

Jornada sobre

“SOSTENIBILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y DIRECTIVA MARCO DEL AGUA”

El funcionamiento de los acuíferos y su dimensión hidrogeológica

Pedro Martínez Santos

Universidad Complutense de Madrid

Madrid, 15 de noviembre de 2019



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



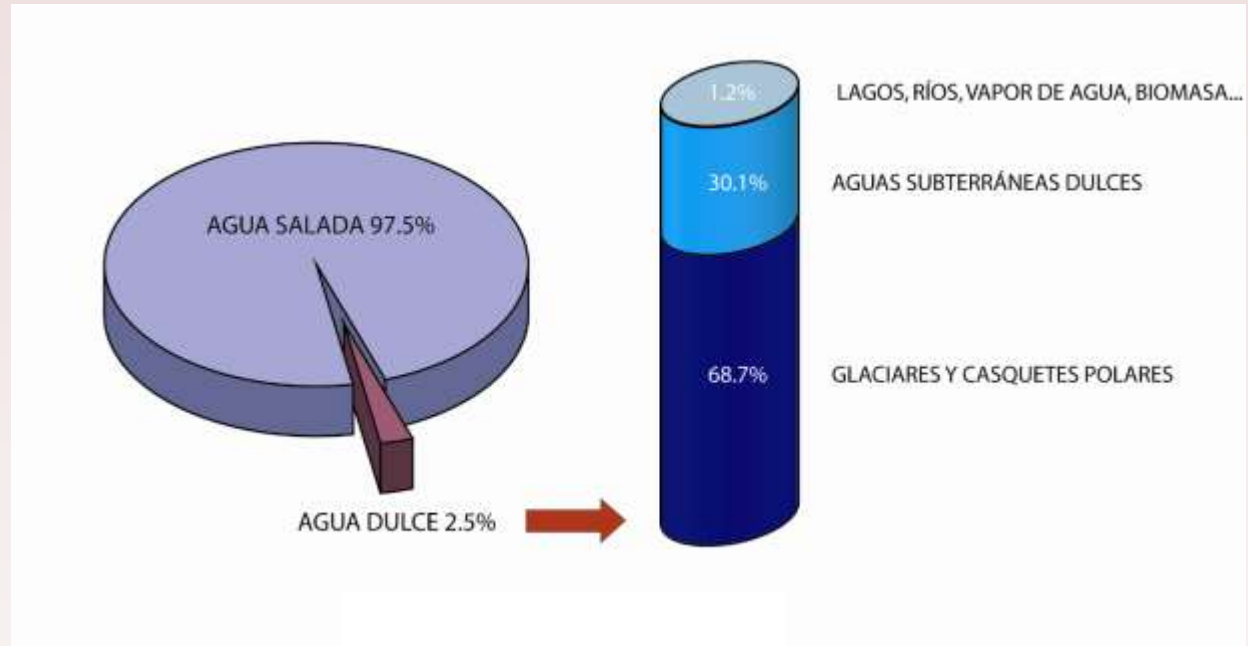
UNESCO Chair "Appropriate
Technologies for Human
Development" Universidad
Complutense de Madrid, Spain



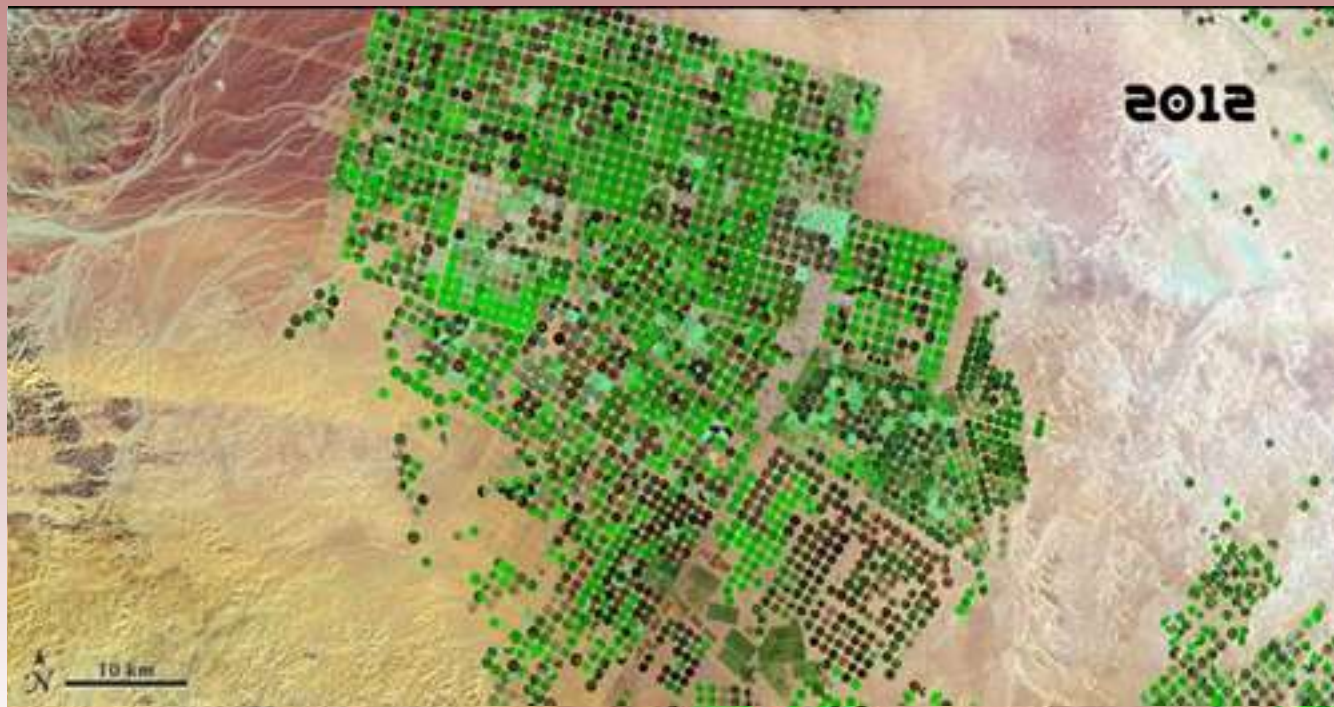
CONTENIDOS

1. **Importancia de los acuíferos**
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

El agua subterránea en la naturaleza



Las aguas subterráneas constituyen la principal fuente de agua dulce aprovechable del planeta



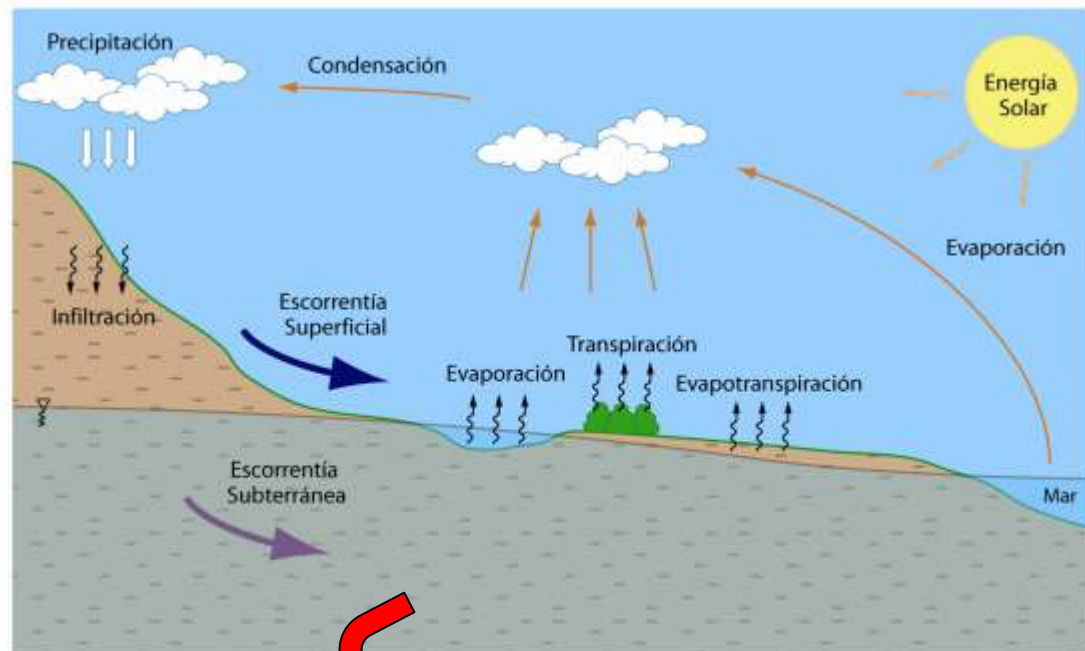
Wadi-Al-Sirhan (Arabia Saudí)

“El agua subterránea permite
reverdecer desiertos”

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

El agua subterránea en la naturaleza



1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Tipos de rocas desde el punto de vista hidrogeológico

- Acuíferos
- Acuitardos
- Acuicludos
- Acuífugos

Ejemplos

Criterios hidrogeológicos y regionales

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Analogías de funcionamiento



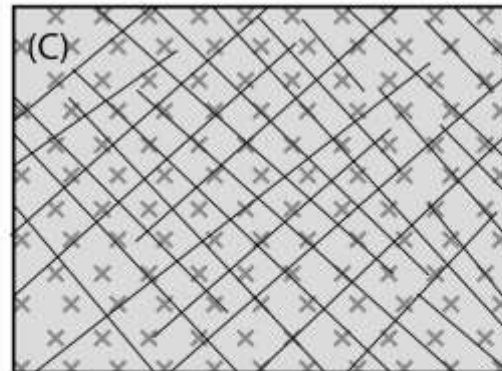
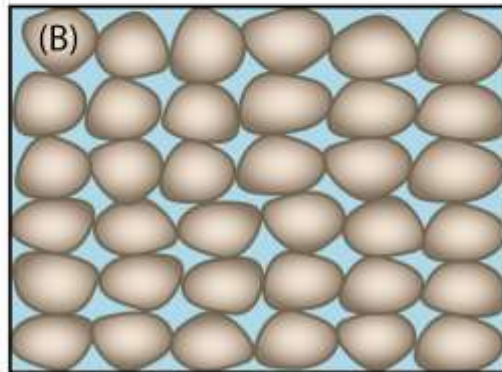
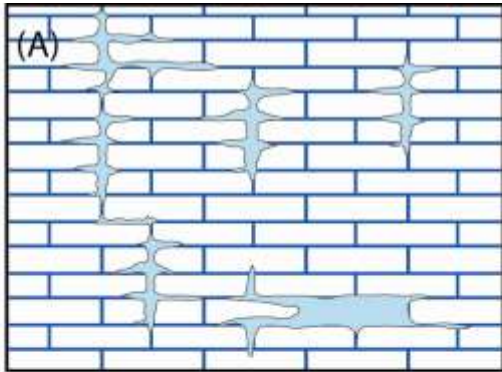
1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

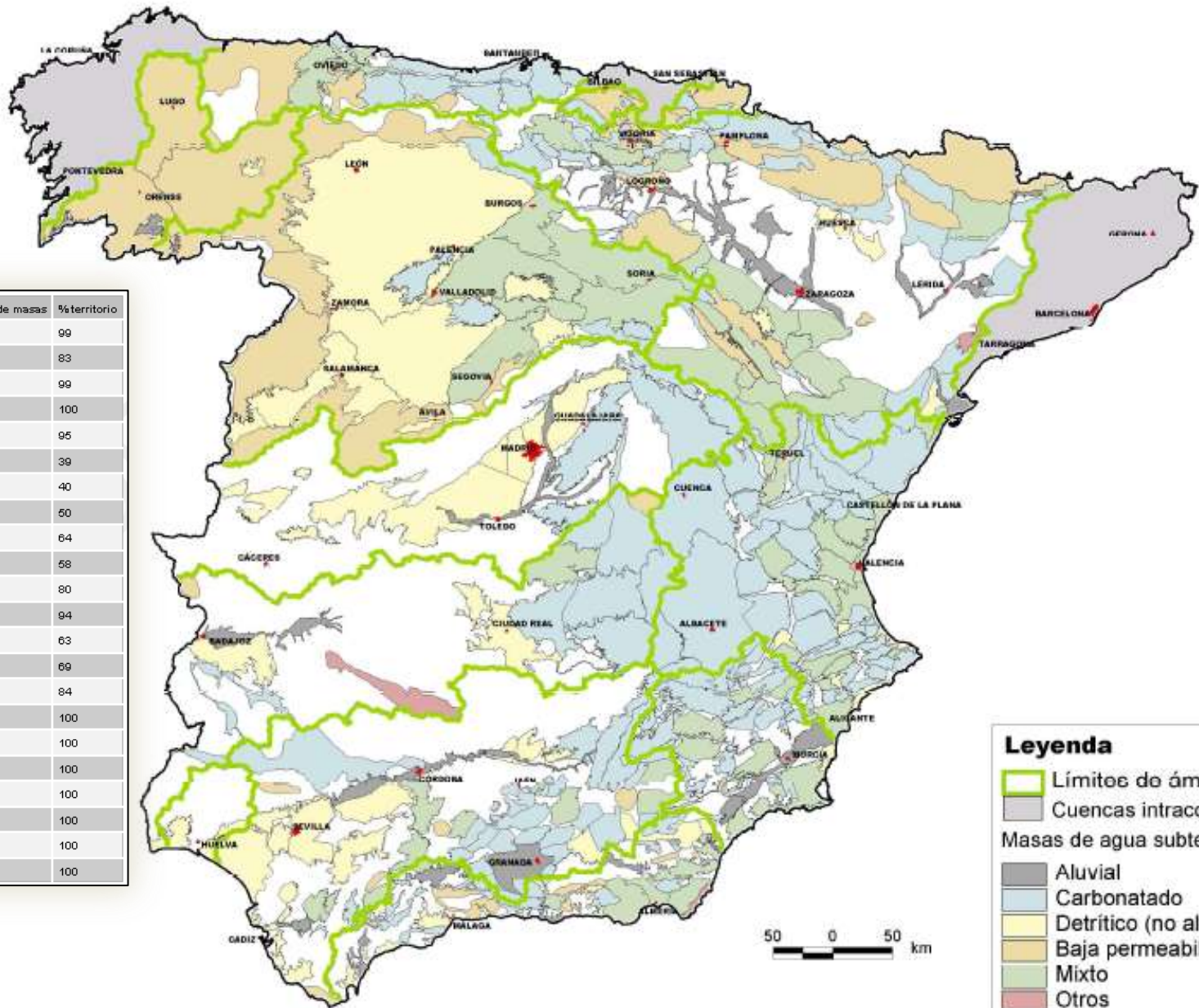
Un acuífero se comporta como un gran vaso de roca con uno o varios mecanismos de entrada (recarga) y salida (descarga)

El agua está casi siempre en movimiento, desde las zonas de entrada a las zonas de salida

El movimiento del agua viene condicionado por las características del medio (porosidad y permeabilidad)

- Granular
- Fisurado
- Kárstico
- Mixto





Demarcación	Nº de masas	%territorio
Cuencas Internas del País Vasco	14	99
Norte*	36	83
Galicia Costa	18	99
Miño-Limia	6	100
Duero	31	95
Tajo	24	39
Guadiana	20	40
Cuenca atlántica andaluza	17	50
Guadalquivir	58	64
Cuenca mediterránea andaluza	57	58
Segura	63	80
Júcar	79	94
Ebro	105	63
Cuencas internas de Cataluña	80	69
Baleares	90	84
La Palma	5	100
El Hierro	3	100
La Gomera	5	100
Tenerife	4	100
Gran Canaria	10	100
Fuerteventura	4	100
Lanzarote	1	100

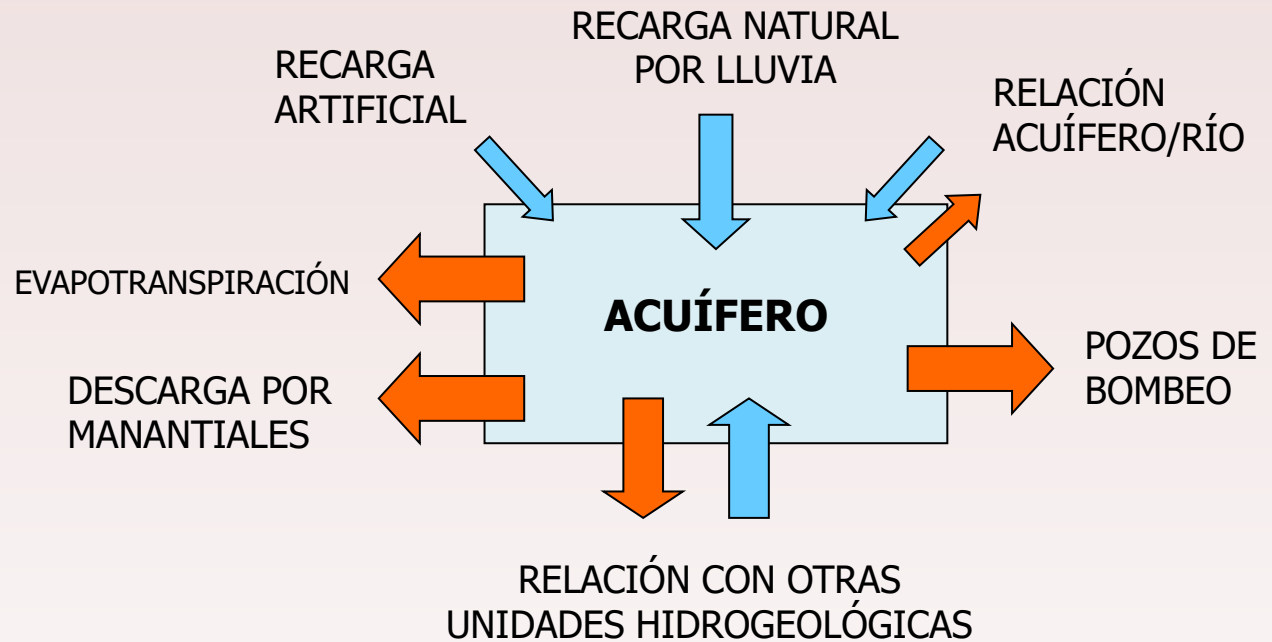
Legenda

- Límites do ámbito
- Cuencas intracomunitarias
- Masas de agua subterránea
 - Aluvial
 - Carbonatado
 - Detrítico (no aluvial)
 - Baja permeabilidad
 - Mixto
 - Otros

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. **Funcionamiento de los acuíferos**
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Mecanismos de recarga y descarga



➡ DESCARGA (salidas)

➡ RECARGA (entradas)

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. **Funcionamiento de los acuíferos**
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

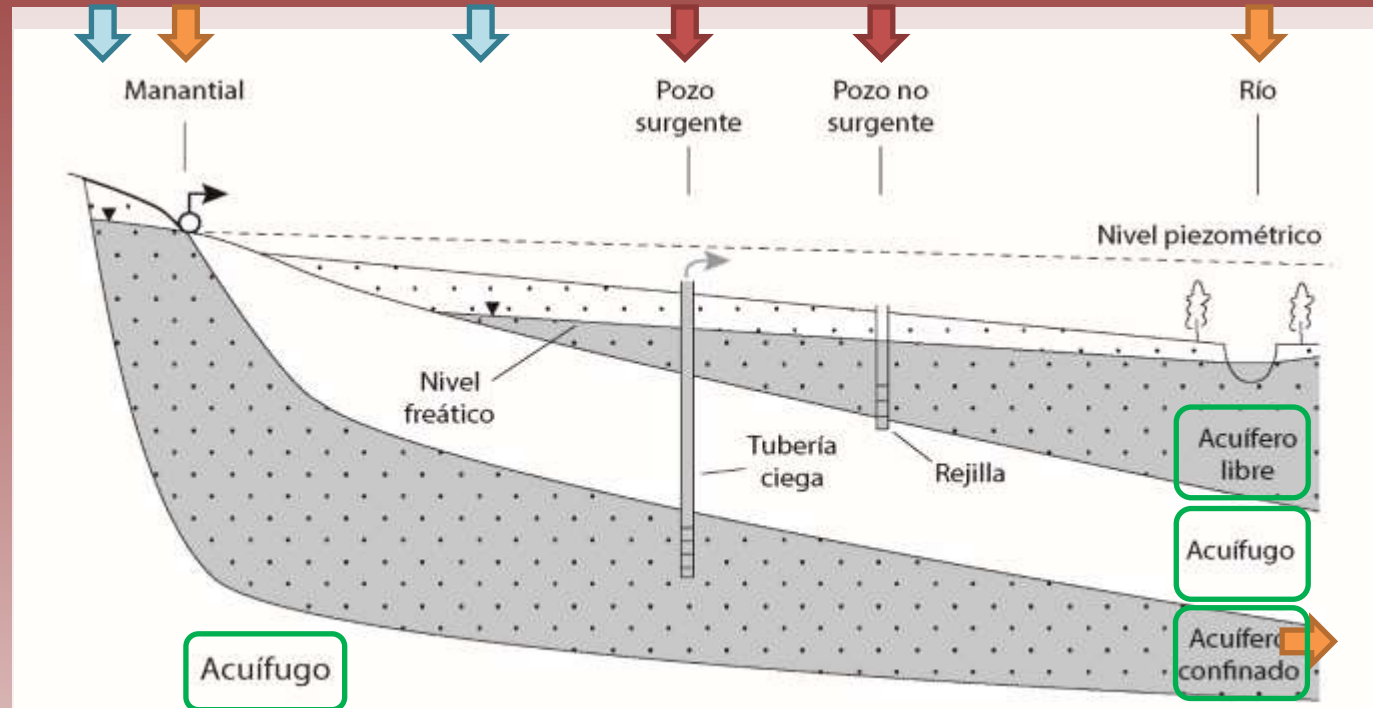
¿Cómo es el flujo subterráneo?

- En general, tortuoso, lento y difuso:
 - Los acuíferos de tamaño medio/grande tienen una **importante inercia y capacidad de regulación**
 - La lentitud del flujo facilita la atenuación natural de **determinados contaminantes**, incluyendo muchos patógenos (procesos físicos, químicos y biológicos)
 - Las **perturbaciones no se propagan fácilmente en el espacio y en el tiempo** (i.e. un pozo tiene efectos muy importantes en su entorno inmediato y mientras se bombea; no tanto a partir de cierta distancia)
- Ocasionalmente, cuando las características del medio lo permiten (ej. calizas **muy** karstificadas) puede llegar asimilarse al flujo turbulento que observamos en un canal o en un río
 - Cuando estos acuíferos son de pequeño tamaño, la capacidad de regulación puede ser prácticamente nula

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. **Funcionamiento de los acuíferos**
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Mecanismos de recarga y descarga



Mecanismos de recarga y descarga

Relación aguas superficiales/subterráneas

A medida que circula, el agua pierde energía, por lo que la superficie freática (o piezométrica) no es horizontal

Las aguas subterráneas fluyen de mayor a menor cota piezométrica

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Relación entre aguas superficiales y subterráneas

Allá donde la superficie freática física corta la superficie del terreno, se produce un rezume (descarga)

Los rezumes toman forma de manantiales, humedales, ríos, charcas, lagunas, etc, cuya alimentación depende en gran medida de los acuíferos (especialmente durante períodos secos)

Si el acuífero está en condiciones prístinas, toda el agua que entra por los mecanismos de recarga, acaba saliendo por las zonas de descarga a corto, medio o largo plazo, y el nivel del agua se mantiene aproximadamente constante en todos los puntos del acuífero

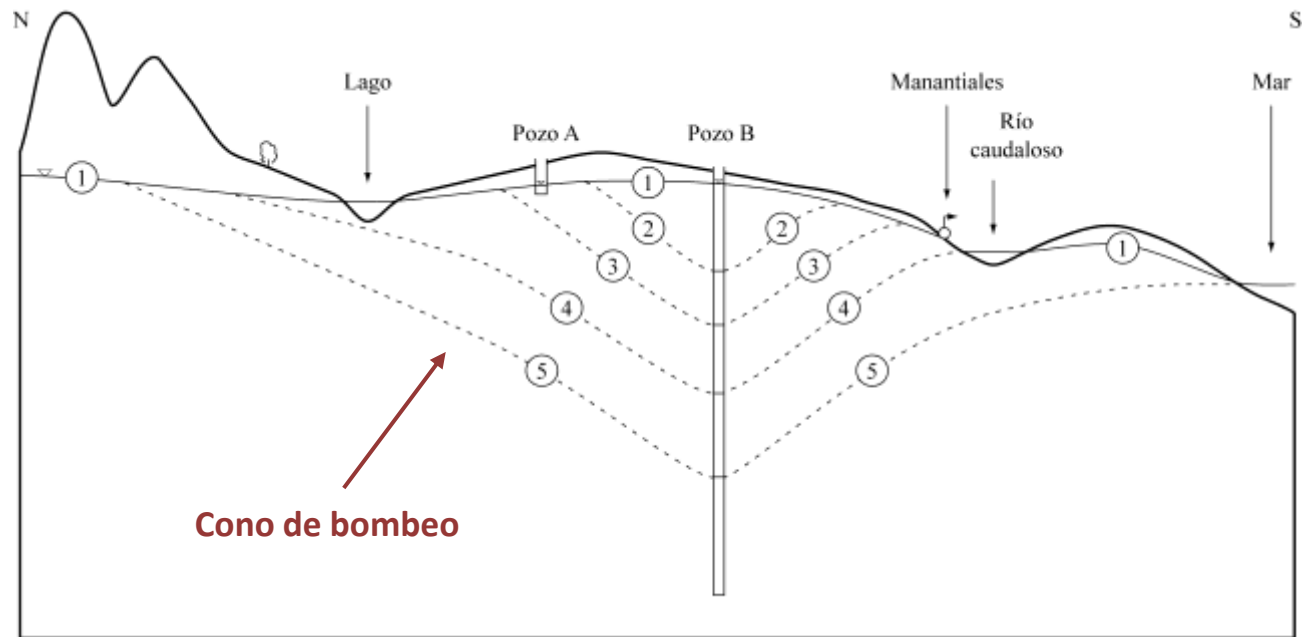
Toda el agua que el ser humano capta se detrae de la descarga:

- Si la extracción sostenida en el tiempo $<$ recarga media = los ecosistemas mantienen aporte (**ojo a los factores espacio y tiempo**)
- Si la extracción sostenida en el tiempo $>$ recarga media = los ecosistemas acabarán perdiendo todo el aporte subterráneo

CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. **Balance hídrico y afección antrópica**
5. Conclusiones

Efectos de la extracción de aguas subterráneas



Cuando el nivel del agua subterránea desciende, estos cuerpos de agua superficial dependientes de los acuíferos tienden a secarse

Aunque la ecuación del balance hídrico se cumple en términos globales, un acuífero no es un embalse

Un pozo que bombea “poca agua” cerca de un manantial puede tener un impacto mucho mayor que otro que bombea “mucho agua” a mayor distancia (independientemente de consideraciones administrativas)

Es compatible que se cumpla el balance global de un acuífero con efectos ambientalmente inaceptables a escala local

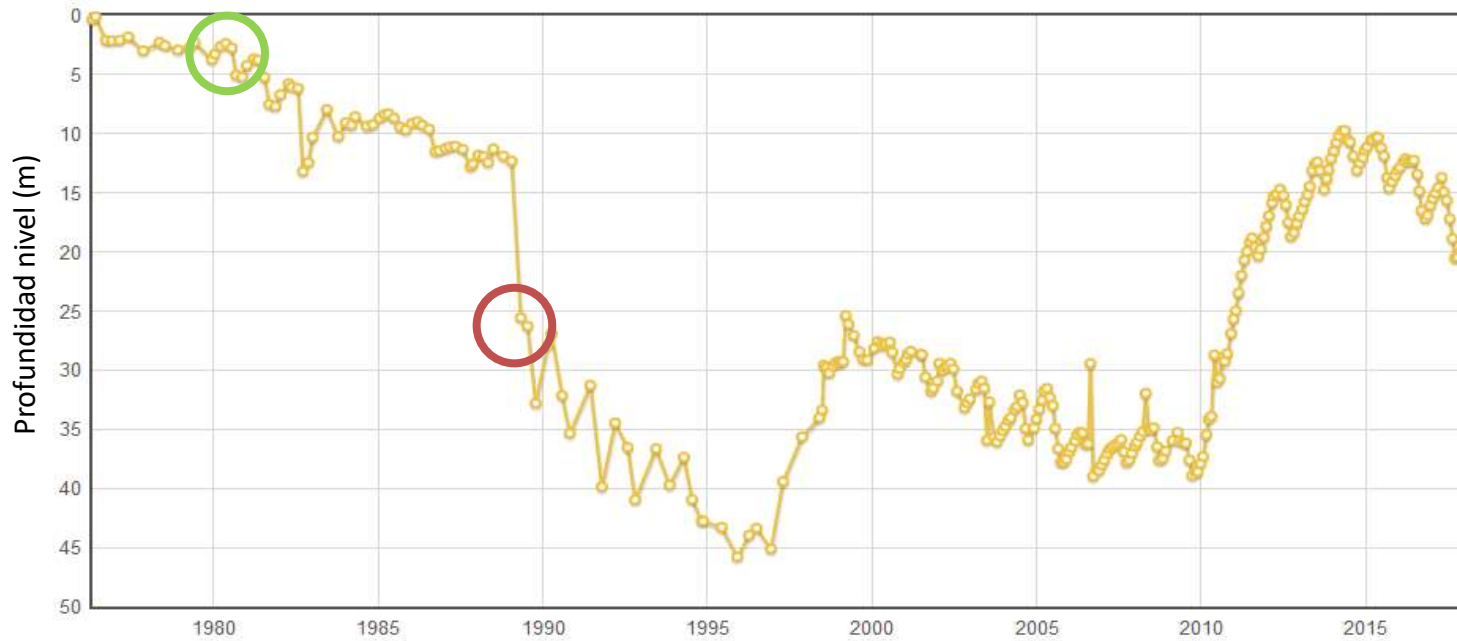
1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. **Balance hídrico y afección antrópica**
5. Conclusiones

Efectos ambientales de la extracción de agua subterránea:

- Descenso de niveles
- Interferencia con cuerpos de agua superficial
- Afección a ecosistemas dependientes
- Subsidiencias
- Empeoramiento de la calidad del agua
- Combustión espontánea de turberas

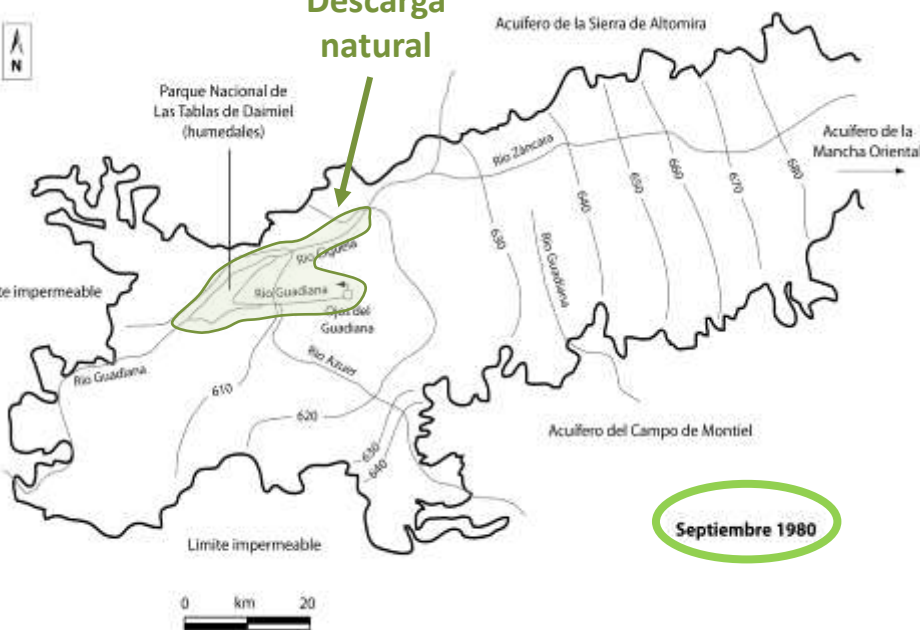
EJEMPLO

Explotación intensiva y evolución del nivel freático



Piezómetro 04.04.016
Mancha Occidental II

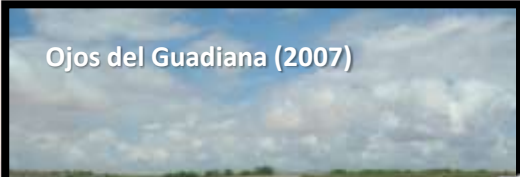
Descarga natural



Gran cono de bombeo



Ojos del Guadiana (2007)



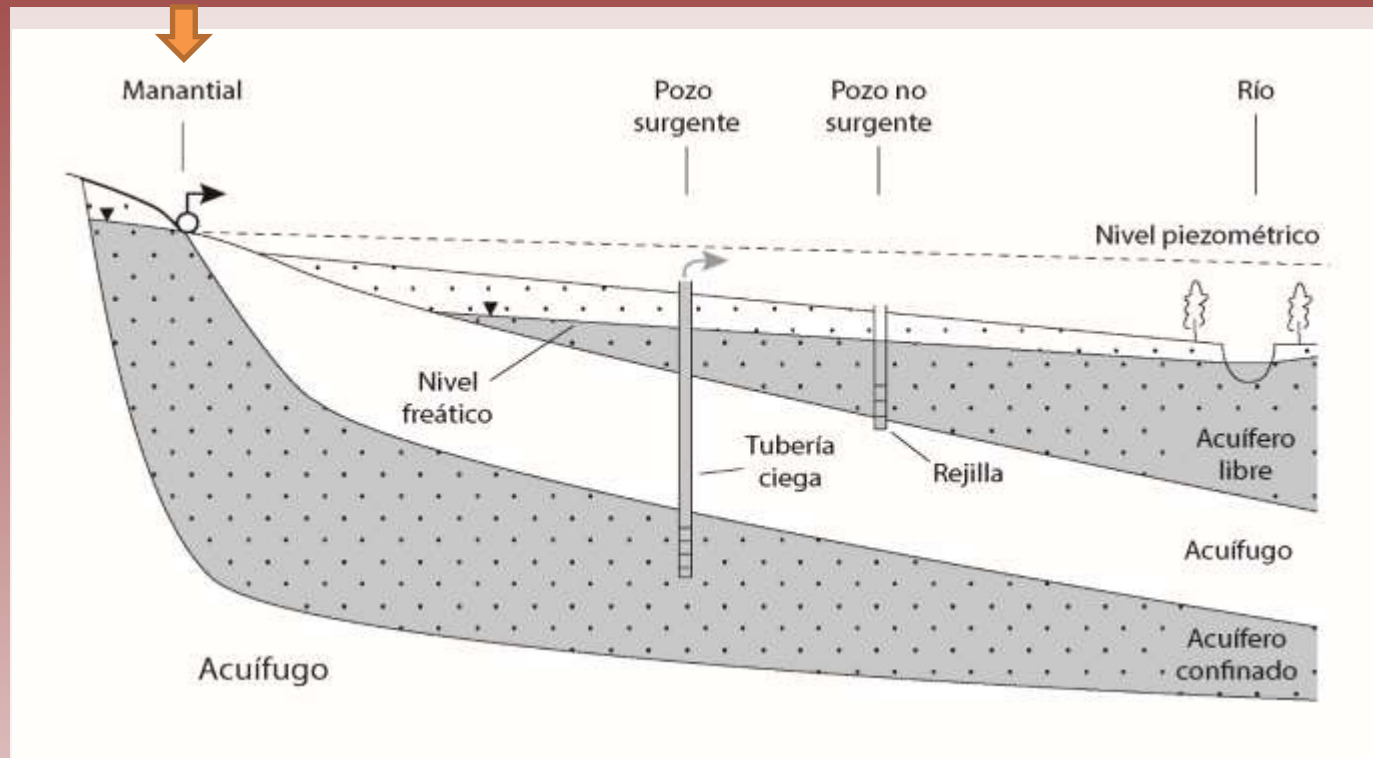
Río Guadiana (2008)



CONTENIDOS

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. **Balance hídrico y afección antrópica**
5. Conclusiones

Extracciones, balance y medio ambiente



Para que este manantial exista, el acuífero inferior tiene que estar “lleno”

Si lo que nos importa es el medio ambiente, lo que nos importa es el primer metro (o los primeros metros) de acuífero

Si hacemos un uso económico del agua, sobre todo nos importa el resto

1. Importancia de los acuíferos
2. El agua en las rocas
3. Funcionamiento de los acuíferos
4. Balance hídrico y afección antrópica
5. Conclusiones

Los mecanismos que gobiernan el flujo subterráneo son bien conocidos desde hace mucho tiempo

El equilibrio entre uso económico y necesidades ambientales es:

Muy delicado desde el punto de vista hídrico

Muy complejo de gestionar (intervienen factores económicos, geográficos, culturales, políticos, sociales, etc)

En muchos casos existe un conocimiento suficiente para establecer criterios de gestión, sin embargo

Casi siempre existen incertidumbres de calado

Será más difícil (o imposible) afinar en las prácticas de gestión si no se hace por mejorar el conocimiento del medio

Es necesario continuar con trabajos de caracterización adicional de los acuíferos