

# REGADÍOS

REVISIÓN DE CONCEPTOS

## Nociones básicas sobre aguas subterráneas y acuíferos

Juan Manuel Bohórquez Caro  
IFAPA Centro "Alameda del Obispo", Córdoba  
Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie del suelo en la zona saturada, es decir, en la zona donde este agua ocupa completamente los huecos (poros y fisuras) del terreno. Las aguas subterráneas han sido históricamente un recurso poco conocido y mal entendido en muchos casos, tanto por los organismos encargados de formular la política de aguas como por el público en general. Según esto, resulta siempre interesante mejorar los aspectos relacionados con la educación y la información sobre este recurso, para permitir un mejor conocimiento del papel que las aguas subterráneas desempeñan en muchas actividades propias de los seres humanos (agricultura, industria, abastecimiento de agua potable, usos recreativos, etc.) y garantizar así su adecuada gestión. En este sentido, en el presente artículo se hace una revisión de los conceptos de agua subterránea, acuífero y manantial, así como de la clasificación de los acuíferos.

Más información: Sistema de Asistencia al Regante en Andalucía ([www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/sar](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/sar)).

**E**l agua, recurso esencial para la existencia de cualquier tipo de vida, juega un papel destacado en muchas actividades propias de los seres humanos, de la agricultura a la industria, del abastecimiento de agua potable a los usos recreativos. El ciclo hidrológico supone el constante movimiento del agua, tanto en la superficie de la Tierra, como por encima y por debajo de la misma. Se produce así un conjunto de transferencias

de agua entre la atmósfera, el mar y la tierra.

Podemos recordar que las diferentes fases del ciclo hidrológico son: evaporación del agua de mar; transporte como nubes, precipitación (niebla, lluvia o nieve); escorrentía por ríos y arroyos; recarga de acuíferos; evapotranspiración; salidas al mar y de nuevo inicio del ciclo. Para poder hacer un uso directo del agua en la agricultura, la principal forma de interven-



*FOTO 1. Manantial de la Magdalena, en el acuífero de la Sierra de Castril (Granada). Se trata de un manantial de alto caudal originado por el drenaje de extensas sierras kársticas en las Cordilleras Béticas*

ción humana en este ciclo natural del agua son los embalses. Pero también existen otros recursos hídricos que inciden directamente en el consumo humano y en las actividades agrícolas, como son las aguas subterráneas.

### DEFINICIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA Y ACUÍFERO

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie

del suelo en la zona saturada, es decir, en la zona donde este agua ocupa completamente los huecos (poros y fisuras) del terreno. Existe también lo que se llama zona no saturada, que es el terreno comprendido entre la superficie del suelo y la zona saturada, en la que los huecos están ocupados por aire y agua. El agua subterránea fluye hacia la superficie de forma natural a través de manantiales, áreas de resque, cauces fluviales, o bien di-



FOTO 2. Imagen del Manantial de La Villa, principal surgencia del Torcal de Antequera, en Málaga



FOTO 3. Manantial de aguas de baja mineralización del Lagunillo Misterioso en Sierra Nevada (Dílar, Granada)

rectamente al mar. Puede también dirigirse artificialmente a pozos, galerías y otros tipos de captaciones.

Para establecer una definición completa del concepto de agua subterránea tenemos, sin duda, que hacer referencia al concepto de acuífero. La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, define acuífero como “una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos, que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas, o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas”. Esta misma Directiva define masa de agua subterránea como “un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos”.

### ¿QUÉ SE ENTIENDE POR POROSIDAD Y PERMEABILIDAD?

En la definición de acuífero antes citada, se mencionan características como su porosidad y permeabilidad. Ambos con-

## // PARA PODER HACER UN USO DIRECTO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA, LA PRINCIPAL FORMA DE INTERVENCIÓN HUMANA EN ESTE CICLO NATURAL DEL AGUA SON LOS EMBALSES //

ceptos son de gran importancia en este apartado por lo que conviene comentar su significado. La porosidad determina la capacidad de almacenar agua de un acuífero. Se define como el cociente entre el volumen de huecos (ocupados por aire o agua) y el volumen total de la roca. La porosidad drenable (también llamada porosidad eficaz) considera solo la cantidad de agua que una roca o suelo saturado puede liberar por efecto de la gravedad. La diferencia entre porosidad total y porosidad drenable es la retención específica de agua, que en agronomía se designa como capacidad de campo.

Por su parte, la permeabilidad (también denominada conductividad hidráulica) del terreno representa la velocidad a la que un fluido puede penetrar en él. Si el grado de permeabilidad de un terreno es alto, el agua penetrará fácilmente por sus poros. En cambio, si la permeabilidad es baja, el agua tenderá a acumu-

larse en la superficie o a desplazarse por la misma, si el terreno está inclinado. Dicho de otro modo, la permeabilidad es la medida de la facilidad con que un acuífero transmite agua.

### CICLO DEL AGUA Y SUS FLUJOS

La Hidrogeología es la ciencia que estudia las aguas subterráneas, trata de su origen y formación, así como de su movimiento y características físicas, químicas y biológicas. En su vertiente aplicada trata de su aprovechamiento y de su protección frente a la repercusión de la actividad humana, como es el caso de la agricultura de riego.

Las aguas subterráneas se renuevan de modo constante gracias al ciclo hidrológico mediante la recarga de los acuíferos. Estos se nutren de las precipitaciones, de la escorrentía superficial, de acuíferos próximos o de los retornos de ciertos usos (destacando los del regadío). El agua

que se infiltra en el terreno, y no retorna a la atmósfera por evapotranspiración, continúa su marcha descendente a través de terrenos permeables hasta encontrar un estrato impermeable. Esta agua queda entonces acumulada rellenando, como ya se ha mencionado anteriormente, los poros y fisuras del terreno en los acuíferos.

Los flujos de agua subterránea son muy lentos y en parte alimentan las aguas superficiales, siendo los responsables de que los cauces mantengan agua aun en los periodos en que no se producen lluvias. A veces afloran en determinados puntos de la superficie formando fuentes o manantiales. Otra parte acaba desembocando en el mar y, por último, otra parte se puede extraer de forma artificial mediante sondeos y pozos.

### EL CONCEPTO DE MANANTIAL

Un manantial puede definirse, por tanto, como un punto o zona de la superficie del terreno, donde, de modo natural y sin intervención de actividad humana, fluye una cantidad apreciable de agua procedente de un acuífero (**Fotos 1, 2 y 3**). Los manantiales surgen en zonas donde la topo-



grafía corta a la superficie piezométrica, produciéndose el drenaje de la zona saturada general. Existen clasificaciones diversas de manantiales según los criterios a aplicar: materiales geológicos que constituyan el acuífero, relaciones litología-estructura, cuantía y régimen del caudal, y características químicas de sus aguas o temperatura.



## ¿QUÉ ES UN ACUÍFERO?

En definitiva, y resumiendo, un acuífero es aquella formación geológica, constituida por una o más capas de rocas (gravas, arenas, caliza, etc.), susceptible de almacenar y transmitir el agua a través de ellas en cantidades significativas, de modo que pueda extraerse mediante obras de captación.

## CLASIFICACIÓN DE LOS ACUÍFEROS

Los acuíferos pueden presentar dimensiones muy variadas en superficie y espesor, y su clasificación podemos hacerla en función del tipo de materiales que los constituyen o según sus circunstancias hidráulicas y estructurales.

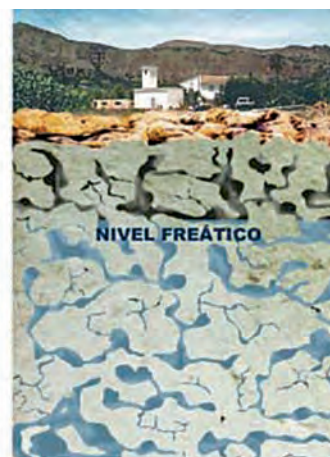
**FIGURA 1 / Tipos de acuíferos según la composición de los materiales que los constituyen**



Acuífero detrítico



Acuífero fisurado



Acuífero kárstico

### ► Según la textura de los materiales que los constituyen

De manera general, podemos encontrar los siguientes acuíferos (Figura 1).

#### Depósitos no consolidados de materiales sueltos

Son formaciones geológicas constituidas por la acumulación de partículas transportadas por la gravedad, viento o hielo, en ambiente lacustre o marino. Suelen ser arenas y gravas de distinto origen geológico: fluvial, como los que forman los

materiales aluviales de los ríos o las terrazas de los mismos; o bien deltaico, si se trata de depósitos acumulados en la desembocadura de los ríos.

dales si se explotan convenientemente.

Entre otros acuíferos de este tipo en España, encontramos un claro ejemplo en la zona de

## // LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SE RENUEVAN DE MODO CONSTANTE GRACIAS AL CICLO HIDROLÓGICO MEDIANTE LA RECARGA DE LOS ACUÍFEROS //

Por lo general, son de edades geológicamente recientes. Debido a sus buenas condiciones, suministran notables cau-

marismas del acuífero Almonte-Marismas (Huelva y Sevilla), en el que se ubica el Parque Nacional de Doñana (Foto 4).



**FOTO 4.** A la izquierda, vista aérea del acuífero de Almonte-Marismas en la zona del Asperillo (Mazaqón-Matalascañas, Huelva). A la derecha, se puede observar con más detalle el frente de drenaje que se extiende a lo largo del acantilado hacia la playa

### Rocas sedimentarias consolidadas

Se trata de sedimentos que se han consolidado debido a procesos de compactación o diagénesis. Según su origen, estas rocas se pueden clasificar de la siguiente manera: detrítico (conglomerados, areniscas, arcillas), químico (calizas, dolomías, margas), y orgánico (carbones e hidrocarburos naturales).

Las más importantes son las calizas y las dolomías. Varían mucho en densidad, porosidad y permeabilidad, según haya sido el ambiente sedimentario existente en su formación y el desarrollo posterior de zonas permeables producidas por disolución del carbonato, sobre todo en las calizas. Este proceso físico-químico natural es lo que se conoce karstificación.

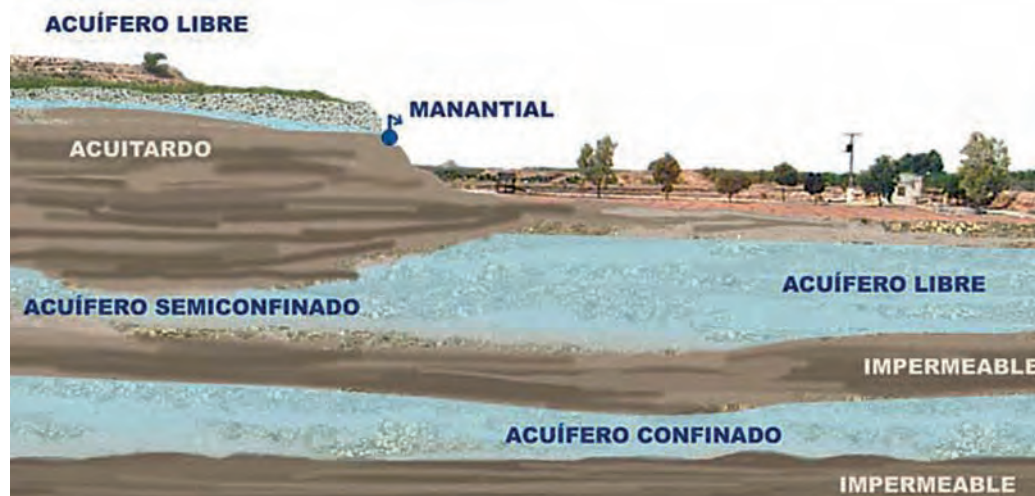
En España existen muchos acuíferos de este tipo, siendo los siguientes algunos de los más conocidos: el acuífero del Campo de Montiel (donde se ubican las Lagunas de Ruidera), el acuífero de La Mancha Occidental (donde se encuentran las Tablas de Daimiel), o el acuífero carbonatado de la Sierra de Cazorla en la provincia de Jaén.

También, buena parte de los acuíferos del área Mediterránea Peninsular y de las Islas Baleares pertenecen a este grupo. Las areniscas (arenas consolidadas) y calcarenitas (areniscas de granos carbonáticos) suelen constituir también importantes acuíferos, como es el caso del existente en el entorno del pueblo de Carmona (Sevilla). Las rocas sedimentarias consolidadas contienen del orden del 75% de las aguas subterráneas continentales que existen en España.

### Rocas ígneas y metamórficas

Las rocas ígneas se forman a partir del enfriamiento y consolidación de un magma. Pueden ser extrusivas (volcánicas) o intrusivas (plutónicas) según se consoliden en la superficie o en el interior de la corteza terrestre, respectivamente. Grani-

FIGURA 2 / Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento



tos y gabros son ejemplos de rocas ígneas.

Las rocas metamórficas son las que han experimentado profundas transformaciones físicas y químicas, dando lugar a cambios en la propia estructura de la roca, ajustándose a las nuevas condiciones de presión, temperatura y posibles aportes químicos. Podemos citar las pizarras y los esquistos como ejemplos de rocas metamórficas.

Las posibilidades de formar acuíferos en estas rocas quedan reducidas a la zona alterada superficial o a las fracturadas por fallas y diaclasas (fracturas sin desplazamiento relativo de cada uno de sus lados), que permiten una apreciable circulación de agua.

Este tipo de acuíferos es frecuente en el Noroeste de la Península Ibérica, en el Sistema Central y también cubren prácticamente todo el territorio de las Islas Canarias. Tienen nota-

ble importancia para abastecimiento a pequeños núcleos de población y al ámbito rural.

En las rocas volcánicas es difícil definir su comportamiento hidrogeológico para determinar que puedan constituir o no importantes acuíferos. Dicho comportamiento se sitúa entre el de las rocas consolidadas porosas y el de las fracturadas. Los principales factores que van a condicionar el flujo del agua subterránea son: la composición, la edad y, sobre todo, el grado de alteración.

### ► Según sus circunstancias hidráulicas y estructurales

Los acuíferos pueden reaccionar de tres formas distintas (Figura 2).

#### Acuíferos libres, no confinados o freáticos

Son aquéllos en los que el límite superior de la masa de agua forma una superficie real

que está en contacto con el aire de la zona del terreno no saturada y, por lo tanto, a presión atmosférica.

Cuando se perfora un pozo desde la superficie del terreno, el agua aparece en el pozo cuando se corta o alcanza el nivel freático (del griego *phreatos* = pozo), y se mantiene a esa profundidad.

La recarga de este tipo de acuíferos se realiza principalmente por infiltración de la precipitación o del riego a través del suelo, o por infiltración de agua de ríos o lagos.

#### Acuíferos confinados, cautivos o a presión

Son aquéllos en los que en su límite superior (techo), el agua está a una presión superior a la atmosférica. Se comportan así los materiales permeables que están cubiertos por una capa confinante mucho menos permeable (por ejemplo, una capa arenosa bajo otra arcillosa).

Durante la perforación de los pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo de los mismos se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. A este fenómeno se le solía llamar artesianismo, aunque el vocablo va cayendo en desuso. El pozo será surgente cuando el nivel piezométrico

**// LOS FLUJOS DE AGUA SUBTERRÁNEA SON MUY LENTOS Y EN PARTE ALIMENTAN LAS AGUAS SUPERFICIALES, SIENDO LOS RESPONSABLES DE QUE LOS CAUCES MANTENGAN AGUA AUN EN LOS PERIODOS EN QUE NO SE PRODUCEN LLUVIAS //**



esté situado a cota superior a la de la boca del pozo.

Recordamos que el concepto de nivel piezométrico se refiere a la altura de la columna de agua que equilibra la presión del agua del acuífero en un punto determinado.

La recarga de un acuífero confinado procede principalmente de la lluvia que se infiltra directamente a través de la zona en la que aflora la formación acuífera, es decir, donde el acuífero se comporta como libre, o bien donde se puede considerar como semiconfinado y las condiciones sean favorables.

### Acuíferos semiconfinados o semicautivos

Pueden considerarse como un caso particular de los acuíferos confinados, en los que su límite inferior (muro), su límite superior (techo) o ambos, no son totalmente impermeables sino que permiten la circulación vertical del agua.

En realidad, un acuífero semiconfinado puede ser un sistema físico integrado por un acuífero superior bien alimentado, un paquete semipermeable o acuitardo, y un acuífero inferior semiconfinado. La diferencia de niveles entre el acuífero superior e inferior acarrea una transferencia de agua vertical que alimenta el acuífero inferior. Este paso vertical de agua puede hacerse desde o hacia el acuitardo, e incluso variar con el tiempo, según sean los valores relativos de los niveles piezométricos.

### EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Las aguas subterráneas toman especial importancia como reservas estratégicas de recursos hídricos en períodos de sequía. Además, como se ha indicado anteriormente, son una de las principales fuentes de suministro para el uso doméstico (mediante pozos o manantiales) y para su aprovechamiento por parte de actividades económicas como

## SITUACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN ESPAÑA. EL CASO DE ANDALUCÍA

Los acuíferos son reservas de aguas subterráneas que en toda España suponen una superficie de 174.745 km<sup>2</sup> (Fuente: Plan Nacional de Regadíos - Horizonte 2008) con una explotación media de 5.532 hm<sup>3</sup> al año. En Andalucía, las aguas subterráneas constituyen una parte importante de sus recursos hídricos y su utilización contribuye en gran medida a una regulación de los desequilibrios de disponibilidad de agua para sus usos entre las distintas cuencas andaluzas. Los acuíferos en Andalucía se encuentran repartidos por toda su geografía, siendo el Distrito Hidrográfico Mediterráneo el que sostiene mayor número de acuíferos (67), que suponen un área aproximada superior a los 10.300 km<sup>2</sup>. Por su parte, en el Distrito Hidrográfico Guadalquivir el número de acuíferos es menor, si bien la superficie total es superior respecto a la del Mediterráneo (14.288 km<sup>2</sup>).

## // LAS ACTIVIDADES AGRARIAS PUEDEN ALTERAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, SOBRE TODO SI SE HACE UN USO INADECUADO E INCONTROLADO DE DETERMINADOS PRODUCTOS QUÍMICOS, COMO LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS //

la agricultura, la ganadería y la industria. Como consecuencia de ello, estas aguas pueden estar sometidas a sobreexplotación, a intrusión de aguas marinas y ser susceptibles de contaminación.

Se considera que un acuífero está sobreexplotado cuando se encuentra en peligro su subsis-

tencia debido a su aprovechamiento o cuando se produce un deterioro de la calidad del agua que contiene.

La intrusión marina se produce cuando el drenaje natural del acuífero es directo al mar y soporta extracciones que provocan una salinización del agua (**Figura 3**).

Las actividades agrarias pueden constituir, por su parte, un factor importante a la hora de alterar la calidad de las aguas subterráneas, sobre todo si se hace un uso inadecuado e incontrolado de determinados productos químicos, como puede ser el caso de los fertilizantes nitrogenados. Por último, los acuíferos constituyen por sí mismos ecosistemas acuáticos de gran importancia que desempeñan un papel fundamental a la hora del mantenimiento de ecosistemas ribereños y zonas húmedas.

### BIBLIOGRAFÍA

Custodio, E., Manzano, M., Montes, C. 2009. Las aguas subterráneas en Doñana: Aspectos ecológicos y sociales. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

López-Geta, J. A., Fornés Azcoiti, J. M., Ramos González, G. y Villarroya Gil, F. 2009. Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo - 4ª ed.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Manantiales y fuentes de Andalucía. Cuaderno divulgativo del proyecto "Conoce tus fuentes". 2008. Agencia Andaluza del Agua (Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía) y Universidad de Granada.

Pulido Bosch, A. 2006. Reflexiones sobre las aguas subterráneas y la gestión del agua en Andalucía. Actas I Congreso Andaluz de Desarrollo Sostenible – V Congreso Andaluz de Ciencias Ambientales.

**FIGURA 3 / La salinización de los acuíferos se produce por la intrusión marina, causada por la indebida ubicación de los pozos**

