

CLASE 4.2.T.

MAPAS HIDROGEOLÓGICOS. ELABORACIÓN, COMPONENTES, CLASIFICACIÓN, EJEMPLOS.

1. INTRODUCCIÓN

2. ASPECTOS BÁSICOS NECESARIOS PARA ELABORAR UN MAPA HIDROGEOLÓGICO

- Base topográfica adecuada
- Mapas geológicos e informes
- Interpretación de los datos litológicos
- Interpretación de los datos estructurales
- Datos meteorológicos e hidrológicos
- Datos hidrogeológicos
- Inventario de puntos de agua

3. COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DEL MAPA

- Leyenda (elementos gráficos y colores)
- Escala
- Aspectos hidrogeológicos (en sentido amplio)
- Características particulares
- Grado de interpretación
- Fiabilidad de los datos e informaciones

4. TIPO Y CLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

- Mapas hidrogeológicos generales
- Mapas de parámetros hidrológicos
- Mapas de sistemas acuíferos subterráneos
- Mapas de aspectos especiales

5. NOTAS EXPLICATORIAS O COMPLEMENTARIAS DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

6. EJEMPLOS

MAPAS HIDROGEOLÓGICOS.

ELABORACIÓN, COMPONENTES, CLASIFICACIÓN, EJEMPLOS.

~~Nota previa: Todos los aspectos relacionados con esta clase están ampliamente desarrollados y documentados en el excelente texto **Hydrogeological Maps, A Guide and a Standard Legend**, de **Wilhem F. Struckmeier** y **Jean Margat**, publicado como volumen 17/1995 de la serie International Contributions to Hydrogeology, por la International Association of Hydrogeologists, Ed. Heise, Hannover (XVI + 177 páginas, 29 figuras, 6 tablas, 4 láminas dobles en colores).~~

~~En opinión del autor, su lectura y consulta frecuente es inexcusable para el profesional de la hidrología subterránea.~~

heise neyretes

1. INTRODUCCIÓN

Considerado en sentido ~~lato~~ extenso, son **representaciones gráficas planas de los datos, aspectos o detalles hidrogeológicos de una zona o región, a una escala dada.**

Pero, de hecho, suelen o pueden contener, además del mapa propiamente dicho, una serie de anejos, explicaciones, tablas, perfiles, bloques diagrama, etc., para mejorar la información ofrecida por el mismo.

ELEMENTOS DE LOS MAPAS

Se consideran esenciales los siguientes elementos, esquematizados en la ~~figura 5 del texto mencionado, y que figura en la página siguiente (fig. 5 del texto mencionado).~~

Título del mapa *de*

Mapa propiamente dicho, indicando la información temática y la base topográfica

Leyenda explicativa de TODOS los símbolos y elementos gráficos (MUY IMPORTANTE)

Perfiles hidrogeológicos que permitan una adecuada comprensión, en dos dimensiones, de los aspectos descritos o grafiados en el mapa

Pequeños mapas adicionales con datos no contenidos en el mapa principal o propiamente dicho (pluviometría, la explotación de los recursos subterráneos, la situación del área representada en el mismo dentro del resto de mapas sistemáticos o seriados, etc., serían ejemplos de éstos).

La fecha de publicación



72

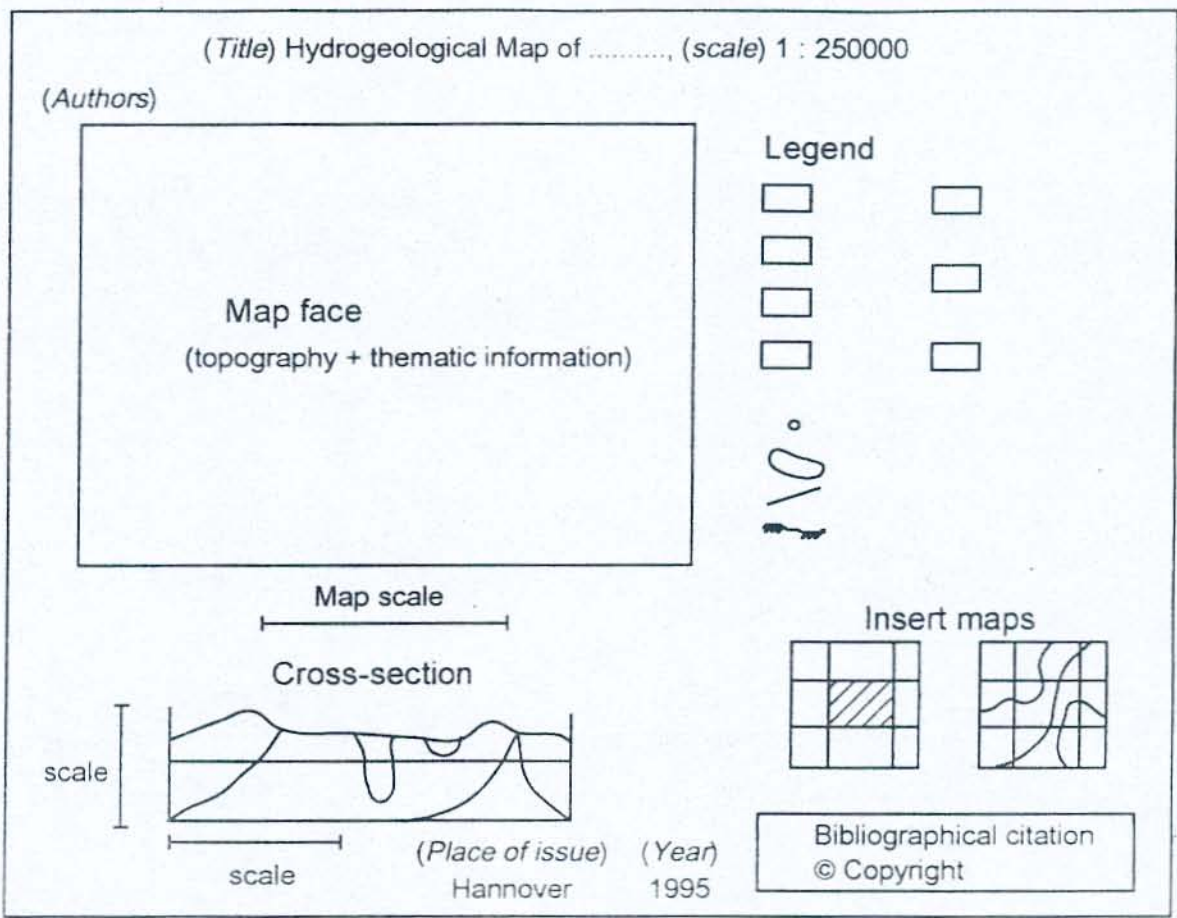


Figure 5. Elements of a thematic (hydrogeological) map.

OBJETIVOS, USOS O FINES

Como **objetivos o usos** de los mismos de cara a la sociedad, pueden citarse:

Publicar la situación y las características de los recursos hídricos, especialmente en los países áridos

Evitar los fracasos en la perforación de captaciones de agua

Mejorar la planificación y gestión medioambiental y incidir en las políticas de prevención y protección, especialmente en los temas de contaminación

Reducir los costes de la gestión de los recursos de agua

Mejorar la utilización de los recursos hídricos desde el punto de vista legal, administrativo y económico

Herramienta para información pública, la educación y la enseñanza de los recursos naturales, el medio ambiente, etc.

2. ASPECTOS BÁSICOS NECESARIOS PARA ELABORAR UN MAPA HIDROGEOLÓGICO

En general, los tres elementos básicos para elaborar un mapa hidrogeológico son:

Una **adecuada base topográfica**

Unos **datos hidrogeológicos fiables**

Un **esquema de representación conveniente y su correspondiente leyenda**

BASE TOPOGRÁFICA

Su interés para el hidrogeólogo es doble:

De un lado, facilita la **orientación y la situación** de cada punto sobre la superficie del terreno, y por otro, es muy útil como fuente de información para el autor del mapa, ya que puede darle o informarle sobre **valiosos datos hidrológicos** (cuencas vertientes, capturas de la red de ríos, forma de la red hidrográfica, sumideros o manantiales importantes, lagos, pantanos, molinos, desfiladeros, etc.).

Debe ser lo más **actualizado posible**, ya que un mapa obsoleto devalúa de manera notable su valor.

BASE GEOLÓGICA

Evidentemente, la geología es la piedra de toque o angular de los mapas hidrogeológicos, debido a dos aspectos fundamentales:

Debe pasarse de las **unidades litoestratigráficas** (mapas geológicos) a **unidades hidrolitológicas** (mapas hidrogeológicos).

Debe identificarse y seleccionarse la información estructural necesaria para describir y entender los acuíferos y los sistemas de aguas subterráneas, así como sus límites, y las condiciones de éstos, controlados por factores geológicos.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS LITOLÓGICOS

El punto básico para la conversión de un mapa geológico en el correspondiente mapa hidrogeológico es la clasificación de las rocas subyacentes según su carácter hidrogeológico, es decir, según su capacidad para transmitir y almacenar agua.

Por ello, los mapas geológicos que muestran el tipo litológico y la edad de cada formación son preferibles a los que solamente muestran su edad estratigráfica.

Esta conversión del mapa geológico hacia el mapa hidrogeológico puede hacerse a estos tres diferentes niveles, y en su caso, gradualmente :

- A Distinción entre **materiales no consolidados y consolidados, permeables y no permeables**, (sistema bastante rudo y simple, y con una base cualitativa solamente)

Este sistema lleva a la clasificación en tres categorías diferentes (porosos, fisurados, carstificados), quizá con clases intermedias de los posibles acuíferos. Así se tendrían los siguientes ejemplos:

- Gravas, arenas y escorias volcánicas sueltas (porosos)
- Areniscas, margocalizas, basaltos (frecuentemente fisurados)
- Calizas, dolomías, yesos (frecuentemente carstificados)

- B La clasificación de las rocas según consideraciones de permeabilidad derivadas de analogías puras entre la geología (tipo litológico de roca) y la hidrogeología (valores de la K). Debe recordarse, pero, la gran variación de este parámetro, incluso en áreas uniformes.

Esta clasificación semicuantitativa agrupa las distintas formaciones en:

- Formaciones permeables (con $K > 1$ m/día)**, formando importantes acuíferos, de alta permeabilidad y productividad.
- Formaciones semipermeables o poco permeables (con K entre 1 y 10^{-3} m/día)**, formando acuíferos menos productivos o muy pobres, subdivididos entre
- Formaciones impermeables (acuicludos), con $K < 10^{-3}$ m/día**

- C En áreas de materiales sueltos o porosos, se puede considerar la posibilidad de utilizar la transmisibilidad T en lugar de la permeabilidad K, si se conoce este parámetro y el espesor saturado, pero esto implica un buen conocimiento de la dimensión vertical de la zona (mapas con líneas o isovalores de T). De hecho, los valores así definidos de T pueden ser poco fiables.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ESTRUCTURALES

La información estructural deducida de los mapas geológicos puede tener dos aspectos primordiales: La geometría de los acuíferos y las condiciones de los límites de los sistemas acuíferos, a menudo determinadas por grandes estructuras geológicas (pliegues, fallas, contactos, discordancias, etc.)

DATOS METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

El hidrogeólogo necesita datos sobre la pluviometría, la amplitud de las temperaturas, los periodos de heladas, la evaporación, la aridez, etc., así como también precisa conocer la situación de las estaciones aforos, sus periodos de registros –cuanto más largos mejor-, la escorrentía en los periodos secos, etc., etc., ya que con todo ello adquiere un dominio sobre el funcionamiento de los sistemas acuíferos, en particular, su recarga y descarga.

Sin embargo, los mapas relativos al balance hídrico son menos abundantes, y quizá hasta algo menos fiables, sobretudo si se piensa que el origen y fiabilidad de los datos puede ser muy diverso.

En este orden de ideas, es muy conveniente tener presente las principales diferencias entre **las áreas húmedas y las áreas secas o áridas**:

En las primeras (áreas húmedas), las precipitaciones gobiernan principalmente la recarga, y las condiciones del almacenamiento de los acuíferos freáticos son de importancia secundaria. La escorrentía superficial y subsuperficial vienen determinadas por la intensidad de las precipitaciones, la pendiente del terreno, los tipos de suelos, vegetación y los usos del suelo.

Además, los acuíferos situados en ellas suelen tener el nivel cercano a la superficie, incluso en las zonas de recarga, zonas aluviales, humedales y cercanas al mar.

En las segundas (áreas secas), por el contrario, donde las lluvias son más aleatorias, la escorrentía superficial es solo local, de tipo fulgurante o muy rápida y aún despreciable a una escala regional. El almacenamiento en los acuíferos, el volumen y el descenso del nivel en los sistemas hidrogeológicos regionales son factores decisivos que deben considerar los mapas hidrogeológicos.

Los niveles piezométricos suelen ser profundos, con zonas no saturadas de gran espesor, y pocas y escasas áreas de descarga.

DATOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

Aunque no es rara la abundancia de datos hidrogeológicos procedentes de diversas fuentes dispersas, raramente se consideran suficientes a la hora de preparar un mapa geológico. Así, se tienen conjuntos incompletos de datos, falta de ellos en algunas áreas determinadas, datos contradictorios en otros lugares, valores obtenidos por métodos o sistemas incompatibles, etc., por lo que pueden precisarse nuevos trabajos de campo para la adquisición de nuevas informaciones.

La tabla de la página siguiente (~~figura 11 del texto citado~~), resume el **origen y tipo de los datos hidrogeológicos** que pueden usarse en la confección de los correspondientes mapas, así como las diversas fases y subfases en las que puede dividirse la adquisición y tratamiento de los datos hidrogeológicos.

Es muy importante estudiar con atención esta tabla, puesto que resume las diferentes **fases de un estudio hidrogeológico** o para la **confección de los mapas, así como su ordenación temporal, y las diferentes cualidades o aspectos de cada subfase**.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Quizá es el tipo de informaciones más importante, debido a la **cantidad de datos** que puede proporcionar, con **carácter estrictamente hidrogeológico**: distribución areal o superficial de pozos, sondeos, fuentes y sumideros, la posición del nivel del agua, calidad del agua, extracciones de los acuíferos, perfiles geológicos de las perforaciones, posibilidad de realizar

2
75

DATA TREATMENT		TYPES OF SOURCES OF DATA; PARAMETERS AND STEPS				<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> Individual data <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> Periodical data </div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; background-color: white;"></div> manual d. processing <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> useful EDP is <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 10px; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div> desirable </div> </div>					
Processing phase						Pro-specting	Inventory	Exploration	assessment	Exploitation	Control
Data collection	Inventory of existing data from archives and other sources	Hydro-geological data	Groundwater observation points: wells, springs Type, location, altitude, depth, aquifer, etc.								
			Depth to g.w., pressure head; Yield, drawdown								
			Pumping test d. end results: Transmissivity, permeability, storage coefficient								
			Borehole logs and well construction data								
		Hydro-chemical d.	Groundwater extraction, water demand								
			Field and laboratory data								
			Groundwater table fluctuations								
			Changes in groundwater quality								
	Meteoro-logical d.	Precipitation intensity and distribution; Temperature, humidity d., wind, sunshine, etc.									
		Hydrolog. d.	Runoff								
	Own observation from field inventory = mapping lab. analyses, monitoring network, etc.	Hydro-geological data	Groundwater observation points: wells, springs, etc.: Type, location, altitude, depth, aquifer, etc.								
			Depth to g.w. pressure head; Yield, drawdown								
			Pumping test d. end results: Transmissivity, permeability, storage coefficient								
			Borehole logs and well construction data								
Hydro-chemical d.		Groundwater extraction, water demand									
		Groundwater table fluctuations									
		Field d., e.g. EC, temperature, pH, hardness									
		Lab. d.; TDS, major and minor constituents									
Hydrolog. d.	Changes in groundwater quality										
	Runoff (e.g. base flow)										
Soil d.	Soil moisture deficit, infiltration										
	meq, meq %										
D. elaboration	Conversions	Hydro-chemical d.	SAR, Mg/Ca, etc.								
	Statistical determinations	Meteorolog.	Status and processes in time and space, estimation of statistical parameters, significance, correlation, regression, trend, analyses, series; cluster, discriminant analyses								
		Hydrochem.									
		Hydrolog. d.									
Soil d.											
Models	Water balances; Extraction simulations										

Figure 11. Scheme for the treatment of hydrogeological data.

ensayos de bombeo, experiencias de recarga, trazadores, etc., etc., además de sus correspondientes evoluciones con el tiempo.

Todo este conjunto de informaciones puede localizarse primero en archivos públicos o privados, bibliotecas de instituciones especializadas, etc., y en función de los resultados elaborados con ellos, se pueden iniciar los recorridos por el campo, con objeto de ampliar las informaciones obtenidas, rellenar los espacios sin datos o poco satisfactorios, etc.

En todo caso, es un sistema muy engorroso, lento, pesado, y que precisa de personal experimentado para realizarlo, pero extraordinariamente barato, si se tienen en cuenta las informaciones que puede facilitar.

hacer lo pta

En general, conviene no olvidar que con frecuencia, la evaluación hidrológica de accidentes geográficos tales como los de la lista siguiente (que no exhaustiva) puede ser muy interesante, siempre en función de la escala del mapa y de los objetivos del mismo:

Áreas inundables, para diferentes caudales

Vertederos de residuos sólidos y/o líquidos

Depósitos de residuos líquidos

Escalas de aforo actuales o antiguas (alturas alcanzadas por las inundaciones antiguas)

Canales de riego, azudes de derivación, ...

Molinos, canales de carga y descarga de agua, ...

Pozos existentes, norias, ...

Galerías horizontales o minas de captación de agua (sus salidas al exterior, o sus pozos de aireación o limpieza)

Sondeos geotécnicos, piezómetros, ...

Gasolineras, trazados de oleoductos, ...

Fuentes, surgencias, manantiales, rezumes, ...

Áreas de pérdidas o ganancias de agua, sumideros, etc, ...

Embalses

EDAR's y sus canales de efluentes o desagües, ...

Lagos, lagunas, humedales, zonas de entrada y salida de las mismas, etc.

Áreas de regadío (con aguas superficiales y/o subterráneas)

Otros aspectos esoecíficos de cada zona, no citados aquí

3. COMPONENTES DEL MAPA

o símbolos *tramas*

LEYENDA (ELEMENTOS GRÁFICOS Y COLOR) *ES*

Quizá es uno de los elementos más importantes del mapa, ya que permite **transformar o traducir** los aspectos señalados en el mapa en **informaciones hidrogeológicas para el lector o usuario del mismo**. De ahí que deba ponerse especial cuidado en su elección, para buscar, además de su correcta lectura y comprensión, y su correspondiente legibilidad, una cierta belleza estética o artística del mapa.

Sus elementos gráficos básicos son tres: **puntos, líneas y áreas**, con todas sus posibles variaciones (cambios en la densidad, tono, ornamentos, orientación, tamaño y forma). Además de todos ellos, el color es el factor de variación que da más juego para representar diferentes tipos de informaciones, mientras que los puntos y las líneas deben realmente *leerse* en el mapa y su correspondiente leyenda.

Por lo tanto, todos y cada uno de los elementos gráficos y símbolos deben estar transcritos e identificados en la leyenda del mapa (**LOS MAPAS DEBEN SER SIEMPRE AUTOPARLANTES**).

Sin embargo, se recomienda no usar en demasía o abusar estos elementos gráficos para **no dificultar o hacer incómoda la fácil legibilidad** al mapa.

Puntos Aunque matemáticamente los puntos no tienen dimensiones, en la cartografía un punto representa siempre una cierta área. De esta forma, un punto representa dos cosas: La **situación del objeto** definido por él en la leyenda, y expresa, además, por su **tamaño, relleno o color, su magnitud o importancia**. En mapas más sofisticados, puede representar varias cosas: un pozo, la calidad de su agua, la extracción del mismo, el nivel del agua, su profundidad, etc.

Líneas Se utilizan para indicar **objetos o estructuras lineales, bordes de los acuíferos, ríos, equipotenciales**, etc. Su anchura puede informar de su importancia, e incluso su banda (el espacio entre una doble línea paralela), puede informar de otros parámetros. Las líneas interrumpidas, rotas o a trazos se suelen usar como señales de incertidumbres, estimaciones, evaluaciones o falta de conocimiento preciso o detallado. Conviene ser siempre honesto y no pasarse por erudito en estas situaciones, en particular en aquellas en las que no poseen datos fiables al efecto.

Un caso especial es el constituido por las **isolíneas**, que conectan o unen diferentes puntos con el mismo valor de una propiedad o parámetro, que deben ir siempre identificadas con el valor de la propiedad o parámetro (por ejemplo, **-5 m** para la equipotencial o isopieza situada a 5 m bajo el nivel del mar).

Por lo que respecta a la equidistancia de las isolíneas, ésta debe ser siempre **lógica**, es decir, **consecuente o coherente con la densidad de datos disponibles**: Pretender trazar líneas equipotenciales con una equidistancia de 1 m con solo 6 puntos de medida del nivel en un área de 10 km², por ejemplo, demuestra o bien una falta de conocimiento real del fenómeno que se quiere representar, o bien un deseo de aparentar un conocimiento o erudición hidrológica que no se tiene.

Además, en este caso, la **fiabilidad o representatividad real de los datos cuantitativos** de partida, juega también un papel notable: Dibujar las equipotenciales descritas en el párrafo anterior, en lugares donde las cotas del terreno (utilizadas para determinar las cotas de referencia), se han tomado a partir de mapas con una equidistancia de curvas de nivel de 10 m, es por lo menos, ilusorio.

Áreas definidas por colores (o zonas sombreadas o tramadas en el caso de mapas en blanco y negro). Las zonas cubiertas totalmente por el color representaría que el objeto o propiedad es dominante, mientras que las zonas rayadas (con el mismo color) indicarían un segundo lugar de importancia.

A pesar de su utilidad, debe ponerse especial cuidado en **no enmascarar el mapa** con una gran profusión de colores, lo cual exige un análisis profundo de qué representar y de qué manera, haciendo las correspondientes pruebas impresas previas. En general, se admite que el ojo humano distingue perfectamente hasta 6 diferentes tonos de un mismo color en un mapa.

En general, debe seguirse la pauta de que a los tonos más oscuros les corresponden los valores más altos de la propiedad o parámetro, dejando los más claros para los de valores inferiores.

En general, se recomienda encarecidamente ajustarse lo más posible a la leyenda internacional para este tipo de mapas, tanto en lo que se refiere a los símbolos como a los colores. ~~Esta leyenda esta reproducida en las páginas 120 a 177 del libro mencionado, en colores, cuando así se precisa.~~

En opinión del autor, es recomendable que el resultado final (el mapa ya impreso) sea incluso **bonito o agradable a la vista**, en el sentido estético.

ESCALA Y ORIENTACIÓN GEOGRÁFICA

Siempre debe ser del tipo **ESCALA GRÁFICA**, para evitar problemas en las ampliaciones y/o reducciones.

Debe asimismo indicarse la **ORIENTACIÓN GEOGRÁFICA DEL NORTE**, mediante los elementos gráficos tradicionales.

Generalmente, se usan las siguientes definiciones de escala:

Gran escala	1:10.000	a	1:100.000	Usos locales
Media escala	1:200.000	a	1:500.000	Usos regionales
Pequeña escala	1:1.000.000	a	1:10.000.000	Usos nacionales

Es fácilmente comprensible que estas escalas de gran, media y pequeña escala pueden ser cualitativamente distintos si se representan informaciones pertenecientes a países pequeños, como Luxemburgo, Hongkong o Singapur, frente a las procedentes de países grandes, como Argelia, Brasil, Australia o Rusia.

También debe pensarse en la forma de contemplación o uso final del mapa: Incluido en un libro, en un atlas, como mapa único, como mapa mural o de pared, etc., e incluso en el máximo formato de papel imprimible en el lugar, a la hora de determinar la futura escala del mismo.

Se insiste aquí una vez más, en la importancia que va a tener **la escala del mapa a la hora de contabilizar, estimar y preparar los datos e informaciones necesarias para la confección del mapa**: Por ejemplo, en un mapa a escala 1:10.000 se precisarán muchos más puntos de agua, con sus correspondientes niveles de agua medidos, para poder trazar una superficie piezométrica suficientemente fiable, que en una mapa a escala 1:100.000.

Este detalle puede alargar mucho el tiempo de elaboración del mapa, así como los correspondientes costes financieros.

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS (EN SENTIDO AMPLIO)

Presencia, extensión y continuidad del embalse subterráneo.

Profundidad del nivel del agua, en relación con la superficie del terreno.

Posición de la superficie piezométrica con relación a un plano de control o base dado (usualmente el nivel del mar, es decir, en cotas absolutas), en **una fecha o época dada**, así como las líneas de flujo, bordes de los acuíferos y eventuales divisorias de las aguas subterráneas.

Eventuales conexiones vistas o supuestas entre los sumideros de aguas y las fuentes o manantiales de origen cárstico.

Diferencias o amplitud de la variación entre las posiciones altas y bajas de los niveles piezométricos.

Volumen de aguas subterráneas del embalse subterráneo o por unidad de área.

Volumen de agua subterránea para diferentes grados o niveles de saturación.

Flujo existente entre las diferentes interfaces del acuífero (por ejemplo, entre la superficie del terreno y las aguas superficiales en los aluviales), es decir, la recarga y la descarga de estos acuíferos.

Distinción entre las áreas de recarga y descarga de las aguas subterráneas.

Recarga debida a la infiltración de la lluvia o las aguas meteóricas (variable regionalmente), en valores medios por unidad de área.

Régimen de las fuentes de descarga: permanente, intermitente o temporal, variabilidad, coeficientes de descarga, hidrogramas de fuentes, etc.

Cantidad de agua subterránea extraída, con sus distintas localizaciones, o por áreas.

Características físicas y químicas del agua subterránea en diferentes puntos (fuentes, manantiales, pozos, etc.) en una fecha dada, así como la distribución espacial de estas características, usando los conocidos diagramas de composición química si es necesario.

Calidad del agua subterránea de cara a los tres diferentes usos, principalmente la salinidad en los países áridos y semiáridos.

Litología de las formaciones geológicas (aflorantes o en profundidad), clasificadas por su capacidad de transmitir, almacenar y proporcionar agua, tipo y orden de valor de la **porosidad y la permeabilidad**, en medios porosos, fisurados o carstificados.

Extensión, estructura y geometría de los acuíferos:

- Posición (con la ayuda de perfiles esquemáticos) y tipo de bordes de separación de las áreas de permeabilidad distinta
- Posición de la base y el techo del acuífero
- Espesor de la masa saturada de agua
- Localización de las discontinuidades internas (zonas de fractura, barreras, fallas, etc.)

Valores de los diferentes parámetros hidráulicos (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, y su distribución espacial)

Situación de los elementos de la red hidrográfica, permanentes o temporales.

Relaciones entre los ríos y los acuíferos adyacentes: continua o discontinua (ríos conectados), papel del sellado o impermeabilizado del lecho del río, sin relación entre ellos (ríos *colgados* con relación al nivel piezométrico).

Posición de los puntos o lugares importantes de cara a la recarga o descarga: fuentes, sumideros, zonas húmedas, tanques o lagunas de evaporación, lagos y lagunas, zonas de fuertes pérdidas de los ríos, líneas o áreas de infiltración, etc.

Génesis y morfología de las fuentes y los sumideros.

Aspectos antropogénicos (pozos, estaciones de bombeo, pozos de inyección, recarga artificial, zonas de irrigación, zonas mineras, túneles, presas y canales, etc.).

Evidentemente, los aspectos relacionados en una u otra clasificación están interrelacionados, y de hecho, permiten la preparación de diferentes tipos o versiones distintas de mapas especiales de una misma región según sean los objetivos o intereses de los eventuales lectores o usuarios, tal como se esquematiza en la figura de la página siguiente (~~fig. 15 del texto mencionado~~).

ASPECTOS O CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

No es preciso mencionar que una gran parte de los aspectos hidrogeológicos mencionados son **sucesos en el tiempo**, es decir, variables con el mismo. Ello significa:

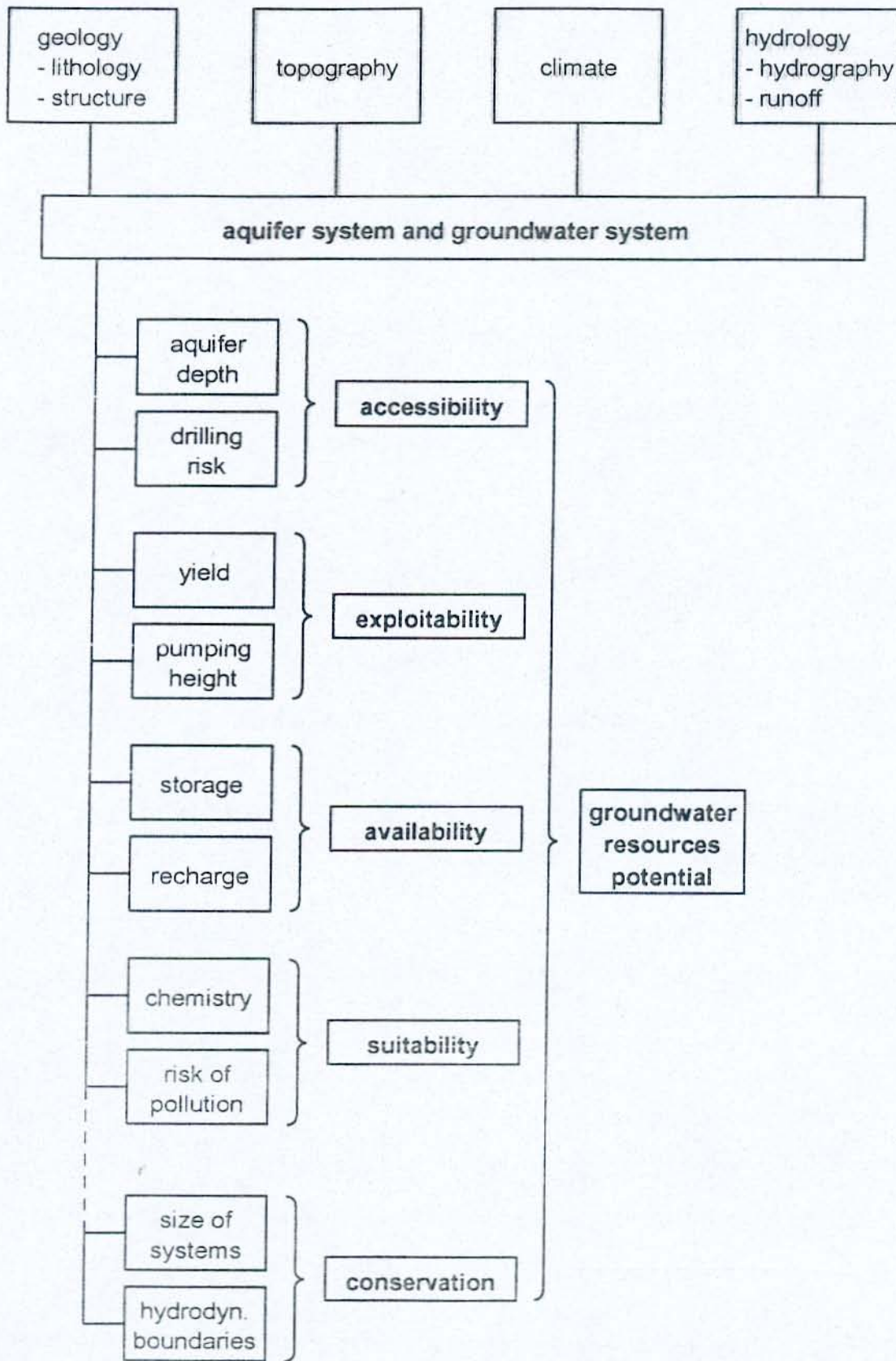


Figure 15. A system of specialized hydrogeological maps for planning and development.

En los mapas hidrogeológicos debe indicarse, siempre que sea necesario, la **fecha o la época** en que se han medido aquellos aspectos que precisen de esta identificación temporal, ya que sin ella carecen de sentido hidrológico real.

Por otro lado, dada esta variabilidad temporal o dinamismo de muchos aspectos hidrológicos, la distribución areal de los mismos puede variar con el tiempo: **quimismo, superficies piezométricas, posición del nivel del agua, extracciones de agua subterráneas, recargas o descargas**, etc.

Frente a ello, se pueden seguir tres tipos de líneas de actuación:

- A Representar una situación momentánea o instantánea de los aspectos mencionados
- B Representar una situación media, referida a un período de observación, que generalmente son períodos multianuales.
- C Representar la frecuencia o ocurrencia de situaciones particulares: la posición máxima y mínima de los niveles piezométricos, la profundidad máxima del nivel del agua, los caudales mínimos de las fuentes, etc.

GRADO DE INTERPRETACIÓN

Se distinguen los siguientes grados o niveles de interpretación de los datos hidrogeológicos:

Datos básicos: Datos básicos, resultados de medidas directas o observaciones reales (dependen solamente del lugar de la medida y la fecha)

Datos interpretados por primera vez: Datos primarios derivados de una tratamiento simple o una interpretación rápida (por ejemplo, las isolíneas)

Datos derivados de un tratamiento complejo o modelación: Datos obtenidos con un tratamiento secundario o terciario, derivados de investigaciones más complejas o tratamientos más largos (estadísticos, ensayos de bombeos, geofísica, modelación matemática, etc.)

Datos nuevamente interpretados para una toma de decisiones: Datos muy elaborados y ya clasificados, procedentes de una interpretación avanzada (transformación de litologías en unidades hidrogeológicas, clasificación de los potenciales hídricos de los acuíferos, accesibilidad a los recursos hídricos, utilidad del agua subterránea para usos especiales, etc.), muy útiles para información general y la toma de decisiones, a nivel político o de gestión.

La tabla de la página siguiente resume lo dicho, reproducción de la tabla 5 del texto citado).

Esto lleva a la conocida dualidad entre los **datos científicos** (lo que precisan los expertos en aguas subterráneas para el dibujo de los mapas) y la **información global** (lo que piden los políticos, gestores hidráulicos y los administradores del agua):

Los datos describen una **situación hidrogeológica real**, que debe ser descrita por los técnicos, a través de los mapas, tan precisa o detallada, objetiva y exactamente como sea posible.

Table 5. Features represented on hydrogeological maps and degree of their interpretation.

Features Degree of interpretation	Hydrogeological	Groundwater	Antropogenic
Basic data (results of measurements and observation)	Location of observation point (x, y, z); characteristics of outcropping strata; depth of top or base of aquifer; thickness of aquifer; characteristics of aquifer.	Location of observation point (x, y, z); depth to groundwater; spring discharge; pH; conductivity; temperature; ion content.	Location of well, borehole, shaft (x, y, z); depth of well; discharge of well; drawdown.
Primary interpreted data (derived from simple treatment and interpolation)	Hydrogeological boundary; height of top or base of aquifer; isohypses (depth lines) and isopachytes (lines of equal thickness) of aquifer.	Equipotential line; groundwater fluctuation; mean spring discharge; boundary of particular aquifers; isobath of groundwater system; isolines of pH, temperature, specific ion contents, isotopes.	Position of screen relative to datum level (mean sea level); mean well yield; mean abstraction or injection; mean drawdown.
Secondary interpreted data (derived from complex treatment and modelling)	Hydrogeological formation or aquifer parameters, e.g. porosity, permeability, transmissivity; grain size analysis; hydrogeological classification	Boundaries of phreatic, confined, artesian groundwater; flow directions and velocities, groundwater divides; relation between groundwater system and river; fluxes of groundwater systems (recharge and discharge).	Specific yield; induced recharge; artificial drainage.
Tertiary interpretation for decision making (information)	Accessibility; risk of failure of drillings; possibilities of leakage; protectedness of aquifer	Groundwater quality, suitability; vulnerability; protection areas.	Expected productivity; mean abstraction per unit area; injection possibilities; pollution.

La información global o final, que incluye la selección, la transposición, la interpretación y la combinación de los diferentes datos e informaciones, en resultados **tangibles y perceptibles por los políticos, gestores y administradores hidráulicos, ya sea en lenguaje oral como gráfico**. Por ejemplo, a éstos les interesa saber donde hacer un nuevo pozo y de qué profundidad, pero no cómo se ha determinado el mapa de isotransmisividades en el que se ha situado la futura captación (ni lo que representa este valor), ni la estructura hidrogeológica de la zona, que, además probablemente, no la entiendan.

FIABILIDAD DE LOS DATOS E INFORMACIONES

Finalmente, existe un aspecto o característica que no debe olvidarse. Como en otras muchas ciencias de la Tierra, en los mapas hidrogeológicos siempre existe una cierta dosis de interpretación subjetiva por parte del autor, ya que éste **no ve** debajo de la superficie del subsuelo, ya que solamente interpreta una estructura hidrogeológica y un funcionamiento hidrodinámico del sistema.

Por ello, es tanto más recomendable usar los símbolos necesarios para indicar el grado de fiabilidad de los aspectos que así lo requieran, por la **propia ética profesional del autor**, por los eventuales efectos secundarios -de carácter negativo-, que puedan derivarse de una mala interpretación por parte del autor de la estructura o de la hidrogeología, o de quien interpreta el mapa.

En otros casos, puede llegar a ser necesario imprimir un **apartado que comente la fiabilidad de dichos aspectos**, en los que se comenten estos detalles, tan ampliamente como sea necesario.

4. TIPO Y CLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

Como sea que los mapas mencionados pueden ser dibujados para diferentes usos u objetivos y con diferentes niveles o grados de información, existe una gran variedad de ellos, por lo que se ha intentado clasificarlos en los siguientes tipos o categorías, de acuerdo con su uso y el nivel de la información.

De una manera más simple o general, esta clasificación sería:

- a) **Mapas hidrogeológicos generales** y de recursos potenciales subterráneos
- b) **Mapas de los parámetros hidrogeológicos**, incluyendo otras variables representables por simples cifras
- c) **Mapas de los sistemas acuíferos de aguas subterráneas**
- c) **Mapas de aspectos especiales u objetivos concretos**, incluyendo mapas derivados o complementarios (vulnerabilidad, usos, conveniencia o compatibilidad, protección).

A) MAPAS HIDROGEOLÓGICOS GENERALES Y DE RECURSOS POTENCIALES SUBTERRÁNEOS

El ejemplo de este tipo es el mapa hidrogeológico internacional de Europa, a escala 1:1.500.000, en varias hojas, cuya leyenda se tomó como modelo para otros mapas.

Este tipo de mapas se puede preparar mediante dos líneas de actuación: Integrando los diferentes tipos de datos e informaciones sobre una zona dada en un estado ligeramente más avanzado de la investigación hidrogeológica, o bien usando los conocimientos de un buen experto o conocedor del área dada que resuma en un documento base, y de manera rápida, los conocimientos básicos existentes sobre la misma.

En ambos tipos, se pueden utilizar escalas de tipo pequeño y medio, y en algunos casos, la escala grande.

B) MAPAS DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Pueden dividirse en tres grandes tipos:

Los que muestran **parámetros físicos**, tales como el contorno de los acuíferos, la profundidad hasta el agua, las isopiezas, la temperatura del agua, las isobatas e isopacas, y

Los que muestran **parámetros químicos**, como la salinidad, el contenido en iones específicos, las relaciones iónicas, etc.

Los que muestran los valores de diferentes **parámetros o factores hidrogeológicos** (K, T, Q, q, V, etc., . . .

De todas formas, pero, aunque se muestre o dibuje un solo parámetro, siempre debe ir acompañado de algún otro de los demás, como los límites del acuífero, las isopiezas, la red hidrográfica, los pozos existentes o muestreados, etc., para una mejor legibilidad o comprensión del mapa de parámetros, aunque quizá impreso en otros colores más atenuados.

Usualmente, este tipo de representaciones suelen ser en blanco y negro, por razones prácticas y económicas.

C) MAPAS DE SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Su objetivo es destacar el escenario o marco hidrodinámico y las condiciones de los límites de los acuíferos en un área dada.

Son particularmente útiles en la fase conceptual de la modelización, y están basados en muchos mapas de parámetros, y todo el resto de la información auxiliar.

Requieren un estado avanzado de la adquisición de datos y deben acoplarse con una concepción modelística del problema. Permiten el avance en la comprensión del marco hidrogeológico y pueden conducir a nuevas conclusiones o aspectos no considerados previamente, como puntos oscuros, trampas o errores en la interpretación. Suelen ser muy útiles en las fases de delimitar las redes de observación, primordialmente en los puntos clave.

D) MAPAS HIDROGEOLÓGICOS CON ASPECTOS O OBJETIVOS ESPECIALES

Como este tipo de mapas puede poseer una gran variedad de objetivos y de usuarios o lectores, existe un gran y amplio espectro de los mismos. Aún así, sin embargo, pueden agruparse en:

Mapas que proporcionan información directa sobre las **aguas subterráneas, y su disponibilidad, accesibilidad y coste de bombeo o extracción.**

Mapas para la **planificación y la gestión**, con información sobre la calidad del agua, por ejemplo. Este tipo de información, aunque costosa, puede producir grandes beneficios a la economía del país, si se utiliza adecuadamente.

Mapas de la **vulnerabilidad del agua a la contaminación.**

Mapas sobre la **protección de los recursos hídricos subterráneos**, con la explotación actual de las aguas subterráneas y las reservas futuras, con la protección que estas requieran.

Mapas **hidrogeológicos generales para los objetivos educativos o formativos**, a diferentes niveles (escolares, público en general, propagandísticos, etc.).

5. NOTAS EXPLICATORIAS O COMPLEMENTARIAS DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

Este tipo de **informaciones o notas complementarias** ha demostrado ser de una gran utilidad, tanto para su autor como para el lector del mapa, ya que, al ser preparadas simultáneamente al mapa, permiten:

Contener **información detallada que no puede acomodarse en la leyenda ni en el mapa**

Ofrecer las posibilidades de dar **más explicaciones en aspectos interesantes, ampliar la leyenda del mapa, para que sea más asequible.**

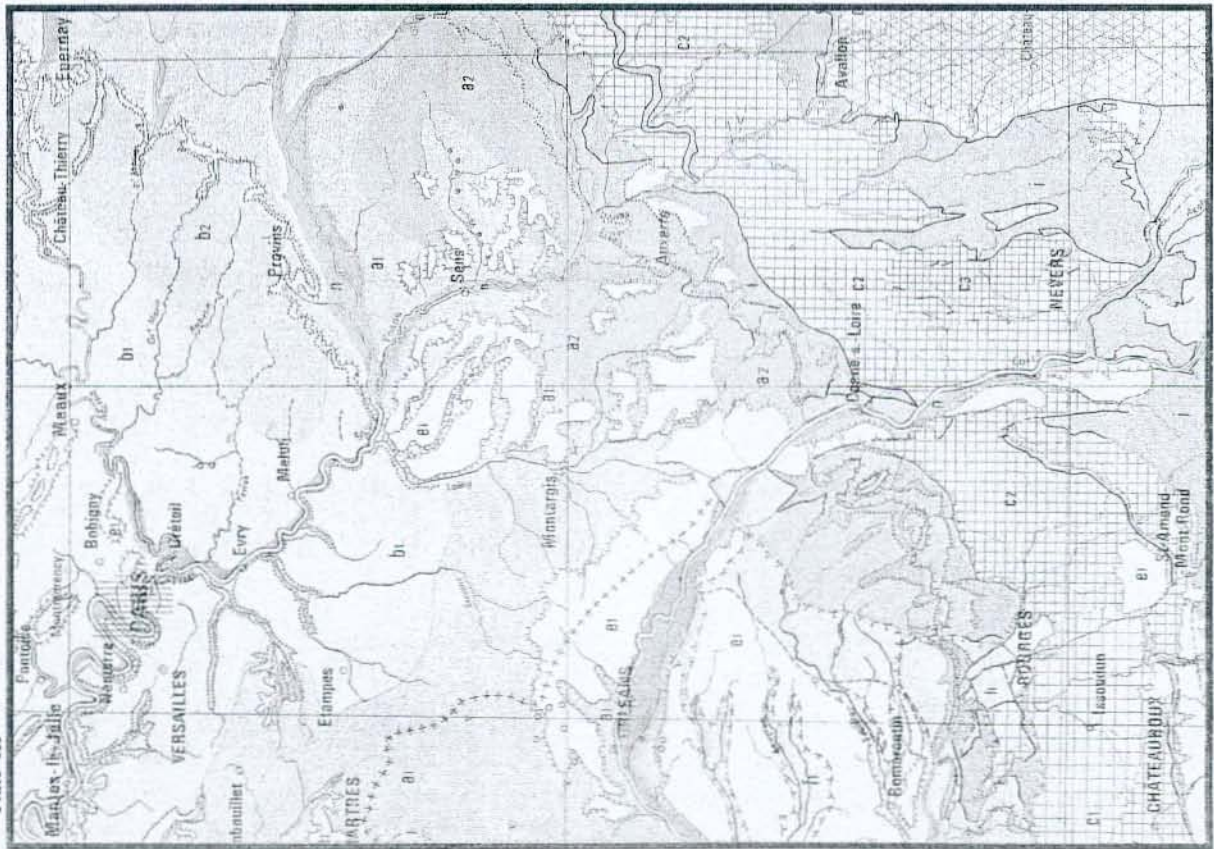
Explicar cómo **leer el mapa y entender o comprender la información que se presenta.**

6. EJEMPLOS

En las cuatro últimas páginas de esta clase, se reproducen sendos **ejemplos de mapas hidrogeológicos**, con sus correspondientes **leyendas**, tomadas de las páginas 170 a 177 del libro mencionado.

Además, en las páginas 88 a 105, también del libro repetidamente mencionado, se da una lista seleccionada de mapas hidrogeológicos de diferentes partes del mundo.

Plate III. Part of the Hydrogeological Map of France at scale 1:1500000 (carte des systèmes aquifères) (Legend)



a. Recharge areas of aquifer systems
mm/year <100 100-200 200-500 500-1000 >1000

Continuous aquifer

Multilayered aquifer

Discontinuous aquifer, flat lying

Discontinuous, folded aquifer

Discontinuous basement aquifer

Semi-permeable covering layer, single aquifer

Semi-permeable formations recharging multilayered aquifers

Discharge area, unconfined water table

Discharge area, confined groundwater

Fresh water body in hydraulic continuity with an aquifer

Cover above confined deep aquifer

Area without aquifers

Complex area (chiefly mountainous)

Alluvial aquifer independent of surface water bodies

Alluvial aquifer closely related to surface water body

b. Discharge areas

c. Low permeability formations

d. Alluvial aquifers

Plate I. Part of the International Hydrogeological Map of Europe at scale 1:1500000,
Sheet C4 Berlin (Legend)



Groundwater and rocks

Aquifers in which flow is mainly intergranular



extensive and highly productive aquifers



local or discontinuous productive aquifers or extensive but only moderately productive aquifers

Fissured aquifers, including karst aquifers



extensive and highly productive aquifers



local or discontinuous productive aquifers, or extensive but only moderately productive aquifers

Strata (granular or fissured rocks) forming insignificant aquifers with local and limited groundwater resources or strata with essentially no groundwater resources



minor aquifers with local and limited groundwater resources



strata with essentially no groundwater resources

Lithology (selected ornaments)



Alluvial sand and gravel deposits



Sand and gravel with boulder clay and silt



Chalk and limestone



Sandstone



Sandstone and claystone



Marl and claystone

Signs and symbols (selected)



Area of sea water intrusion



Artificial recharge plant



Area of deep mining



Salt diapir



Quaternary subglacial channel



Stratigraphic symbol (Upper Cretaceous)

