

Tema 1. EL AGUA SUBTERRÁNEA

Tema 1. EL AGUA SUBTERRÁNEA

El término agua subterránea hace referencia al agua contenida en el medio poroso saturado que procede del agua infiltrada en el suelo y que no ha sido transpirada por las plantas o evaporada desde la superficie del suelo. Parte de ella retornará a la superficie del suelo formando manantiales o se pasará a formar parte de las corrientes naturales.

1. 1. AGUAS PARA DRENAJE (AVENAMIENTO) Y PARA POZOS

El suelo es un medio poroso que sustenta a las plantas aparte de proporcionales agua, oxígeno y nutrientes para su desarrollo fisiológico óptimo. La absorción de los nutrientes se reduce cuando la proporción de agua y oxígeno no es la adecuada. El drenaje (avenamiento) del terreno, natural ó artificial, resulta esencial en el desarrollo de los riegos. La intensidad de avenamiento debe de mantener el nivel freático fuera de unos niveles críticos dañinos para el cultivo. Las tierras con avenamiento natural restringido y cuyo avenamiento artificial resulte económicamente poco viable, no podrán regarse indefinidamente. Se ha observado que superficies, en principio con condiciones favorables para el riego, con un nivel freático entre 5 y 30 m de profundidad han padecido, eventualmente, problemas de encharcamiento del suelo, de salinización o de ambos causados por la elevación del nivel freático. Los problemas derivados de la falta de drenaje natural pueden surgir mucho tiempo después de haberse instalado el riego.

Según la definición dada por la Comisión Internacional de Riegos y Drenajes (ICID, 1979) el drenaje de tierras anegadas hace referencia a la extracción del exceso de agua superficial y subterránea para la mejora del cultivo y para el lavado de sales solubles. Las plantas cultivadas en medios con un nivel freático alto desarrollan sistemas radicales superficiales por lo que son más susceptibles a las enfermedades y acceden a una menor concentración de nutrientes. Por otra parte, un control adecuado de la salinidad y alcalinidad del suelo sólo puede llevarse a cabo en suelos bien avenados. El agua de lavado debe de filtrarse hacia horizontes profundos para remover el exceso de sales. Por el contrario un nivel freático alto crea condiciones que favorecen el ascenso capilar de las sales hacia la zona radical donde se depositan.

1.1.1. Reseña histórica de la explotación del agua subterránea y del avenamiento de tierras

En la antigüedad el hombre se abasteció de agua procedente de corrientes naturales para uso doméstico. Los manuscritos bíblicos revelan que los humanos, de aquella época, excavaban pozos a cielo abierto para explotar las aguas subterráneas poco profundas. Se conservan, también relatos de los primeros mecanismos hidráulicos destinados a su explotación. Posteriormente, en la edad antigua China se inventó la perforación y el entubado de pozos. Durante siglos el uso del agua subterránea se vio limitado dada la limitación de conocimientos sobre su origen y sus propiedades y la falta de desarrollo tecnológico. La invención del motor y el desarrollo de la maquinaria hidráulica permitieron extraer el agua cada vez a más profundidad al mismo tiempo que se sentaban las bases del

conocimiento de la hidrología subterránea. En la actualidad, la explotación del agua subterránea se destina a uso doméstico y agrícola.

En la antigua civilización india (2500 BC) los agricultores que vivían en las riberas del río Indo practicaban la agricultura de forma natural, el riego y el drenaje de tierras anegadas se realizaba con agua de la lluvia y del río manteniendo el equilibrio hidrológico de la zona. Al ascender el nivel del río, anegaba una franja pequeña de tierras de cultivo, mientras que en el descenso, provocaba su avenamiento.

El aumento de la población humana fomentó el aumento de la producción agrícola con el aumento de la superficie de tierras de cultivo y con el riego. Algunas civilizaciones florecientes desaparecieron por la práctica continuada del regadío sin labores de avenamiento, lo que produjo la salinización de las tierras. No obstante, hay evidencias que apuntan a que los conocimientos sobre prácticas de drenaje en tierras regadas para el control de la salinidad se usaban desde muy antiguo.

Los primeros sistemas de drenaje fueron zanjas excavadas en suelo. Conforme la tecnología avanzó (siglo XX), las máquinas excavadoras permitieron la instalación de drenes a una determinada profundidad. Los materiales utilizados cambiaron en el tiempo primero fueron cerámicos y posteriormente de PVC de paredes lisas y corrugadas. Asimismo, en la década de los “60” comenzaron a desarrollarse materiales envolventes: filtros orgánicos, sintéticos.

El conocimiento del movimiento de agua en el suelo en la antigüedad se basaba en la experiencia. Posteriormente, las experiencias de Darcy (1856) en filtros de arena proporcionó la base teórica para el desarrollo espectacular que ha experimentado desde entonces.

1. 2. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ESPAÑA

En este apartado se presenta, de forma breve, el estado actual del conocimiento de las aguas subterráneas en España cuya información recoge tanto el Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (LBAS) como el Libro Blanco del Agua en España (LBAE).

1.2.1. Unidades hidrogeológicas

Las formaciones acuíferas se extienden de forma desigual por toda España dependiendo, sobre todo, de las características geológicas de cada zona. Se denomina acuífero a la formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea en cantidades significativas, que puede ser extraída mediante pozos y galerías. La superficie de los acuíferos es muy variable, desde pocas ha a miles de km², y su espesor puede variar desde unos pocos metros a varios cientos.

La legislación española, desarrollada a partir de la nueva Ley de Aguas de 1985, introdujo el concepto de unidad hidrogeológica con base en criterios hidrogeológicos y administrativos aunque suele coincidir, de forma aproximada, con la división en sistemas

acuíferos existentes hasta entonces. Se la define en el artículo 2 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (RAPAPH) como uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua. En los diferentes estudios realizados para elaborar los Planes Hidrológicos de Cuenca, el LBAE caracteriza 411 unidades hidrogeológicas que ocupan una superficie de, aproximadamente, 177 000 km², la tercera parte del país (ver figura 1.1 y Tabla 1.1).

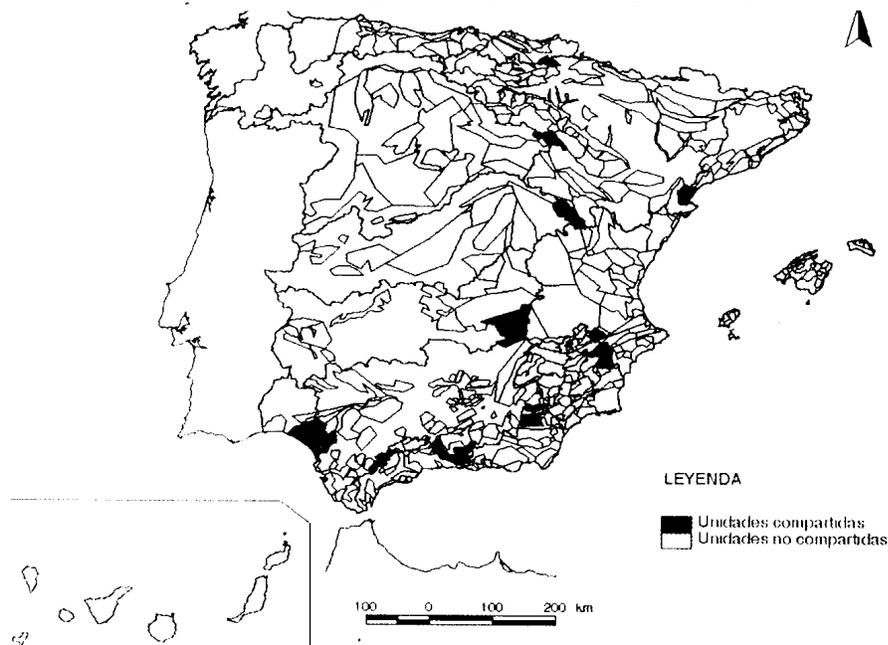


Figura 1.1. Distribución de unidades hidrogeológicas en España. (Fuente LBAE, figura 119).

Ámbito de planificación territorial	Número de unidades hidrogeológicas	Superficie permeable (km ²)
Galicia Costa	sin datos	sin datos
Norte I	3	sin datos
Norte II	16	4 672
Norte III	8	946
Duero	21	52 799
Tajo	12	17 475
Guadiana I	11	13 834
Guadiana II	2	920
Guadalquivir	61	15 140
Sur	45	5 305
Segura	52	6 958
Júcar	52	23 781
Ebro	57	17 057
Cuencas internas de Cataluña	30	6 616
Baleares	34	3 674
Canarias	7	7 384
Total	411	171 561

Tabla 1.1. Clasificación de las unidades hidrogeológicas por ámbito de planificación territorial. (Fuente Llamas et al. 2001).

De las 411 unidades hidrogeológicas, 391 están integradas en su totalidad dentro de los límites de un solo ámbito de planificación, 19 son compartidas por dos ámbitos y una es compartida por tres ámbitos (CEDEX, 1998). Se entiende por ámbito territorial de planificación las demarcaciones de territorio a efectos de planificación hidrológica, para cada una de las cuales se exige la elaboración de un Plan Hidrológico de cuenca. Algunas cuencas están subdivididas en varios ámbitos territoriales de planificación (Norte en tres y Guadiana en dos). Las cuencas intracomunitarias con Administraciones hidráulicas gestionadas por sus respectivas Comunidades Autónomas, constituyen también ámbitos territoriales de planificación.

La figura 1.2 se muestra la distribución espacial de las formaciones geológicas más permeables en España no obstante, existen otros acuíferos de menor entidad que no se han recogido oficialmente. En ella se muestran las formaciones detríticas, carbonatadas y volcánicas. Muchas de las zonas catalogadas sin acuíferos están formadas por materiales de baja permeabilidad con suelos cristalinos (granitos y rocas afines) y metamórficos (pizarras y similares) que en ocasiones, incrementan su permeabilidad por la presencia de discontinuidades estructurales lo que les dota de un interés local para el abastecimiento urbano de poblaciones pequeñas y para usos agrícolas e industriales. Dichas zonas afloran, fundamentalmente, en Galicia y territorios fronterizos con Portugal y se prolongan hacia el interior de la península por los Montes de León, el Sistema Central y, una amplia franja que se extiende desde los Montes de Toledo hasta Sierra Morena. En Galicia, se estima existen cerca de 300 000 puntos de captación de agua subterránea (incluidos pozos y manantiales). Por ello, en los últimos años, se tiende a clasificar el medio poroso como de alta, media o baja permeabilidad, ejemplo de esto último son los mapas hidrogeológicos publicados en California por la Fundación de la Educación sobre el Agua (Water Education Fundation).

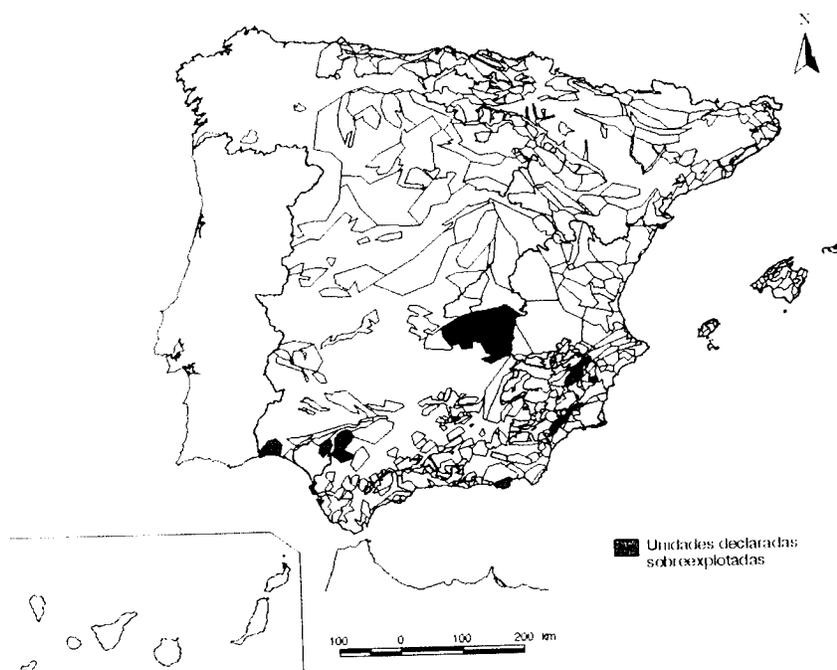


Figura 1.2. Distribución de las formaciones acuíferas de mayor permeabilidad en España. (Fuente LBAE, figura 2).

Los acuíferos detríticos compuestos por materiales sueltos o semiconsolidados, tales como gravas, arenas y limos fluviales, ocupan una extensión aproximada de 100 000 km². Los más importantes se extienden por las grandes depresiones de la Meseta, cuencas del Duero y Tajo) y en la cuenca del Guadalquivir. Tradicionalmente, también han sido explotados los acuíferos de los grandes ríos como Ebro, Duero, Tajo y Guadalquivir.

Los acuíferos calcáreos se extienden bajo una superficie aproximada de 70 000 km². Están constituidos por materiales calcáreos, más o menos karstificados, y suelen proporcionar grandes caudales. Se define karstificación como el conjunto de procesos de disolución de rocas solubles que conducen al desarrollo de un flujo de agua subterránea a través de conductos, relativamente, grandes, con formación, frecuente, de cavernas y ríos subterráneos. Las formaciones más importantes se extienden por toda la zona del Levante y en La Mancha. Existen otras superficies en zonas de Andalucía, Baleares, Pirineos y Norte.

Los acuíferos vinculados a rocas de naturaleza volcánica ocupan una superficie de 8000 km² y se encuentran, de forma casi exclusiva, en el archipiélago Canario en donde constituyen, prácticamente, los únicos acuíferos existentes. Su estructura hidrogeológica suele ser compleja compuesta por numerosos acuíferos pequeños sin conexión debido a las discontinuidades existentes.

1.2.2. Reservas de agua subterránea

Una de las características prácticas más interesantes de los acuíferos es su capacidad para almacenar agua pero no es fácil realizar una estimación precisa de las reservas de agua en los acuíferos españoles. La complejidad estructural de muchos de ellos, hace difícil determinar con precisión aspectos como su geometría o el valor medio de los parámetros hidráulicos como el coeficiente de almacenamiento y porosidad efectiva (ver tema 3. Hidráulica de pozos). La extracción de agua de los acuíferos dependerá del desarrollo tecnológico de los equipos de perforación y de bombeo. La profundidad del agua dulce en los diferentes acuíferos es muy variable, desde unos pocos metros hasta varios miles, dependiendo de la diversidad de condiciones geológicas y topográficas.

El balance de dichas reservas considera el agua almacenada hasta una determinada profundidad, en general 100 ó 200 m. Las estimaciones realizadas oscilan, dependiendo de la fuente de estimación, entre 150 000 y 300 000 hm³ (ver Tabla 1.2). Los cifras presentadas suelen estar subestimadas en parte, por no considerar superficies no identificadas de forma oficial como unidad hidrogeológica pero con significativas reservas de agua. Para dar una idea de la gran capacidad de almacenamiento de los acuíferos compárese las cifras anteriores con los 56 000 hm³ de agua embalsada en los 1200 embalses españoles.

La estimación de las reservas de agua pone de manifiesto la gran capacidad de almacenamiento de agua en los acuíferos lo que les confiere un importante papel de seguridad ante la sequía y permite estimar el caudal base de los ríos (caudal de origen subterráneo que alimenta un río en régimen natural, durante los periodos en los que no se produce lluvias ni fusión de nieve).

Cuenca hidrográfica	MOPTA-MINER (1993) reservas (hm ³)	ITGE (1995) reservas (hm ³)
Norte	7 700	7 700
Duero	43 600	43 600
Tajo	4 700	12 000
Guadiana	2 800	15 000
Guadalquivir	11 000	11 000
Sur	5 600	5 600
Segura	sin datos	20 000
Júcar	79 100	79 100
Ebro	12 800	12 800
Cuencas internas de Cataluña	12 600	12 600
Baleares	sin datos	2 500
Canarias	sin datos	2 500
Total	179 900	224 400

Tabla 1.2. Estimación de reservas de aguas subterráneas realizado por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (MOPTMA) y por el Instituto Técnico Geominero de España (ITGE).

1.2.3. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos renovables

La evaluación de la recarga del acuífero es una tarea compleja sometida a incertidumbres que, en ocasiones, son significativas. La recarga procede de la infiltración de la precipitación y puede existir, también, una recarga natural procedente de cursos de aguas superficiales, ríos o lagos. La recarga puede experimentar pérdidas por: evapotranspiración (cuando el nivel freático está próximo a la superficie del suelo), transferencias laterales a otros acuíferos, al mar etc. En condición de régimen permanente, sin variación en el almacenamiento, el agua de la recarga acabará aflorando a la superficie del suelo en forma de manantiales que, en ocasiones, son subfluviales. Dada la dificultad de medir la recarga y las pérdidas descritas, la evaluación de los recursos subterráneos se ha hecho tradicionalmente estimando la diferencia entre recarga y pérdidas. Pese a la dificultad, la estimación de la recarga tiene interés pues acota las posibilidades máximas de explotación sostenible de las aguas subterráneas de un acuífero.

La evaluación de los recursos hídricos disponibles en España (aquellos que dentro de una cuenca o subcuenca pueden ser utilizados para los usos definidos por la ley de Aguas de 1985, urbanos, agrícolas, industriales y otros) ha sido realizada por el LBAE con objeto de disponer de una evaluación de la recarga, en régimen natural (estado y comportamiento de un sistema hidrogeológico cuando no ha sido modificado por la acción del hombre), de los acuíferos en un periodo común (1940/41 a 1995/96). La metodología de cálculo empleada es homogénea realizándose una estimación de la recarga debida a la lluvia caída sobre cada unidad hidrogeológica (ver Tabla 1.3). Ésta estimación no tiene en cuenta las transferencias entre unidades que, aunque con carácter general son pequeñas, pueden ser representativas en algunas unidades concretas. Tampoco considera las pérdidas

por infiltración en los cauces superficiales.

Ámbito de planificación territorial	Aportación en régimen natural (hm ³ /año)	Recarga en régimen natural (hm ³ /año)	Relación recarga/aportación (%)
Galicia Costa	12 250	2 205	18
Norte I	12 689	2 234	22
Norte II	13 881	2 745	37
Norte III	5 337	894	18
Duero	13 660	3 000	22
Tajo	10 883	2 393	22
Guadiana I	4 414	687	16
Guadiana II	1 061	63	6
Guadalquivir	8 601	2 343	27
Sur	2 351	680	29
Segura	803	588	73
Júcar	3 462	2 492	73
Ebro	17 967	4 614	26
C. inter. Cataluña	2 787	909	33
Península	110 116	28 714	26

Tabla 1.3. Estimación de los recursos subterráneos renovables y aportación total, en régimen natural, en los ámbitos territoriales de planificación según el modelo de simulación utilizado en el LBE. (Fuente Llamas et al, 2001).

Según se observa en la tabla anterior, el valor medio de la recarga natural en la Península es del orden del 26% de la aportación total, pero con grandes variaciones territoriales que oscilan en más del 70% en el Segura y Júcar y menos del 10% en el Guadiana II. En valores absolutos, las mayores recargas naturales corresponderían al Norte II y Ebro con cerca de 5 000 hm³/año, y la menor al Guadiana II con aproximadamente 60 hm³/año.

Estas estimaciones han servido como información complementaria para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuenca en la evaluación de los recursos que todavía podrían utilizarse en las cuencas susceptibles de recibir aportes externos (Guadalquivir, Segura-Almería, Júcar y cuencas internas de Cataluña) y también para asignar los recursos a los distintos ámbitos de planificación en el caso de las unidades hidrológicas compartidas, que es uno de los contenidos básicos del PHN.

No se debe hacer una identificación, en general, entre los recursos subterráneos renovables (parte de la recarga que acaba saliendo a formar parte del flujo superficial sin producir variación en su almacenamiento) y los que pueden considerarse explotables, pues deben de considerarse una serie de restricciones debidas a posibles impactos ecológicos etc.

Por otra parte, en España, en sentido estricto, prácticamente no existe ningún sistema que pueda considerarse en régimen totalmente natural y la mayoría de ellos han sufrido alteraciones en su funcionamiento como consecuencia de la acción del hombre considerándose pues acuíferos en régimen perturbado. En éstos puede producirse un

importante incremento de los recursos subterráneos renovables al disminuir las pérdidas por evapotranspiración y aumentar las zonas de recarga del sistema, como consecuencia del cambio de funcionamiento en las relaciones entre el acuífero y las corrientes superficiales. Ésta situación suele presentarse en las zonas con mayores problemas de disponibilidad de recursos hídricos, por ejemplo la cuenca alta del Guadiana. En estas zonas el modelo utilizado en el LBE subestimarán los recursos renovables como el acuífero de la mancha Occidental situado en la cuenca anterior.

1.2.4. Uso del agua subterránea para el riego

En España el regadío es el principal usuario del agua, utiliza, aproximadamente, entre el 70%- 80% del total del agua consumida. Las cifras ofrecidas por diferentes organismos respecto la utilización del agua en el regadío son estimativas. No se sabe, con cierta precisión, el origen del agua: superficial o subterráneo. En general, la mayoría de las estadísticas no diferencian un origen de otro. En el Plan Nacional de Regadíos-Horizonte 2008 (PNR) se estiman que unas 924244 ha de regadío, aproximadamente el 28% de la superficie total de riego, se abastecen con agua subterránea que utilizan el 18% del volumen de agua utilizado por el riego. Esta proporción aporta, aproximadamente, el 38% de la producción final correspondiente al regadío con sistemas de riego a presión, principalmente. Aproximadamente, el 44% de la superficie regada se abastece de acuíferos en los que la extracción de agua es superior a la recarga.

1. 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEDEX. 1998. Delimitación y síntesis de características de las unidades hidrogeológicas en España según los Planes Hidrológicos de cuenca. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid.
- ICID 1979. Amendments to the constitution, Agenda of the International Council Meeting at Rabat. International Commission on Irrigation and Drainag, Morocco. ICID, New Delhi, pp-A-156-163.
- Iribar, V. J. Grima y X. Sánchez-Vila eds. 2001. Las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional. 127 pgs. Ed. Mundi-Prensa S.A.
- Llamas, M.R, J. M^a Fornés, N. Hernández-Mora y L. Martínez Cortina. 2001. Aguas subterráneas: retos y oportunidades. Fundación Emilio Botín y Ed. Mundi-Prensa.
- MIMAM. 2000. Plan Hidrológico Nacional. Análisis de los Sistemas Hidráulicos. Ministerio de Medio Ambiente, 390 pgs.
- MINER-MOPTMA. 1994. Libro Blanco de las aguas subterráneas. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Obras Públicas, transporte y Medio Ambiente, 135 pgs.