Capítulo II. LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

1. Definiciones

1.1. Conceptos generales

1.2. Acuíferos

1.3. Afección entre pozos

1.4. Términos hidrogeológicos

1.5. Términos geológicos

1.6. Sistemas acuíferos

CAPITULO II

LOS SISTEMAS ACUIFEROS

1. DEFINICIONES

1.1. CONCEPTOS GENERALES

En el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes a veces en rocas porosas (arenas, gravillas, etc.), o fracturadas (calizas, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden contener agua en sus huecos. Este agua se denomina agua subterránea y los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos.

Los terrenos acuíferos del subsuelo pueden tener una extensión horizontal pequeña, de decenas o centenas de metros cuadrados, y constituir lo que se llama acuíferos locales o puntuales, o bien alcanzar millones de kilómetros cuadrados, formando extensos acuíferos regionales (p. e. el acuífero de Areniscas Nubias en el NE africano tiene una extensión de más de 2.000.000 km² y se extiende por Libia, Sudán y Egipto). El espesor de los acuíferos puede también variar desde centímetros hasta más de mil metros.

El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de la roca, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más. Allí se va acumulando con los años, llenando los acuíferos, y poco a poco circula a favor del gradiente, hasta encontrar un nivel de salida a la superficie en puntos definidos que se convierten en manantiales o fuentes, o de forma difusa, en áreas tales como los lechos de los ríos, cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas especialmente en los estiajes (Fig. 2-1).

Cuando se hace una profundización que atraviesa los acuíferos, el agua de las oquedades pasa a la perforación o pozo, llenándolo hasta un cierto nivel llamado nivel del agua subterránea o nivel piezométrico. Si la perforación o pozo se vacía de agua, el acuífero repone el agua subterránea nuevamente, a expensas de sus propias reservas. Si con una bomba u otro mecanismo se extrae el agua de forma más o menos contínua, se tiene lo que se

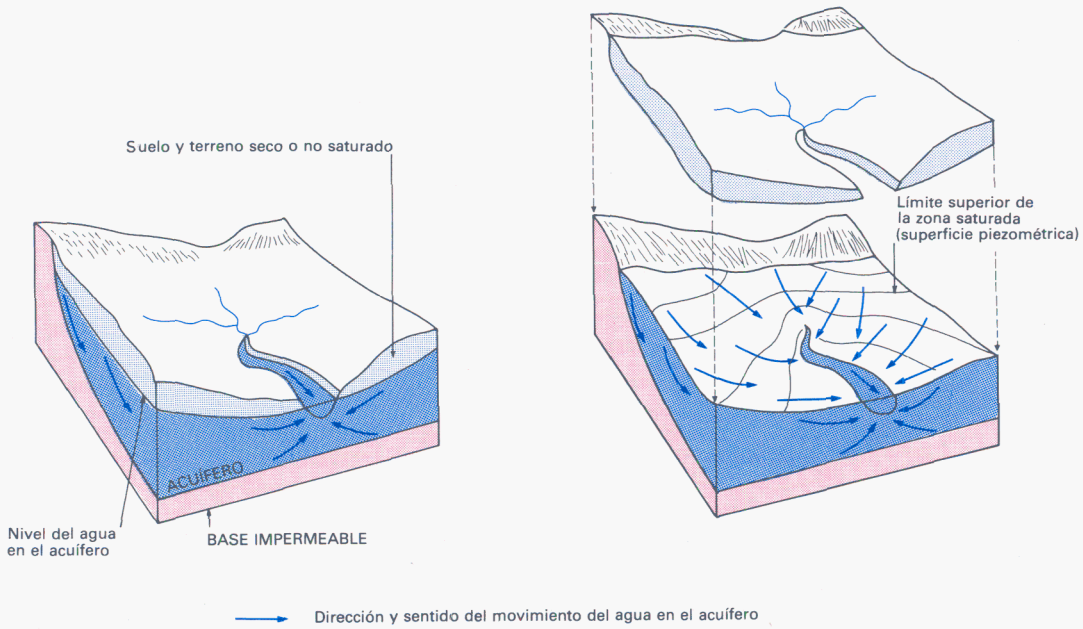


Fig. 2.1 Esquema de circulación del agua subterránea en un acuífero.

denomina una captación de agua subterránea (Fig. 2-2).

La cantidad de agua que puede captarse de un acuífero, a corto plazo, depende principalmente del volumen de poros y grietas de la roca que contiene el agua y de la diferencia de niveles entre el agua en la captación y en la roca encajante. Sin embargo, a largo plazo, la cantidad de agua que puede captarse depende del volumen total del agua almacenada en el acuífero y del ritmo de reposición de este agua almacenada a partir de las lluvias o de masas de agua superficiales. Hay pues en cada captación dos parámetros condicionantes de la cantidad de agua utilizable: uno es el caudal instantáneo que puede dar la captación, otro es el volumen global que la formación acuífera puede ceder a la captación a lo largo de un ciclo hidrológico (anual). Estos dos conceptos se han confundido a veces, especialmente en aforos de pozos, extrapolándose indebidamente lo que es caudal instantáneo a volumen anual.

Las masas de agua subterránea acumuladas en acuíferos suelen moverse muy despacio, hasta el punto que, desde el momento en que se infiltran hasta la fecha en que, más abajo, afloran nuevamente en superficie, pueden transcurrir miles de años. Ello significa que hay depósitos subterráneos que han necesitado centenares de siglos para formarse. Por tanto, no deben en general agotarse por un uso abusivo o desordenado en un corto tiempo, sin fuertes razones que lo justifiquen. También han de cuidarse con especial atención esos depósitos subterráneos para no deteriorar la calidad de las aguas que contienen, contaminándolas de forma irreversible.

1.2. ACUIFEROS

Como se comenzó a describir más arriba, un acuífero es un conjunto de rocas que contienen y pueden proporcionar agua bajo ciertas condiciones.

La propiedad de una roca que la hace poder contener agua se define técnicamente como «porosidad», o «conjunto de intersticios existentes en los sólidos discontínuos» (cuadro 2-1 y figura 2-3).

Para ser verdaderamente acuífera, la roca, además de contener agua, necesita poder cederla, cualidad que se denomina «permeabilidad». Por ejemplo, hay arcillas que pueden absorber cantidades notables de agua, pero bajo condiciones naturales no la ceden, sino que la retienen en su masa. Esas rocas «no» son acuíferas. La permeabilidad, en un sentido

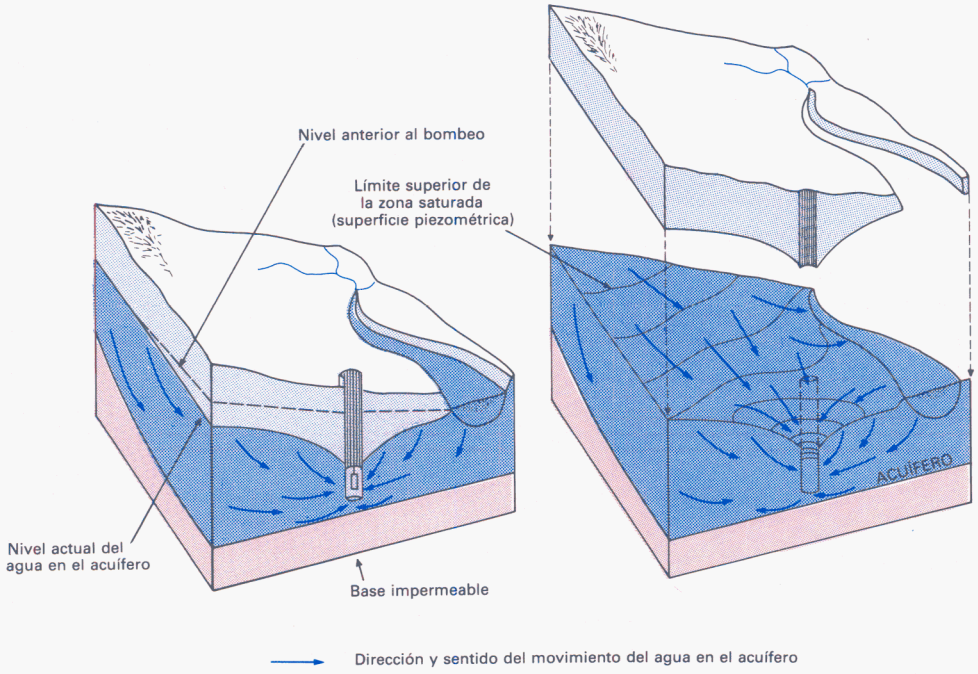


Fig. 2.2 Modificación de la circulación del agua subterránea en un acuífero por el bombeo.

CUADRO 2-1

Valores de porosidad

(Freeze and Cherry, 1979)

Materiales	n (%)
Depósitos no consolidados	
Gravas	25-40
Arenas	25-50
Limos	35-50
Arcillas	40-70
Rocas	
Basalto fracturado	5-50
Calizas kársticas	5-50
Areniscas	5-30
Caliza, dolomía	0-20
Pizarra	0-10
Rocas cristalinas fracturadas	0-10
Rocas cristalinas compactas	0-5

amplio, mide tanto la posibilidad de poder extraer, drenar o bombear agua (cuadro 2-2) como la posibilidad de introducir, infiltrar o recibir agua en un acuífero.

En general, permeabilidad y porosidad son parámetros que definen las características hidráulicas de un acuífero. En la práctica se utiliza el parámetro «transmisividad», que es el producto de la permeabilidad del acuífero por su espesor saturado. La transmisividad se define también como el caudal de agua que proporciona una sección de ancho unidad de frente acuífero sometida a un gradiente del 100 %. La transmisividad es un parámetro que en el campo se mide más fácilmente que la permeabilidad y por ello se utiliza en los cálculos de explotación de pozos con mayor frecuencia que ésta (cuadro 2-3).

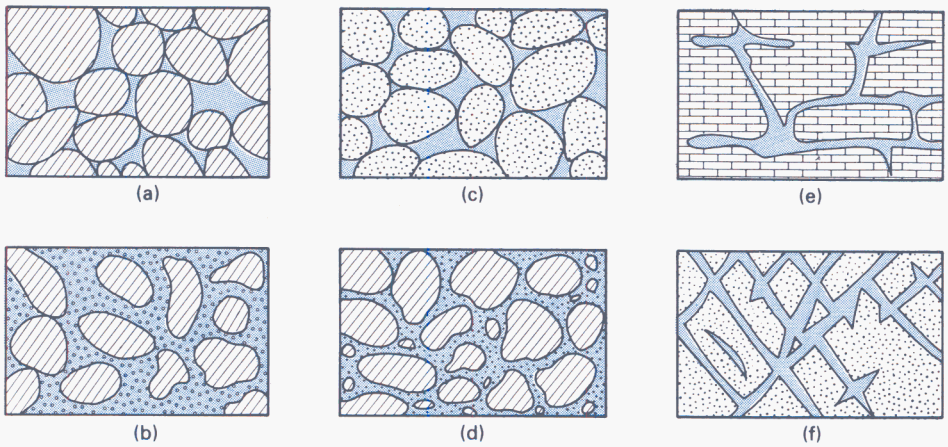
Para que el agua se mueva en un acuífero, es necesario que de un punto a otro de éste exista una diferencia de presión o de altura. En el laboratorio se emplea algún tipo de manómetro para medir esa diferencia de presión. En el campo, sobre el terreno, se mide como diferencia de altura de agua en dos piezómetros, nivelados topográficamente. Un piezómetro no es más que un pozo o sondeo abierto en su parte superior a la atmósfera y, en su parte inferior, al acuífero a medir. Controlando así el nivel de agua en los acuíferos, con los datos obtenidos se establecen los mapas piezométricos que indican las zonas del acuífero con mayor o menor altura/presión (nivel referido a cota absoluta). Basándose en mapas piezométricos puede determinarse la dirección del movimiento del agua subterránea y su pendiente (gradiente). El agua se mueve siempre en el sentido del gradiente, desde las zonas con mayor nivel piezométrico a las de menor nivel.

Al bombear un acuífero, el agua procede no solamente del vaciado de sus poros y fisuras saturadas, sino también de la disminución de huecos producida por la distensión elástica de los mismos (carga hidráulica). Es éste un fenómeno complejo que tiene por consecuencia que materiales en apariencia parecidos no produzcan a veces los mismos volúmenes de agua. El conjunto de cualidades que condicionan el volumen de agua producida se cuantifica mediante lo que se denomina «coeficiente de almacenamiento», que es «la cantidad de agua cedida por un prisma de acuífero de un metro cuadrado de sección y altura la del acuífero, cuando el nivel piezométrico baja un metro». El producto de la superficie de un acuífero por su espesor saturado de agua y por su coeficiente de almacenamiento es, en teoría, una medida del volumen de agua utilizable almacenada en dicho acuífero (véase cuadro 2-4). Tal volumen se denomina también capacidad del acuífero, almacenamiento o reservas.

Los acuíferos se recargan o llenan de agua de forma natural por infiltración del agua de lluvia que cae sobre ellos, de los ríos o lagos que los atraviesan o limitan, o del excedente de agua empleada en regar cultivos asentados sobre ellos (excedente respecto al agua consumida por el propio cultivo y por la evaporación). Este volumen de agua que se llama también aportación, recarga o entrada al acuífero es variable a lo largo del tiempo, mayor en unas épocas, menor o inexistente en otras y, para valorarlo, si no se tienen mediciones de detalle, se suelen establecer valores medios en períodos dilatados de tiempo, por ejemplo, a lo largo de series de años (a veces, hasta 20 ó 50).

El proceso de rellenado de acuíferos por el agua de infiltración (cuya distribución zonal en el subsuelo se ilustra en la Fig. 2-4) ha tenido lugar a lo largo de los tiempos geológicos de forma que hoy, si no fuese por la acción humana, todos los acuíferos se encontrarían al máximo de su capacidad.

Por otro lado, una vez sobrepasada esta capacidad, y en condiciones naturales, se establece una especie de equilibrio entre el agua que entra y el agua que sale por algún lugar. Los lugares de salida son los manantiales —algunos de cuyos tipos se muestran en la



a) Sedimento bien clasificado con alta porosidad
b) Sedimento mal clasificado con baja porosidad
c) Sedimento bien clasificado de materiales a su vez porosos dando un conjunto de alta porosidad
d) Sedimento bien clasificado con baja porosidad por relleno de los intersticios
e) Roca porosa por disolución
f) Roca porosa por fracturación

Fig. 2.3 Relación entre textura y porosidad (según Meinzer, 1923).

CUADRO 2-2

Valores de la permeabilidad (K)
(Adaptado de Villanueva e Iglesias, 1984)

K (m/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
$K<10^{-2}$	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.
$10^{-2}<K<1$	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.
$1<K<10$	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.
$10<K<100$	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.
$100<K$	Muy alta	Pozos de más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica.

CUADRO 2-3

Clasificación de terrenos por su transmisividad (m^2/día)
(Adaptado de Custodio y Llamas, 1983)

T		1	10	10^2	10^3
Calificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta. Pizarra. Granito.	Limo arenoso. Limo. Arcilla limosa.	Arena fina. Arena limosa. Caliza poco fracturada. Basaltos.	Arena limpia. Grava y arena. Arena fina. Caliza fracturada.	Grava limpia Dolomías, calizas muy fracturadas.

CUADRO 2-4

Valores del coeficiente de almacenamiento (S)

(Villanueva e Iglesias, 1984)

Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores de S (medio)
Kárstico:		
Calizas y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2\times10^{-2} - 6\times10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} - 5\times10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} - 5\times10^{-5}$
Poroso integranular:		
Gravas y arenas	Libre	$5\times10^{-2} - 15\times10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos:		
Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15\times10^{-2} - 18\times10^{-2}$

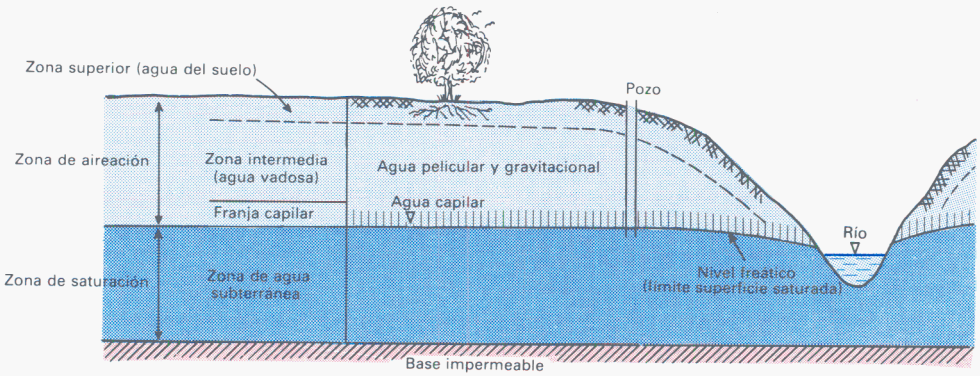


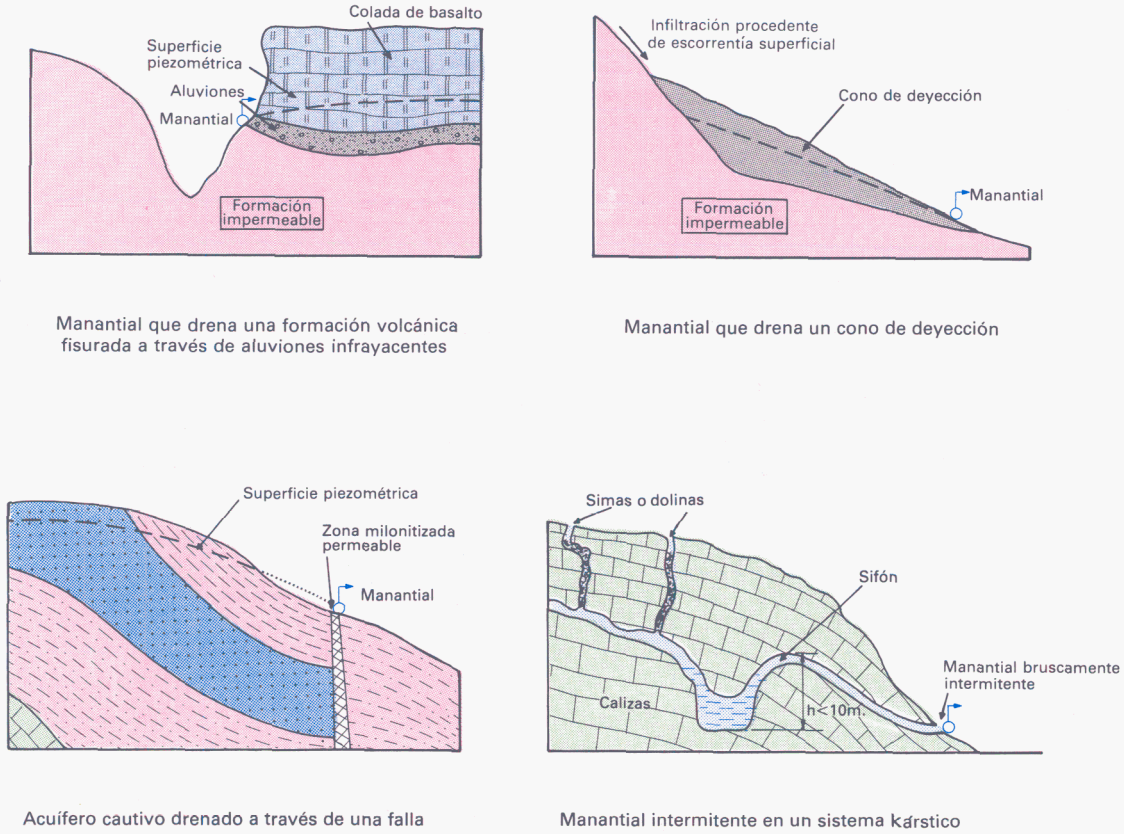
Fig. 2.4 Distribución del agua en el subsuelo (Según Bear, 1982).

figura 2-5—, los ríos —algunos de cuyos esquemas de descarga juntamente con sus designaciones aparecen en la Fig. 2-6—, o el mar bien a través de manantiales submarinos como los de Roquetas de Mar (Almería), Peñíscola (Castellón) o en la Costa de Garraf (Barcelona), por citar algunos conocidos, o de forma subterránea, no perceptible, según muestran los esquemas de las figuras 2-5 y 2-6.

Otros puntos de «descarga» son los pozos de donde artificial o naturalmente sale agua. Uno de los pozos «artesianos» más importantes de España es la fuente de Cella, construida en el siglo XVI, que proporciona en la actualidad un caudal medio, surgente, del orden de unos 30 millones de metros cúbicos al año.

Los acuíferos, según la estructura geológica de los materiales que los forman y las condiciones hidráulicas del agua que contienen pueden ser:

- Acuíferos libres (Fig. 2-7). Corresponden al esquema más simple: Una zona impermeable sirve de base a una zona permeable saturada de agua; más arriba, existe una franja permeable, sin saturar. Al perforar pozos, el agua en ellos se sitúa al ras de la zona saturada, marcando el nivel freático, que en este caso es también el nivel piezométrico. Desde un punto de vista hidráulico se dice que la presión (en la superficie del agua en el pozo o en las fisuras) es exactamente la atmostérica. De una forma simplificada, se asimilan estos acuíferos a lagos o embalses subterráneos. En



Manantial que drena una formación volcánica fisurada a través de aluviones infrayacentes

Manantial que drena un cono de deyección

Acuífero cautivo drenado a través de una falla

Manantial intermitente en un sistema kárstico

Fig. 2.5 Algunos tipos de manantiales (Según Custodio y Llamas, 1976).

ocasiones, la descarga de estos acuíferos a través de manantiales se produce a considerable altura sobre el nivel de base de los cauces de los ríos; se dice entonces que el acuífero está «colgado».

• Acuíferos confinados (Fig. 2-8). Corresponden a un esquema más complicado: el acuífero, o más exactamente la roca permeable, queda encajada por encima y por debajo en terrenos impermeables; todo el espesor del acuífero está saturado de agua y la presión de agua en los poros o fisuras es mayor que la atmosférica. Cuando se perfora un pozo en ellos, es decir, cuando el acuífero se pone en contacto con la atmósfera, el agua «sube» por la perforación o pozo, quedando el nivel del agua por encima del punto en que el pozo alcanzó al acuífero. El nivel a que queda el agua en un sondeo en tales acuíferos se denomina nivel «piezométrico» del acuífero en ese punto. En ocasiones (menos numerosas de lo que parece) el nivel del agua supera el de la superficie y el agua desborda por la boca y se dice entonces que los pozos son «surgentes», «artesianos surgentes», o simplemente «artesianos». A estos acuíferos se les denomina también acuíferos a presión, o en carga.

• Acuíferos semiconfinados. En puridad no existen materiales absolutamente impermeables. En caso de acuíferos semiconfinados, una de las rocas encajantes no es totalmente impermeable y permite cierta transmisión de agua a través de ella. El acuífero, de algún modo, tiene unas características intermedias entre el libre y el confinado.

1.3. AFECCION ENTRE POZOS

Cuando se bombea un pozo baja el nivel de agua en el mismo y en sus alrededores. Puede considerarse el descenso de nivel de agua como una reacción del acuífero ante los bombeos.

El descenso es mayor en el punto de bombeo y disminuye conforme nos alejamos de él formando una zona desecada o drenada denominada «cono de influencia» o de bombeo (Fig. 2-9).

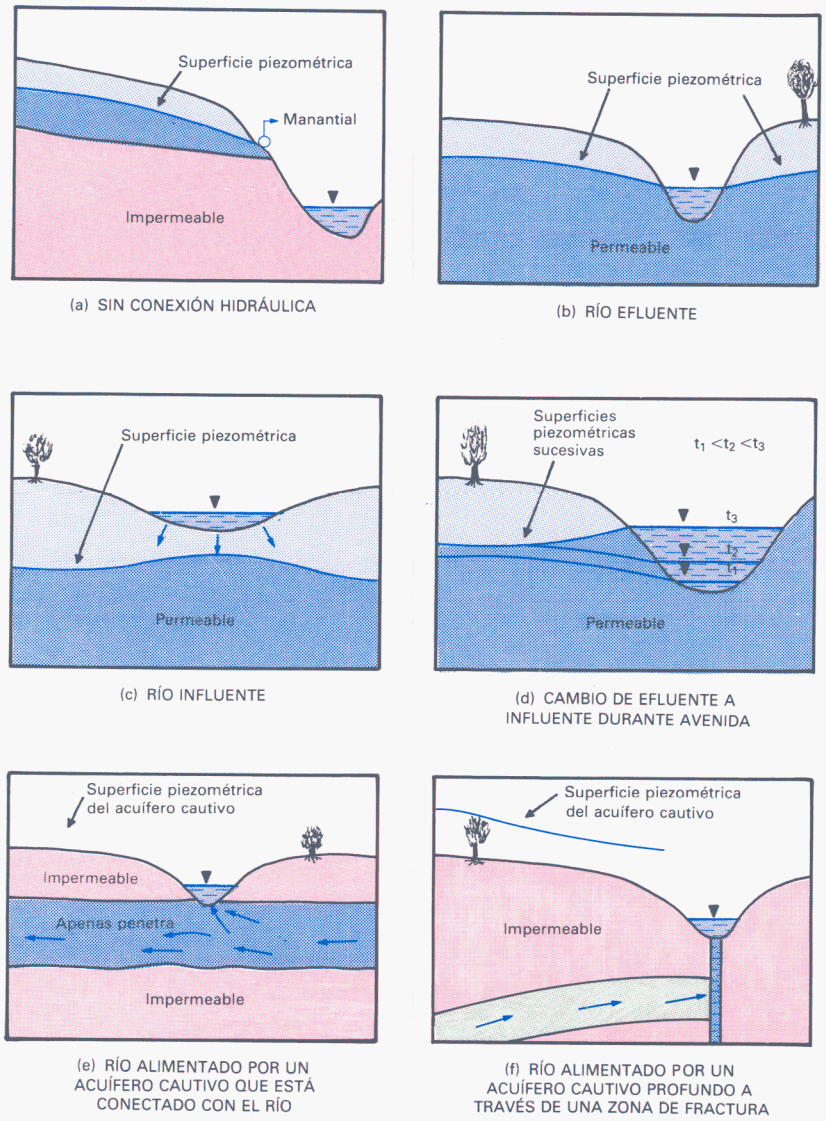
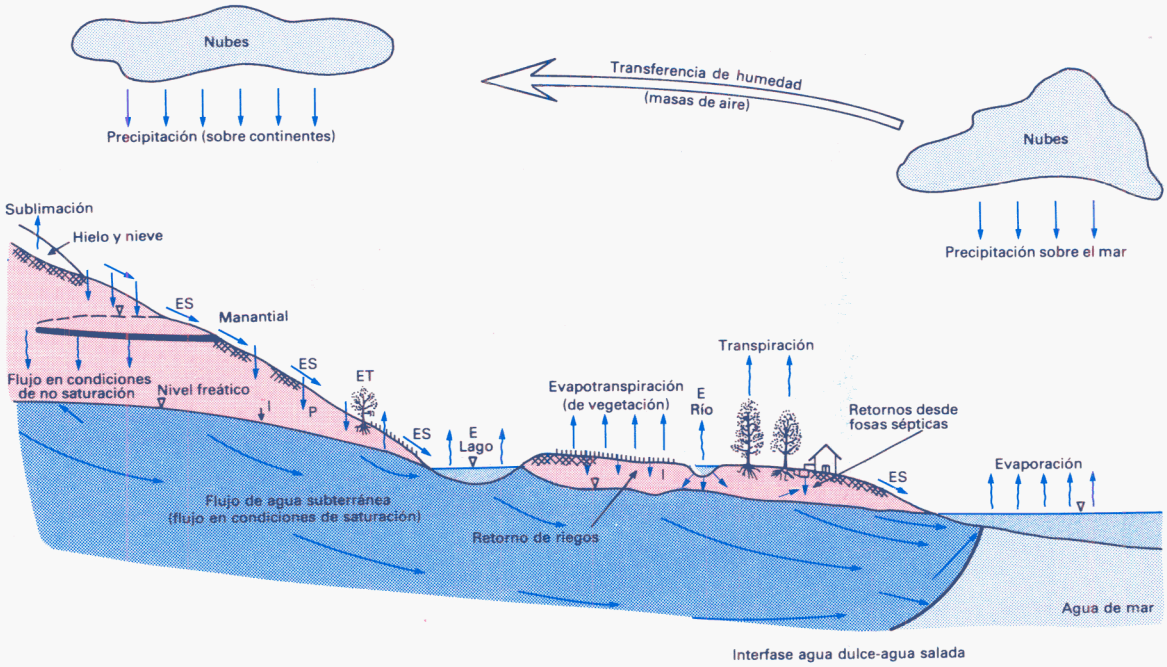


Fig. 2.6 Esquema de relación río-acuífero (Según Custodio y Llamas, 1976).



ET = Evapotranspiración
E = Evaporación
ES = Escorrentía superficial
I = Infiltración
P = Percolación

Fig. 2.7 Esquema del ciclo hidrológico (Según Bear, 1982).

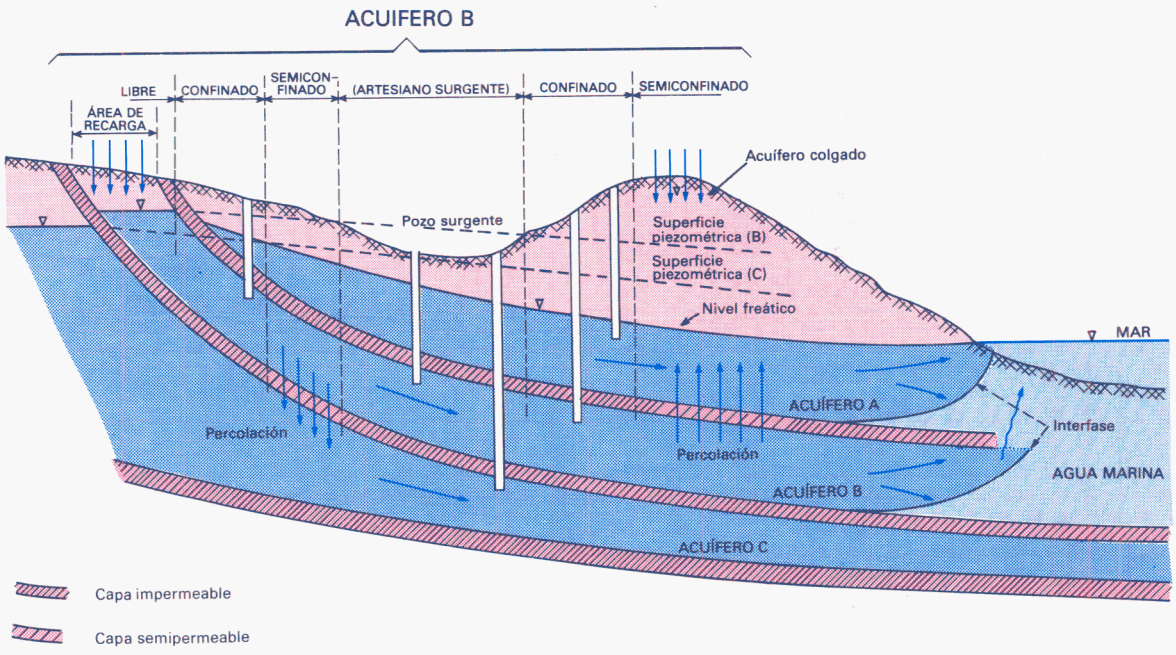
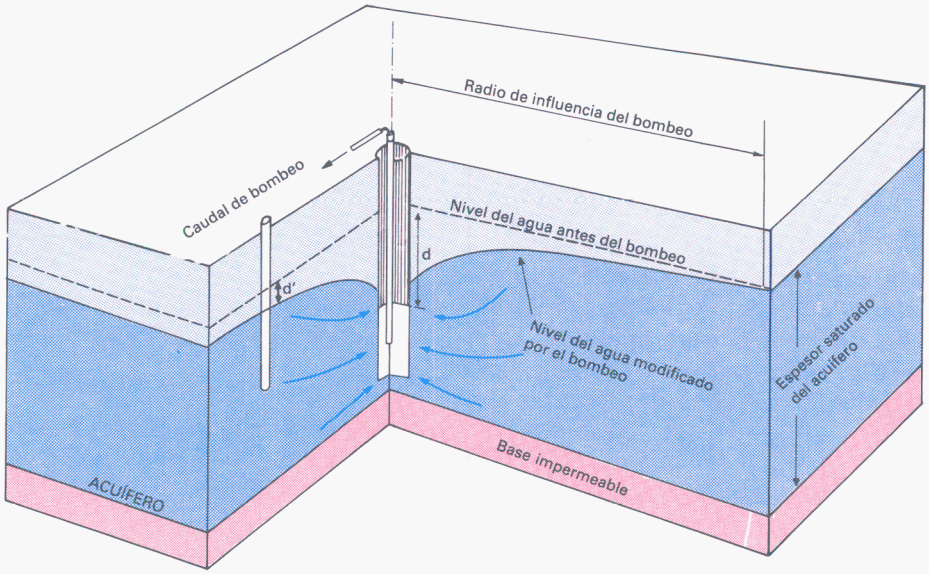


Fig. 2.8 Acuíferos libre, semiconfinado y confinado (Según Bear, 1982).



d = Depresión en el pozo
d' = Depresión en un piezómetro de observación
→ Dirección y sentido del movimiento del agua en el acuífero

Fig. 2.9 Esquema del cono de influencia en un pozo de bombeo.

El cono de influencia es el causante de que pozos próximos se afecten entre sí cuando se bombean. Al llegar el cono de influencia del pozo de bombeo al pozo vecino, hace descender en éste el nivel de agua, con la consecuencia práctica de que con la instalación de este segundo pozo se puede bombear ahora menos agua. Se dice entonces que el primer pozo afecta al segundo. La influencia entre pozos es recíproca.

El cono de influencia viene dimensionado no sólo por el caudal bombeado y el tiempo de bombeo, sino por las características hidráulicas del acuífero (permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento). Así, en los acuíferos libres, el cono es profundo y de diámetro reducido mientras que en los acuíferos cautivos suele ser extenso y aplanado. Por otra parte, en aquéllos, los conos de influencia reaccionan con más inercia a los bombeos, son conos de formación lenta, mientras que en los acuíferos en carga, los conos son de formación rápida, a veces casi instantánea.

Por esta razón, y al margen de otras consideraciones, la posibilidad de interferencia directa entre pozos es mayor en el caso de acuíferos confinados que en el de acuíferos libres.

1.4. TERMINOS HIDROGEOLOGICOS

La técnica de las aguas subterráneas, o «Hidrogeología», utiliza una terminología particular cuyo conocimiento y comprensión son esenciales para el buen entendimiento del resto de los capítulos de esta síntesis. Algunos de los términos más comunmente utilizados en Hidrogeología se describen a continuación:

«Aportación». El volumen total de agua que circula por una sección determinada de una cuenca se denomina «aportación» o también «aportación total». Es la suma de las dos componentes: superficial y subterránea. La aportación superficial se denomina igualmente «escorrentía». Con menos propiedad la componente subterránea se denomina a veces «escorrentía subterránea».

«Regulación». La escorrentía (superficial principalmente) se adapta a las necesidades en cantidad, espacio y tiempo mediante obras, estructuras o programas de uso. En ésto consiste la regulación. Generalmente no se trata de conseguir caudales contínuos en el tiempo (Regularidad) sino cuadales acordes con las necesidades (Regulación).

«Recursos». Son los volúmenes de agua capaces de cubrir una necesidad en la cantidad

requerida y en el momento y lugar en que se presenta. El término «recursos» se utiliza con frecuencia, y erróneamente, como equivalente de recursos disponibles, o recursos no comprometidos, lo que es una extrapolación que no puede hecerse. En la presente síntesis, cuando se da una cifra representativa de «recursos subterráneos» ha de entenderse como cifra representativa de la alimentación y/o circulación más que como una cifra del valor del volumen de agua que se puede utilizar libremente. Esta última cantidad depende de los demás usos o derechos de agua de la cuenca.

«Usos del agua». Se refiere a las grandes vías o apartados en que el agua es usada por el hombre para cubrir diversas necesidades. Entre los usos del agua se incluyen bebida, transporte, recreo, industria, generación de energía eléctrica, ganadería, agricultura, etcétera.

«Usos actuales del agua». Son los que en el momento actual se dan al agua. El «agua aplicada total» es el volumen de agua necesario para dejar satisfechos esos usos.

«Usos potenciales del agua». Son los que podrían existir si hubiese recursos suficientes. Los usos potenciales son función de diversas circunstancias como clima, suelo, desarrollo, economía, etcétera.

«Agua aplicada». Es el volumen total de agua que se necesita utilizar en un uso concreto, independientemente de que se «gaste» o consuma total o parcialmente en el proceso.

«Retornos». Es la diferencia entre el agua aplicada y el agua consumida, la cual, por uno u otro camino y cadencia, se integra nuevamente al sistema de recursos hidráulicos tanto en su parte superficial como subterránea.

«Demanda». Es el volumen de agua necesario para dejar satisfecho un uso del agua en la cantidad, lugar y momento preciso. La demanda es un parámetro de fácil manipulación cuya utilización descuidada puede producir confusiones en el estudio de los usos del agua.

«Dotación». Se refiere a la cantidad de agua asignada para dejar satisfecho un uso unitario del agua en un tiempo específico (p. e. riego de una hectárea durante un año). Al cambiar las condiciones técnicas, las dotaciones requeridas pueden también variar (p. e. riego por aspersión frente a riego por inundación).

«Dotación media». Es el resultado de dividir el volumen utilizado anualmente por el total de unidades a las que se asigna esa dotación.

«Agua consumida». Parte del agua aplicada sufrirá un consumo real en el proceso.

«Reciclado». Es la utilización de un retorno de agua dentro del mismo proceso que lo generó.

«Volumen neto». Es la diferencia entre el volumen bruto extraido de un acuífero y el retorno de riego.

1.5. TERMINOS GEOLOGICOS

También se utilizan en esta síntesis numerosos términos geológicos, la mayor parte para designar la edad de las formaciones de rocas a que se hace alusión, y otros que describen la forma o estructura en que se presentan esas formaciones o capas geológicas.

Referente a estructuras, las palabras de mayor uso son las siguientes:

«Anticlinal». Es un conjunto de capas o estratos geológicos dispuestos en forma de arco (como una «n»).

«Sinclinal». Es un conjunto de capas o estratos geológicos dispuestos en forma de surco o canal (como una «u»).

«Falla». Es una ruptura en los estratos o capas, por la cual un lado se mueve (sube, baja, se adelanta, se desplaza) con relación al otro lado.

«Pliegue». Es una deformación de los estratos o capas geológicas por la cual éstos se doblan y deforman. Los pliegues pueden formar anticlinales y sinclinales. Los pliegues violentos se llegan a romper produciendo fallas.

Con frecuencia se emplea la palabra «Karst» o «Kárstico». Este término se refiere generalmente a calizas en cuyo interior se han formado conductos que pueden llegar a convertirse en cavernas, por disolución de la roca en el agua subterránea que continen. El Karst origina una circulación de agua subterránea muy rápida (como ríos subterráneos) y de relativamente pequeño volumen almacenado.

Referente a edades, las más frecuentemente citadas se recogen en la lista siguiente, con su cronología aproximada, expresada en millones de años hacia atrás, a partir del año cero de nuestra era.

Cuaternario (Cuaternario reciente)	Actual a −1,8	
Terciario (Cenozoico)	Plioceno (−1,8 a −6)	
	Mioceno (−6 a −22,5)	
	Oligoceno (−22,5 a −37)	
	Eoceno (−37 a −55)	
	Paleoceno (−55 a −65)	
Secundario (Mesozoico)	Cretácico (−65 a −140)	(Maestrichtiense, Campaniense, Santoniense, Barremiense, Hauteriviense, Valanginiense)
	Jurásico (−140 a −195)	(Malm, Dogger, Lías).
	Triásico (−195 a −230)	(Keuper, Muschelkak, Buntsandstein)
Primario (Paleozoico)	Pérmico (−230 a −280)	
	Carbonífero (−280 a −345)	(Stefaniense, Westfaliense, Namuriense)
	Devónico (−345 a −395)	
	Silúrico (−395 a −435)	
	Ordovícico (−435 a −500)	
	Cámbrico (−500 a −600)	
Proterozoico (Precámbrico)	(−600 a >−4.000)	

1.6. SISTEMAS ACUIFEROS

El concepto de acuífero o terreno acuífero, que se ha desarrollado en las páginas anteriores conduce, por extensión, al de «sistema acuífero». Sistema acuífero no admite una definición lógica rigurosa y en el concepto se aúnan regiones y formaciones geológicas de naturaleza y cualidades diversas.

Según una interpretación literal, basada en el diccionario de la Real Academia de la Lengua, un «sistema acuífero» sería «un conjunto de rocas que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a transportar o almacenar agua».

En el año 1971 el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) publicó el primer "Mapa Hidrogeológico Nacional" cuyos objetivos eran:

1. «Ofrecer una visión general y sintética de la distribución espacial de los acuíferos subterráneos del territorio nacional, sus condiciones de ubicación y las características generales supuestas o formuladas mediante hipótesis bien claras del funcionamiento de esos acuíferos, así como las de sus eventuales interrelaciones.»

2. «Presentar una evaluación de la potencialidad de los recursos subterráneos del territorio nacional; evaluación en valores absolutos sin olvidar la importancia relativa tanto entre ellos como en relación con los recursos hídricos totales.»

Es decir: por una parte realizar una cartografía de los principales acuíferos y por otra parte llegar a cuantificar sus recursos. Ello se intentó mediante:

a) La mayor precisión posible para la escala de trabajo elegida, sin caer en el error de suponer una exactitud inexistente.

b) Coherencia y homogeneidad en los datos utilizados y en los resultados obtenidos.

c) Obtención de valores numéricos por varios caminos independientes, ajustándolos luego mediante aproximaciones sucesivas.

En el momento de plantear aquel trabajo no había una cartografía hidrogeológica nacional completa coherente y organizada, aunque existían numerosos mapas hidrogeológicos que cubrían regiones más o menos extensas. Para llevarla a cabo, de acuerdo con los propósitos antes expuestos, fue necesario definir el concepto de «Sistema Acuífero» como «dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos,

relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación». Esta definición necesariamente amplia y no restrictiva permanece aún vigente.

El concepto de sistema es dinámico, ya que las «unidades prácticas» cambian en el tiempo al haber cambios económicos, avances en la investigación, etc.; no es de extrañar, por tanto, que puedan existir críticas a cualquier clasificación rígida de los materiales permeables en «sistemas hidrogeológicos» o «sistemas acuíferos».

Hasta el año 1980 el criterio fundamentalmente investigador, promovido por el ITGE, fue el dominante en la definición de sistemas. Al acumularse los datos, muchos de ellos sólo abordables mediante tratamiento informático, se subdividió el sistema en unidades menores, «subsistemas», «acuíferos», «subunidades», etc., o, por el contrario, se agruparon sistemas en unidades superiores.

Al mismo tiempo, hubo cambios de criterio en la identificación de sistemas acuíferos, pasando de una clasificación con vocación cartográfica (modelos geométricos en donde se intentan agrupar acuíferos con criterios de semejanza litológica y estructural) a una clasificación en que se intenta de forma general cifrar la cantidad y describir el movimiento del agua subterránea. Se incluyen consideraciones más o menos amplias sobre las demandas de agua y los bombeos efectuados (modelo conceptual), llegándose a plantear el sistema como una estructura que hace corresponder un conjunto de entradas de agua («ingresos» o «input») a un conjunto de salidas de agua («egresos» o «output»), observándose en la literatura referente al tema que los llamados «balances» de agua, (similares a los balances financieros) forman el grueso de los volúmenes, mientras los temas físico-descriptivos, que predominaban en la década de los 70 con su terminología geológica, se consideran más someramente y no constituyen sino un marco en el que se definen las demás variables.

A partir de los años 80, esta divergencia del modelo original es aún más acusada: de la mano de los primeros esbozos de planes hidrológicos nacionales, se fragmenta (o regionaliza) el país de acuerdo con diversos criterios, fundamentalmente físicos y administrativos. Se intentan armonizar conceptos como:

Fisiográfico:	Cuencas
Hidrogeológico:	Sistema acuífero
Administrativo:	Provincias, Comunidades Autónomas
Económico-sociales.	Núcleos de demanda
Etcétera	

En esta línea se sigue trabajando actualmente. Es decir, el primitivo sistema hidrogeológico, básicamente cartográfico, se ha convertido en un esquema de recursos de agua subterránea. La coherencia metodológica, definitivamente abandonada, da paso a la ingeniería de sistemas de forma que de la representación más antigua del sistema hidrogeológico, con enumeración de anticlinales, sinclinales, fallas, direcciones y buzamientos, símbolos de pozos, sondeos o manantiales, se pasa a esquemas geométricos con vectores, números y logotipos indicativos de aportes, extracciones, usos, reservas, etcétera.

El sistema de recursos de agua, en este caso subterránea, según el concepto corriente actual, es «cualquier unidad de producción de agua». Se define en el espacio (cuenca, sistema hidrogeológico clásico, unidad, acuífero, campos de pozos, etc.), en el tiempo (pasado, presente o futuro, bajo distintas hipótesis de evaluación) según la actividad o conjunto de actividades económicas a la que va a ser dedicado o es empleado; se definen asimismo los volúmenes de agua operantes (reservas, entradas «input» y salidas «output»), la operación o regla de funcionamiento (bombeo, recarga artificial, distintas hipótesis de lluvia, sequías, etc.) y, por último, los elementos de control del sistema, que en este caso pueden ser pluviométricos, de aforos o volúmenes aportados por manantiales y ríos, piezométricos o de altura de agua en los acuíferos y de calidad del agua subterránea. Estos constituyen las «redes de control» que el ITGE comenzó en los años 20 y que mantiene desde el año 1972, de forma sistemática.

2. IDENTIFICACION DE LOS SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS

El sistema hidrogeológico, entendido básicamente como unidad cartográfica, es el elemento a analizar aquí ya que:

a) Integra uno o varios acuíferos.
b) Tiene un criterio espacial muy sólido, y después de 15 años de su definición, aún