieron especialmente enfocados en llevar a la práctica una explotación racional de las aguas subterráneas para regadío. Las aportaciones más notables tuvieron que ver con el estudio de la agricultura de la Vega (incluidas las comunidades de regantes), la propuesta de soluciones de optimización de cultivos y regadío, y la evaluación económica de rentabilidades.

La consecución del objetivo de mejora del regadío en la Vega de Granada aconsejó ampliar los límites de la zona de estudio hidrogeológico a toda la cuenca hidrográfica del Alto Genil (aguas vertientes a Trasmulas, con 2.920 km² de extensión), lo que consumió importantísimos esfuerzos hidrogeológicos. De este modo, y sin considerar a la Vega de Granada, se cartografiaron 12 hojas a 1:50.000, incluidas entera o parcialmente en la cuenca del Alto Genil, las cuales permitieron definir los diferentes sistemas acuíferos; se inventariaron 804 puntos de agua; se realizaron 3 grandes perfiles de prospección geofísica eléctrica, con 46 SEV y se perforaron 36 sondeos de investigación, todos ellos enfocados a la delimitación geométrica de los sistemas acuíferos carbonatados; y se realizaron tres sondeos de explotación, con un total de 559 m perforados.

Por lo que al conocimiento del acuífero de la Vega se refiere, este segundo Proyecto, partiendo de la información previa obtenida, permitió elaborar una serie de mapas de las características geométricas, hidráulicas e hidroquímicas de suma utilidad. Los aspectos más puramente hidrogeológicos fueron tratados en el epígrafe 2.5, denominado *El sistema acuífero cuaternario de la Vega de Granada* (pág. 108 a 156).

Investigaciones hidrogeológicas

Al tomarse el relevo de la investigación precedente, se continúa con los controles piezométrico, foronómico y de calidad ya establecidos. Pese a que los gráficos de evolución publicados llegan hasta finales de 1970, en el texto no se vierten nuevas consideraciones sobre estos aspectos. La búsqueda de nuevos puntos de control foronómico es decisiva para resaltar la importancia de Puente Castilla, en el río Genil, como punto estratégico de aforo de la descarga de la cuenca del Alto Genil, incluida la del sistema acuífero de la Vega de Granada; como fruto de la correspondiente propuesta, finalmente se construye una estación de aforos, a cargo de la Comisaría de Aguas del Guadalquivir, la cual empieza a medir en junio de 1969; en base al primer hidrograma del año 1969-70 se hacen algunas consideraciones preliminares, obteniéndose para aquél año un caudal medio de 21,25 m³/s. Asimismo, en junio de 1969 se realiza un nuevo levantamiento piezométrico del acuífero, utilizado como complemento a una extensa campaña hidroquímica, comentada más adelante.

Con un enfoque más práctico, en esta época se diseñan y construyen varios sondeos de gran diámetro, con la finalidad de estimar la potencialidad reguladora del embalse subterráneo, que, a raíz de las pruebas realizadas, se considera muy importante. De esa época datan, entre otros, los sondeos de Arabuleila, C^o Purchil, La Zubia (abastecimiento), Cúllar Vega (sondeo de la recarga), Casas Nuevas (1, 2 y 3) y Valderrubio (1, 2 y 3). En todos ellos se realizan ensayos de bombeo, a fin de precisar las características hidráulicas del acuífero. Se continúan también las campañas de prospección geofísica eléctrica, como medio de acceder al conocimiento geométrico del acuífero. Como estudio más particular se realiza

una experiencia controlada de recarga artificial (por inyección) en Cúllar Vega, posiblemente una de las primeras realizadas en España, cuyos resultados no responden a las expectativas creadas. Como aspecto también de vanguardia para la época, se hace una aplicación de los modelos de análisis de sistemas al problema de la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en la Vega de Granada (Alvarez *et al.*, 1971; FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1972).

De las principales labores de campo reseñadas, merece destacarse la aportación que representa, para el conocimiento del acuífero, la realización de las campañas de prospección geofísica (figura 4). En concreto, después de efectuar un primer reconocimiento general con 10 SEV, dispuestos a lo largo de una línea que une Pinos Puente y la Zubia, se realizan dos campañas de detalle. La primera, con 37 SEV, se reparte a lo largo de toda la Vega; en la segunda, con 73 SEV más, se termina de completar el despliegue superficial.

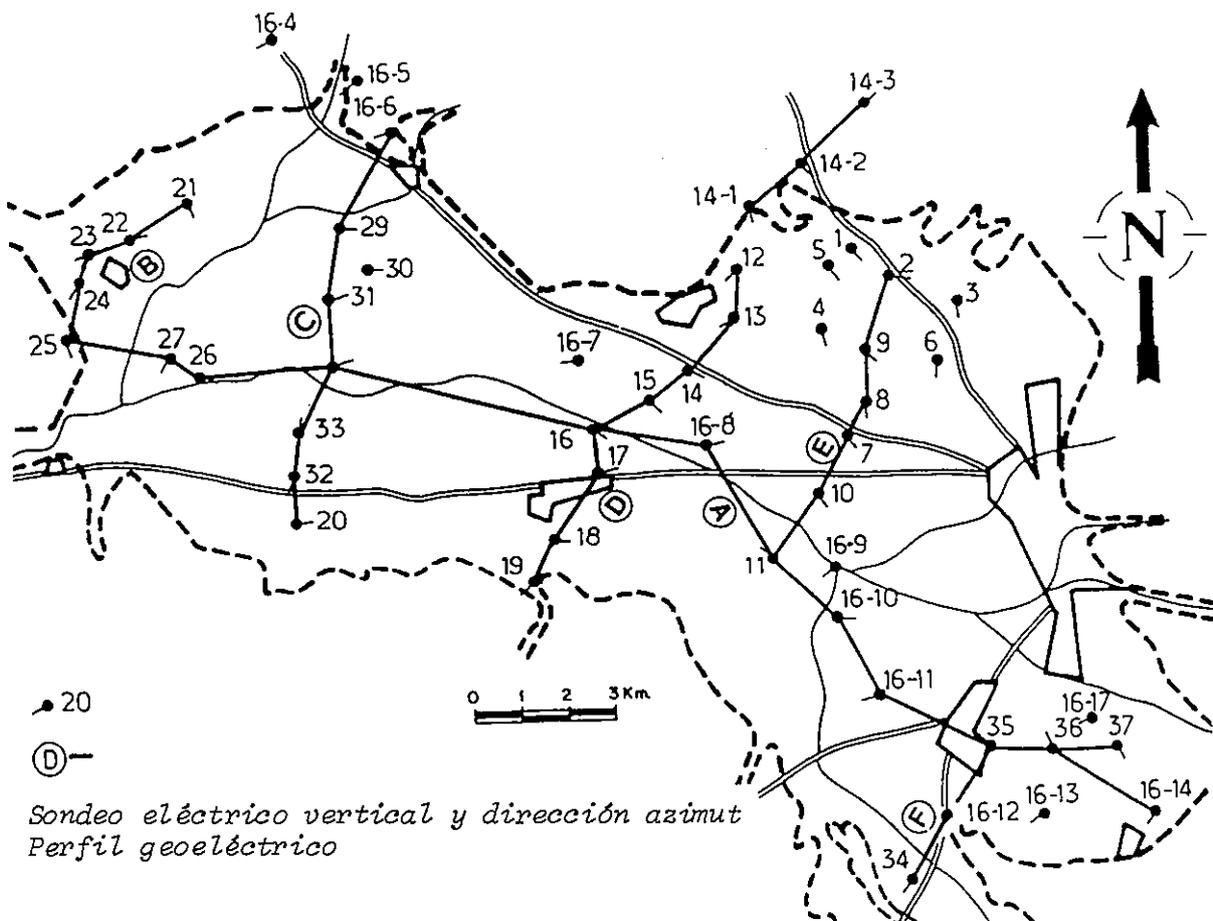


Figura 4.- Mapa de localización de los SEV realizados a finales de los años 60 en la Vega de Granada (a partir del original de FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1972; en Castillo, 1986)

La información geoelectrica obtenida permitió diferenciar tres subunidades hidrogeológicas, una denominada Cuaternario reciente (o resistente), otra Cuaternario medio y antiguo, y la última correspondiente a la formación Zubia, de comportamiento geoelectrico similar a la del Cuaternario resistente. Del Cuaternario reciente se dice: *Es muy detrítico, está compuesto de arenas gruesas, gravas y cantos que ocupan toda la parte central del embalse a lo largo del valle del Genil desde la Zubia hasta Fuente Vaqueros.* A esta

formación...se le ha dado el nombre de cuaternario resistente porque tiene una resistividad verdadera que se sitúa entre los 120 y 400 ohm m. El cuaternario resistente constituye el cuerpo del embalse por su importancia tanto en extensión superficial, en potencia, como en permeabilidad.

Con los 120 SEV disponibles se realizan varios perfiles geoelectricos, en los que se detalla, siempre que es posible, la cota de muro del Cuaternario. La integración de todos los perfiles realizados permite elaborar el correspondiente mapa del fondo impermeable del Cuaternario resistente (figura 5). Con ello, se dispuso de la posibilidad de realizar también el mapa de isoespesores saturados, tomando como base el mapa piezométrico de junio de 1969. Al fin, y aplicando un coeficiente de almacenamiento efectivo del 6%, se obtiene un valor de las reservas hídricas de 1.750 hm³, de los que se contemplan como recuperables sólo 1.000 hm³.

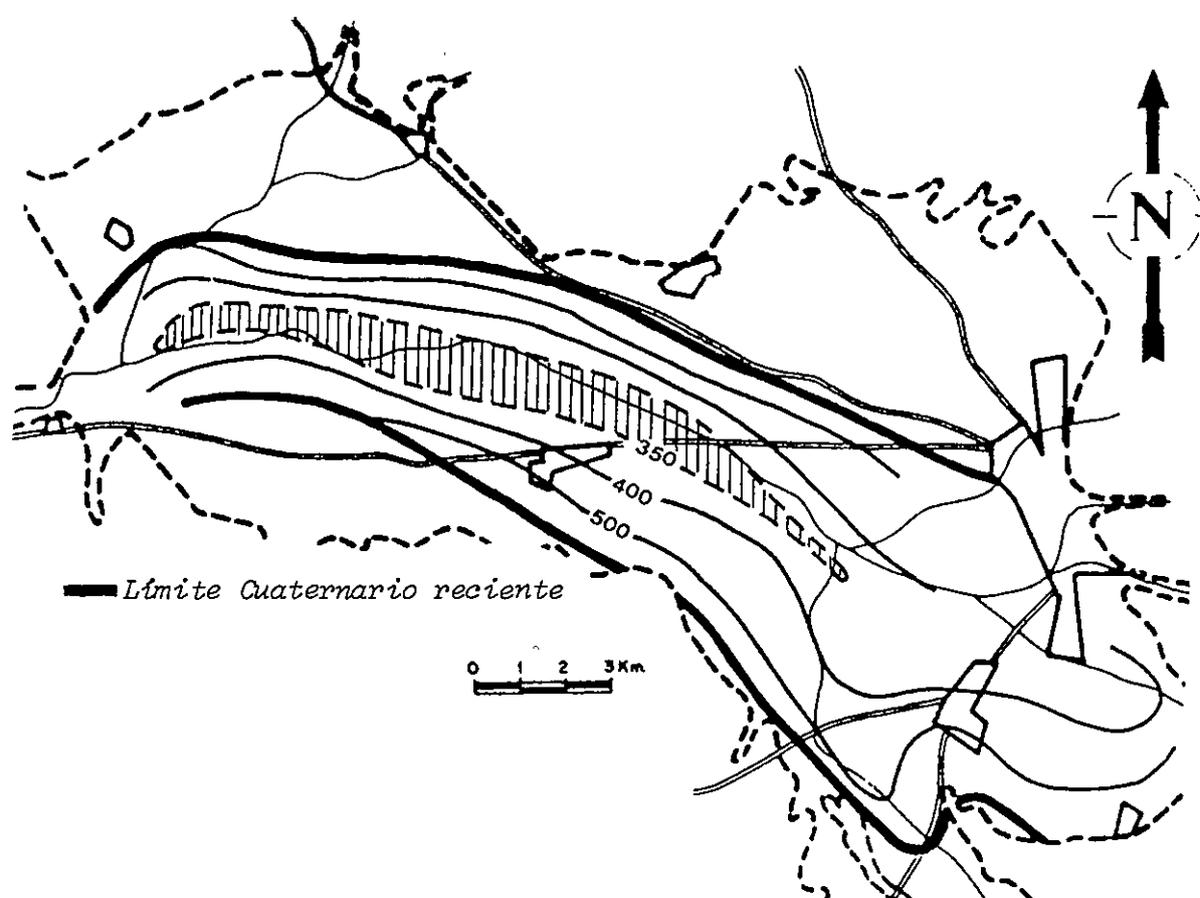


Figura 5.- Mapa de cota de muro (en m s.n.m.) del Cuaternario reciente de la Vega de Granada (a partir del original de FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1972; en Castillo, 1986)

Otra de las aportaciones principales corresponde a la elaboración del mapa de transmisividades. A partir de la disponibilidad de 23 ensayos de bombeo de larga duración (11 obtenidos en el Proyecto anterior), siguiendo el método de Theis-Jacob o el de Cazenove, se hacen las siguientes observaciones: Para los terrenos correspondientes al cuaternario resistente la transmisividad obtenida en los pozos privados que penetran muy parcialmente en el acuífero, oscila entre $0,9 \times 10^{-2}$ y $10 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, con un valor medio de $5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Estos valores han sido previamente corregidos teniendo en cuenta la parcialidad de penetración

del pozo. En los sondeos realizados por el Proyecto que recortan el acuífero sobre un espesor igual o superior a 50 m la transmisividad ha sobrepasado el valor de $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$. La formación de la Zubia tiene una transmisividad del mismo orden que la del cuaternario resistente...Hacia los bordes y alejándose del relleno de cuaternario resistente, simultáneamente con la disminución de su espesor, la permeabilidad del acuífero constituido por el cuaternario medio y antiguo baja sensiblemente. La transmisividad puede variar así de $5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Zona de Casa Nueva) hasta $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Zonas de Valderrubio y Albolote-Maracena).

Para los coeficientes de almacenamiento no se ofrecen resultados muy diferentes a los ya citados anteriormente para el primer Proyecto. La contribución más relevante consiste en llegar a establecer una porosidad efectiva media del 6%, tras estimar una porosidad total del 11% por la fórmula de Archie y una capacidad de retención específica del 5% por la curva de Eckis.

Finalmente, los resultados de transmisividad y coeficientes de almacenamiento obtenidos, correlacionados, fundamentalmente, con información geoelectrónica, permiten elaborar los correspondientes mapas de isovalores de transmisividad (figura 6) y del coeficiente de almacenamiento, para los que se da el calificativo de esquemas.

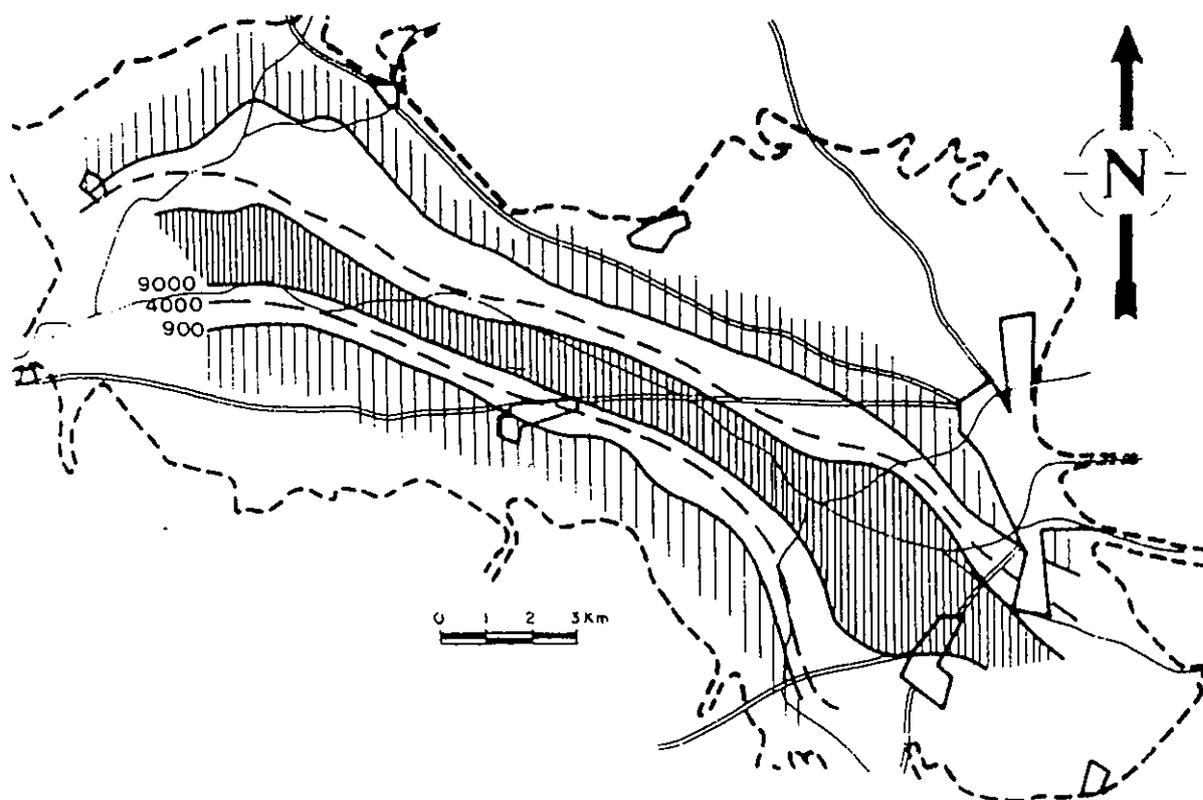


Figura 6.- Mapa de isotransmisividades (en $\text{m}^2/\text{día}$) del acuífero de la Vega de Granada (a partir del original de FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1972; en Castillo, 1986)

Investigaciones hidroquímicas

Entre los años 1969-72 se realizaron un total de 240 análisis de aguas subterráneas de la Vega de Granada, desglosados en las siguientes campañas: 129 en junio de 1969, 17 en febrero de 1970, 18 en abril de 1970 y 76 en febrero de 1972. Los análisis fueron

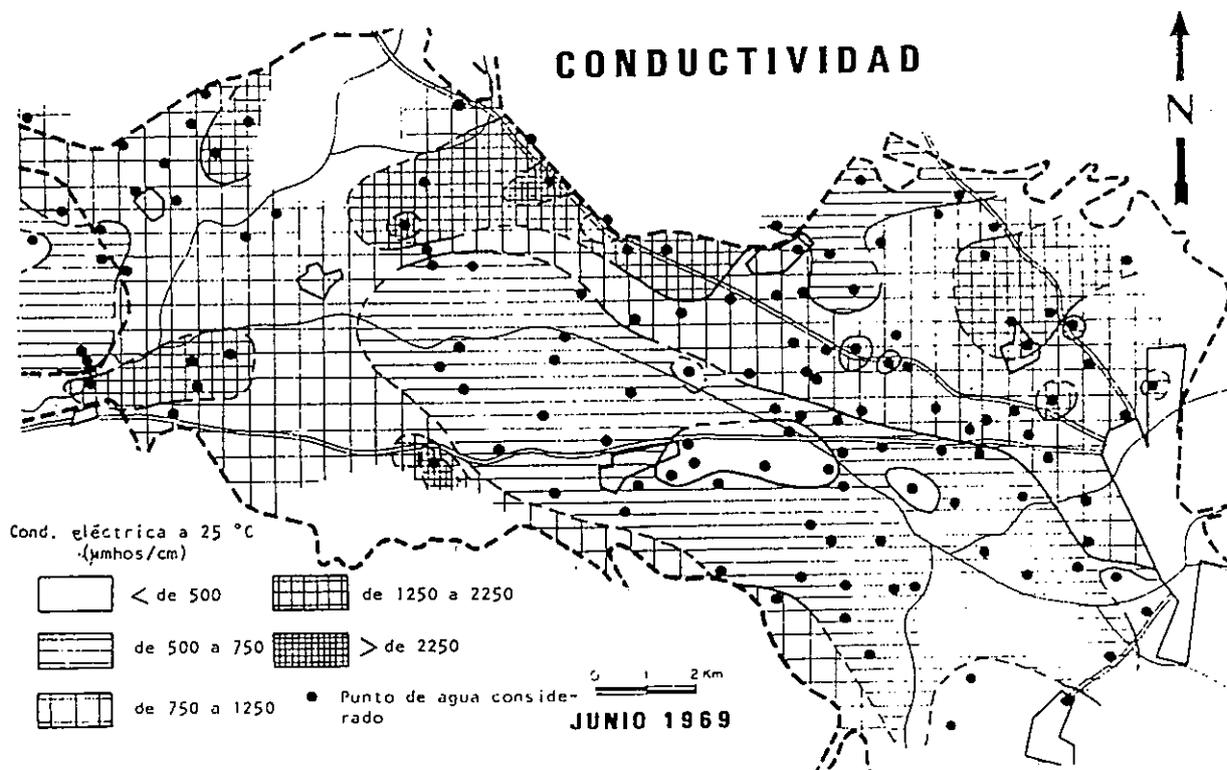


Figura 8.- Mapa de isoconductividades, en junio de 1969, para el acuífero de la Vega de Granada (elaboración propia a partir de los datos originales de FAO-GOBIERNO ESPAÑOL, 1972; en Castillo, 1986)

Balance hídrico

Este segundo Proyecto no aporta información nueva sobre el balance hídrico que ya fue expuesto con anterioridad, y que, como se recordará, fue establecido en marzo de 1967.

AGRADECIMIENTOS

Los ejemplares de los Proyectos de la FAO consultados fueron cedidos por D. Manuel del Valle y D. Gabriel Perandrés, participantes en los mismos. A ellos se debe también la valiosa información verbal recogida en el presente artículo.

REFERENCIAS

- Alvarez, C. *et al.* (1971). Aplicación de los modelos de análisis de sistemas al problema de la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en la Vega de Granada. *Seminario sobre las aguas subterráneas*. 33 pág. Granada
- Castillo, A. (1986). *Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada*. Serv. Publ. Univ. Granada, en coed. IGME. 658 pág. Granada

- Castillo, A. (1994). *Caracterización de los recursos y reservas del sistema hídrico de la Vega de Granada. Consideraciones sobre la calidad de las aguas*. Inf. restringido GIRSA. 150 pág. Granada
- Castillo, A. (1995). El embalse subterráneo de la Vega de Granada, uno de los más importantes de Andalucía. *Tierra y Tecnología*, 9: 37-42
- FAO-GOBIERNO ESPAÑOL (1970). *Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalquivir*. Informe técnico nº 1; AGL: SF/SPA 9. 115 pág. Roma
- FAO-GOBIERNO ESPAÑOL (1972). *Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir, España. Utilización de las aguas subterráneas para la mejora del regadío en la Vega de Granada*. Informe técnico nº 2; AGL: SF/SPA 16. 218 pág. Madrid
- Trac, N.Q. (1968a). *Mapa hidrogeológico de la Vega de Granada (1:25.000)*. FAO/IGME. Madrid
- Trac, N.Q. (1968b). Ensayo de establecimiento del balance de la capa freática de la Vega de Granada. *Seminario de Hidrogeología*. IGME-FAO. 62-75