

CONTENIDOS DE LA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

Por V. Fabregat Ventura (*)

R E S U M E N

Los mapas hidrogeológicos contienen información sobre aguas subterráneas y las formaciones geológicas que la albergan. Los elementos representados en los mapas son complejos ya que pueden clasificarse según diferentes criterios que complican su representación. La Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) propuso para unificar criterios una leyenda de los contenidos a incluir en tres tipos de mapas: generales y especiales; sistemas acuíferos y flujo subterráneo; y vulnerabilidad de acuíferos. Los mapas hidrogeológicos publicados por el ITGE se adaptan parcialmente a esta propuesta de leyenda, incluyendo la información tres tipos de documento: una hoja con el Mapa principal, leyenda, cortes hidrogeológicos representativos y mapas complementarios; una hoja con mapas auxiliares, gráficos y diagramas de niveles piezométricos y de calidad química; y una Memoria resumen sobre el conjunto de la información contemplada en la hoja.

Palabras clave: Mapas hidrogeológicos, Cartografía hidrogeológica.

A B S T R A C T

Hydrogeological maps content information on groundwater and geological bodies, the elements represented on maps are complex since they can be classified according to different criteria. The International Association of Hydrogeologists (IAH) proposed a standard legend in order to represent three different types: general and special; aquifers and groundwater flow systems; and groundwater vulnerability maps. The hydrogeological maps published by the ITGE are partially adapted to this legend proposal, including three kinds of documents: first the main map with its legend, representative hydrogeological cross-sections and complementary maps. Secondly auxiliary maps with graphics and diagrams related to groundwater table levels and water quality. Finally a report includes the main hydrogeological information.

Key words: Hydrogeological maps, Hydrogeological mapping

INTRODUCCIÓN

Los mapas hidrogeológicos dentro de los mapas temáticos sobre ciencias de la tierra son documentos de síntesis, resultantes de la información incluida en mapas geológicos y en mapas hidrogeológicos. Representan el conjunto agua-medio geológico, en el que figuran las entradas (elementos que constituyen la recarga de los acuíferos) y las salidas (elementos que constituyen la descarga). Contienen información sobre aguas subterráneas y las formaciones geológicas que constituyen los acuíferos con su topografía.

A partir de los años 50 el incremento del uso y demanda de agua subterránea en los países desarrollados, hace necesaria una planificación racional de estos recursos, para su utilización en

el abastecimiento a la población, agricultura e industria, y los mapas hidrogeológicos o de sistemas acuíferos comienzan a considerarse un documento útil para la planificación y el desarrollo, por ello su realización a diferentes escalas y con objetivos diversos, ya empezó en 1940. En cada vez más países y zonas se van elaborando mapas hidrogeológicos, pero en otras zonas, como en España, aún no se tiene un conocimiento hidrogeológico suficiente y se carece de la cartografía hidrogeológica adecuada.

En 1960 la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), inició una serie de trabajos para conseguir una coordinación internacional y fijar unas bases y metodología de representación de la información hidrogeológica, preparando una leyenda de colores, tramas y simbología a utilizar en este tipo de cartografía. Una primera propuesta de esta leyenda hidrogeológica fue publicada en 1963 por UNESCO, a la que con mayor o menor parecido se han ido adaptado las

(*) Dirección de Aguas Subterráneas y Geotécnia. Instituto Tecnológico Geominero de España. C/. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid. Correo electrónico: v.fabregat@itge.mma.es

leyendas de la cartografía hidrogeológica realizada hasta la actualidad.

La utilización de este tipo de mapas está relacionada con el conocimiento del territorio. Se trata de mapas pseudogeológicos con una interpretación hidrogeológica y su aplicación directa en trabajos de campo es discutible, ya que para este tipo de tareas es necesario un mayor detalle, pero pueden ser de gran utilidad en la realización de trabajos de carácter más general como:

- Aprovechamiento de recursos hídricos.
- Protección y evaluación medio ambiental.
- Ordenación del territorio.
- Soporte básico de grandes infraestructuras.

OBJETIVO

El contenido de los mapas hidrogeológicos generales (A.I.H. 1995) debe de comprender la información suficiente para responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las características hidrogeológicas de una determinada zona?
- ¿Dónde pueden encontrarse unas determinadas características hidrogeológicas?
- ¿Qué información y documentación hidrogeológica existe y dónde puede consultarse?

ELEMENTOS

Los elementos representados en los mapas pueden clasificarse según:

- Carácter: natural o antrópico.
- Importancia relativa y relevancia dentro del mapa.
- Dependencia respecto al tiempo: permanente o variable por diferentes causas, estacional o influenciada (Ej. Estacionales, períodos de sequía, bombeos etc.).
- Conceptualización: observado, calculado o interpretado.
- Utilidad para su uso directo o indirecto de acuerdo con el objetivo del mapa.
- Forma, disposición y dimensiones.
- Escala y grado en que determinadas características tienen significado.

Todo este conjunto de elementos y características tienen en común que pueden ser representadas gráficamente; y para aquellas que son variables en el tiempo puede optarse por representar una media o simplificación.

TIPOS DE MAPAS

El Mapa hidrogeológico consiste en una cartografía que representa las características hidrogeológicas y los elementos relacionados con las aguas subterráneas. Las características hidrogeológicas se representan mediante una leyenda, con tramas y colores, y los elementos a representar por una simbología propia. En la propuesta de leyenda elaborada por la A.I.H. incluyen tres tipos de leyenda complementarias, dependiendo del tipo de mapa:

- Mapas hidrogeológicos generales y especiales.
- Mapas de sistemas acuíferos y flujo subterráneo.
- Mapas de vulnerabilidad de acuíferos.

MODALIDADES

Entre las modalidades de presentar los mapas hidrogeológicos pueden considerarse:

- Hojas impresas
- Plotter, con consultas preestablecidas
- Mapas a la carta

Hojas impresas

Las hojas impresas, pueden considerarse muy convenientes para la representación de todos los elementos que no suelen presentar variaciones con el tiempo; en general, el medio físico, topografía, estructuras y formaciones geológicas desde el punto de vista hidrogeológico. Generalmente se presenta el mapa hidrogeológico principal con un conjunto de información adicional, mapas auxiliares incluyendo diferentes tipos de gráficos y tablas, así como una memoria explicativa.

Todos los elementos a incluir en un mapa hidrogeológico tienen cierto interés; pero el intento de

representar un excesivo número de elementos desemboca en una sobrecarga del mapa que puede llegar a hacerlo incomprensible. Otro de los problemas que plantea la cartografía hidrogeológica en hojas impresas es la representación de los elementos variables en el tiempo. Frecuentemente, cuando estas hojas llegan a publicarse, su contenido, con seguridad, no estará actualizado.

Plotter

El soporte digital de la información y la posibilidad de manejar mediante un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.) información georreferenciada posibilita solucionar el problema de una acumulación excesiva, al tiempo que permite la representación de información relacionada o información derivada de un conjunto de datos. Para ello resulta interesante la posibilidad de obtención de mapas "A la carta" aunque esta posibilidad debe también ayudarse de la creación de "menús" y consultas preestablecidas, ya que las combinaciones de interés para unas determinadas actividades pueden, en gran parte, estandarizarse.

La representación de elementos variables resulta más conveniente mediante la utilización de un S.I.G. que facilite la obtención de mapas estandarizados y de mapas a la carta con fechas actualizadas. La dificultad para la obtención de este tipo de mapas estriba en la existencia de las bases de datos necesarias para su elaboración, que deben de estar relacionadas y permanentemente actualizadas con información como la que el ITGE elabora sobre aguas subterráneas (niveles piezométricos, calidad del agua, hidrometría...) o la que elaboran otros centros (aforos en cauces, pluviometría...).

La obtención de mapas mediante "Plotter" es muy útil para facilitar el acceso a la información contenida en bases de datos. Para estos casos es muy importante la calidad de los datos, ya que de ellos va a depender la veracidad de los mapas, por lo que deben de ser completas para la obtención de determinados mapas y estar permanentemente actualizadas. Con estas bases de datos, mediante tratamiento S.I.G., pueden prepararse

consultas preestablecidas que permitan el trazado de mapas como:

- Mapa de inventario de puntos de agua actualizado a una determinada fecha.
- Piezometría más reciente basada en puntos de control de niveles.
- Valores hidroquímicos para una determinada fecha.

Una de las dificultades que se plantea es la obtención de mapas de isolíneas. En muchos casos su trazado tiene bastante de artístico y, para ello, el conocimiento hidrogeológico es muy importante. Por tanto es una tarea difícil de automatizar, en estos casos, puede resultar más adecuada la obtención de mapas de valores para su posterior interpretación.

Mapas a la carta

Los mapas a la carta son un paso más allá en la cartografía mediante "Plotter" y permiten el trazado de consultas elaboradas de la información contenida en bases de datos, previamente diseñadas, con el objetivo de ser capaces de obtener, por ejemplo:

- Mapa de sondeos perforados en un determinado período de tiempo.
- Mapa de espesores saturados en un acuífero.
- Mapa de evolución hidroquímica (incremento en nitratos en un período determinado).

El trazado de este tipo de mapas requiere de información muy completa de la que no se dispone con carácter general y que en muchos casos es difícil de obtener. Además, para su obtención es necesaria la realización de una serie de operaciones entre un conjunto de datos:

- Puntos de agua que sean sondeos, perforados entre unas determinadas fechas.
- Diferencia de cota entre el nivel piezométrico y cota la del muro del acuífero
- Incremento del contenido de un ion entre unas determinadas fechas.

Para ello, sobre todo en el caso de los elementos variables, es necesario que estén diseñadas y establecidas las conexiones y programas neces-

rios para poder obtener mapas como los ejemplos citados.

La posibilidad de disponer de este tipo de información a través de la red es lo que permite un mejor acceso a los posibles usuarios.

CONTENIDOS

Los mapas hidrogeológicos, contienen tres tipos de información hidrogeológica:

- Profundidad, cotas, calidad y distribución del agua subterránea y los acuíferos.
- Marco geológico (tipo, estructura y extensión de las formaciones acuíferas y unidades hidrogeológicas).
- Red hidrográfica relacionada con la recarga o descarga de aguas subterráneas.

Además de la información puramente hidrogeológica, en función de la escala debe contemplarse la información geográfica, climática, geológica e hidrológica de acuerdo con el objetivo del mapa.

La hidrogeología cubre dos campos, el relativo al agua y el relativo a las formaciones geológicas que la contienen.

El agua y parámetros hidráulicos:

- Movimiento del agua: precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial, caudal de base de los ríos, fluctuaciones de los niveles piezométricos, superficies piezométricas, direcciones de flujo subterráneo, escorrentía total etc.
- Carácter físico o químico del agua: distribución y contenido en iones, características químicas (conductividad, dureza, etc.), relaciones entre agua dulce y agua salada, temperatura del agua subterránea, etc.
- Explotación de las aguas subterráneas: ubicación de captaciones, manantiales y sus características (tipo de captación, profundidad, características, caudal, carácter del agua), profundidad del nivel piezométrico, espesor saturado, variaciones del nivel piezométrico, cambios en la calidad química del agua.

Formaciones geológicas, geometría y carácter, con referencia al almacenamiento y flujo del agua:

- Acuíferos, acuítardos, acuicludos, transmisividades, permeabilidades, recarga, flujo subterráneo, descarga, características de las formaciones geológicas con implicación hidrogeológica (afloramientos, espesores, etc.)

Los contenidos se representan mediante líneas, símbolos, tramas, signos, colores y dentro de los colores tonos, con otro tipo de información adicional complementaria. Básicamente, los elementos que tienen que estar representados son:

- Base cartográfica
 - Contiene la información cartográfica en color negro como topónimos y base topográfica simplificada en color gris o sepia.
 - Red de drenaje en azul.
 - Cuadrícula con coordenadas (UTM).
 - Información adicional, puede incluirse en notas explicativas, memoria o mapas auxiliares.
- Formaciones que constituyen o no acuíferos, especificando litologías. En este aspecto las propuestas de leyenda tienden a representar mediante colores diferentes tipos de acuíferos dejando a parte criterios cronoestratigráficos, que pueden tener su interés. En estos casos pueden establecerse sistemas de representación que no olviden la cronoestratigrafía de las formaciones.
- Información estratigráfica, para la identificación de las formaciones descritas en la leyenda.
- Información climatológica, representadas sobre el mapa o en mapas auxiliares.
- Cortes hidrogeológicos de las secciones más representativas del mapa como información adicional.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y LEYENDA

Los contenidos de un mapa hidrogeológico, se representan sobre una base cartográfica (Mapa topográfico):

- Topografía
- Planimetría (comunicaciones, núcleos de población, toponimia, etc.)
- Base geológica (Mapa geológico traducido mediante leyenda hidrogeológica).

La leyenda de los mapas hidrogeológicos incluye:

- Tonos y colores
- Tramas
- Simbología y tipos de líneas.

Tonos y colores

En función del tipo de mapa hidrogeológico, la leyenda de la A.I.H. propone:

- Mapas hidrogeológicos generales: colores en tonos azules para acuíferos intergranulares, verdes para acuíferos fisurados y marrones para formaciones con acuíferos de menor entidad o sin prácticamente acuíferos.
- Mapas de sistemas acuíferos: colores que diferencian zonas de recarga, tránsito y descarga, según se consideren flujos altos (rojo, magenta, azul), intermedios (rosa, violeta, verde) bajos (marrón, verde oliva) o áreas no consideradas como acuíferos (gris).
- Mapas de vulnerabilidad: colores que representan diferentes grados de vulnerabilidad: extrema (rojo, naranja), alta (rosa), media (amarillo), baja (verdes claro), muy baja (verdes oscuro).

Para mapas hidrogeológicos generales, como es el caso de la cartografía a escala 1:200.000, publicada por el ITGE se ha adoptado una leyenda de colores con criterio cronoestratigráfico de las formaciones (Jurásico, azul; Cretácico, verde; Terciario, amarillo y naranja; etc.) diferenciando la litología mediante tramas y la permeabilidad mediante tramas huecas para las formaciones más permeables, colores menos densos para materiales permeables y más densos para los menos permeables, en los que pueden establecerse diferentes grados y tipos de permeabilidad, diferenciados en la leyenda del mapa.

Tramas

Para representar las litologías que definen el tipo de acuífero, en el caso de los mapas hidrogeológicos publicados por el ITGE se adoptan las tramas típicas utilizadas en mapas geológicos, que se dibujan con su color cronoestratigráfico. La leyenda de la AIH también propone este tipo de tramas para las diferentes litologías en el caso de los mapas hidrogeológicos generales, pero propone otro tipo de tramas, según el tipo de flujo (homogéneo, heterogéneo, complejo), para los mapas de sistemas acuíferos, y tramas que hacen referencia a la naturaleza del acuífero (karstificado, detriticos, fracturado, etc) para los mapas de vulnerabilidad.

Simbología y tipos de líneas

Se utiliza para representar los elementos con connotaciones hidrogeológicas, relacionados con:

- Aguas subterráneas (color violeta)
- Calidad de aguas subterráneas (color naranja)
- Aguas superficiales (color azul)
- Elementos antrópicos (color rojo)
- Información geológica y estratigráfica (color negro).

Los diferentes tipos de líneas se utilizan para representar contactos, límites o envolventes con diferentes comportamientos.

MAPAS HIDROGEOLÓGICOS DEL ITGE

Los mapas hidrogeológicos publicados por el ITGE, a parte de otros realizados de comunidades autónomas o provincias, se representan en hojas de la cuadrícula topográfica nacional a escalas 1:200.000 y 1:50.000. De manera resumida, se componen de un mapa hidrogeológico principal, una leyenda y simbología hidrogeológica, cortes hidrogeológicos representativos junto con mapas auxiliares (Mapa hidroquímico, Isopiezas, etc) y gráficos (Diagramas de Stiff, Gráficos de evolución piezométrica, hidrogramas de manantiales, evolución conductividad, evolución aniones).

La Cartografía Hidrogeológica, se inicio en 1982 con las hojas nº 37 (Salamanca) y nº 80/81 (Ayamonte/Huelva). El trabajo realizado hasta la actualidad puede considerarse como poco homogéneo, ya que a lo largo del tiempo se han ido modificando las leyendas y la manera de presentar la información representada en los diferentes mapas.

Las hojas en que se han realizado trabajos son aquellas regiones en que la información es más completa y abundante, coincidentes con aquellas zonas de nuestro territorio donde las aguas subterráneas tienen una mayor importancia e interés. El objetivo de esta cartografía es el mostrar una síntesis de las características hidrogeológicas y grado de explotación de los acuíferos, e información que permita la realización de estudios de mayor detalle. En general, se utilizan las normas UNESCO sobre mapas hidrogeológicos, con más o menos variaciones.

También se han publicado 11 hojas a escala 1:50.000, cartografía que se inició en 1982 con la hoja nº 760 (Daimiel). La publicación sistemática de este tipo de cartografía puede considerarse cuestionable, ya que una cartografía hidrogeológica de detalle, necesita un excesivo esfuerzo y su utilidad parece más adecuada si se realiza de manera paralela a la elaboración de estudios hidrogeológicos concretos.

EJEMPLOS DE MAPAS HIDROGEOLÓGICOS DEL ITGE (HOJAS IMPRESAS 1:200.000)

A continuación figuran dos ejemplos de los contenidos de hojas impresas del mapa hidrogeológico 1:200.000:

Hoja 84/85 (Almería-Garrucha), publicada en 1988

Memoria:

1. Presentación.
2. Marco geológico.
3. Principales Unidades Hidrogeológicas.
4. Bibliografía.

Hoja mapa hidrogeológico:

- Mapa hidrogeológico 1:200.000.
 - Características litológicas.
 - Características hidrogeológicas.
 - Signos convencionales.
 - Geología.
 - Hidrología superficial.
 - Hidrología subterránea.
 - Cortes hidrogeológicos.
 - Mapa isoyetas medias anuales (1960-80) 1:800.000.
 - Mapa de distribución de acuíferos y unidades principales 1:800.000.
 - Calidad química residuo seco.

Mapas auxiliares:

- Mapa de unidades hidrogeológicas, sistemas y subsistemas acuíferos y ubicación de puntos (1:500.000).
- Cuadro resumen de unidades hidrogeológicas, sistemas y subsistemas acuíferos:
 - Nº de identificación en plano.
 - Principales formaciones acuíferas de la unidad.
 - Principales manantiales/pozos/sondeos.
 - Profundidad del agua/espesor saturado/descenso medio/balance.
- Diagramas de Stiff modificado.
- Gráficos de evolución piezométrica.
- Hidrogramas de manantiales, evolución de caudales.
- Gráficos de precipitación mensual estaciones pluviométricas (1973-81).
- Leyenda:
 - Tipo de acuífero.
 - Nº de identificación unidades hidrogeológicas, sistemas y subsistemas acuíferos.
 - Zonas con alto riesgo o en proceso de intrusión.
 - Puntos con representación piezométrica/calidad química/caudales.

Hoja 47 (Teruel), una de las últimas publicadas (1995)

Memoria:

1. Presentación.
2. Marco geológico.
 - Estratigrafía.
 - Tectónica.

3. Descripción de los acuíferos.
 - 3.1 Generalidades.
 - 3.2 Sistemas acuíferos.
 - 3.2.1. Subsistema.
 - 3.n.
 - 3.n.1. Subsistema.
 - 3.n.n. Subsistema.
4. Usos y demandas.
5. Bibliografía.

Hoja mapa hidrogeológico.

- Mapa hidrogeológico 1:200.000.
- Leyenda.
- Signos convencionales.
- Cortes hidrogeológicos.
- Mapa hipsométrico, isoyetas medias 1: 800.000. No se especifica período.
- Esquema hidrogeológico general 1: 800.000.
- Usos del agua.

Mapas auxiliares.

- Mapa hidroquímico 1:400.000 (fecha octubre 1990), con diagramas de Stiff modificado.
- Isopiezas de acuíferos
 - Acuífero detrítico Alto Jiloca.
- Sistema acuífero nº 55, Subsistema de Javalambre
- Gráficos de evolución
 - Piezométrica
 - Hidrogramas de manantiales
 - Evolución conductividad
 - Evolución aniones

CONSIDERACIONES FINALES

Los mapas hidrogeológicos E. 1:200.000 publicados por el ITGE están dirigidos para ser un documento de síntesis en materia de aguas subterráneas.

En las hojas impresas debe de hacerse más énfasis

en la información que no varía con el tiempo, y el medio físico. Para la información variable en el tiempo puede contemplarse la posibilidad de utilizar valores medios o simplificaciones.

Los tres tipos de mapas contemplados en la propuesta de leyenda de la A.I.H.: mapas hidrogeológicos generales, mapas de sistemas acuíferos y mapas de vulnerabilidad son complementarios para diferentes objetivos, por ello pueden mejorar la información contenida en las hojas 1:200.000 si se incluyen como mapas auxiliares.

Para la información hidrogeológica contenida en las bases de datos deben de establecerse consultas estandarizadas que permitan mediante plotter imprimir mapas con información actualizada. Igualmente estas bases de datos deben de estar relacionadas y existir los programas adecuados para poder obtener mapas a la carta mediante consultas dirigidas y unas determinadas condiciones de representación.

REFERENCIAS

CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. (1985) Hidrología Subterránea. Cap. 15.10 Mapas hidrogeológicos pp. 1545-1557. Ed. Omega. Barcelona.

GRIMMELMANN, W. ET AL., (1985): Hydrogeological Mapping in Asia and the Pacific Region, Proceeding of the ESCAP-RMRDC Workshop Bandung, 1983. International Association of Hydrogeologists. Heise Vol 7. Hannover.

ITGE: Mapa Hidrogeológico, Escala 1:200.000. Madrid.

ITGE (1990): Mapa Geológico Nacional, Escala 1:50.000 (MAGNA). Modelo de Hoja. Documento Interno.

ITGE (1999): Diseño de la base de Datos Hidrogeológica en formato digital. Estudio piloto: Incorporación de la hoja hidrogeológica nº 45 (Madrid). E.1:200.000 al Sistema de Información Geográfica. Documento Interno.

STRUKUCKMEIER, W.F., MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. International Association of Hydrogeologists. Heise Vol.17. Hannover.