

---

# **Guía metodología para la determinación de los caudales ambientales. Capítulo de aguas subterráneas.**

Tomo II: Ejemplos de interacción  
masas de agua superficial –  
subterránea en diferentes casos  
específicos

1 de Septiembre de 2008



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN

 Instituto Geológico  
y Minero de España

---

El presente informe ha sido realizado por el Instituto Geológico y Minero de España actuando como empresa consultora AMPHOS. El equipo técnico de realización ha estado constituido por el siguiente personal:

**DIRECCIÓN DEL PROYECTO:**

José Manuel Murillo Díaz (Instituto Geológico y Minero de España)

**AUTORES DEL INFORME:**

Ester Vilanova (AMPHOS)

Salvador Jordana (AMPHOS)

**TOMA DE DATOS EN CAMPO**

-

**TRATAMIENTO INFORMÁTICO DE DATOS**

-

**CONTROL Y SUPERVISIÓN POR PARTE DE AMPHOS:**

Jordi Guimerà (Director del Área de Aguas Subterráneas y Suelos de AMPHOS)

Jordi Bruno (Consejero Delegado de AMPHOS)

---

# Índice de contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENERALIDADES DE LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO .....</b>	<b>2</b>
2.1 COMPORTAMIENTO DEL RÍO RESPECTO AL ACUÍFERO .....	2
2.2 MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y DEL AGUA SUPERFICIAL .....	5
2.3 INFLUENCIA DEL TIPO DE FLUJO .....	11
2.3.1 <i>Introducción</i> .....	11
2.3.2 <i>Medio cárstico: un caso especial</i> .....	12
2.3.3 <i>Acuíferos aluviales costeros</i> .....	15
<b>3. IMPACTOS DE LAS ACCIONES ANTRÓPICAS SOBRE LA RELACIÓN AGUA SUPERFICIAL- SUBTERRÁNEA.....</b>	<b>19</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	19
3.2 MANANTIALES .....	19
3.3 HUMEDALES.....	22
3.4 LAGOS.....	25
3.5 RECURSOS ALTERNATIVOS.....	27
<b>4. REFERENCIAS.....</b>	<b>30</b>

---

## Índice de figuras

Figura 1. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río ganador o efluente (Winter <i>et al.</i> , 1998).....	2
Figura 2. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río perdedor o efluente (Winter <i>et al.</i> , 1998).....	3
Figura 3. Época del año lluviosa en que el río se comporta de manera influyente.....	4
Figura 4. Época de sequía de caudal bajo durante la cual las únicas aportaciones que recibe el río son de forma subterránea y consecuentemente el río se comporta de manera efluente.....	4
Figura 5. Diferentes sistemas de flujo subterráneo. Modificado de Tòth, 1963 (Vilanova, 2004).....	5
Figura 6. Río que es alimentado por diferentes sistemas de flujo subterráneo durante una época de lluvias.....	7
Figura 7. Río que es alimentado por diferentes sistemas de flujo subterráneo en época de sequías poco persistentes.....	8
Figura 8. La explotación del flujo subterráneo local con pozos cercanos al río provoca la disminución del caudal del río.....	9
Figura 9. La ubicación de captaciones que exploten tanto el flujo subterráneo local como el regional puede conllevar que se seque el río.....	10
Figura 10. Funcionamiento hidrogeológico general en las zonas más próximas a un río (USGS, 1998).....	11
Figura 11. Sistema hidrológico cárstico en el que el caudal de un río disminuye de manera brusca al interceptar un conducto subterráneo que alimenta otro río y un manantial de descarga submarina.....	14
Figura 12. Afectaciones sobre los ecosistemas de un río y ecosistemas costeros en explotar el agua de un río cárstico.....	14
Figura 13. Llanura aluvial donde se han formado humedales.....	16
Figura 14. El aumento de la presión extractiva en la zona de llanura aluvial induce la entrada de la cuña salina.....	16

---

Figura 15. Detalle del proceso de intrusión salina en el acuífero debido a la extracción de agua en los pozos. Esta salinización puede llegar a tener efecto en los humedales .....	17
Figura 16. Sección de un río en una llanura aluvial: (A) el río se comporta de manera influyente y contribuye al mantenimiento de los humedales; (B) como consecuencia de la disminución del caudal se produce una penetración de una cuña de agua salada a través del cauce fluvial .....	18
Figura 17. Río de carácter influyente que alimenta a un manantial y a unos humedales cercanos .....	20
Figura 18. La disminución del caudal del río por ubicación de una presa tiene repercusión en el caudal de la fuente y el tamaño del humedal.....	21
Figura 19. La explotación del acuífero se suma a los efectos anteriores provocando que se sequen los humedales .....	21
Figura 20. Relación de interdependencia entre un río, el acuífero y los humedales ....	24
Figura 21. La disminución del nivel piezométrico afecta al río y a los humedales.....	24
Figura 22. Situación de un lago montañoso que recarga a diversos acuíferos .....	26
Figura 23. La disminución de la lámina de agua de un lago tiene influencia en el sistema de flujo subterráneo local y regional.....	27
Figura 24. Esquema de funcionamiento de un río efluente. ....	28
Figura 25. Abatimiento del nivel piezométrico y consecuente disminución del caudal del río.....	29
Figura 26. Introducción de agua depurada al sistema hídrico. ....	29

## 1. Introducción

Durante muchos años, la gestión de los recursos hídricos se ha centrado por un lado en el agua subterránea y por otro lado en el agua superficial como si se tratara de dos entidades independientes. No obstante, a medida que los usos del suelo y las demandas de agua se han ido incrementando y aumentando en diversificación se ha hecho patente que la afección sobre la calidad o cantidad de uno de estos recursos tiene repercusión en el otro. Prácticamente todas las formas en que se manifiesta el agua superficial (ríos, lagos, presas, humedales y estuarios) interaccionan de alguna manera con el agua subterránea. Estas interacciones se pueden producir de maneras muy diversas, resultando afectaciones a diferentes escalas de tiempo según se produzcan, por ejemplo, de manera difusa o puntual. En algunas situaciones las masas de agua superficial reciben aportaciones hídricas y de solutos desde el agua subterránea mientras que en otros casos es el recurso superficial el que recarga y aporta agua a los acuíferos pudiendo de esta manera, inducir también cambios en la calidad del agua subterránea. Como consecuencia, las captaciones en ríos pueden suponer una disminución de los recursos subterráneos y al revés, la extracción de agua subterránea puede afectar la disponibilidad del recurso hídrico en los ríos, lagos y humedales. También, la contaminación de masas de agua superficiales puede provocar la degradación de los recursos subterráneos de igual manera que la contaminación de los acuíferos puede tener impacto sobre el agua superficial. Consecuentemente, una gestión efectiva del agua y del suelo requiere un completo entendimiento de la relación entre las aguas subterráneas y superficiales ante cualquier situación hidrogeológica (Winter *et al.*, 1998).

## 2. Generalidades de la relación río-acuífero

### 2.1 Comportamiento del río respecto al acuífero

Para conocer la aportación de agua subterránea a un río y viceversa es indispensable determinar el tipo de conexión hidráulica que hay entre ambos. Esta conexión vendrá controlada por diversos factores: el tipo de acuífero, su situación respecto el cauce del río y la situación relativa de los niveles del río y de los niveles piezométricos del acuífero en la zona contigua al río. Estos factores determinarán cuando un río es ganador (aumenta su caudal por aportaciones subterráneas, Figura 1) o perdedor respecto al acuífero (recarga al acuífero y por lo tanto su caudal disminuye a lo largo del río, Figura 2).

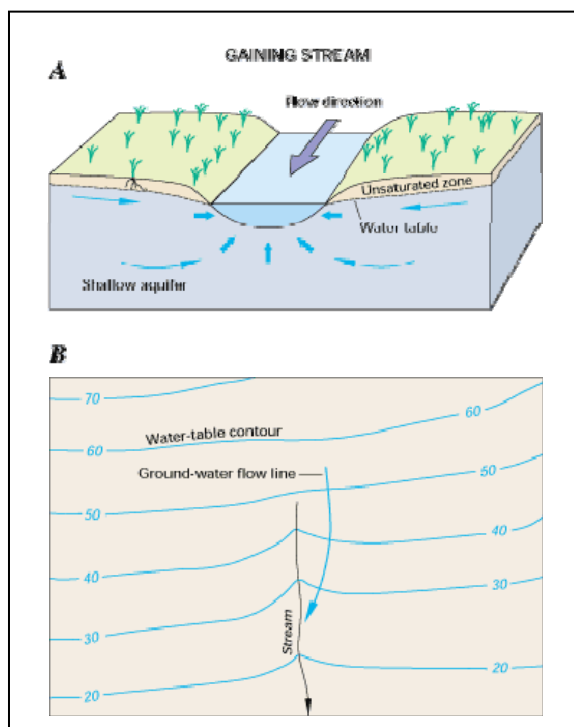


Figura 1. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río ganador o efluente (Winter *et al.*, 1998).

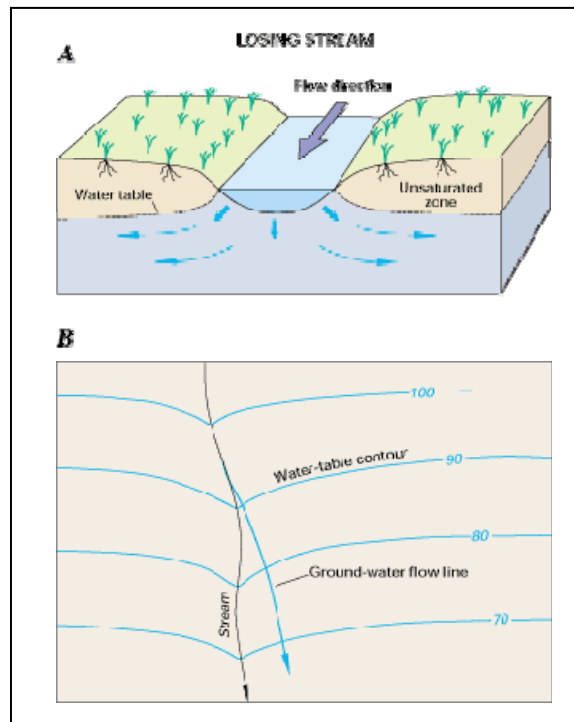


Figura 2. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río perdedor o efluente (Winter et al., 1998).

La relación río-acuífero no sólo es variable a lo largo del curso del río sino que también, en muchos casos, puede presentar variaciones a lo largo del año. En este caso, en los periodos húmedos y épocas de crecida del río, el curso de agua superficial probablemente presente un nivel de lámina de agua superior al del acuífero y proceda a la recarga del mismo (Figura 3), mientras que en los periodos más secos en los que el río fluye con poco caudal, probablemente la mayor parte de éste sea aportado desde el acuífero (Figura 4). Estas variaciones anuales en el comportamiento del río se atribuyen a causas naturales pero la influencia antrópica también puede forzar que se pase de una situación a otra tal y como se mostrará más adelante.



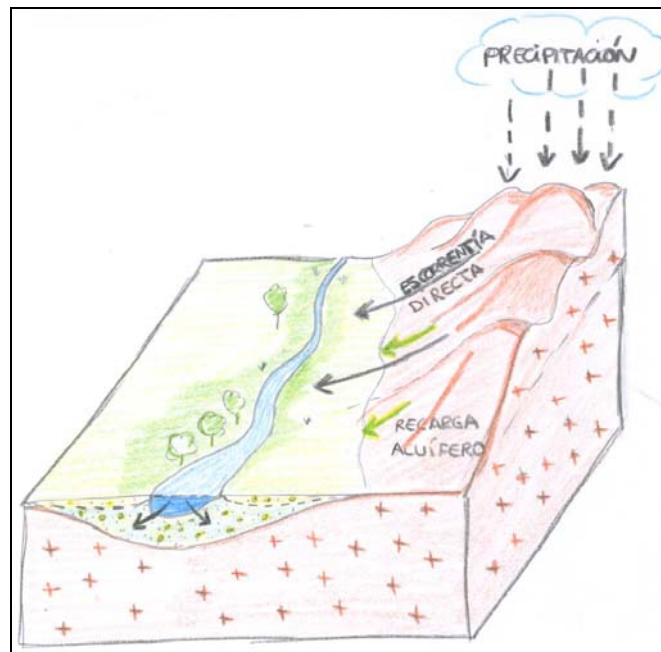


Figura 3. Época del año lluviosa en que el río se comporta de manera influyente

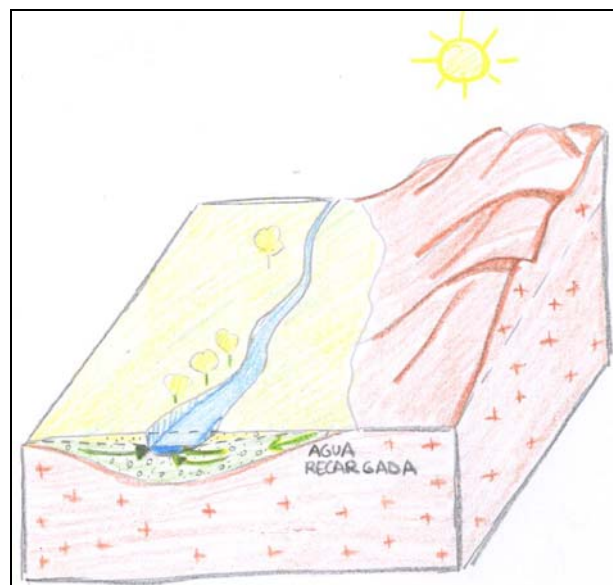


Figura 4. Época de sequía de caudal bajo durante la cual las únicas aportaciones que recibe el río son de forma subterránea y consecuentemente el río se comporta de manera efluente

## 2.2 Movimiento del agua subterránea y del agua superficial

Para considerar las interacciones entre el agua superficial y el agua subterránea hay que tener en cuenta que la circulación del agua subterránea acostumbra a ser mucho más compleja que la del agua superficial, puesto que su movimiento depende de las características del medio.

Supongamos un sistema en el que el agua subterránea descarga a los ríos. En este sistema se pueden producir flujos subterráneos a diferente profundidad y de diferente tamaño y alcance los cuales se relacionan con diferentes áreas de recarga (Figura 5). En este contexto, se reconoce un sistema de flujo de alcance local el cual se relaciona con un área de recarga cercana al río, normalmente un sistema montañoso de poca entidad. Este sistema normalmente es el más dinámico y es el que se manifiesta principalmente en los ríos. También se puede producir un sistema de flujo de alcance regional el cual normalmente cuenta con tiempos de tránsito mayores, se relaciona con áreas de recarga distantes al punto donde descarga y presentan una inercia más lenta y más constante (Tóth, 1963)

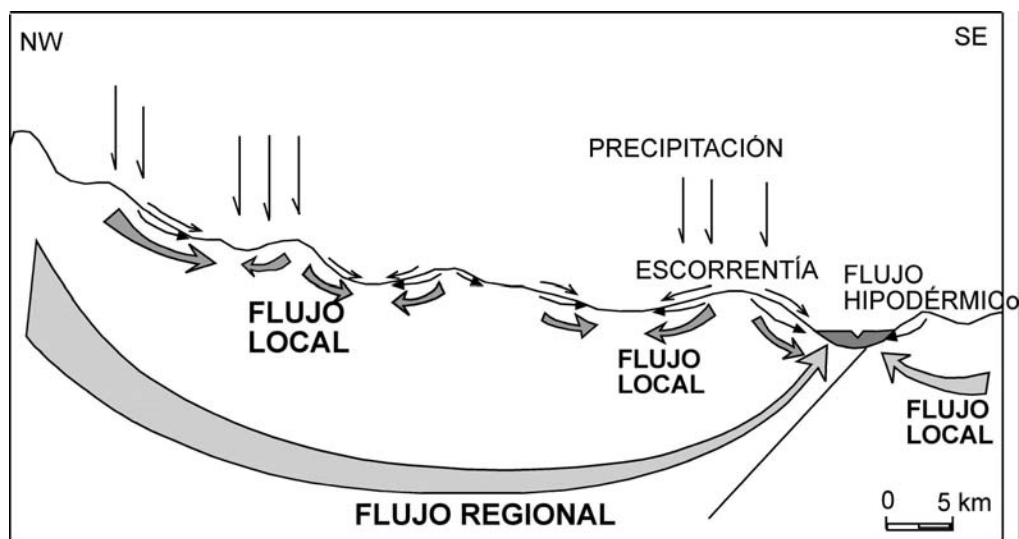


Figura 5. Diferentes sistemas de flujo subterráneo. Modificado de Tóth, 1963 (Vilanova, 2004).

La gestión del agua del río debe tener en cuenta ambos tipos de sistemas de flujo puesto que el caudal del río principal se verá afectado tanto por actuaciones que incidan o repercutan sobre el flujo de agua local como sobre el flujo de alcance regional. La cantidad de flujo subterráneo que descarga en un río se puede calcular, para una determinada sección del acuífero, multiplicando el gradiente hidráulico (que se determina a partir de los datos de nivel piezométrico) y de la permeabilidad del acuífero. De esta manera en algunas zonas particulares si el flujo subterráneo regional presenta, por ejemplo, gradientes hidráulicos elevados, éste puede ser cuantitativamente más importante que el flujo local.

En las Figuras 6-9 se presentan los sistemas de flujo que se producen a lo largo del recorrido de un río en diferentes épocas del año, desde la cabecera hasta prácticamente la desembocadura. Se observa que en el caudal del río interviene, además de la escorrentía superficial, el agua subterránea la cual se manifiesta según dos sistemas de flujo: el sistema de flujo local y el sistema de flujo regional.

La Figura 6 ilustra una situación lluviosa en que todos los ríos y efluentes llevan caudal como resultado básicamente de la escorrentía superficial, la cual se mezcla, en el río, con ambos sistemas de flujo subterráneo. En épocas de poca precipitación, cuando no hay escorrentía superficial y disminuye la recarga local el caudal del río merma (Figura 7), pero dada la mayor inercia del agua subterránea aún se manifiestan ambos sistemas de flujo y el río lleva un cierto caudal. En caso de prolongarse la época de sequía el primer sistema de flujo subterráneo que disminuye es el sistema de flujo local puesto que recorre menores longitudes y cuenta con menores tiempos de tránsito o de residencia. Hay que tener en cuenta que las velocidades del agua subterránea son del orden de metros por día. Esta característica es la que permite que los ríos lleven agua incluso después de periodos de sequía más o menos persistentes. No obstante, esta dinámica se puede ver afectada por la intervención del hombre. Es común explotar el agua subterránea a través de pozos cercanos al río. En el caso que éstos sean, como es común en las zonas aluviales, poco profundos explotarán mayoritariamente el flujo de agua local (Figura 8). Como consecuencia llegará menos agua al río y el caudal se verá mermado. También, a la larga, puede disminuir la productividad del pozo de manera que es posible que se opte por alejar los pozos del

río y hacerlos más profundos, que es el caso de la Figura 9. Entonces el agua subterránea que se extrae es la del flujo regional que también llegaba al río. Como consecuencia, se puede secar el río y toda la vida del ecosistema asociada al mismo. De esta manera aunque las captaciones de agua subterránea estén lejos del río también tienen influencia sobre su caudal puesto que se intercepta el flujo regional que también alimentaba al río.



Figura 6. Río que es alimentado por diferentes sistemas de flujo subterráneo durante una época de lluvias

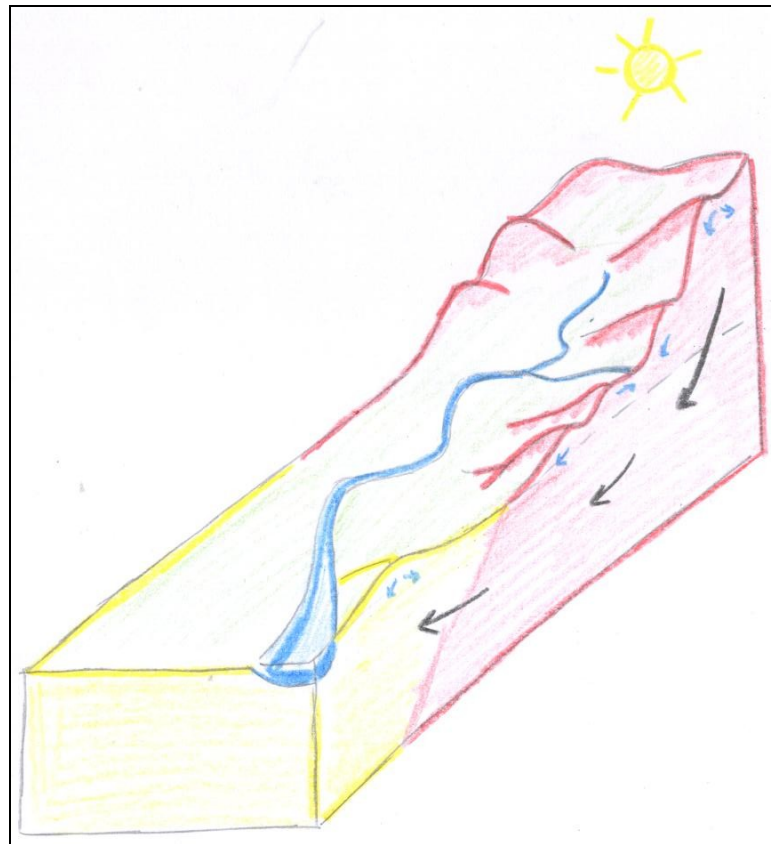


Figura 7. Río que es alimentado por diferentes sistemas de flujo subterráneo en época de sequías poco persistentes

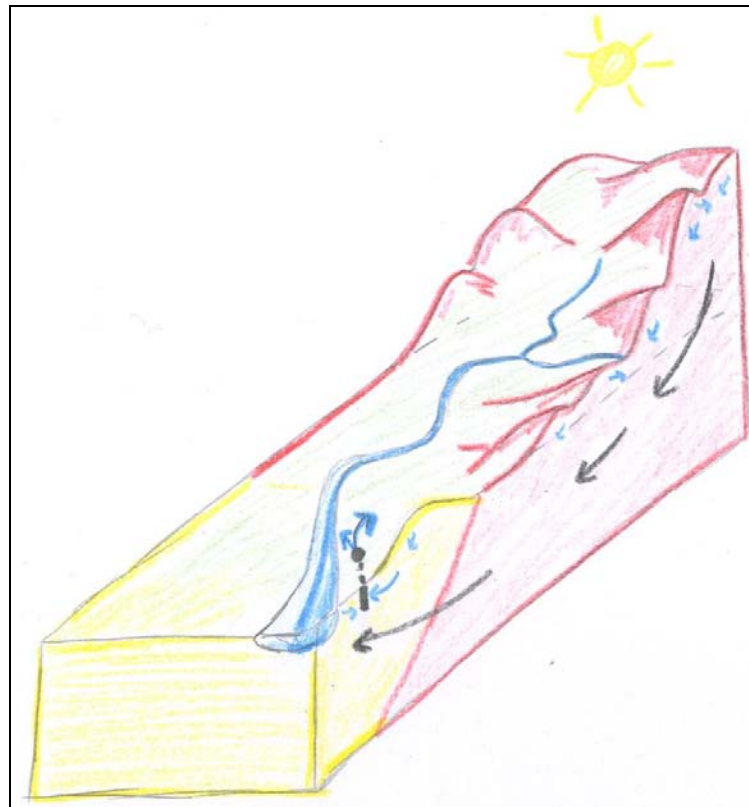


Figura 8. La explotación del flujo subterráneo local con pozos cercanos al río provoca la disminución del caudal del río.

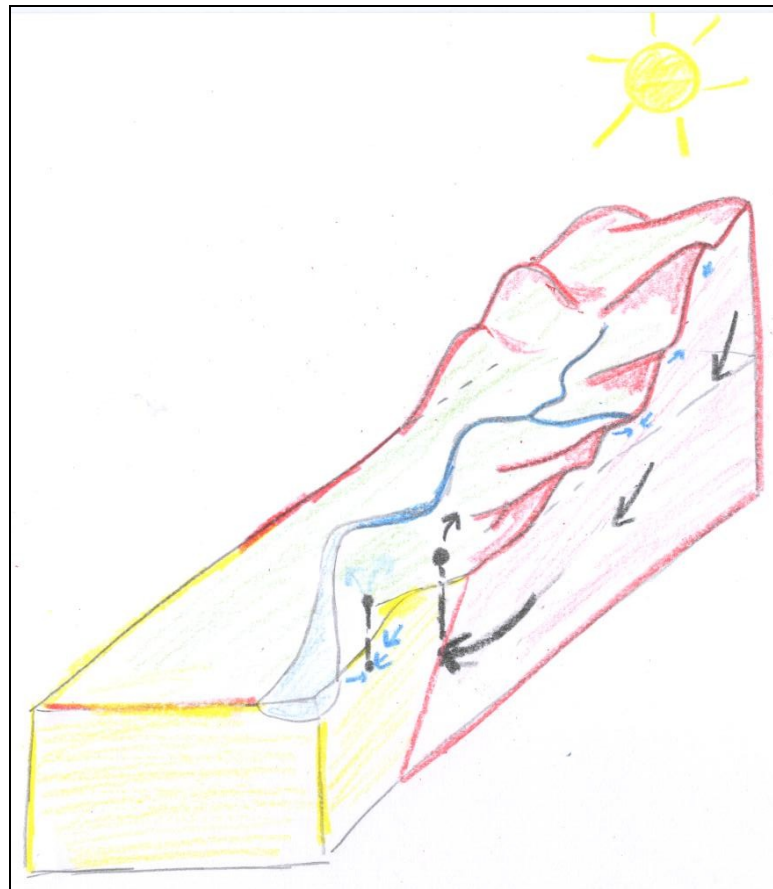


Figura 9. La ubicación de captaciones que exploten tanto el flujo subterráneo local como el regional puede conllevar que se seque el río

Los próximos ejemplos se centrarán no obstante en la zona más próxima al río (Figura 10) puesto que es donde se producen la mayor parte de las afecciones a las interacciones y además, cabe tener en cuenta que la presencia del flujo regional también está condicionada al tipo de material de la cuenca y no se produce en todas de igual manera. A continuación se describirán diferentes situaciones dentro de esta zona más próxima.

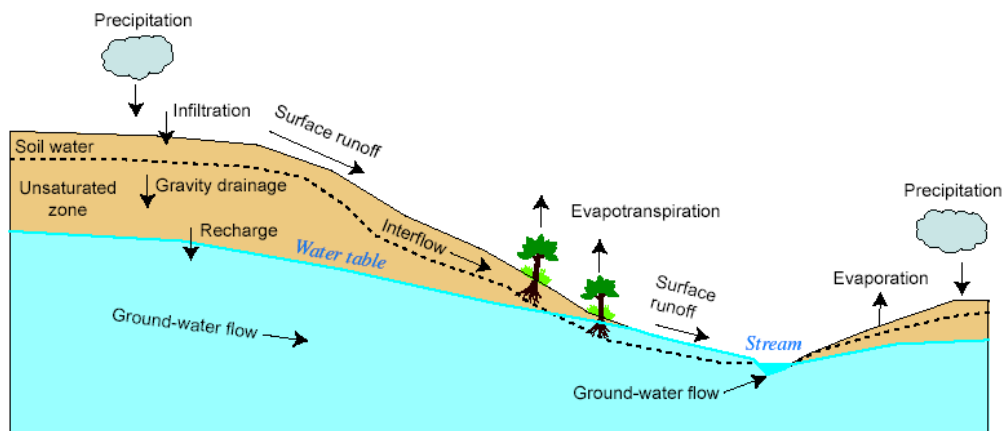


Figura 10. Funcionamiento hidrológico general en las zonas más próximas a un río (USGS, 1998)

## 2.3 Influencia del tipo de flujo

### 2.3.1 Introducción

El régimen de un río depende de un variado conjunto de factores que son interdependientes entre ellos. Entre estos factores cabe enumerar las precipitaciones, la temperatura, el relieve, la vegetación, el tipo de suelos y la geología. Este último tendrá especialmente importancia en las cuencas de dimensiones moderadas o pequeñas (Custodio y Llamas, 1996). La geología determina el tipo de suelos, la litología y la estructura. La litología concretamente influye definitivamente en la existencia de acuíferos dentro de la cuenca y a su vez, el tipo de flujo depende de la litología y de la estructura del acuífero. Como se ha comentado, el tipo de flujo determinará la tipología de interacciones con el agua superficial. En términos generales y en base al tipo de flujo considerando su relación con el río, se pueden diferenciar acuíferos detríticos, acuíferos aluviales y acuíferos fracturados en medios de baja permeabilidad o en carst.

En los acuíferos detríticos y aluviales la interacción se producirá al largo de toda la superficie de contacto generándose descargas de tipo difuso, mientras que para el



caso de los acuíferos cársticos o con fracturas, las descargas al río o entradas al acuífero se producen de manera puntual. Como consecuencia, en una zona donde el flujo se produzca a través de los poros y donde el río sea efluente, el caudal de éste irá aumentando paulatinamente durante su curso, si no hay detracciones, o disminuyendo si es efluente. En cambio, en una zona con fracturas, y especialmente en una zona cárstica, el caudal del río puede variar mucho y de una manera drástica a lo largo de su recorrido a causa de la interacción con las aguas subterráneas.

### **2.3.2 Medio cárstico: un caso especial**

En los medios cársticos hay numerosas cavernas y fracturas más o menos abiertas que llegan hasta la superficie y que contribuyen a que la recarga sea notablemente eficiente. El agua se mueve por estos conductos o fracturas a diferentes velocidades en función del tamaño de las mismas. En las zonas donde hay una amplia red de conductos y fracturas bien desarrolladas e interconectadas se pueden producir ríos subterráneos con velocidades de flujo algunas veces similares a los superficiales. Como consecuencia, no es raro que el caudal de un río de un terreno cárstico desaparezca de una manera prácticamente total cuando es intersectado por fracturas o cavidades. Este caudal puede reaparecer aguas abajo del mismo río, en ríos de diferentes cuencas o en manantiales alimentados por conductos cársticos.

Conocer este proceso de desaparición y reaparición de caudal es muy importante para mantener las aportaciones de agua cárstica en manantiales o ríos y gestionar los cursos pertinentemente. En este contexto, debe evitarse caer en el error de pensar que el agua que desaparece de manera más o menos instantánea es agua que “se pierde”. Es importante también tener en cuenta que una de las principales características de los acuíferos cársticos es que raramente concuerdan con los límites de las cuencas hidrológicas. Esta característica se relaciona con el hecho que una cuenca cárstica se alimenta a través de conductos que pueden proceder de partes distantes de la cuenca o de otras cuencas. Por lo tanto, las actuaciones sobre un río cárstico puede tener influencia sobre ríos o manantiales que fluyen en otras cuencas hidrográficas. En este tipo de terrenos las estrategias de gestión del agua son cruciales para mantener tanto el buen estado cuantitativo como cualitativo o ecológico

de las aguas superficiales y subterráneas. Finalmente, destacar también que en las estrategias de gestión de este medio también se deberá tener en cuenta que normalmente se trata de medios muy vulnerables, donde los contaminantes pueden llegar fácilmente al acuífero y a puntos de abastecimiento humano.

En la Figura 11 se presenta una situación típica de un medio cárstico. Sobre este medio irregular discurre un río que a cierto punto es intersectado por un conducto cárstico a través del cual se infiltra gran parte del caudal del río hacia cavidades y conductos subterráneos y, como consecuencia, el caudal del río registra un cambio brusco. De esta manera el caudal aguas abajo del punto de infiltración se ve notablemente mermado. Esta agua que se infiltra a través de los conductos puede mezclarse con agua procedente de otros puntos de la cuenca y finalmente emanar en la misma cuenca o en otra a través de manantiales o ríos. En el ejemplo de la Figura 11 concretamente, el caudal infiltrado se manifiesta en dos puntos: intersecta la superficie topográfica en el cauce de otro río cercano contribuyendo a aumentar el caudal del mismo y emana a través de un manantial submarino al mar. Estas descargas submarinas de agua dulce aportan nutrientes a las aguas costeras de manera que mantienen importantes ecosistemas marinos próximos a la línea de costa. Sin duda, la gestión del agua en esta zona debe tener en cuenta los puntos de emanación del agua cárstica. En la Figura 12 se muestra como la explotación del agua subterránea, a través de pozos, y del agua superficial, mediante la derivación del agua del río para riego, pueden afectar tanto a los ríos como a los manantiales. Concretamente, el pozo explota el conducto o fractura por el que circula el agua infiltrada de un río y que alimenta a otro río más pequeño. La extracción de esta agua conlleva que llegue menos agua al río secundario y por lo tanto disminuya notablemente se caudal. Si además se deriva parte del caudal del río principal para riego antes de que se infiltre, disminuirá la cantidad de agua disponible en el sistema y no se podrá alimentar el manantial que descarga al mar y, consecuentemente, se repercutirá sobre el ecosistema asociado al mismo.

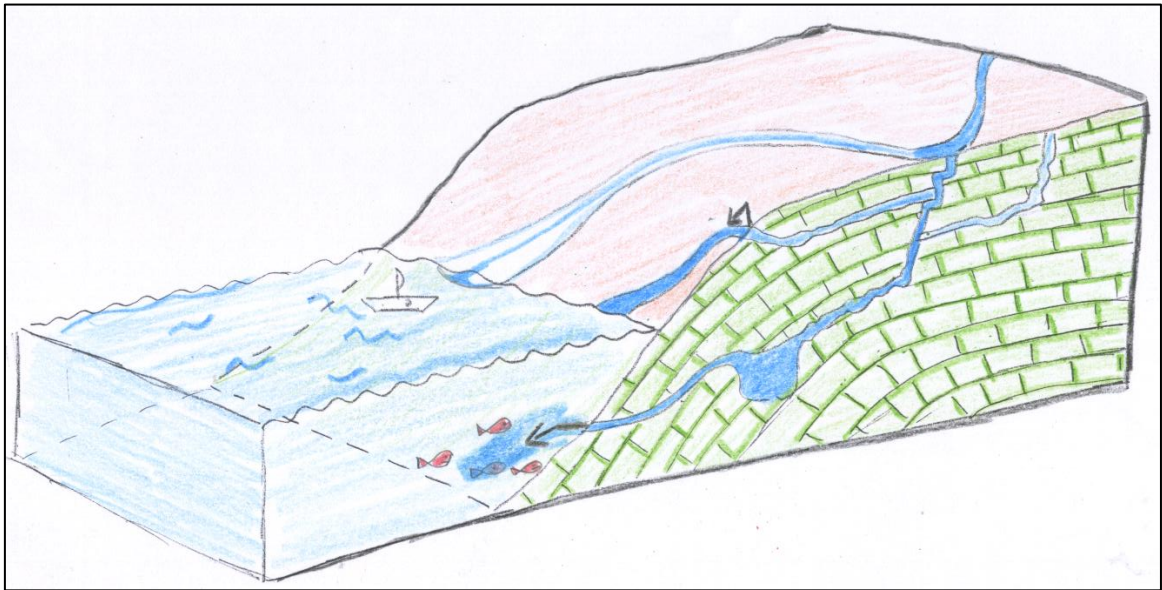


Figura 11. Sistema hidrogeológico cárstico en el que el caudal de un río disminuye de manera brusca al interceptar un conducto subterráneo que alimenta otro río y un manantial de descarga submarina.

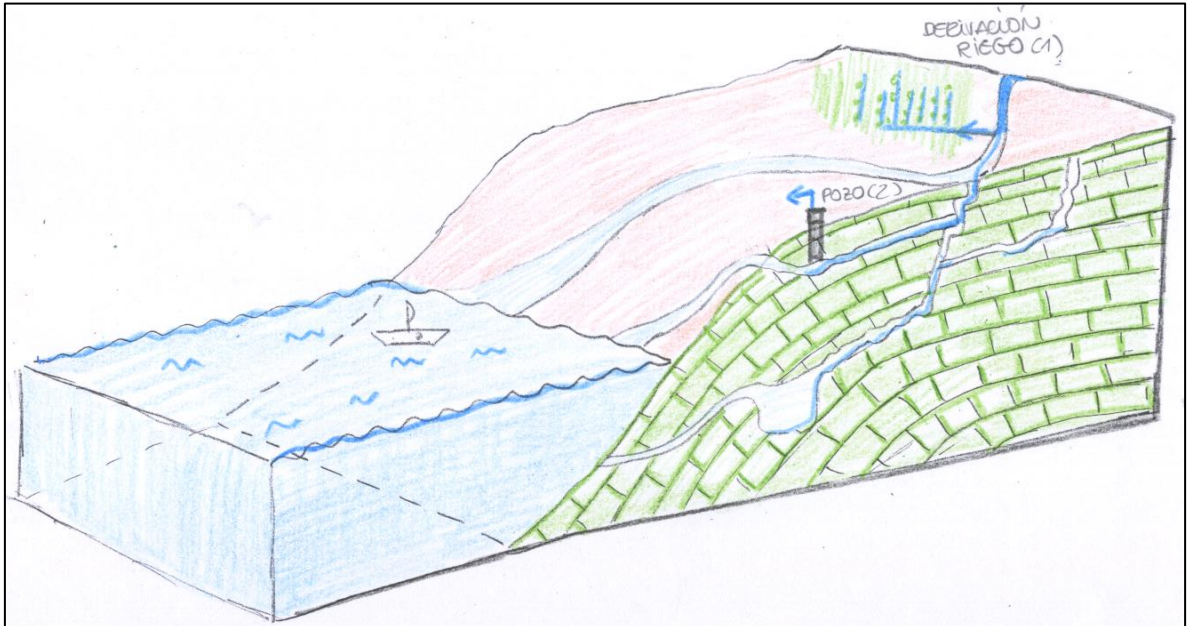


Figura 12. Afectaciones sobre los ecosistemas de un río y ecosistemas costeros en explotar el agua de un río cárstico

### **2.3.3 Acuíferos aluviales costeros**

Las desembocaduras de los ríos son zonas llanas donde conviven intereses económicos con necesidades ambientales. Las llanuras aluviales pueden ser inundadas durante eventuales crecidas del río propiciando que sea una zona muy fértil y donde se puedan desarrollar humedales.

Muchas veces la topografía de las llanuras costeras de los ríos presenta forma de conos (conos de deyección), lo que significa que el lecho del río puede desplazarse con bastante facilidad e inundar zonas alejadas del lecho principal actual. Estas zonas, que son muy fértiles, constituyen zonas interesantes para el desarrollo del riego, debido a la topografía favorable y que permiten desviar agua del río hacia cualquier punto de su zona aluvial. También, en estas zonas donde es posible encontrar humedales, directamente relacionados con el agua del río pero también en muchas ocasiones con del acuífero.

El desarrollo turístico de estas zonas tan favorables para la construcción puede comportar un aumento de las explotaciones de agua subterránea del acuífero lo cual podría inducir el proceso de intrusión salina que es uno de los principales problemas de contaminación de España.

En un acuífero costero como el de la Figura 13 en el que hay un equilibrio que permite mantener el caudal de un río y pequeñas zonas de humedales, existe una relación de proporción natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y el agua salada de origen marino que penetra en el acuífero. Ésta normalmente se introduce parcialmente tierra adentro en forma de cuña apoyada en la base del acuífero en su forma más usual o a través del cauce fluvial.

Este equilibrio natural puede verse alterado por la acción humana al modificar por ejemplo la descarga de agua dulce al mar, fundamentalmente debido a extracciones por bombeos en el acuífero. En este caso las extracciones de agua subterránea provocan una disminución de los recursos subterráneos provocando la penetración de la cuña de agua marina tierra adentro (Figura 14 y Figura 15).

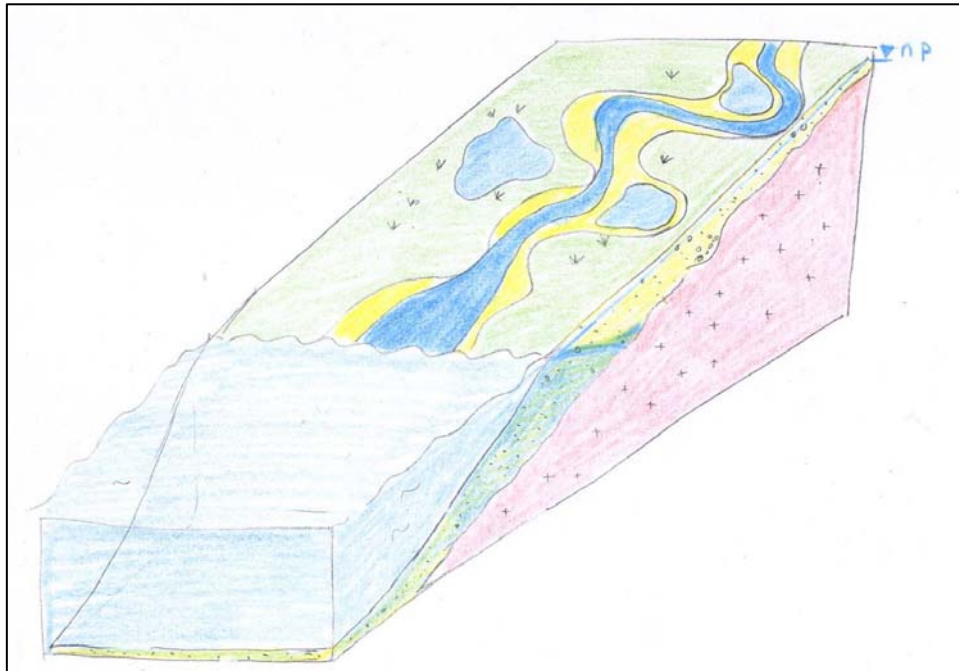


Figura 13. Llanura aluvial donde se han formado humedales

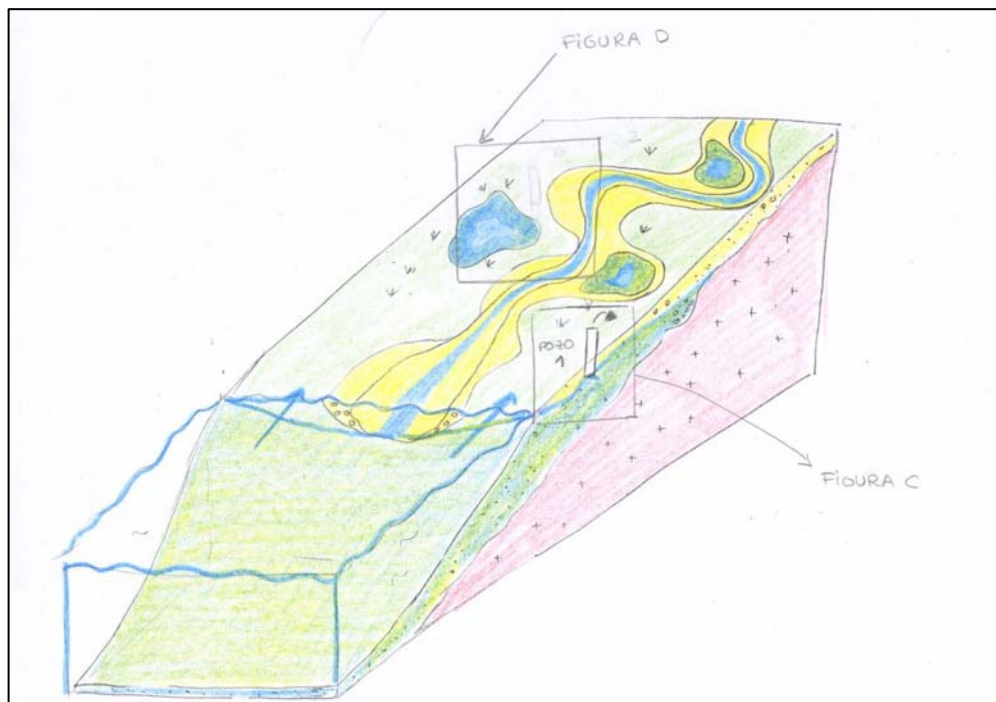


Figura 14. El aumento de la presión extractiva en la zona de llanura aluvial induce la entrada de la cuña salina.

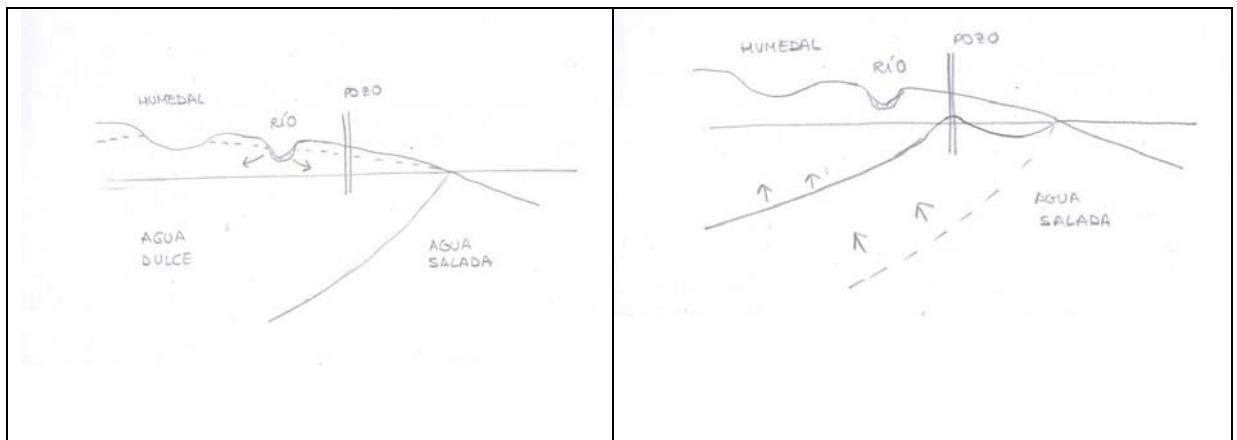


Figura 15. Detalle del proceso de intrusión salina en el acuífero debido a la extracción de agua en los pozos. Esta salinización puede llegar a tener efecto en los humedales

Otras modificaciones del ciclo hidrológico y que afectarían a la cantidad de caudal disponible en la desembocadura serían la construcción de presas. Si el caudal del río disminuye porque se retiene en una presa, una cuña de agua salada penetra por el cauce fluvial en profundidad cada vez más hacia el interior (Figura ), mientras una lámina de agua dulce, cada vez más menguada, fluye por la superficie hacia el mar o se mezcla con el agua del río cuando el caudal es muy bajo. Si este río que ahora contiene agua salada es influyente y por lo tanto alimenta los humedales, éstos sufrirán también un proceso de salinización. Además, se le puede sumar el efecto de salinización del acuífero por bombeo de pozos comentado en la Figura 15. Se puede dar el caso extremo que se llegue a secar el río y entonces el agua del mar entra ocupando el cauce fluvial muchos kilómetros aguas arriba, con lo cual los antiguos ríos, que con sus aportaciones y sus sedimentos generaban las planicies costeras donde se han establecido los cultivos y las ciudades, ahora son vías de agua salada.

La aportación de sedimentos y nutrientes por parte de los ríos es muy beneficiosa puesto que permiten el desarrollo de las praderas sumergidas y favorecen el plancton y en especial el aporte de silicatos contribuye al desarrollo de diatomeas y al desarrollo de las poblaciones comerciales de peces.

Ambos procesos de salinización causados bien por extracciones, bien por disminución del caudal por usos aguas arriba, tendrán repercusiones sobre los ecosistemas de los humedales relacionados tanto con el agua del acuífero como la del río.

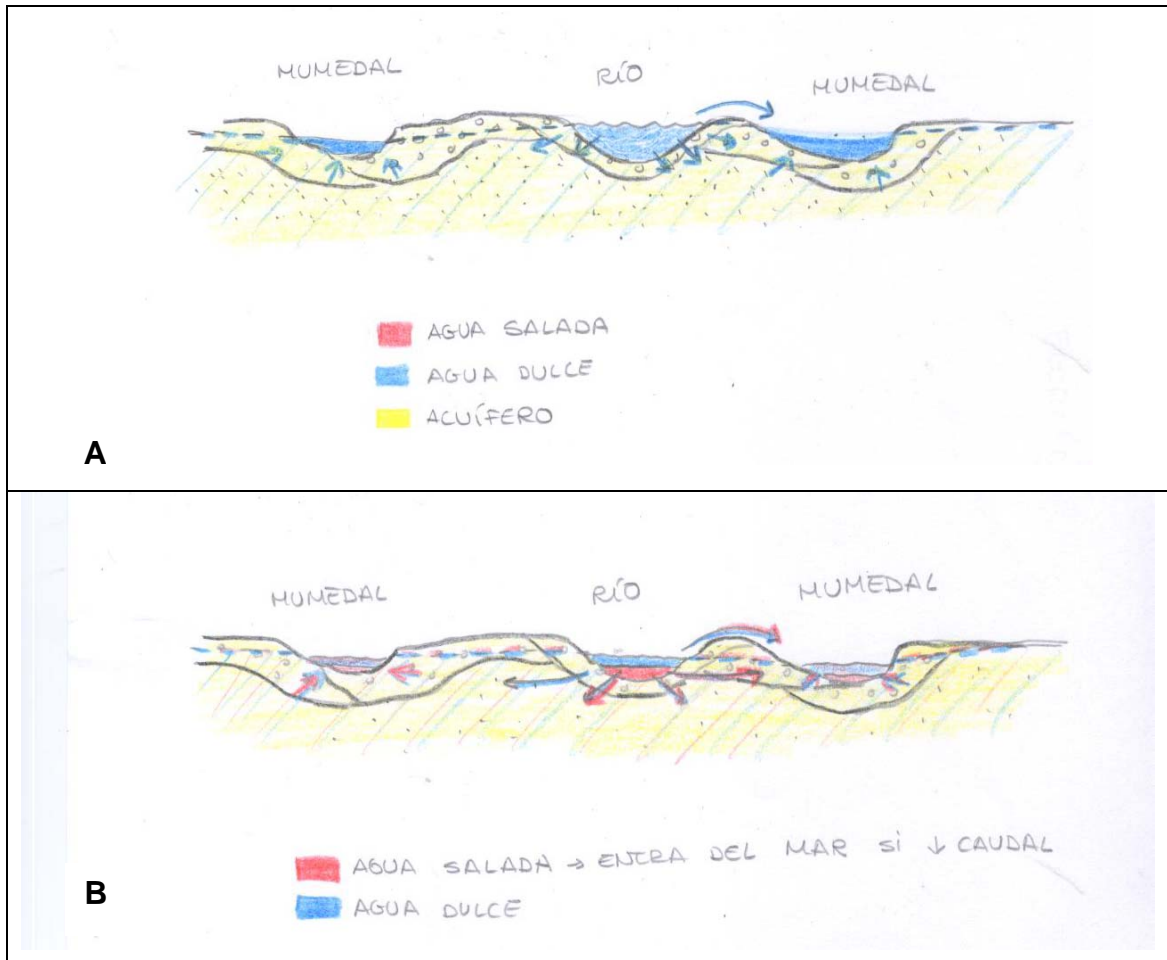


Figura 16. Sección de un río en una llanura aluvial: (A) el río se comporta de manera influyente y contribuye al mantenimiento de los humedales; (B) como consecuencia de la disminución del caudal se produce una penetración de una cuña de agua salada a través del cauce fluvial

## **3. Impactos de las acciones antrópicas sobre la relación agua superficial- subterránea**

### **3.1 Introducción**

Las actividades de origen antropogénico pueden suponer un riesgo sobre la calidad y la cantidad del recurso hídrico, tal y como se ha comentado anteriormente. La respuesta o el impacto de estas actividades se manifestarán a diferentes escalas de tiempo según el tipo de acción y de medio sobre el que se produce. Para actuar consecuentemente en términos de prevención y protección es necesario tener en cuenta qué implicaciones pueden derivarse de una determinada actividad sobre diferentes puntos del ciclo hidrológico. Aunque la casuística puede ser muy diversa, a continuación se ilustran diferentes situaciones que pueden suponer una degradación de manifestaciones naturales tales como lagos, humedales y manantiales.

### **3.2 Manantiales**

Un manantial es un punto de la superficie terrestre donde el agua subterránea emana de manera natural. Las fuentes principales de agua subterránea son la lluvia, la nieve y los ríos y lagos. La mayoría de los manantiales se encuentran en las laderas de los valles, es decir, en los lugares donde se produce la intersección entre la superficie y el nivel freático. Si el nivel freático desciende, desaparece este punto de intersección con la superficie y desaparece el manantial.

Supongamos una zona aluvial, con relativa pendiente, donde el río recarga al acuífero (Figura 17). Este acuífero intersecta la superficie del terreno en una ladera y en este punto emana una fuente. El caudal de este manantial llega hasta una zona de humedales los cuales además de estar alimentados por el agua del manantial se mantienen también porque el nivel freático está próximo a la superficie. Si en esta situación se coloca una presa o embalse aguas arriba que controle el caudal del río controlará también el nivel del acuífero, el manantial y los humedales. En este sentido, si disminuye el caudal del río (Figura 18) se registra un descenso del nivel piezométrico de manera que éste ya no intersecta la superficie del terreno y la fuente



deja de emanar. Entonces, los humedales se mantendrán solamente con el agua subterránea. Si se deprime más el nivel piezométrico del acuífero aluvial por la explotación de éste mediante captaciones (Figura 19), puede llegarse a la situación de secar los humedales. En este caso es indudablemente necesario llevar a cabo una gestión integrada del agua superficial y subterránea puesto que variaciones en el caudal del río pueden impactar negativamente en los ecosistemas asociados a los manantiales y a los humedales además de disminuir la disponibilidad de agua en el sistema.

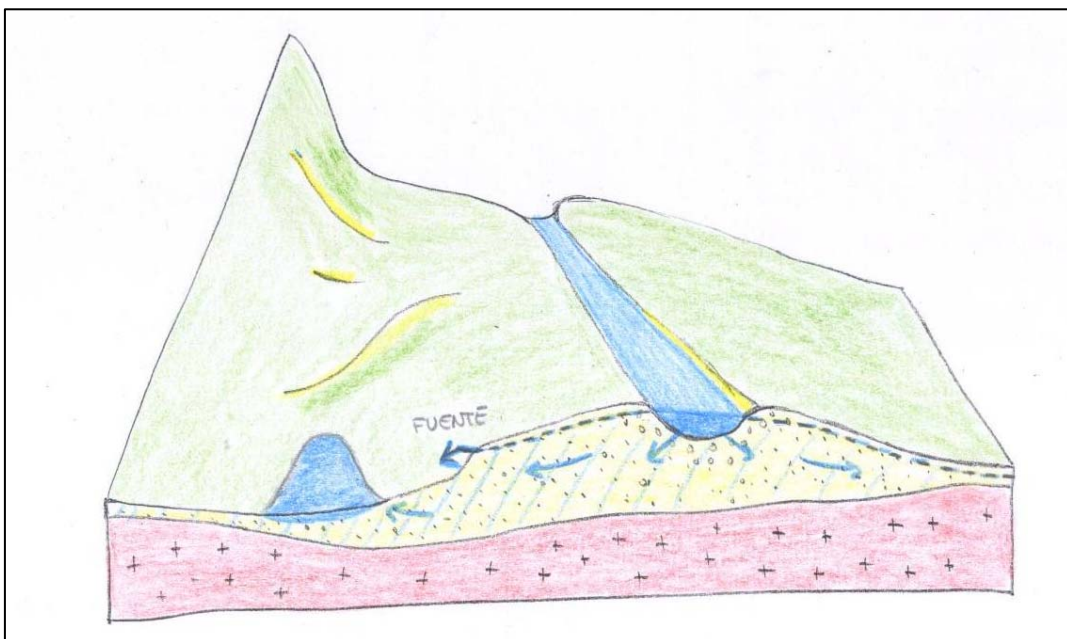


Figura 17. Río de carácter influyente que alimenta a un manantial y a unos humedales cercanos

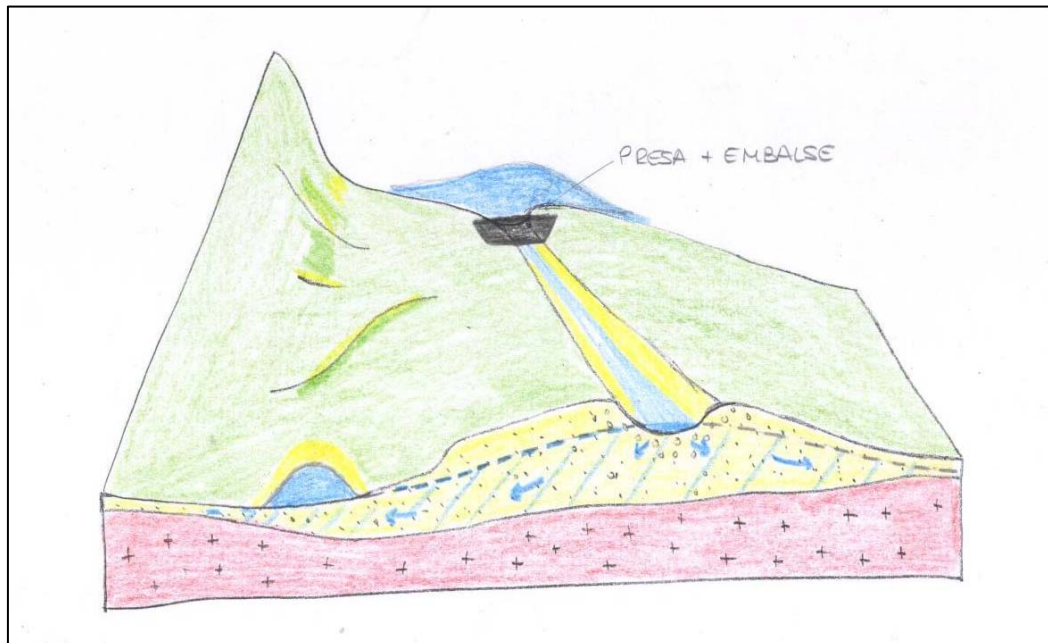


Figura 18. La disminución del caudal del río por ubicación de una presa tiene repercusión en el caudal de la fuente y el tamaño del humedal

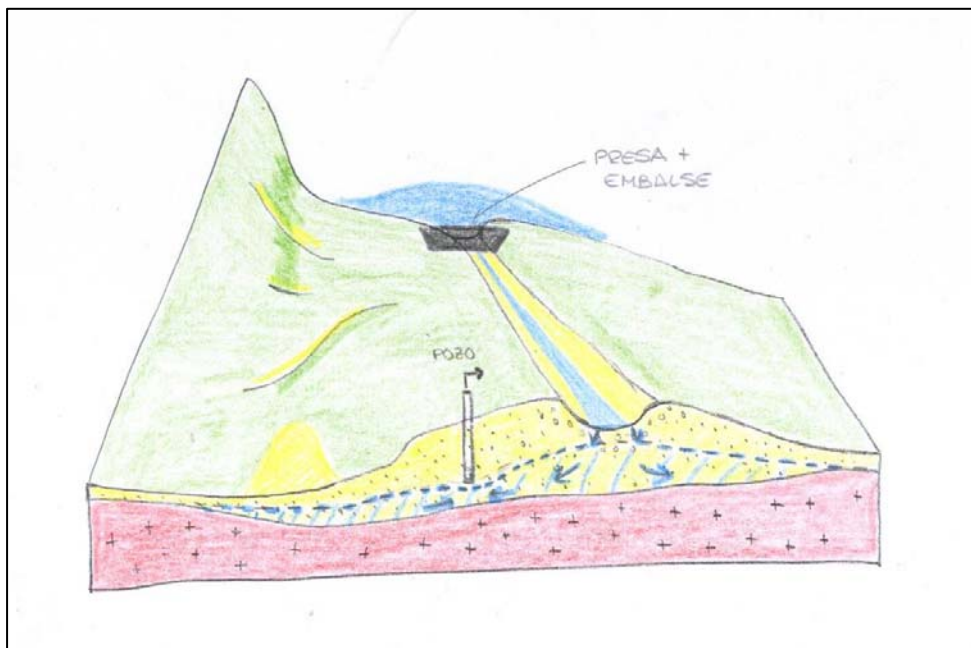


Figura 19. La explotación del acuífero se suma a los efectos anteriores provocando que se sequen los humedales

### 3.3 Humedales

Normalmente el papel de las aguas subterráneas en el mantenimiento de los humedales, y el papel de los humedales en la recarga de las aguas subterráneas, es menos conocido que el papel de las aguas superficiales y, sin embargo, es vital, para la gestión de los humedales. En estos sistemas, la hidrología del acuífero y la salud del ecosistema de humedal están íntimamente relacionados. Es importante tener en cuenta que esta relación puede verse alterada por cambios en el acuífero, como la extracción de aguas freáticas, o en el humedal, por ejemplo por disminución de la inundación natural de los humedales que cubren los acuíferos. El uso racional del agua y de los recursos de los humedales es particularmente importante en las tierras áridas donde el agua es a menudo el factor limitante para la salud humana y del ecosistema.

Por consiguiente, para asegurar la aportación efectiva del agua asignada a un humedal y para garantizar la sostenibilidad del ecosistema y del agua que proporciona, será necesaria una gestión integrada de los recursos asociados de aguas superficiales y aguas subterráneas. Esto exigirá a su vez un correcto conocimiento cuantitativo de los orígenes (superficiales y/o subterráneos), las trayectorias y la variabilidad de las corrientes de agua que entran y salen del humedal, a fin de elaborar estrategias para la extracción de agua que reduzcan al mínimo o impidan niveles inaceptables de cambio en las características ecológicas del humedal (COP9, Kampala, 2005).

La interacción entre aguas subterráneas y humedales puede variar dentro de cada humedal y entre distintos humedales, incluso aquellos que están cerca el uno del otro. Por ejemplo, en una misma cuenca es posible encontrar humedales en contacto hidrológico directo con el acuífero, humedales separados del acuífero sólo por un nivel de materia orgánica (acuitardos) y humedales aislados del acuífero (por un acuícludo) donde sus niveles de agua están controlados exclusivamente por las precipitaciones y la evaporación.

Los vínculos funcionales entre aguas subterráneas y humedales dependen, pues, de la geología (es decir, de la presencia de un acuícludo o un acuitardo) y de los niveles relativos del agua en el humedal y en el acuífero.

Igual que sucede con los ríos, la interacción puede también variar con el tiempo y el espacio. Además, el uso del agua que implique cambios en el nivel del agua, en el humedal o en el acuífero, por ejemplo mediante la extracción, puede alterar el nivel relativo de las aguas la cual cosa comportaría un cambio funcional del sistema. Esto es lo que se ilustra en las Figuras 20 y 21 las cuales en parte reflejan la situación de las Tablas de Daimiel (García y Almagro, 2004).

Los humedales de la Figura 20 se alimentan a partir del río y a partir del acuífero subyacente puesto que el nivel piezométrico es próximo a la superficie. Una época de sequías y de bombeo continuado del agua del acuífero para usos por ejemplo de regadío puede invertir la situación anterior Figura 21. Estas extracciones pueden provocar que los niveles piezométricos bajen de manera que el río se desconecte del acuífero y se produzca una recarga hacia el acuífero. Los humedales también quedan desconectados del acuífero provocando su desecación.

Una vez más se pone de manifiesto la necesidad de una gestión integrada del agua y que la interdependencia entre las aguas subterráneas y superficiales es un factor crucial para llevar a cabo esta gestión.

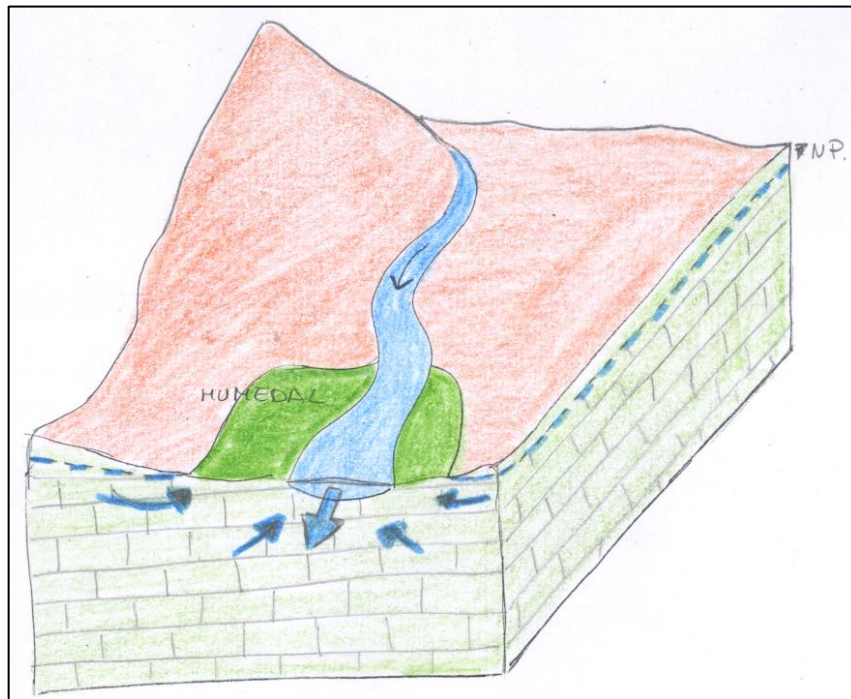


Figura 20. Relación de interdependencia entre un río, el acuífero y los humedales

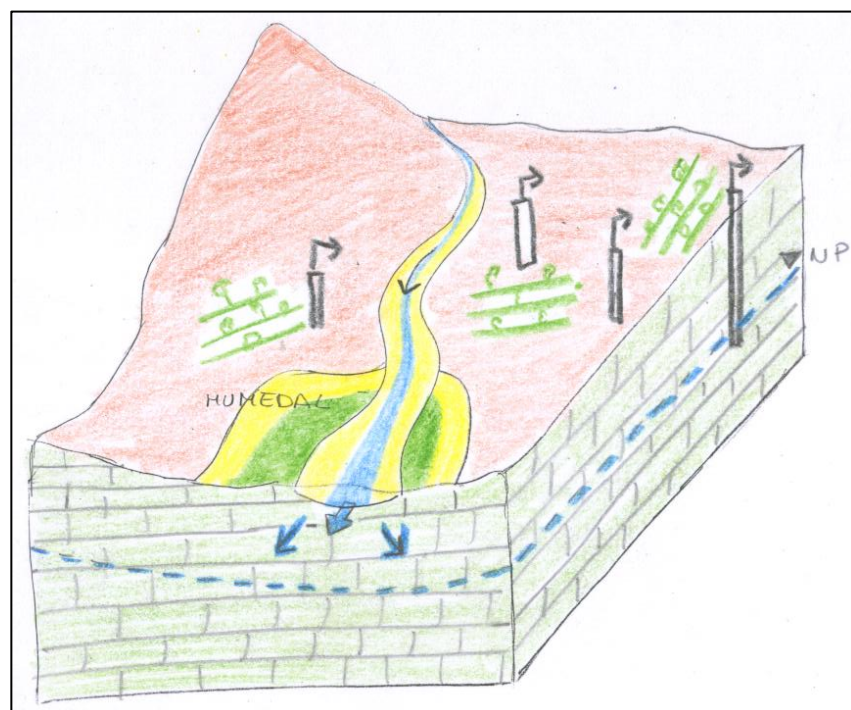


Figura 21. La disminución del nivel piezométrico afecta al río y a los humedales

### 3.4 Lagos

Los tipos de relaciones que se producen entre las aguas subterráneas y los lagos son similares a las que se han comentado para los humedales. En los lagos el ambiente pelágico predomina sobre el ambiente litoral porque el fitoplancton es el productor primario del lago, mientras que en los humedales el ambiente litoral (la vegetación acuática) domina la producción primaria (Becares *et al.*, 2004). El comportamiento de los lagos respecto las aguas subterráneas y el medio en general dependerá en gran medida de la profundidad y extensión del mismo. En los lagos más someros (como por ejemplo los lagos mediterráneos) una de las características es la vulnerabilidad de la lámina de agua a variar su altura como consecuencia de la fuerte estacionalidad. Estas fluctuaciones tienen efectos directos en el tamaño del sistema, en la dinámica de los ecosistemas y en la interacción con las aguas subterráneas. El aporte de agua a los lagos viene de los ríos y el afloramiento de aguas freáticas. También, los lagos alimentan cursos de agua superficiales y recargan acuíferos subyacentes o el sistema de flujo regional.

En la Figura 22 se presenta una situación típica de un lago de montaña. Éste se ha originado en una zona de contacto entre materiales graníticos (con abundantes fallas) i materiales detríticos. Las entradas de agua al lago se producen básicamente a través de dos ríos y de la precipitación local. Las salidas de agua principales son a través del acuífero detrítico, del medio granítico y de otro río. La recarga al acuífero detrítico se produce de manera difusa y su magnitud depende de la posición de la lámina de agua. El sector nordeste del lago se encuentra sobre materiales graníticos donde se infiltra agua a través de fracturas las cuales alimentan manantiales que se encuentran aguas abajo del sistema hídrico y que pueden ser fuente de abastecimiento de una comunidad local.

Como se ha comentado, el nivel del lago puede sufrir oscilaciones estacionales a las que se les pueden sumar oscilaciones provocadas por la intervención antrópica. En la Figura 23 se muestra como la disminución de los caudales de los ríos (bien por detracciones para riego, bien por la construcción de una presa aguas arriba) hace disminuir la altura del nivel de agua conllevando una disminución de la superficie

inundada. Como consecuencia, el lago deja de estar en contacto con el afloramiento granítico del sector nororiental de manera que no se produce infiltración y se secan los manantiales que, aguas abajo, dependían del flujo de estas fracturas. También, la recarga al acuífero local detrítico se ve disminuida y los niveles piezométricos descienden.

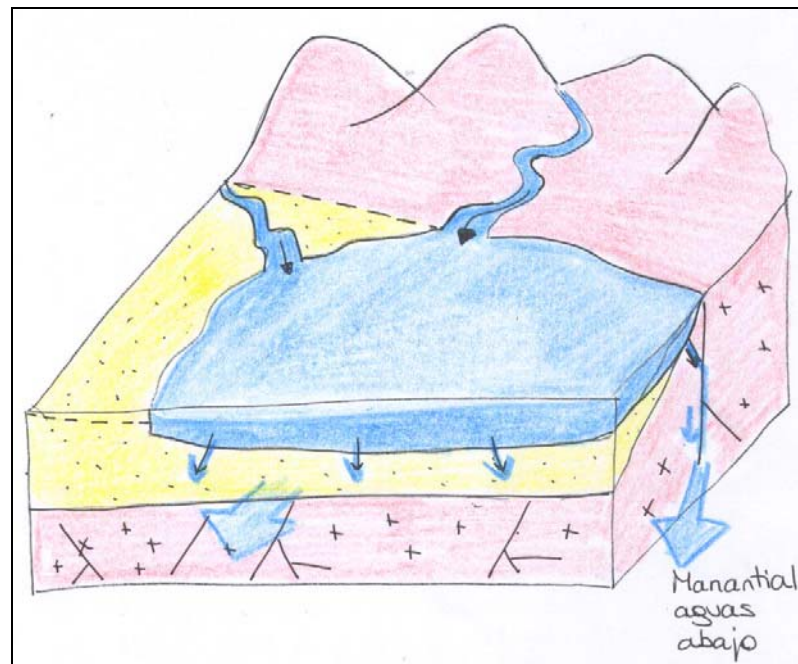


Figura 22. Situación de un lago montañoso que recarga a diversos acuíferos

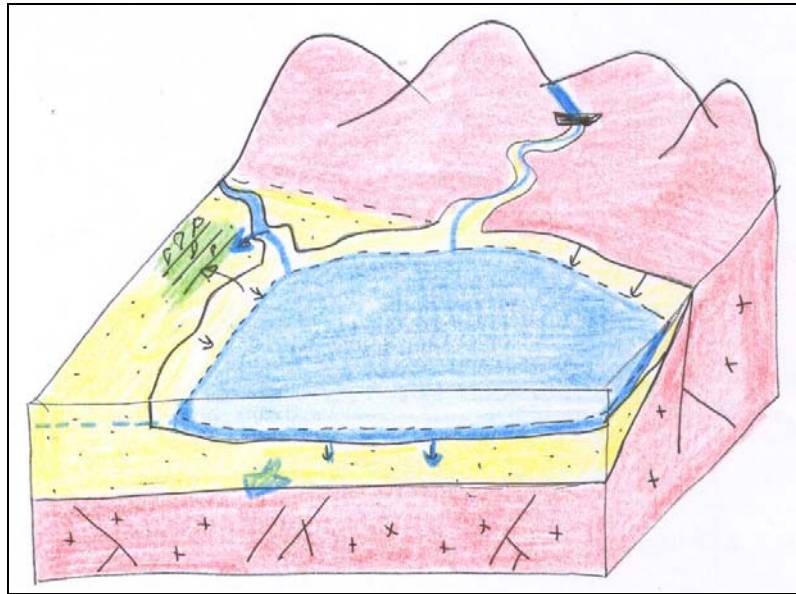


Figura 23. La disminución de la lámina de agua de un lago tiene influencia en el sistema de flujo subterráneo local y regional.

### 3.5 Recursos alternativos

El conocimiento de los sistemas hidrogeológicos y de las interacciones río-acuífero es indispensable para la toma de decisiones respecto la introducción en el sistema de los recursos no convencionales. Éstos no deben utilizarse indiscriminadamente puesto que, por ejemplo, en determinadas situaciones puede no ser viable utilizar el agua de una depuradora para mantener el caudal ecológico de un río ya que puede tener repercusiones sobre la calidad de otros sistemas hídricos asociados. No obstante, es un recurso que debe considerarse y tener en cuenta en la planificación hidrológica puesto que con la utilización del agua depurada se obtiene un recurso no convencional que permite liberar agua de mejor calidad para otros usos.

A continuación se describe un caso que se considera favorable para la utilización del agua procedente del efluente de una depuradora con fines ambientales. Se plantea una llanura aluvial por la que discurre un río de comportamiento efluente (Figura 24). En este tipo de casos, las aguas del acuífero contribuyen a aumentar el caudal del río a lo largo de su trayectoria. De esta manera el caudal del río es totalmente dependiente del estado cuantitativo del acuífero. Si debido a una situación de



explotación continuada del acuífero se deprime su nivel piezométrico, también se notará una importante disminución del caudal del río (Figura 25). El nivel puede ser tan bajo que no permita el mantenimiento de determinadas comunidades acuáticas. En este caso es cuando, además de estrategias de gestión de las aguas subterráneas, se plantea el uso de agua depurada (o regenerada) con fines ambientales (Figura 26). Se considera que la adición de agua depurada permitirá mantener el caudal del río y que, en principio, no supondrá una degradación cualitativa del sistema hídrico puesto que aguas abajo se diluirá con el agua aportada desde el acuífero y además tampoco se infiltra directamente al acuífero subyacente puesto que el río es efluente.

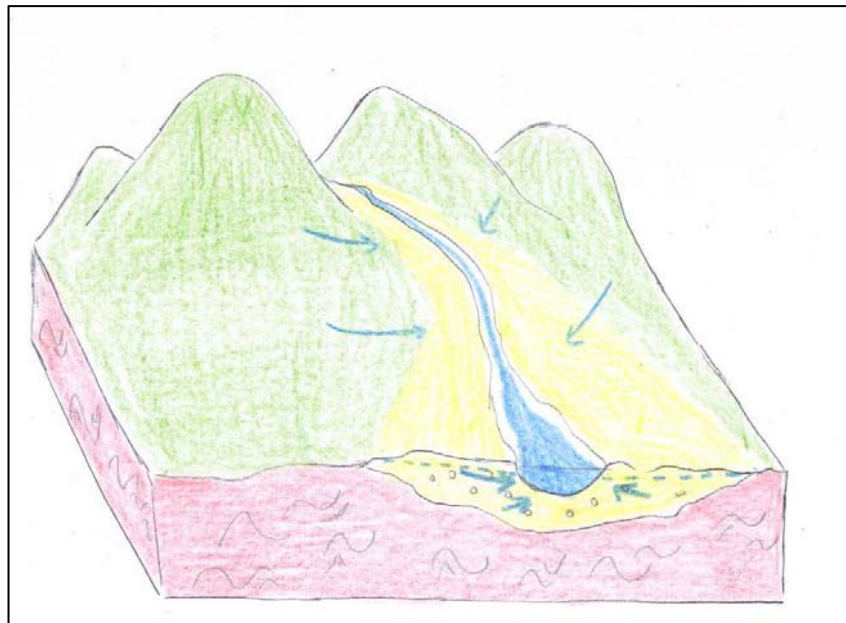


Figura 24. Esquema de funcionamiento de un río efluente.

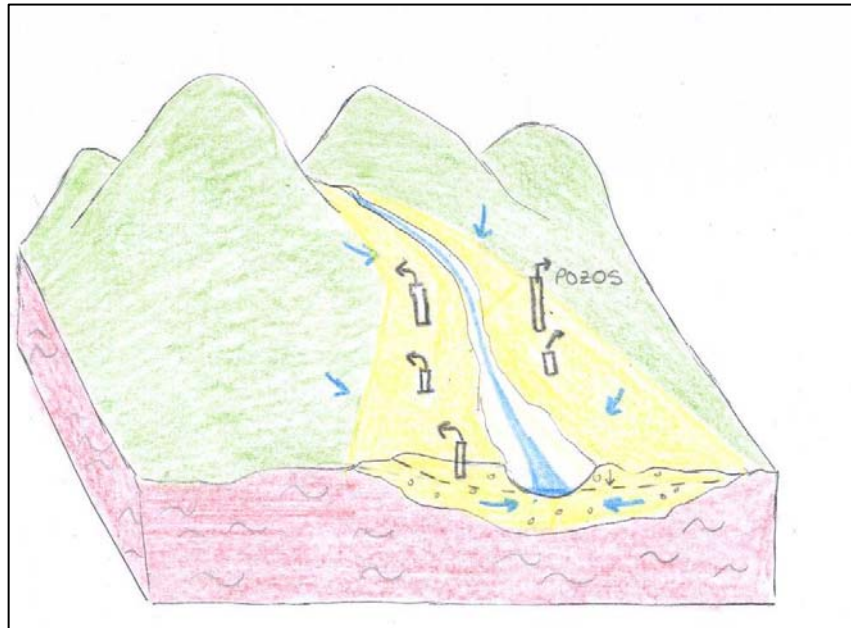


Figura 25. Abatimiento del nivel piezométrico y consecuente disminución del caudal del río.

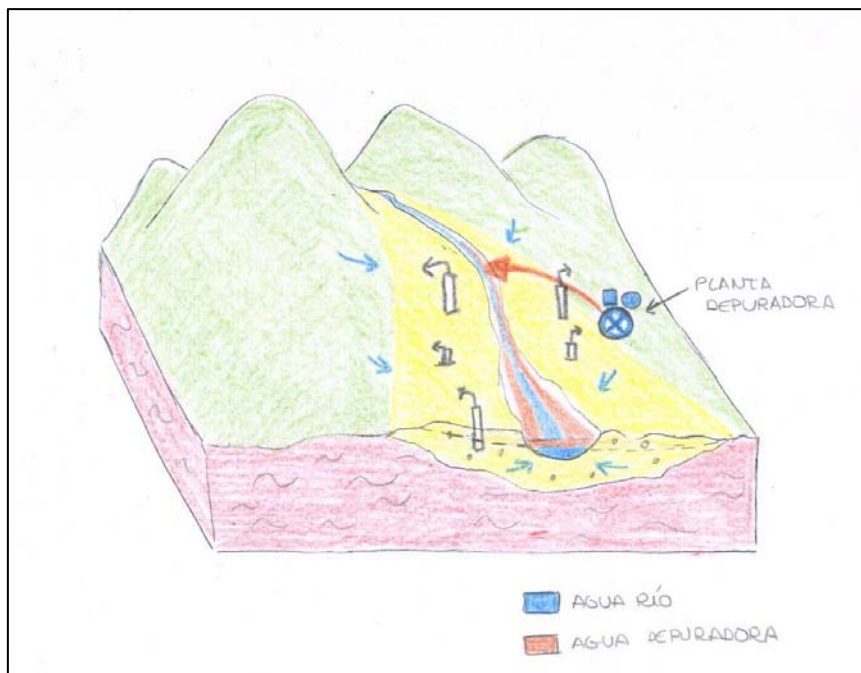


Figura 26. Introducción de agua depurada al sistema hídrico.

## 4. Referencias

- Bécares, E., Conty, A., Rodríguez-Villafañe, C., y S. Blanco (2004). Funcionamiento de los lagos someros mediterráneos). *Ecosistemas* 13 (2): 2-12.
- COP9, Kampala, (2005) 9ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)“ Los humedales y el agua: ¡mantienen la vida,nos dan el sustento!”. Kampala (Uganda), 8 a 15 de noviembre de 2005
- García, M y Almagro, J (2004). Las Tablas de Daimiel y los Ojos del Guadiana: Geología y Evolución piezométrica. Tecnología y Desarrollo. Volumen II. [http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD04\\_003.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD04_003.pdf)
- Tóth, J. (1963) A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Journal of Geophysical Research* 68(16):4795-4812.
- Vilanova, E. (2004). Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà. Proposta de model hidrodinàmic regional. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona, 283 pp.
- Winter, T.C., J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley (1998) Ground Water and Surface Water A Single Resource. US Geological Survey Publications. Circular 1139