

# OPORTUNIDADES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS en el marco del Plan de Acción

RECURSO AMBIENTAL. RECURSO ESTRATÉGICO. Reflexiones sobre la RECARGA  
ARTIFICIAL

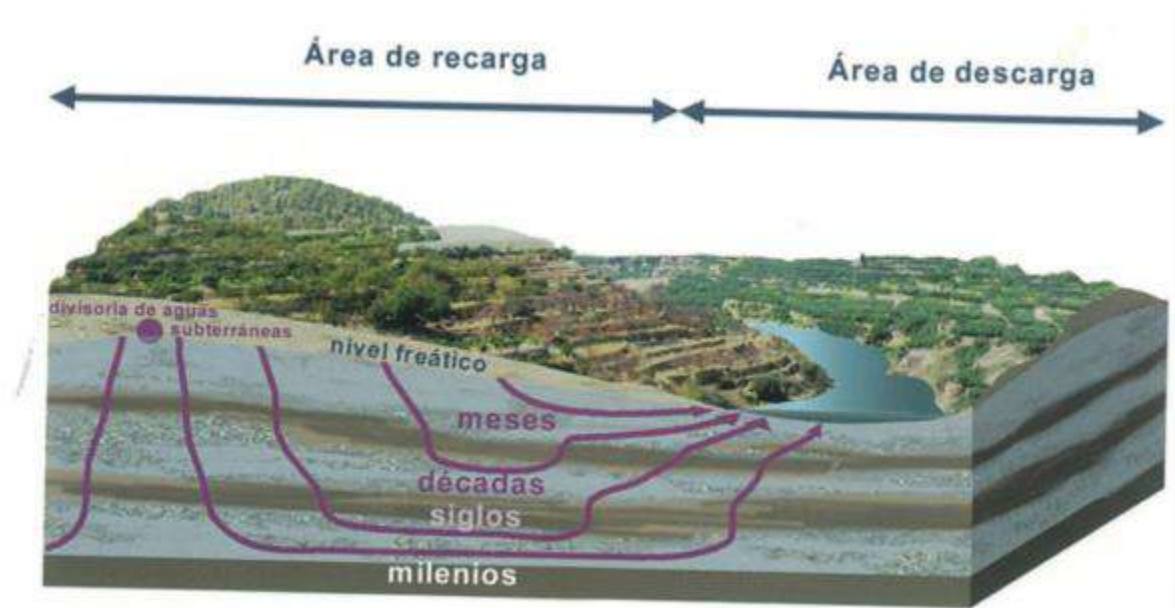
Juan Carlos Rubio Campos  
Doctor en Ciencias Geológicas. Consejo asesor del CAS

## Aguas subterráneas:

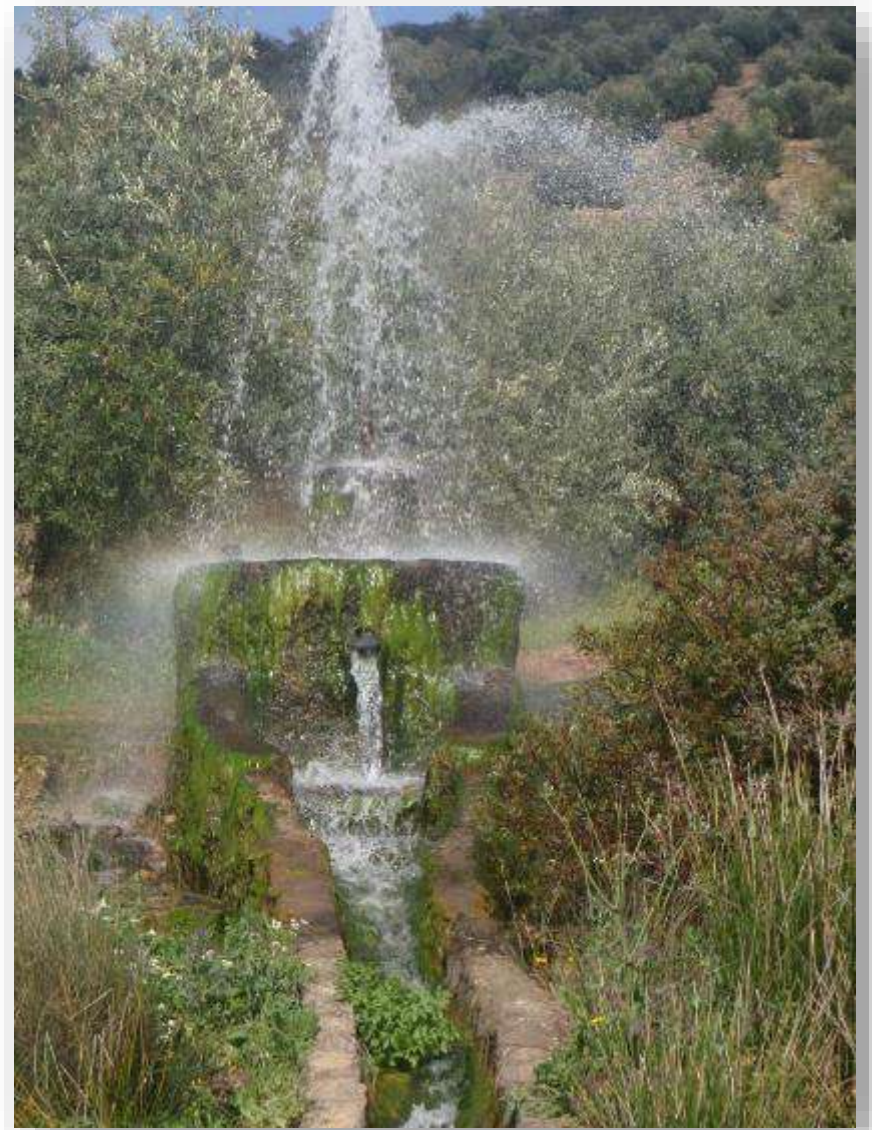
• Del total de **agua dulce** en la hidrosfera, si exceptuamos el hielo de los polos, **las aguas subterráneas representan el 30,1 %** y ríos y lagos el 0,27%. El **tiempo medio de residencia** del agua en ríos es de **15-20 días**, en lagos de **17 a 150 años** y en las **aguas subterráneas de decenas a miles de años** (Schiklomanov, 1997).

## Cifras Generales:

- Grandes volúmenes almacenados  
Mayor de 80000hm<sup>3</sup> Península
- Retardo en la salida del agua a los cauces (decenas a miles de años)
- Recursos renovables. Península  
26500 hm<sup>3</sup>



- El agua subterránea, por su naturaleza y ubicación, constituye un **recurso estratégico en situaciones de sequía**, pues las grandes **reservas acumuladas que superan en tres o cuatro veces los recursos renovables** anualmente, permiten **asimilar mejor** los ciclos meteorológicos desfavorables.
- Existen una serie de factores que favorecen su utilización, entre los que destacan: su **amplia distribución geográfica**, que las sitúa **próximas a los centros de consumo**; su fácil **adaptación a la demanda hídrica**, ya que pueden satisfacer, de modo más **rápido y eficaz, excesos puntuales** en su demanda; su **uniformidad en la calidad**; y su **protección ante la agresión de diferentes agentes**.



Fuente:IGME-Junta de Andalucía(Guía del Agua en el Parque natural de la Subbetica de Cordoba

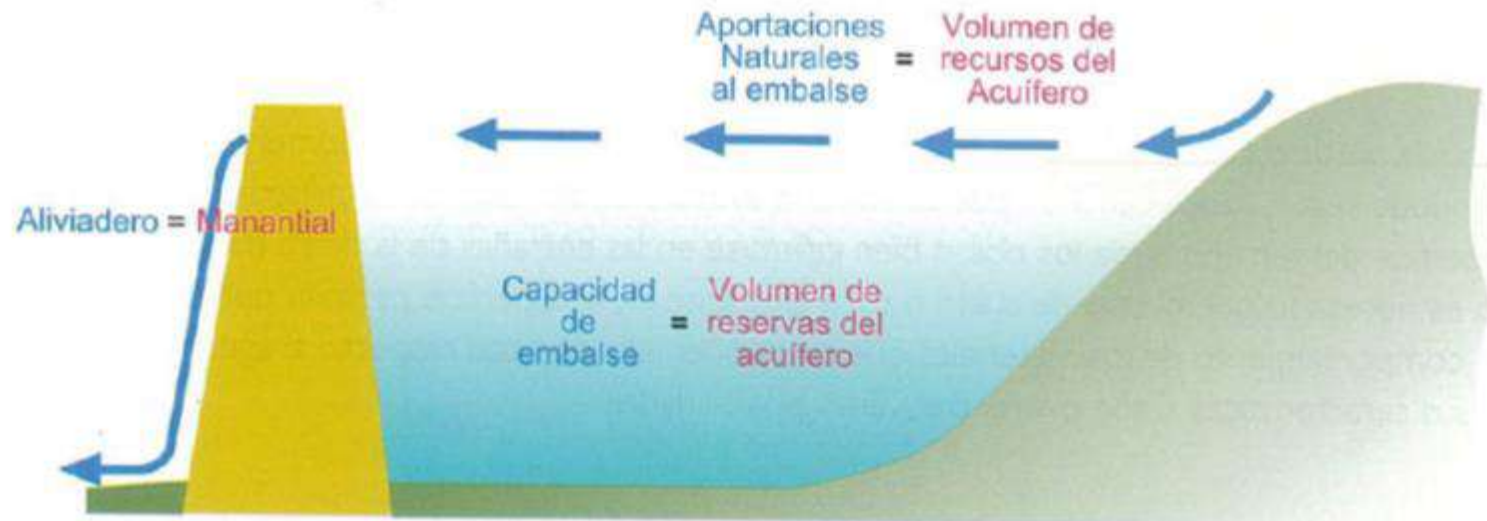


Figura 2. Esquema comparativo entre un embalse subterráneo y uno superficial.

Fuente:IGME

## Equivalente a los Bancos de agua de California

- La importancia de las aguas subterráneas llevo a Naciones Unidas a dedicar el Día Mundial del Agua de 2022 a celebrarlo bajo el **lema "Aguas Subterráneas, hacer visible lo invisible"**
- **Plan de Acción** de Aguas Subterráneas. Julio 2023.  
Como características destacar su distribución por la mayor parte **del territorio, capacidad de almacenamiento (ausencia casi total de evaporación, papel estratégico** en situaciones de sequia(en las que no se ven afectadas como las aguas superficiales) y su papel esencial en el mantenimiento del **caudal de los ríos(26500/21000hm<sub>3</sub>/año-SIMPA), de ecosistemas acuáticos y de los márgenes de ribera de cauces y humedales.**

## Plan de Acción 2023

- El papel de las aguas subterráneas es decisivo desde el punto de vista **socioeconómico**, tanto para garantizar el **abastecimiento** de agua de calidad a la población, como para la industria, regadío o minería.
- A **escala mundial**, las aguas subterráneas proporcionan la **mitad del volumen** de agua para uso doméstico, el **25% para agricultura** que se aplica sobre el 38% de las tierras de regadío (UNESCO,2022).

A escala de la **unión Europea**, el agua subterránea supone el **65% del volumen para abastecimiento urbano y el 25% para agricultura de regadío (EEA,2022)**.



# SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS LAS SEQUIAS Y EL INCREMENTO DE LA GARANTÍA Y LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

Los periodos de sequia deben considerarse ,no solo los ligados a la escasez de precipitaciones y/o el estado de almacenamiento de los embalses, sino las **tendencias hacia mínimos en la evolución de drenajes de manantiales** y en los niveles **piezométricos** de la red de control de aguas subterráneas.

Deben establecerse **Redes** específicas en diferentes contextos geológico/hidrogeológico en masas de agua en estado casi natural(cabecera de cuencas hidrográficas). **Relación Lluvia/caudal** drenado.

**Curvas de embalse subterráneas (curvas de llenado/reservas útiles).**

**Hitos** en el llenado (secado de manantiales, pérdidas de ganancia de ríos, pérdidas en rendimiento de abastecimientos)



**REFRANERO** *"todo el mundo se acuerda de las aguas subterráneas cuando llega la sequía".*

- No se sabe cuando llegara sequia la próxima pero **llegará**. Se deben planificar y ejecutar actuaciones en periodos de abundancia hidrológica.
- Los acuíferos **pueden soportar en mejores condiciones los ciclos de sequía** ya que, en función de su geometría y características hidrogeológicas, disponen de importantes volúmenes de agua almacenada como reservas **adquiriendo así un papel regulador**.



# PECULIARIDADES DE LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO EN EL ARCO MEDITERRÁNEO (PENÍNSULA IBÉRICA) Y SU PAPEL EN LA GENERACIÓN DE HUMEDALES EN ACUÍFEROS DE RIBERA

Durante la **época húmeda** los caudales circulantes por los ríos son la suma de los procedentes de los manantiales y áreas de descarga natural y las aguas de escorrentía superficial; durante el **estiaje**, en muchos casos, únicamente permanecen los primeros por lo que se les conoce como “**caudal base**”.

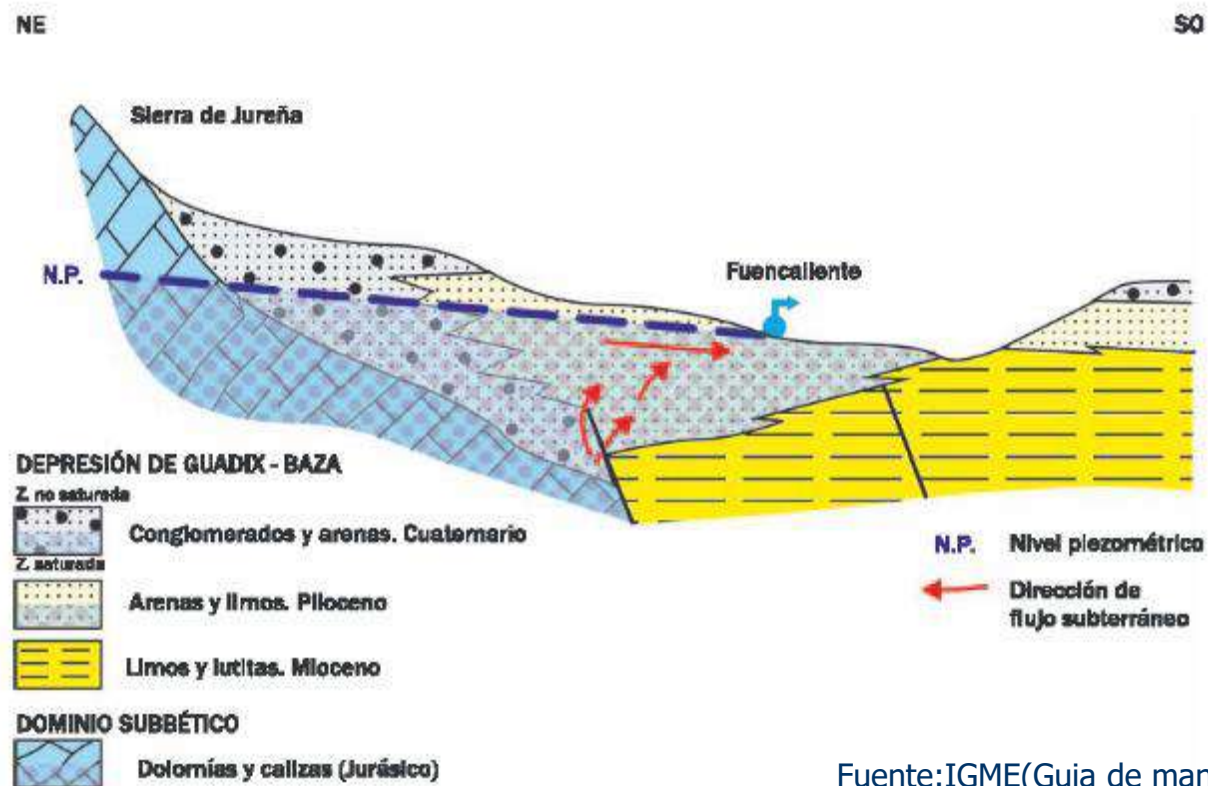


*Manantial ferruginoso en Sierra Nevada*

## Plan de Acción 2023

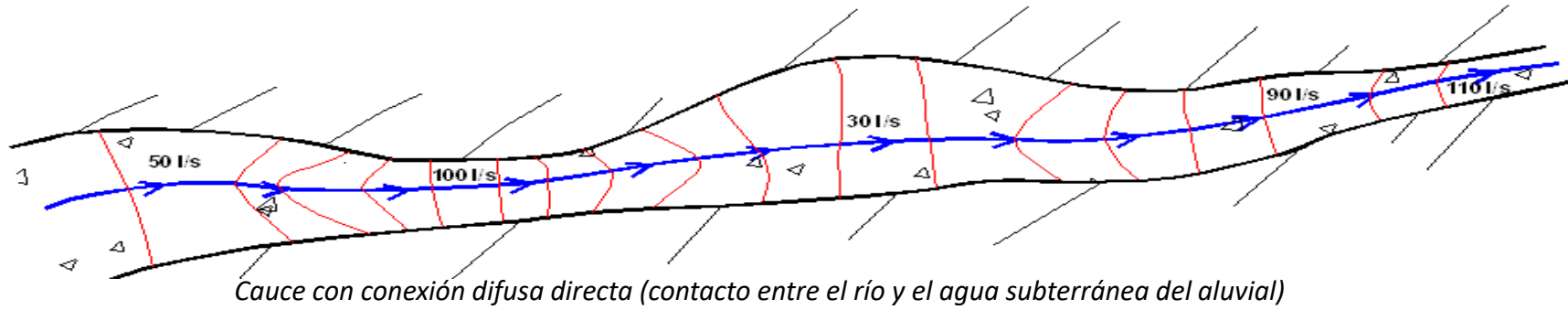
Desde un punto de vista ambiental son el **sustento de ríos ,manantiales y de muchos humedales, criptohumedales y ecosistemas de gran valor.**

Muchos ríos en muchas ocasiones se verían secos si no estuvieran alimentados por agua subterránea . Incluso el agua subterránea se hace visible en la vegetación freatofita y en la riqueza biológica y ecológica de los criptohumedales

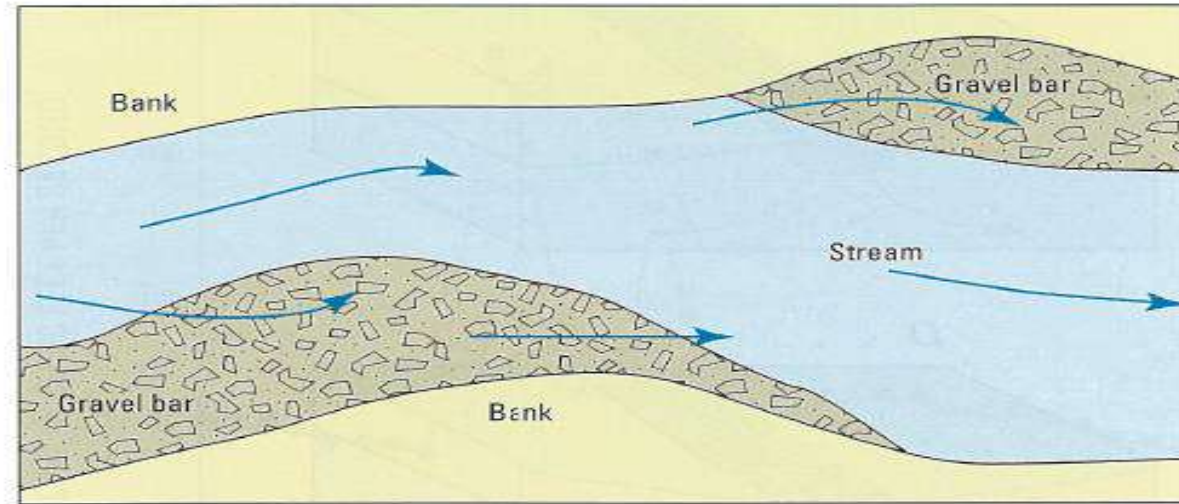


Fuente:IGME(Guia de manantiales de la provincia de Granada)

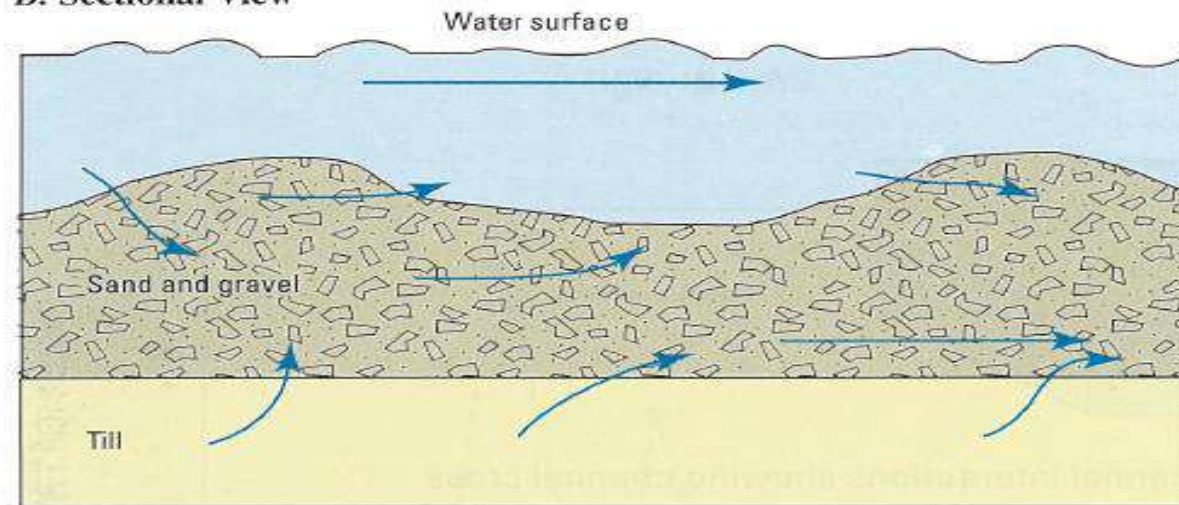
## VARIACIONES EN PLANTA



**A. View from Above**

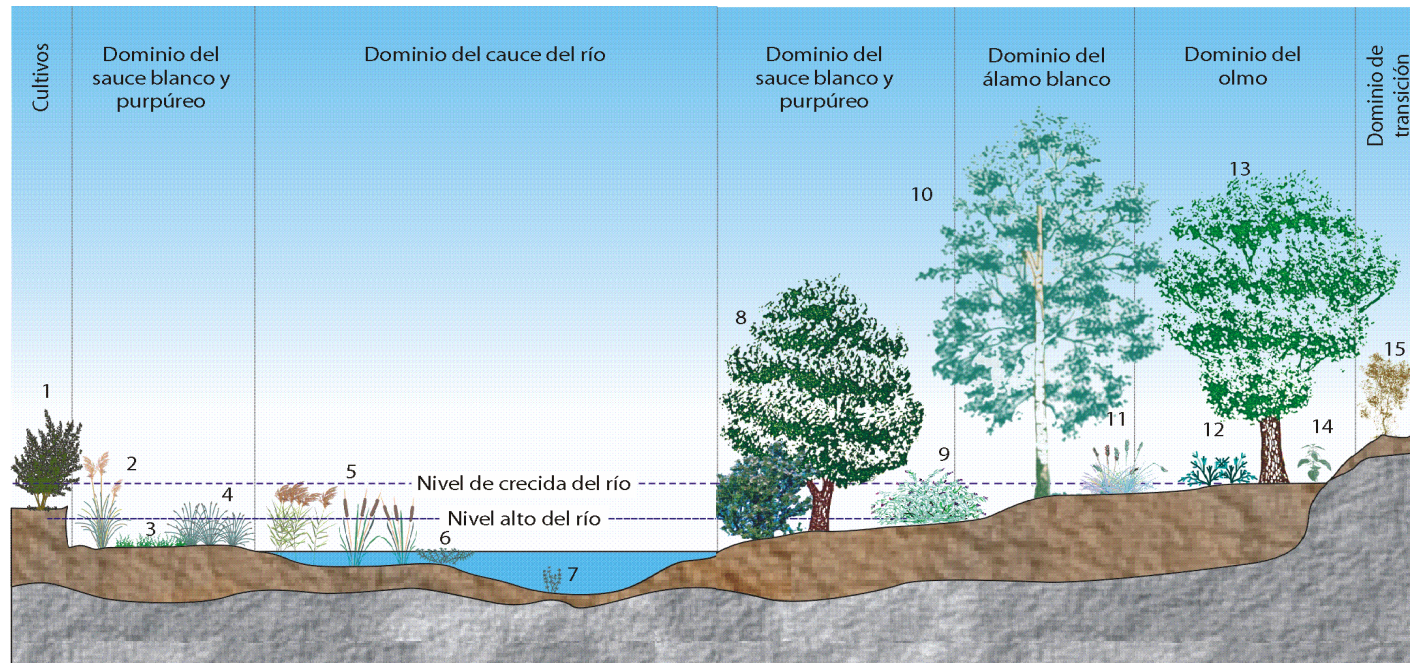


**B. Sectional View**



*Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between Surface Water and Ground Water. US. Geological Survey (2008)*

## Vegetación de ribera (bandas paralelas al eje del cauce)



1 Cultivos - 2 Císcal - 3 Pastizal de grama - 4 Juncal de junco churrero - 5 Carrizal-aneal - 6 Comunidad de berro y apio silvestre - 7 Comunidad del alga Chara - 8 Saucedas de sauce blanco y púrpúreo - 9 Zarzal con volder - 10 Alameda de álamo blanco - 11 Fenalar - 12 Herbazal de cicuta - 13 Olmeda - 14 Herbazal nitrófilo de ortiga - 15 Madroñal



*Imagen de la parte inferior de una ninfa de **Pérlido** en donde se aprecian las branquias (de tono blanquizco) en las axilas de las patas.*



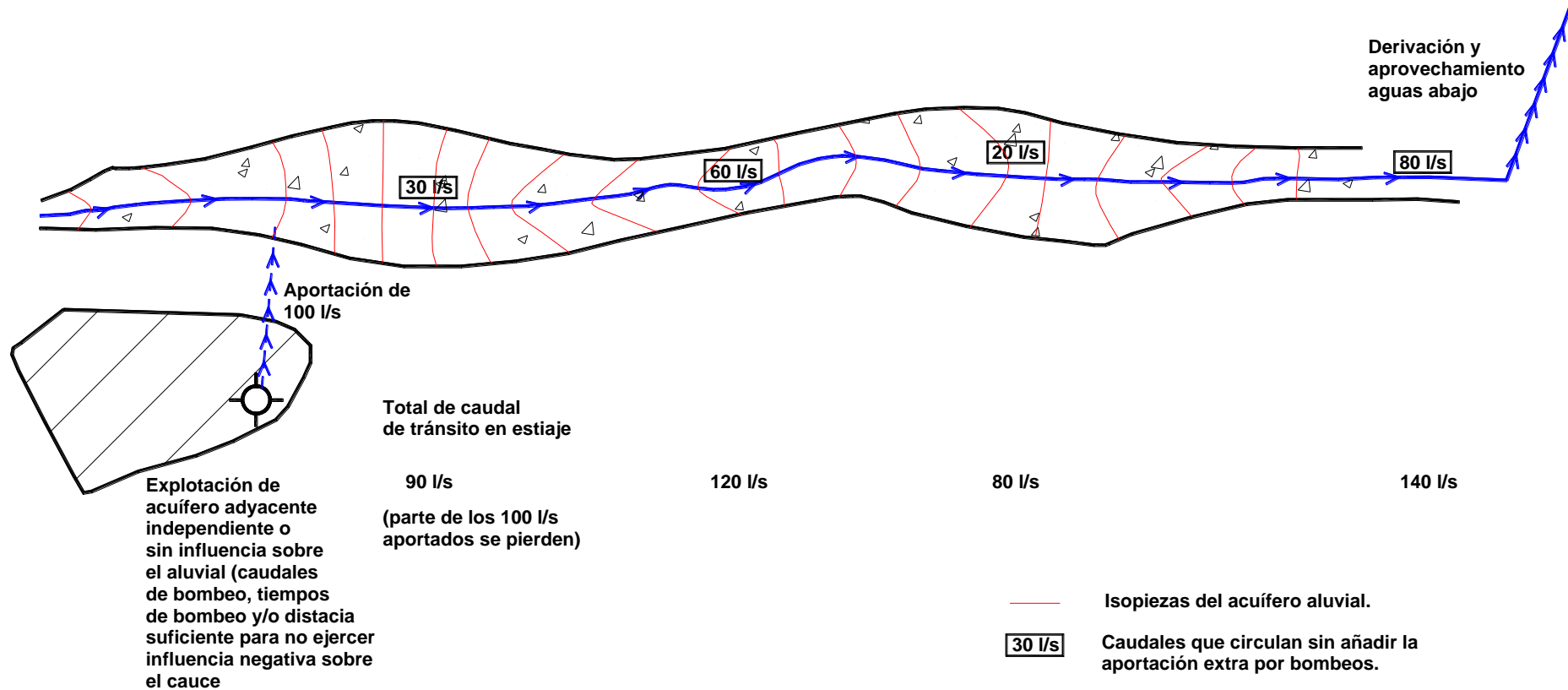
***Junco** churrero, una planta flexible y resistente muy utilizada a en el medio rural para atar todo tipo de materiales*

## HIPÓTESIS DE RELACIÓN VARIACIONES EN PLANTA-CRUCE TRANSVERSAL DE PAQUETES ACUÍFEROS AJENOS AL ACUÍFERO ALUVIAL

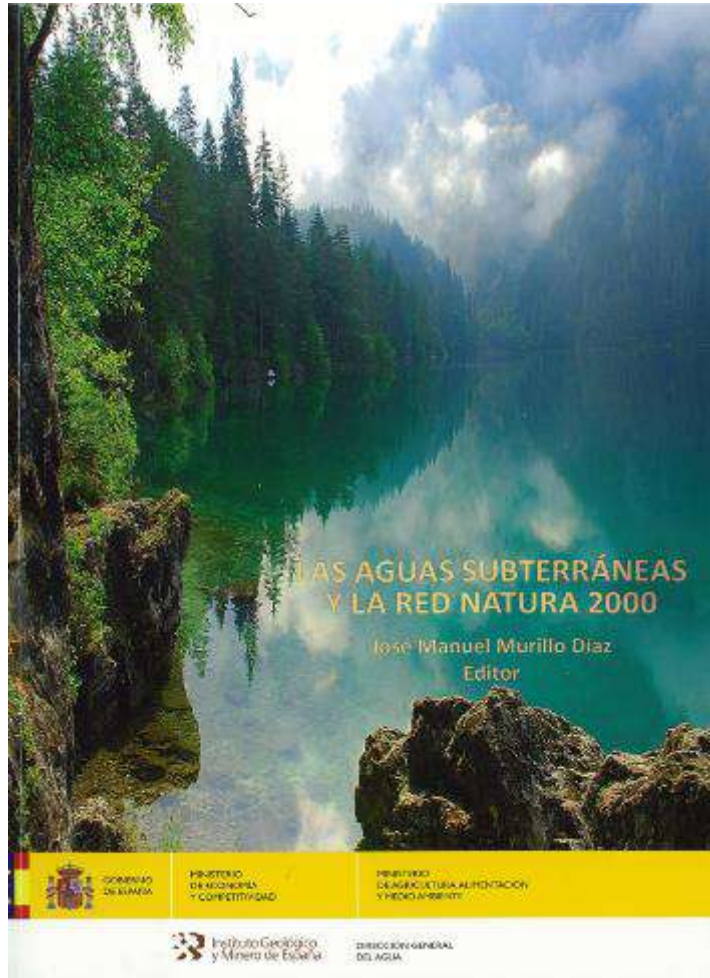




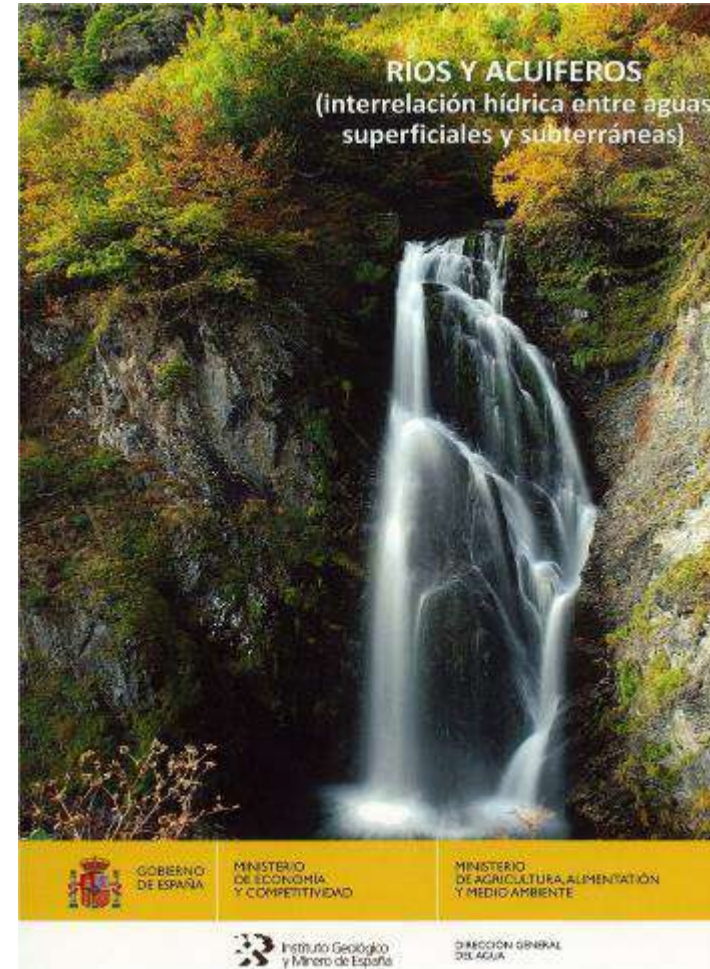
# HIPÓTESIS DE EXPLOTACIÓN DE UN ACUÍFERO ADYACENTE DEL TRAMO ALUVIAL DE CABECERA QUE INCREMENTA EL CAUDAL ECOLÓGICO EN ESTIAJE



# INTERRELACIÓN ENTRE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS EN LO QUE RESPECTA A CURSOS FLUVIALES DE CUALQUIER ORDEN

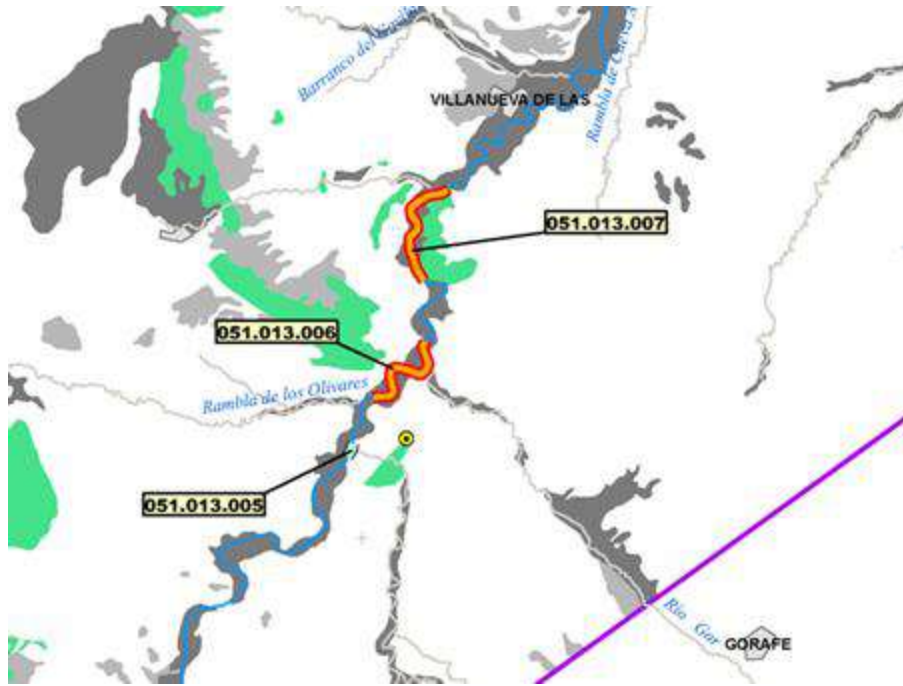


*(Murillo Díaz, JM, et al.) IGME-Dirección General del Agua (2014). Las aguas subterráneas y la Red Natura 2000.*



*(Murillo Díaz, JM, et al.) IGME-Dirección General del Agua (2016). Ríos y acuíferos (interrelación hídrica entre aguas superficiales y subterráneas)*

Avance de consideración tras la Caracterización Hidromorfológica de ríos (Dirección general del Agua)  
Grado de conexión incluso fuera de masas subterráneas

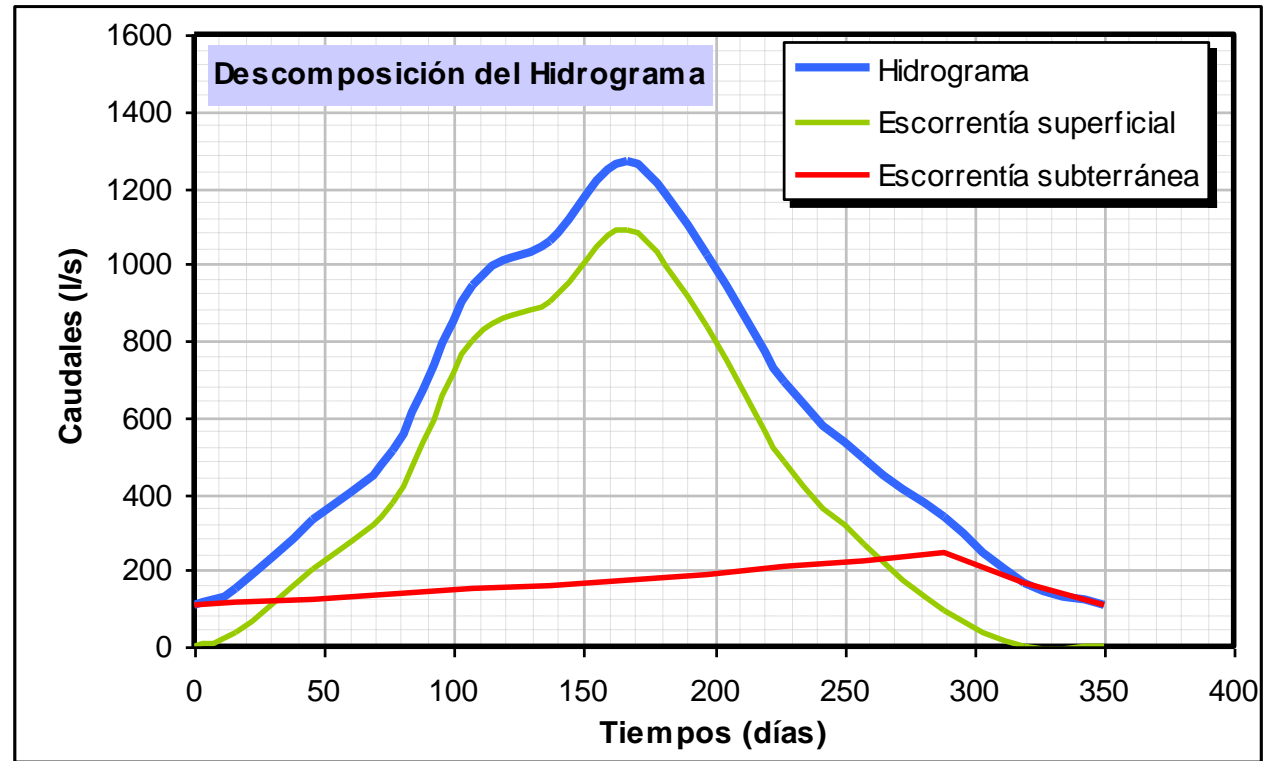


### **El Mencil**

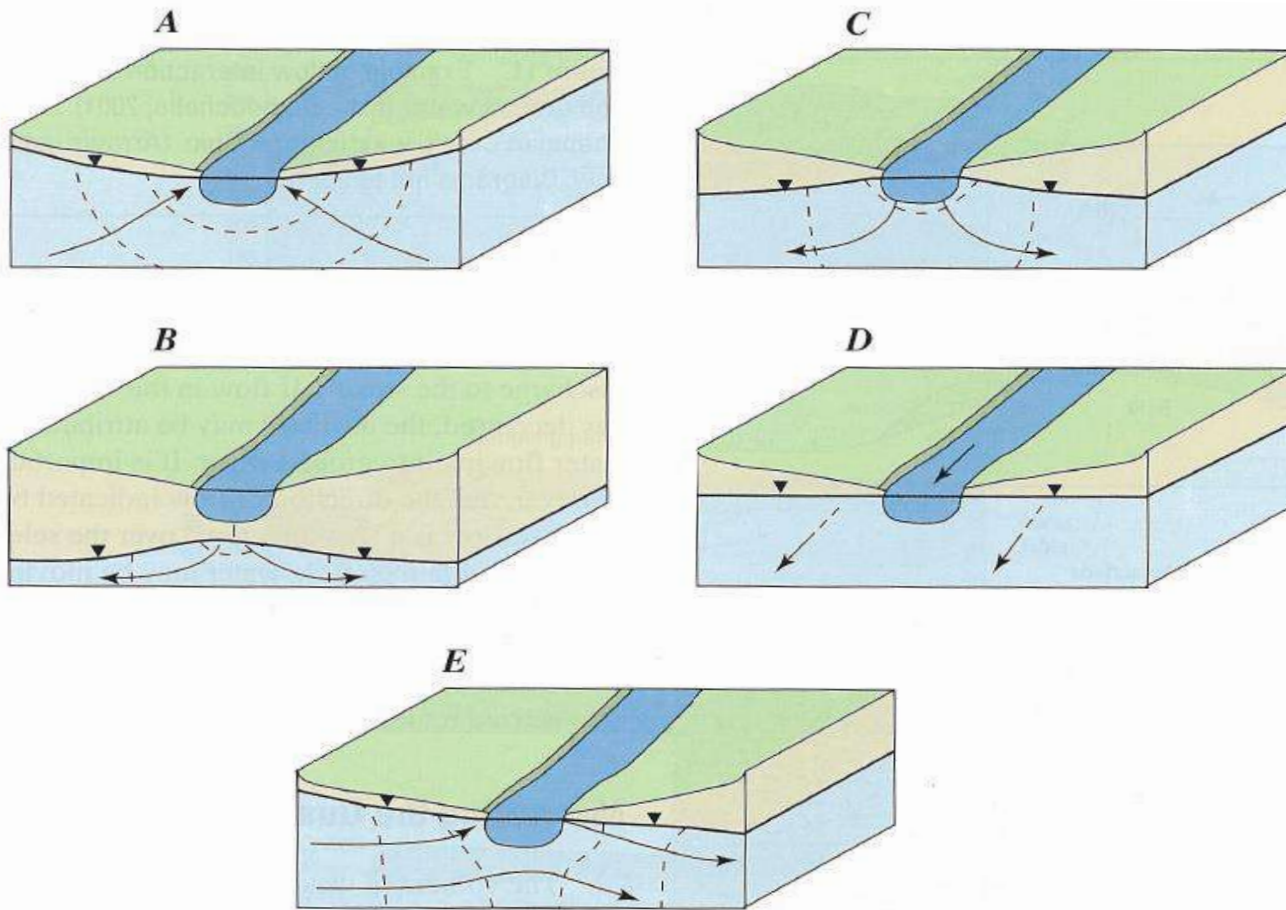
051.013.005 Puntual discharge through a group of springs (descarga puntual por un grupo de manantiales).

051.013.006 Diffuse indirect connection with deep flow (conexión difusa indirecta con flujo profundo).

051.013.007 Diffuse direct connection (conexión difusa directa).



**Análisis de hidrogramas:** Descomposición de la escorrentía superficial y subterránea empleando el hidrograma mensual medio obtenido de las series de hidrométricas y foronómicas (p.e. mediante el método de Barnes). Obtención del coeficiente de agotamiento.



**Figure 12.** Fluvial-plain ground-water and stream-channel interactions showing channel cross sections classified as: *A*, gaining; *B* and *C*, losing; *D*, zero exchange; and *E*, flow-through. The stream is dark blue. The water table and stream stage (thicker lines), ground-water flow (arrows), and equipotential lines (dashed) are shown (from Woessner, 1998, copyright American Institute of Hydrology, used with permission).

Líneas de trabajo recomendables para mejorar el conocimiento actual:

- Disponer de **aforos actuales** aguas arriba y abajo del tramo ganador, perdedor o variable a lo largo de dos años hidrológicos.
- Análisis actual de **bombes próximos** a cauces y de la **evolución a lo largo del año** de la **superficie piezométrica**.
- Grado de alteración de la relación en función de las características de las variaciones antrópicas de profundidad del sustrato, anchura del cauce, presencia de impermeabilizaciones del sustrato, motas artificiales, escolleras, y encauzamientos
- impacto en criptohumedales, freatofitas, humedales menores y praderío en márgenes
- Análisis de los impactos de la relación por cambios en el perfil de equilibrio y embalses de regulación

# HUMEDALES Y AGUAS SUBTERRANEAS

Los humedales se pueden diferenciar por un **criterio hidrológico** de su estructura externa o de superficie (lámina de agua aflorante y oculta) y **por el criterio geológico/hidrogeológico o de conexión subterránea.**



*Polje de la Nava. Subbética de Córdoba*



*Césped almohadillado en cubeta de sobreexcavación glaciar Sierra Nevada*

**Freatogénicos** (vinculados a la estructura de flujos subterráneos localizados próximos).

Dentro de los freatogénicos tendríamos los:

- Humedales de recarga (navas, charcas de infiltración, tramos de recarga fluviales, etc.).

- Humedales de **tránsito** Flujo próximo a la superficie oculto (de la raíz griega cripto-oculto) (criptohumedales continentales, litorales, charcas freáticas, etc.)



*Sierra Nevada*

- Humedales de **descarga** (coincidencia con áreas de drenaje (encharcamientos por manantiales, aguas de rezume, descargas de fondo, etc.).



*Subbética de Córdoba. Manantial de Zagrilla*



*Ruidera. Lagunas del Rey y Colgada (Fuente:internet)*

## **SOBRE UNA CONSIDERACIÓN ACTUALIZADA DE LO QUE SON LAS ZONAS HÚMEDAS MENORES Y EL ECOSISTEMA RELACIONADO CON LAS MÁRGENES DE RIBERA**

Hoy en día se debe admitir que el término de **zona húmeda** debería englobar también aquellas zonas de especial interés ambiental asociadas a **formaciones superficiales, bien en márgenes de ribera**, bien en formaciones de **montaña** donde **la flora y fauna dependen del régimen de humedad del sustrato**. Estas formaciones constituyen **acuíferos de escasa entidad** en cuanto a los recursos renovables (verdaderas islas); si bien presentan flujo subterráneo y un régimen de entradas y salidas (**terrazas aluviales, coluviones de ladera, formaciones periglaciares, depósitos glaciares, etc**).



*Humedal de Alta Montaña (cierres por sedimentos glaciares)*



*Gallipato (Pleurodeles Walti) Humedales de Sierra Gorda (Granada)*

## HUMEDALES MENORES

Así, los **isleos de vegetación** que se ven por muchos sectores asociados a manantiales, **rezumes, navas, zonas con turba incipiente, áreas húmedas abandonadas,** ocasionalmente inundadas **en periodos de crecida, zonas de carrizo y juncos,** constituyen ecosistemas de conforman paisaje, y son lugares donde la **vegetación, similar a la de zonas húmedas tradicionales,** son refugio de especies singulares (terrestres y acuáticas) **muy sensibles** a la actuación humana y al cambio climático que nos amenaza.



*Vegetación asociada a zonas de turbera en Sierra Nevada*



*Musgos, hepáticas y helechos cobran protagonismo en las comunidades de rezumes*



*Culantrillo del pozo, el helecho más típico de este tipo de ambientes*

Fuente:IGME-Junta de Andalucía.Coleccion Guías del Agua en los Espacios Naturales.Cazorla

En **paredones verticales se ven** comunidades de rezumes con especies tan características como la **tiraña antes** mencionada y en herbazales húmedos a una de las joyas del Parque: **la aguileña (Aquilegia cazorensis)**.



*vegetación de ribera para obtener más alimento. Fuente: IGME-Junta de Andalucía. Guía del Agua en el Parque Natural de Cazorla*

La fauna de este lugar también presenta la singularidad de albergar a especies de ambientes húmedos y umbrófilos como la **lagartija de Valverde, salamandra, babosas** de gran tamaño o el **caracol de huerta** (*Cepaea nemoralis*).

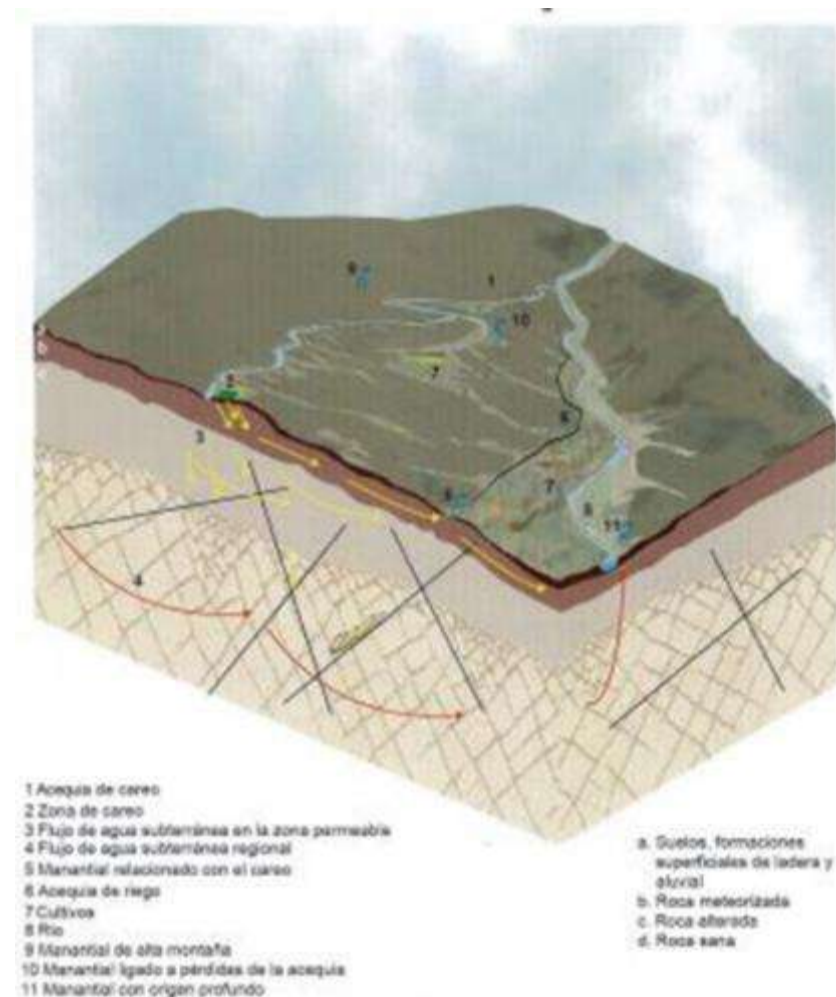
Las **formaciones de montaña**, generalmente **derrubios** y **coladas de solifluxión periglacial**, juegan un papel notable junto a la presencia de **áreas de alteración en los esquistos y filitas** en el uso de los careos, pues permiten la infiltración de agua y el retardo en el tiempo en sus aportaciones a los cauces, además de mantener **la humedad** y **los pastizales** popularmente reconocidos sobre las laderas.



*Careos en la cabecera del Río Alhama de Lugros*



*Careos en la cabecera del Río Alhama de Lugros.*



*Esquema de funcionamiento hidrogeológico de las acequias de careo en Sierra Nevada*

Fuente IGME. Autor Martos Rosillo

La presencia de aguas subterráneas en las **formaciones de alta montaña y en la zona alterada** genera las condiciones necesarias para la existencia de un ecosistema singular (**pastizales higrófilos**) y comunidades propias de arroyos, fuentes, turberas y chorreras.



*Nacimiento de agua como drenaje de derrubios periglaciares*



*Nacimiento con aguas ferruginosas*

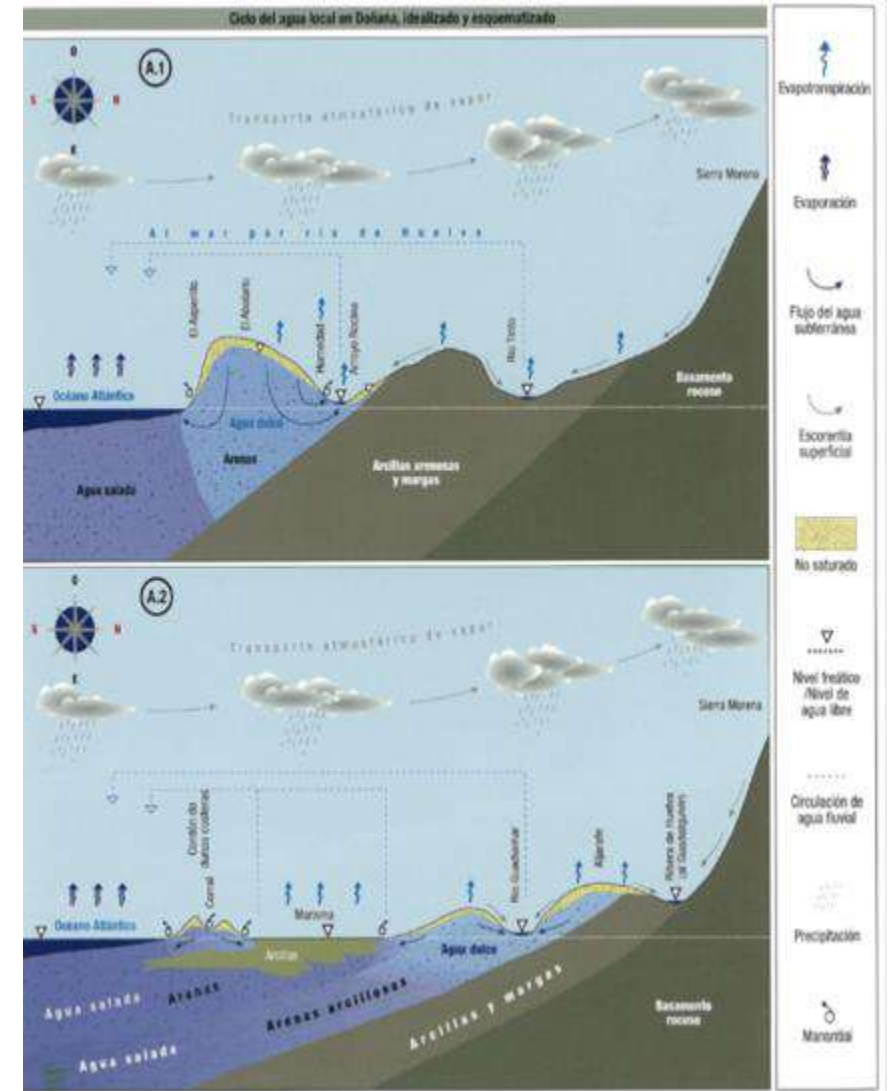
## A MODO DE CONCLUSIONES

Con objeto de mejorar el conocimiento del papel que tienen las aguas subterráneas en los caudales ambientales y en las zonas húmedas, hay que hacer todavía un esfuerzo muy importante, en **reconocer y conocer en profundidad** el funcionamiento hidrogeológico, muy complejo, de la relación río-acuífero, más aún cuando es preciso considerar numerosos sectores que aquí hemos referido como **zonas húmedas menores** de especial interés ambiental, hasta el presente no suficientemente estudiadas.



*(Murillo Díaz, JM, et al.)  
IGME-Dirección General del  
Agua (2014).*

## DOÑANA



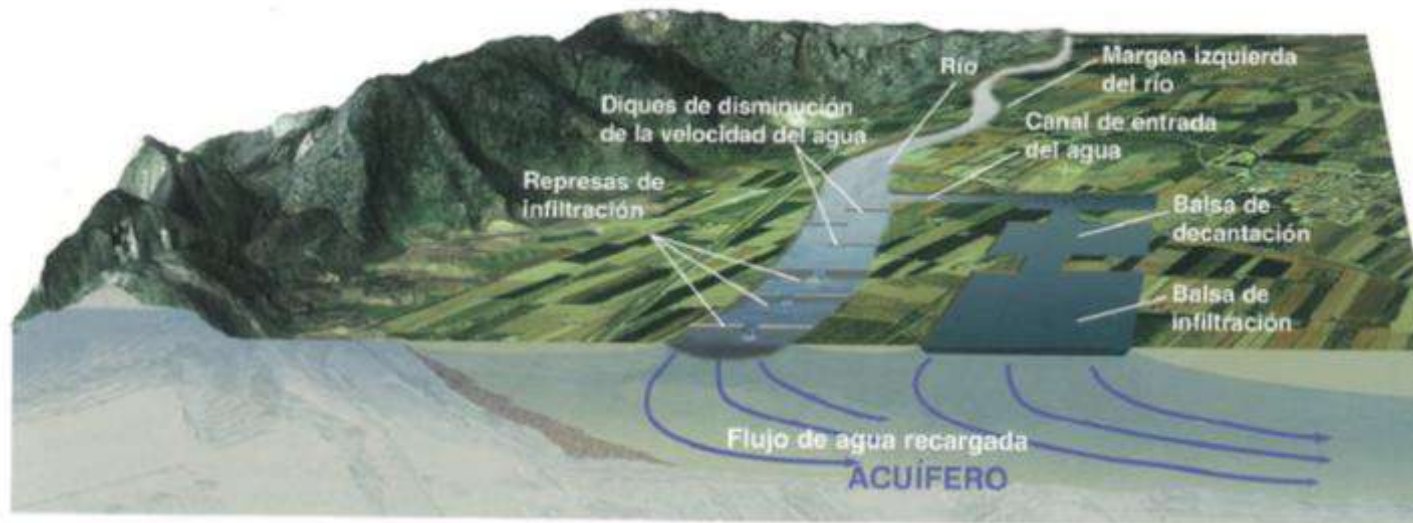
*Custodio, E; Manzano, M y Montes, C. (2009)*

## RECARGA ARTIFICIAL

- La recarga artificial es la **introducción forzada** (no natural) de agua en un acuífero para **aumentar la disponibilidad** y/o **mejorar la calidad del agua** subterránea.
- **GLOSARIO HIDROLÓGICO INTERNACIONAL, UNESCO:**

ES 0084 ALIMENTACIÓN ARTIFICIAL sin. RECARGA ARTIFICIAL

Aumento de la alimentación natural de agua subterránea a los acuíferos o embalses de agua subterránea suministrando agua a través de pozos, inundando o cambiando las condiciones naturales



Fuente:IGME

## LEGISLACIÓN RECARGA ARTIFICIAL

- **DIRECTIVA MARCO DEL AGUA. DIRECTIVA 2000/60/CE.**

### **Artículo 11. Programa de medidas. Apartado 3. f)**

Medidas de control, con inclusión de un requisito de autorización previa, de la **recarga artificial** o el aumento de masas de agua subterránea. El agua que se utilice podrá obtenerse de cualquier agua superficial o subterránea, siempre que el uso de la fuente no comprometa la consecución de los objetivos medioambientales establecidos para la fuente o la masa de agua recargada o aumentada.



## TIPOS DE MÉTODOS/OBJETIVOS EN LAS OPERACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL

- Recarga **mediante balsas de superficie, sondeos , pozos y pantallas en cauces.**
- Recarga a través de **acequias.**
- Recarga indirecta a través del **efecto llamada** de bombeos limítrofes sobre cauces.
- Recarga utilizando el **poder depurador** del terreno en la zona no saturada (filtros verdes e infiltración directa de ARU).
- Recarga para el **lavado de la zona no saturada** en accidentes contaminantes (hidrocarburos y otros).
- Lucha contra la **intrusión marina** en bordes costeros , mejora de la calidad , cumplimiento de objetivos medioambientales.





*Cañón del Guadalentín*

Fuente:IGME-Junta de Andalucía.El Agua en el Parque Natural de Quesada-Castril.Gonzalez Ramon

- La recarga artificial **posibilita la restitución de niveles, caudales y mejora de la calidad** a la vez que permite la restitución al buen estado cuantitativo y cualitativo de las masas de agua y **un incremento en la regulación. USO NO CONSUNTIVO DEL AGUA.**
- Podría permitir **corregir las tendencias en los descensos de niveles y en el drenaje de los caudales** de determinados sectores de las masas de agua subterránea que presentan problemas en el presente. IGME – DGA (MIMAM, 2010).
- El almacenamiento **evita pérdidas por evaporación.**
- Aumenta la **garantía de abastecimientos y regadíos.**
- **Retarda** ,si se controla adecuadamente, las salidas desde la entrada del agua-salidas a cauces por lo que mejora la regulación.
- Ayuda a **sostener los caudales ecológicos** en estiaje.
- Ayuda en corrección de procesos **de subsidencia**

Volumen de agua almacenado en España:

53.198 hm<sup>3</sup> en 2.745 km<sup>2</sup> (enero de 2005)  
19,37 hm<sup>3</sup> / km<sup>2</sup>

15 % del territorio es apropiado para MAR (67.000 km<sup>2</sup>)

¿Cuánto agua podría almacenarse en las zonas MAS?

- Capacidad de almacenamiento medio estimado: 134.000 hm<sup>3</sup> (2 hm<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)

**CASI EL TRIPLE DEL VOLUMEN ALMACENADO EN EMBALSES  
CON POSIBILIDAD DE OCUPAR EL TERRENO SUPERFICIAL**



## EL EJEMPLO DE CALIFORNIA

**ALVAR ESCRIVA\_BOM.Instituto de Medio Ambiente y Sostenibilidad UCLA USA(27/2/24)**

- La recarga de acuíferos es **la gran esperanza para el incremento del recurso disponible en California.**
- Estrategia **Flood-MAR(recarga gestionada).** En invierno de 2023 se recargaron 4700hm<sup>3</sup>.
- La recarga conlleva **beneficios ambientales ,disminución de riesgos de inundación, etc. BANCOS DE AGUA. EMBALSES SUBTERRANEOS GESTIONADO LOCALMENTE.**
- La **capacidad de reservas de estos bancos se esta incrementando significativamente.**
- Los bancos funcionan como depósitos o embalses.
- Los **usuarios guardan el agua y tienen derecho a sacarla(con un coste).**
- Concepto **Net metering. Los participantes que infiltran agua obtiene un crédito.** Si generas mas de lo que consumes envías agua excedente de ese banco a la red.



## Multitud de experiencias y realidades significativas:

-siglo XV Careos de sierra Nevada)

-Vega de Granada sondeos 1967(FAO)

-Aluvial del Besos y Delta del Llobregat desde la década de los 60 del pasado siglo.(1969)

--Oja en la rioja(40-50l/s de 3 a 5 meses 2 años)

-Llano de Palma

-Sondeos del Canal de Isabel II

-Aluvial del Guadalquivir en Sevilla(250-500l/s)

-Valle del Esgueva (Valladolid) 4 años 2-20l/s

-Plana de Gandía –Denia 30l/s por pozo desde 1985(5-6 meses al año)

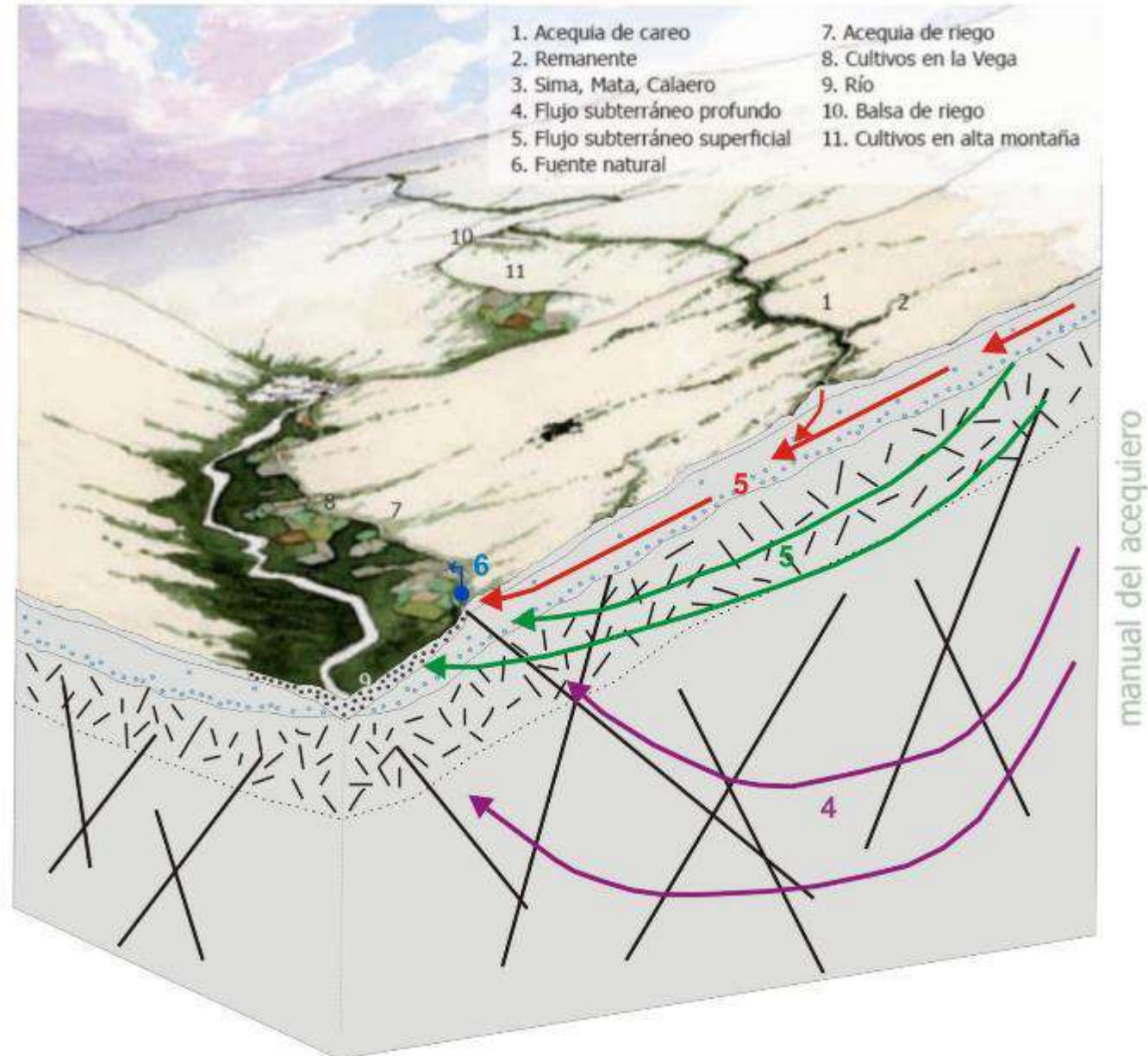
-cubeta de Santiuste(desde 2002)

-Carracillo(desde 2003)

-Recientemente ensayo para apoyo del abastecimiento a Sevilla

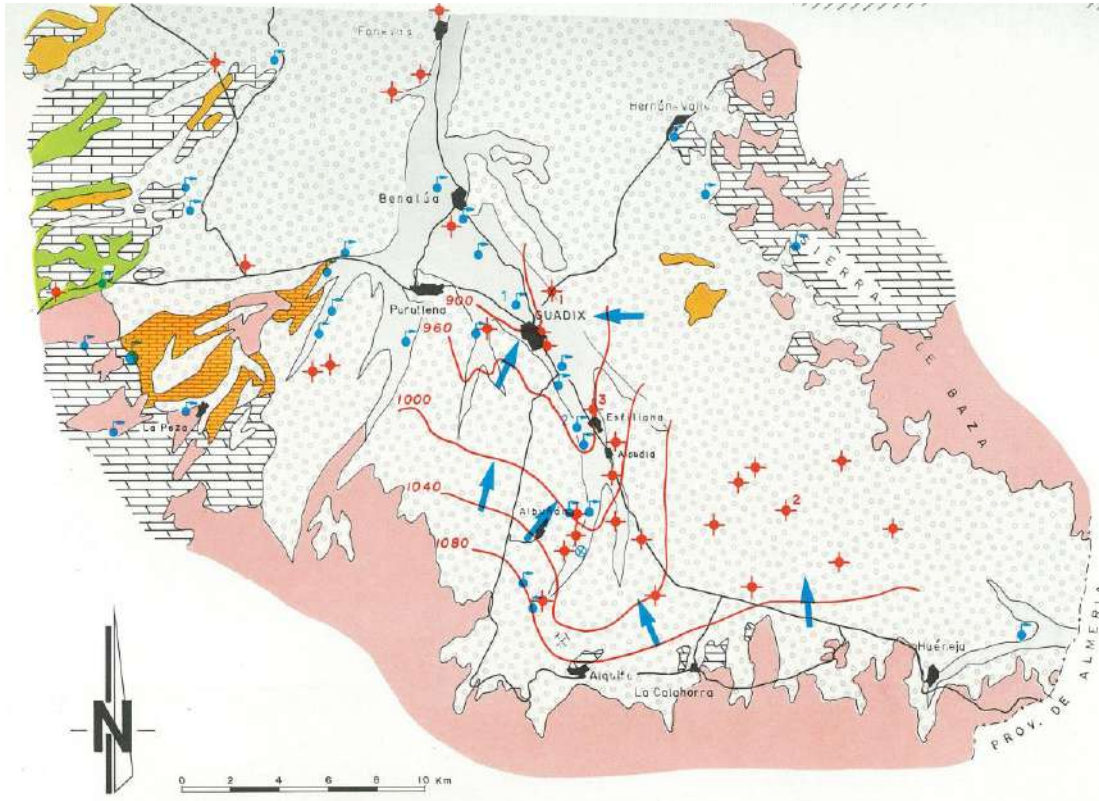
## Acequia de careo

### Esquema de funcionamiento



Fuente:IGME.Autor Martos Rosillo

Posibilidad de recarga con escorrentía superficial en el sector oriental del acuífero a partir de escorrentía superficial de S<sup>a</sup> Nevada.

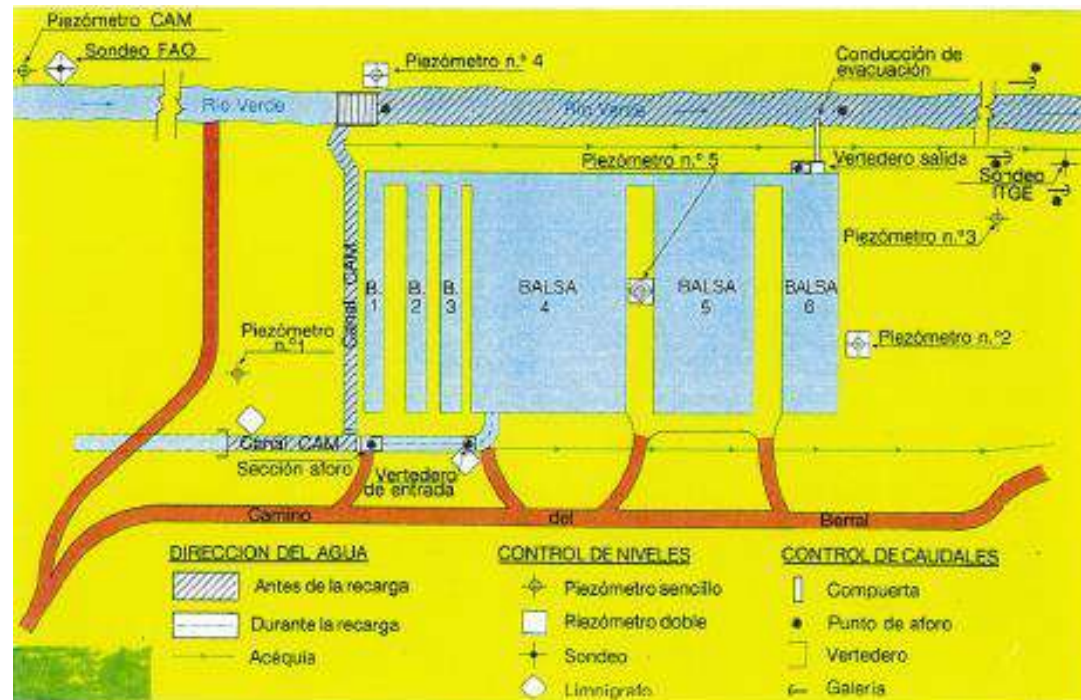


Fuente:IGME-DIPGRA. Atlas hidrogeológico provincia de Granada

*Balsas de recarga*

## BALSAS DE RECARGA

En una primera fase se procedió al acondicionamiento de tres balsas, logrando **una superficie útil del fondo de las balsas de 5.805 m<sup>2</sup> y una capacidad de 18.400 m<sup>3</sup>**. En una segunda fase, previa a la realización de la última experiencia de recarga (1988-1989), se acondicionaron tres nuevas balsas, alcanzándose una superficie de infiltración de **11.550 m<sup>2</sup>** y un **volumen máximo de agua almacenado de 35.100 m<sup>3</sup>**.



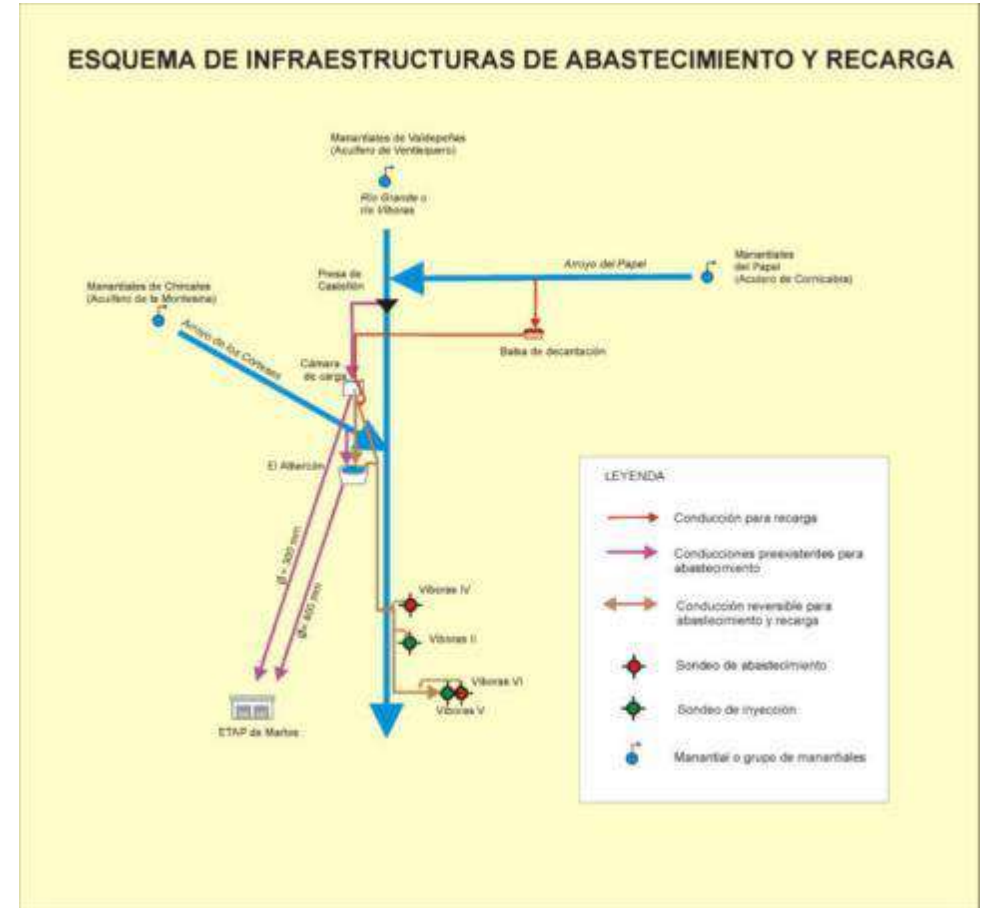
650 Ha de extensión y elevación media de 1,7 m

*Esquema hidráulico de recarga*

- La **calidad del agua embalsada es deficiente** para su uso en abastecimiento urbano, y es necesario **ósmosis inversa**, con un elevado consumo energético.



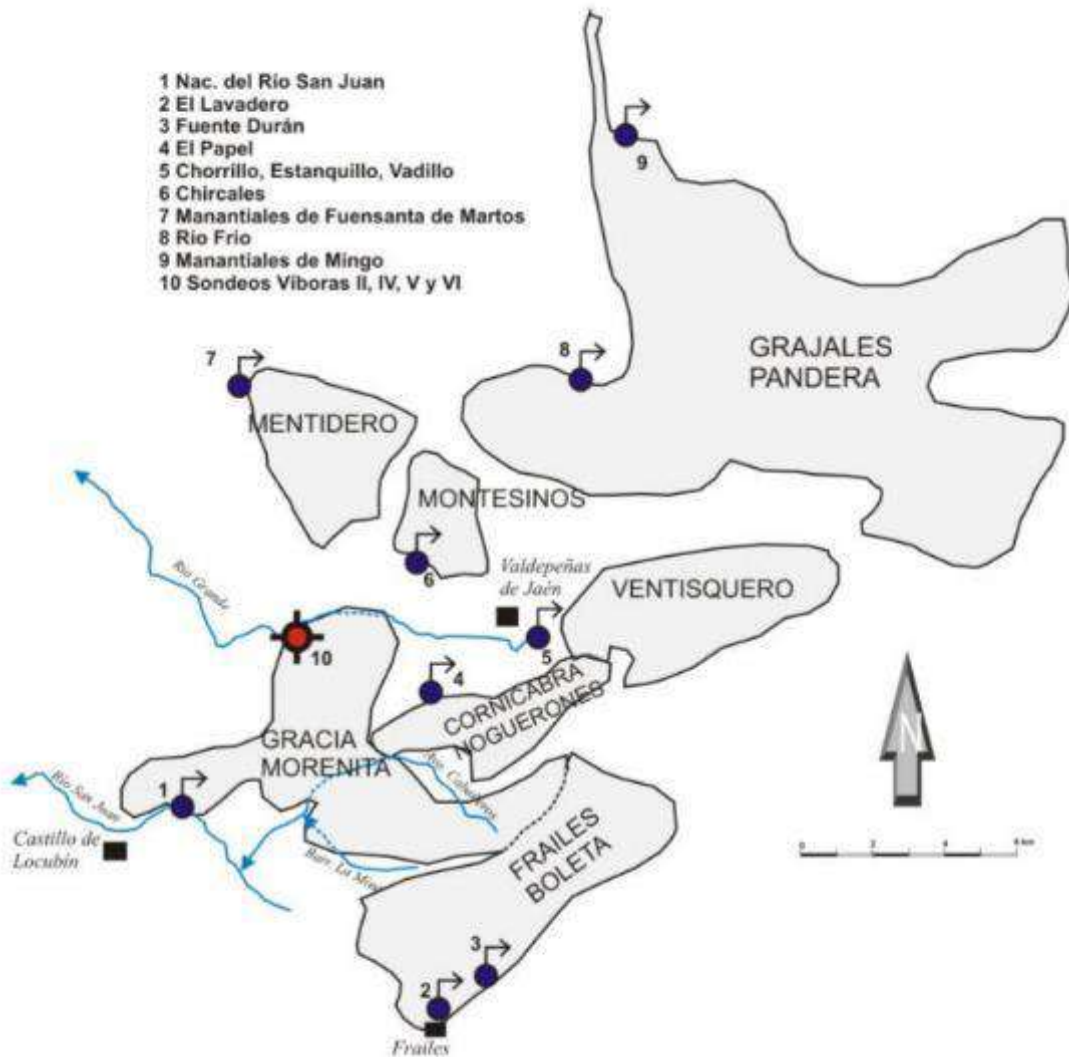
- El suministro conjunto a la **Comarca de Martos** entre 1995 y 2000 (**unos 100000 hab.**) se realizaba desde derivaciones en el cauce del río Víboras, complementado con algunas captaciones menores.



*Esquema de infraestructuras existente en la Cabecera del río víboras para el abastecimiento a la Comarca de Martos: 6 sondeos (2 de explotación y 2 para inyección de caudales).*

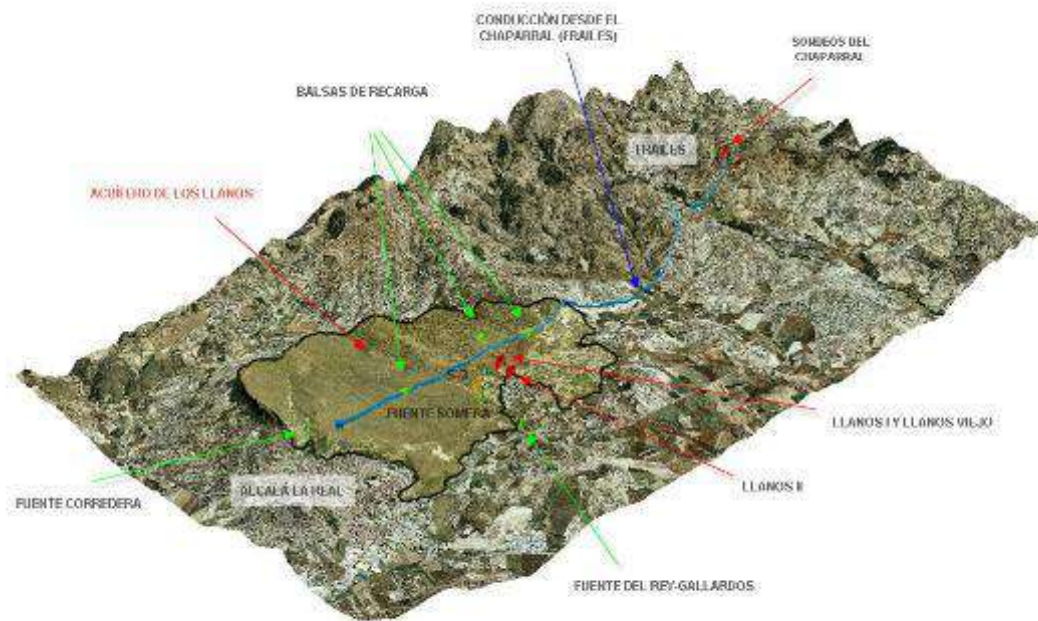
Fuente :IGME-Junta de Andalucía.Autor Gonzalez Ramon

- Calizas y dolomías jurásicas de 19 km<sup>2</sup> y espesor entre 150 y 300 metros.
- Sustrato impermeable compuesto por lutitas triásicas.
- Presenta sectores confinados bajo las margocalizas cretácicas que lo recubren o bajo Trías.
- Recursos son del orden de 10 hm<sup>3</sup>/año.
- Se estimó un **déficit** en el abastecimiento 80L/s.
- Turbidez y residuos ARU.
- El embalse del Víboras regula las aguas de todos estos acuíferos aguas abajo. Vaso en materiales triásicos, en los que el yeso es abundante.



Fuente:IGME

El acuífero de Los Llanos, está constituido por un afloramiento de **calcarenitas bioclásticas del Mioceno**, que se disponen subhorizontales con forma casi tabular, buzando levemente hacia el sureste, sobre las margas miocenas que conforman su substrato.



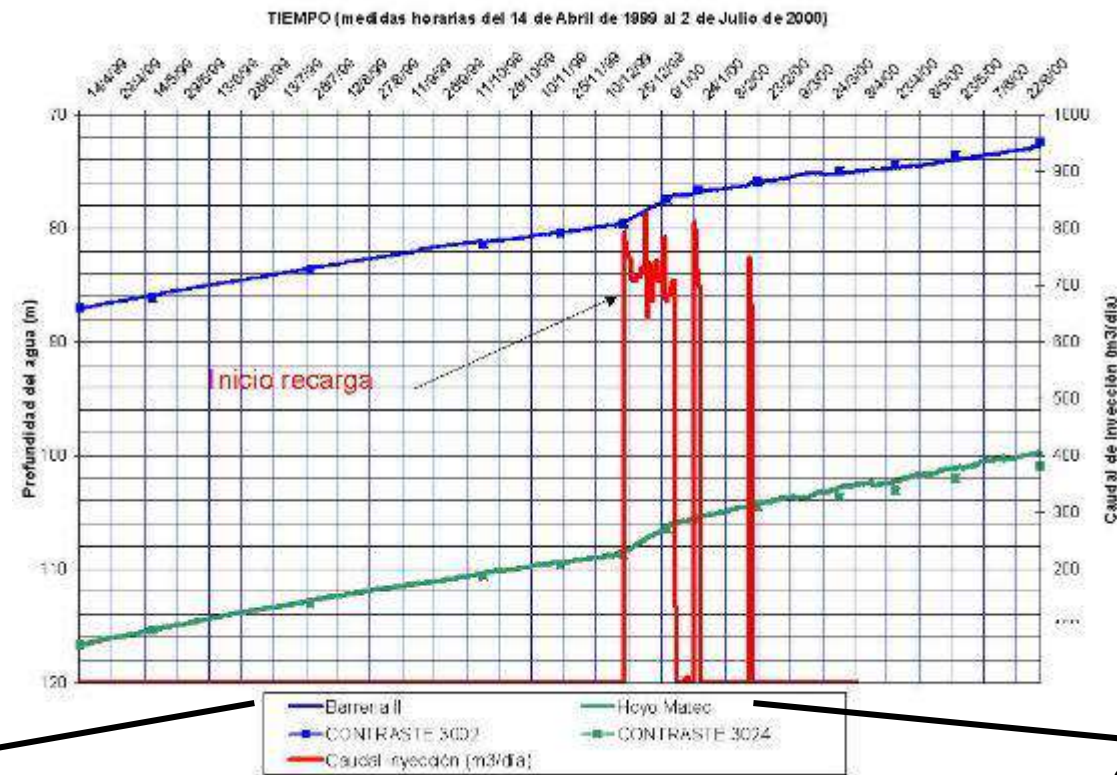
*Esquema general del acuífero de Los Llanos e infraestructuras de recarga*

- Reservas del acuífero 3,2-3,9 hm<sup>3</sup>.
- Facies bicarbonatada cálcica.
- Balance recursos renovables medios 1,3 hm<sup>3</sup>/año.
- **Población de derecho del municipio de Alcalá la Real** a la fecha de la experiencia de recarga **(2000)** era de **21.599 habitantes**.
- Se dispone de los **sondeos del Chaparral en Frailes**, con caudal limitado, según concesión de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, a un máximo de 20 l/s en la época estival (de 1 de mayo a 31 de agosto) y de 51,3 l/s el resto del año (1 de septiembre a 30 de abril).
- **Facies sulfatada cálcico-magnésica** y su contenido en sulfatos varía **entre 205 y 335 mg/l**.





- En diciembre-enero de 1999 se realizó un nuevo ensayo de inyección. En esta ocasión, la recarga efectiva duró 29 días, con un volumen inyectado de 20.900 m<sup>3</sup>.



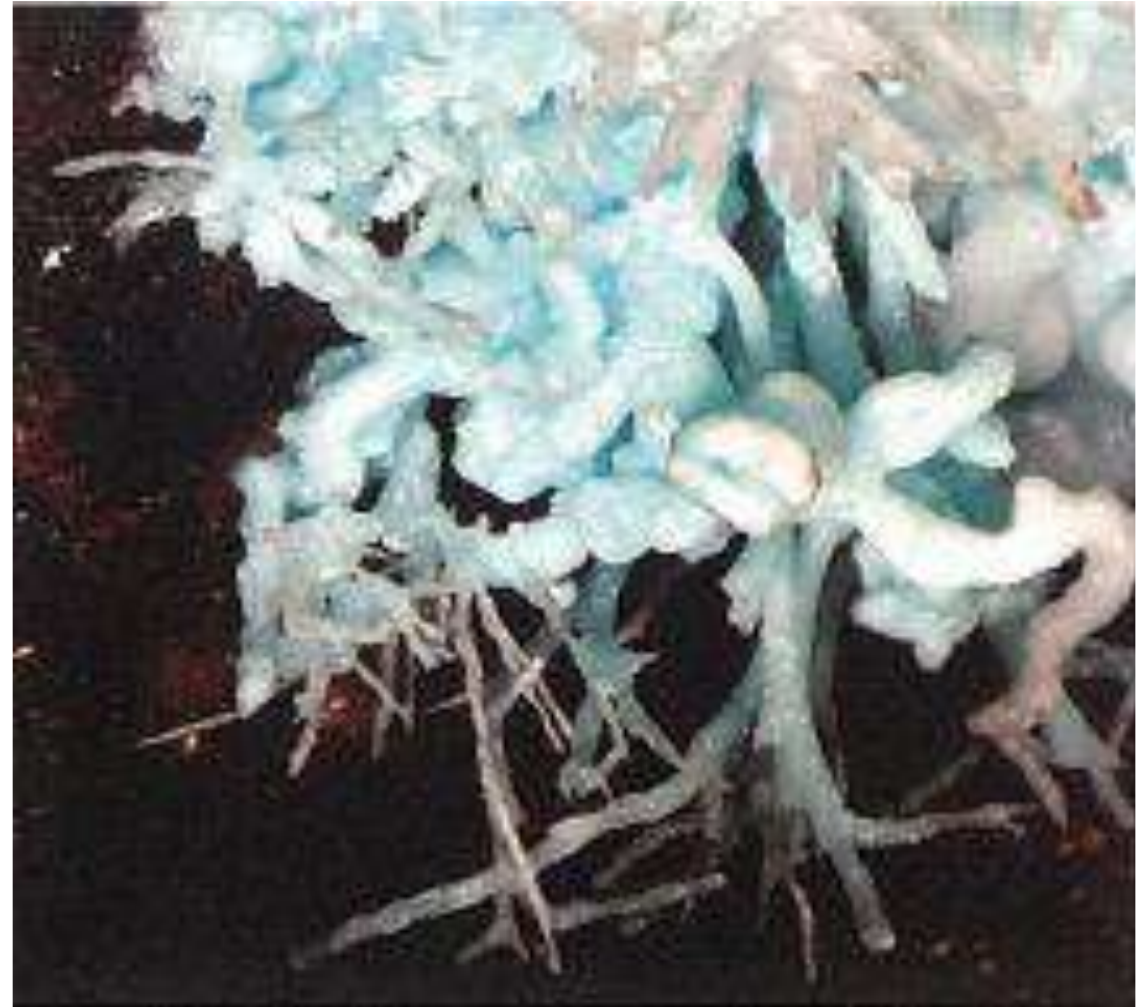
*Situado a 4,8m de distancia (Data Logger)*

*Situado a 220m de distancia (Data Logger)*

Fuente: IGME. Gonzalez Ramon, Gollonet, Martos Rosillo y Rubio Campos, 2009

## TRATAMIENTO MEDIANTE APLICACIÓN DIRECTA EN EL TERRENO

En este tipo de tratamiento **el suelo** cumple dos funciones: por un lado **es** el **medio receptor** de las aguas residuales evitando de esta manera el vertido a otros medios, por otro lado, es el **agente activo** pues tanto en su superficie como en su interior se produce el **proceso de depuración eliminando nutrientes**, materia orgánica, microorganismos y otros componentes como metales pesados o microcontaminantes orgánicos.



SISTEMA DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTOS (%)					PRODUCCIÓN DE FANGOS	PRODUCCIÓN DE FANGOS
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS	P	N		
Filtro Verde	90-95	90-95	90-99	95-90	90-95	No	No
Infiltración Rápida	90-95	70-80	90-95	25-40	30-95	Reducida	> 6 meses
Escorrentía superficial	90-95	60-70	70-80	20-30	45-50	No	No
Lechos de turba	80-85	80-85	90-95	10-30	10-50	0,5 – 1	> 1 año
Lagunajes	80-95	60-80	70-90	40-60	55-85		5 – 10 años

DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno, DQO: Demanda química de oxígeno, SS: Sólidos en suspensión, P: Fósforo en cualquiera de sus formas, N: Nitrógeno en cualquiera de sus formas

Fuente:IGME.Moreno et al.,2007

Lavado de la zona no saturada con recarga artificial tras un vertido de **gasolina** en la Vega de Granada y posterior uso de eyectores para eliminar resto .

La carga hidráulica de agua residual a aplicar en cada ciclo (CHciclo) se obtiene de **repartir la carga hidráulica anual entre el número de ciclos anuales**. La superficie final necesaria será la mayor de la calculada para los periodos de verano e invierno, según la siguiente formula:

$$S = (QARm \times N \text{ días} / \text{ciclo}) / \text{CHCICLO}$$

Esta superficie se distribuye en un número de balsas para cada ciclo de carga considerado.

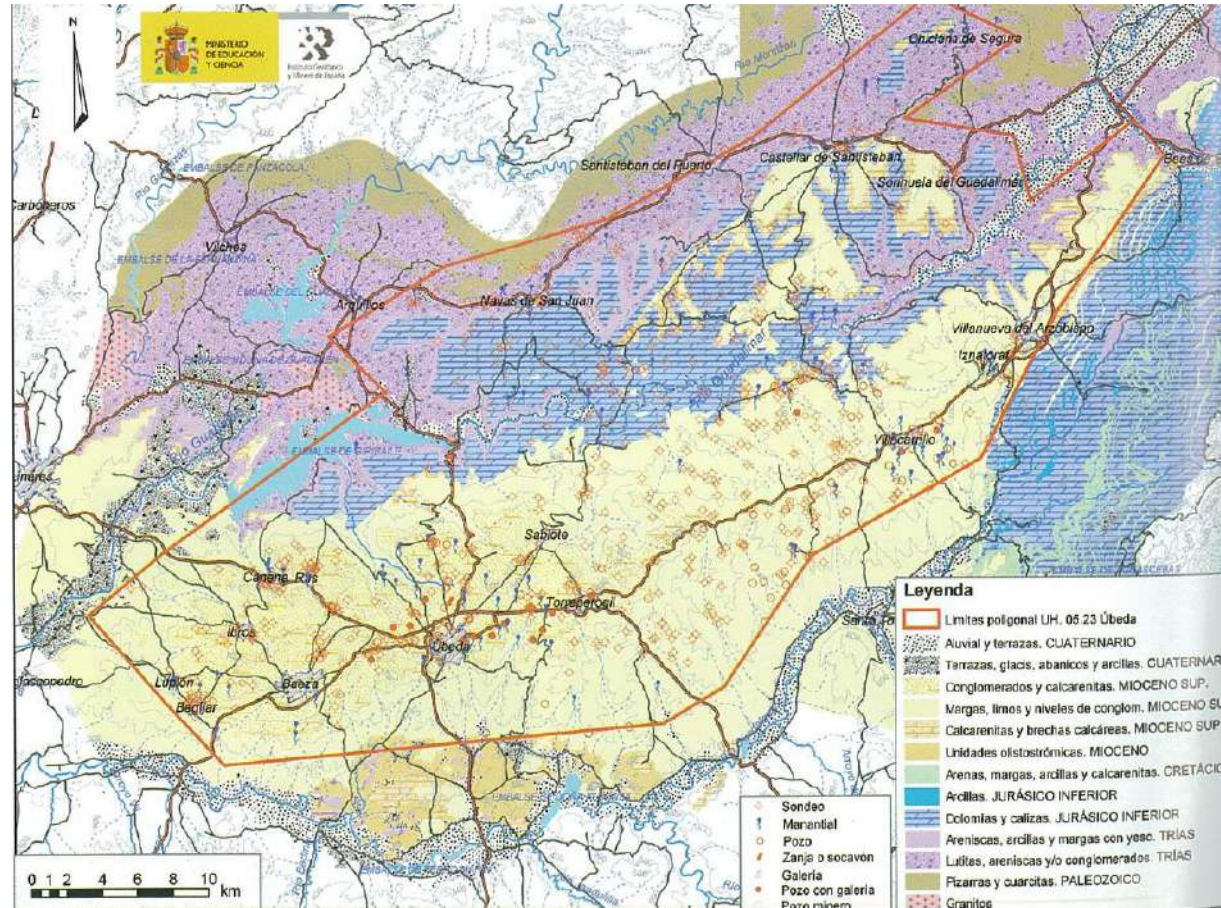


*Foto 7.4 Vista general de una de las balsas de infiltración*

# ACUIFEROS SOBREENPLOTTADOS

## CASO LOMA DE ÚBEDA

Excedentes del río Guadalimar o del Guadalquivir o posible canal de abastecimiento a La Loma.



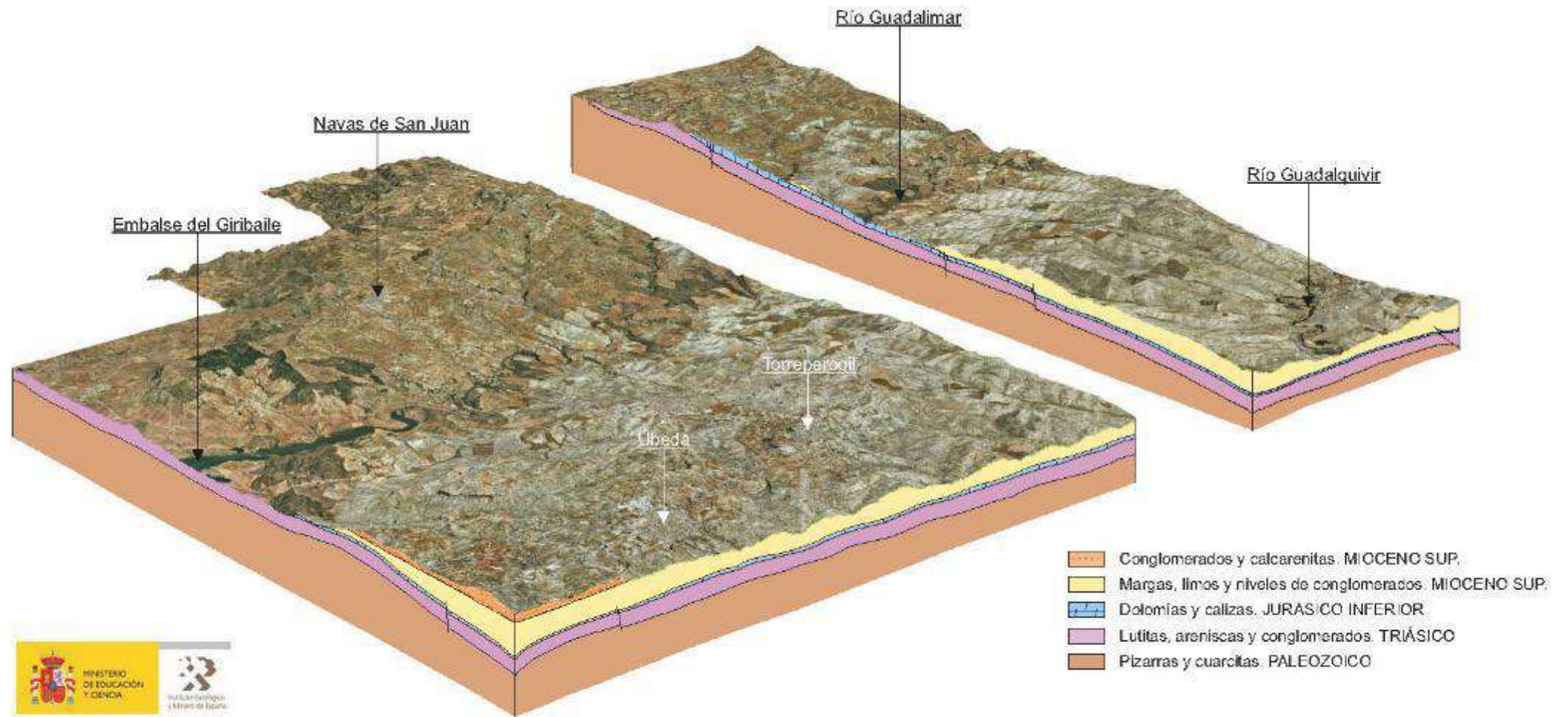
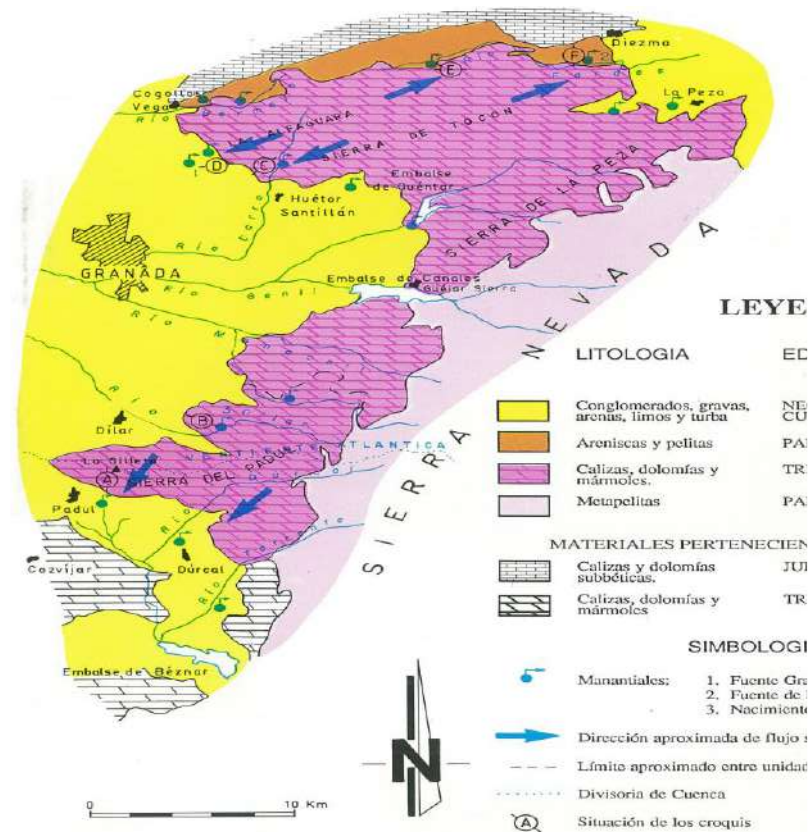


Figura 9. Bloque diagrama simplificado de los acuíferos de la Loma de Úbeda. Gonzalez Ramon

Tipo D.- **Mejora de la situación de los abastecimientos urbanos.** Incremento de recursos disponibles para abastecimiento.

## CASO DE VEGA DE GRANADA



Fuente:IGME\_DIPUTACION DE GRANADA.Atlas Hidrogeologico

# MEDIDAS QUE PODRÍAN ADOPTARSE DE CARA AL FUTURO dentro del Plan de Acción y planes propios de las Demarcaciones Hidrográficas

## LINEAS DE ACCION

1. MEJORA DEL CONOCIMIENTO.....	145 M€
2. IMPULSO AL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO.....	115 M€
3. PROTECCION FRENTE AL DETERIORO.....	90 M€
4. DIGITALIZACION Y CONTROL DE USOS.....	124 M€
5. GOBERNANZA Y MARCO NORMATIVO.....	26 M€
<b>TOTAL .....</b>	<b>500 M€</b>

## Plan de Acción 2023

- El Plan Hidrológico Nacional establece la elaboración de un Plan de Acción en materia de Aguas Subterráneas en las Cuencas Intercomunitarias. Este Plan debe permitir el aprovechamiento sostenible incluyendo **programas de mejora del conocimiento** hidrogeológico y la **protección** y **ordenación** de acuíferos y aguas subterráneas
- Mejora del conocimiento, **gestión y gobernanza** con el objeto de alcanzar el buen estado de las masas y los objetivos de las zonas protegidas y ecosistemas asociados





Fuente:IGME-Junta de Andalucía.Guia del Agua en el Parque de la Subbetica de Cordoba

- Profundizar en el conocimiento de las relaciones río-acuífero como **factor clave en el mantenimiento de los caudales ecológicos de cauces de cabecera** y en áreas de especial protección medioambiental
- **Analizar las presiones** existentes en los tramos sensibles de cabecera de Demarcación (**derivaciones de acequias en sectores inadecuados, explotación excesiva, uso excesivo de fitosanitarios, nitratos y/o presencia de ARU de pequeños núcleos** urbanos sin suficiente grado de depuración)

Es preciso realizar una ampliación o mejora de algunas redes, dado que la **red de control** se tendrá que adaptar para cubrir las zonas donde se detecten **carencias de información**, y el control operativo tendrá que **controlar** la **efectividad del programa de medidas**.

### **Curvas de embalse subterráneo y reservas útiles**

- El objetivo principal del **seguimiento cuantitativo-cualitativo** del estado de las masas de agua subterránea a partir de las redes de control, de **piezometría, hidrometría y calidad** es el estudio de la **evolución espacio-temporal y el análisis de tendencias, variaciones del volumen almacenado, variaciones en contenido hidroquímico (nitratos y otros), y de caudales drenados** en las diferentes masas de agua.



- **Equipar**, en la medida de lo posible, las redes de control piezométrico e hidrométrico con **equipos autónomos de medida**.
- La necesidad de **acondicionar manantiales y secciones de tramos ganadores de cauce se considera de especial** relevancia, pues posibilita la instalación de equipos de medición en continuo que permitirán controlar las variaciones de caudal, y calidad de las principales salidas de agua subterránea de cada Demarcación Hidrográfica.



**Refuerzo** de las medidas de estimación de la explotación con **contadores de energía (relación m<sup>3</sup>/kwh consumido), complementario** a otras estimaciones como la teledetección y la evaluación a partir de contadores convencionales.



Se considera **imprescindible identificar y profundizar en el conocimiento de masas de agua subterránea mas aun en aquellas que deben considerarse estratégicas como garantía de los abastecimientos urbanos** .(Muchas masas datos de los ochenta o noventa)

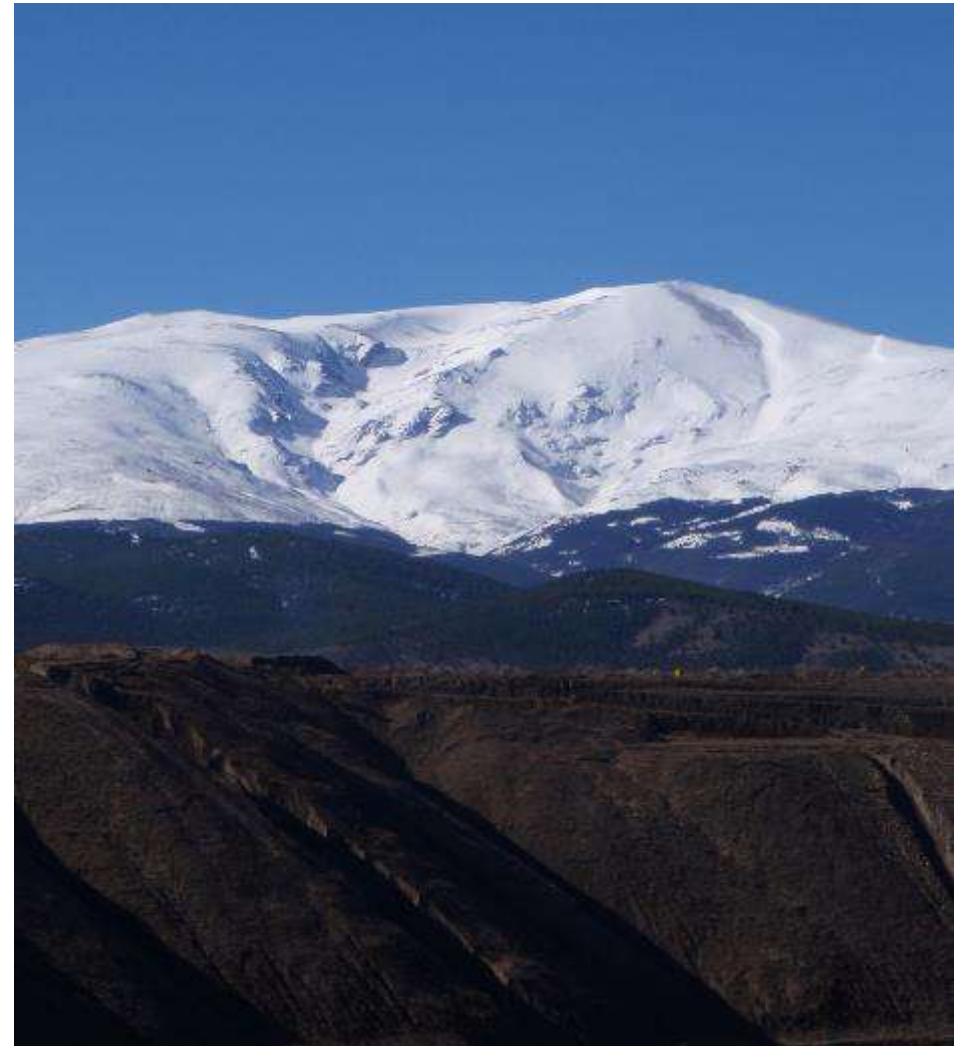
De especial consideración es la necesidad de mejorar el conocimiento de **la geometría** de los acuíferos, la **interconexión** entre ellos, el reconocimiento de niveles acuíferos en la **vertical** de cada masa de agua, la mejora de la información **hidroquímica**, la aplicación de técnicas **isotópicas, balances actuales** y **usos** del agua.

- Una guía orientativa de esta mejora del conocimiento viene recogida en el "Programa Estatal de Actualización del Inventario Hidrogeológico **PAIH(1996)**. **Dirección General del Agua e Instituto Geológico y Minero de España, que se debe actualizar.**



Con objeto de analizar un seguimiento de los acuíferos frente al **cambio climático** se propone:

- Establecer **una red a modo de laboratorio experimental** que controle manantiales no antropizados en diferentes contextos geológico/hidrogeológicos (calizas, areniscas, cuarcitas, etc.), así como, la relación lluvia-respuesta en caudal e hidroquímica sobre diferentes áreas climáticas de la España Peninsular e Insular.
- Una red experimental que permita seguir las **variaciones de la relación rio-acuífero** en tramos ganadores representativos frente al cambio climático.
- **Sistema de alerta temprana** en base a las redes experimentales (análisis de tendencias, variación de volúmenes almacenados, cambios en calidad).





## DECISIONES QUE PUEDEN ADOPTARSE

- **ACORDE CON EL PLAN DE ACCION**
- **Se considera adecuada la creación de Comunidades de Usuarios en aquellas masas de agua subterránea con un estado peor que bueno, desde el punto de vista cuantitativo o cualitativo, con objeto de llegar a un autocontrol de los productos utilizados (fertilización orgánica y uso de fitosanitarios) o en las que se considere.**

- La **utilización de las aportaciones hídricas para recarga artificial**, IGME-DGA (MIMAM, 2010) en su concepto básico **aconseja, en un país como España**, donde la **irregularidad climática** es grande, con **alternancias de periodos secos y húmedos**, una adaptación de las disponibilidades del agua a la demanda, a través de procesos de regulación como el uso de la recarga artificial.

En multitud de **países más desarrollados** la utilización de la recarga artificial es **pieza básica** en la **gestión y corrección de situaciones** indeseable en los acuíferos. A destacar la gran implantación que presenta en **Estados Unidos, Alemania e Israel**, con una gran experiencia desde la **década de los años sesenta**.

