



LAS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS MODELOS DE USO CONJUNTO DE LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS

Bruno J. Ballesteros Navarro

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Las generadas en los acuíferos como cuerpo de agua o que discurren a través de ellos
- En **gestión hidrológica**: Las que pueden ser **moduladas/reguladas** de forma natural por los acuíferos

AGUAS SUPERFICIALES

- Las generadas en las superficies de las cuencas hidrológicas y discurren a través de los ríos



Aguas superficiales: Observación y evaluación normalmente directa

Aguas subterráneas: Evaluación normalmente indirecta (visibles sólo cuando afloran)

EL USO CONJUNTO AGUAS SUPERFICIALES/SUBTERRÁNEAS

Mayor proporción de aguas subterráneas = mayor regulación natural



Mayor capacidad para aplicar técnicas de uso conjunto

Los ríos son sistemas poco inerciales

Velocidad del agua en ríos: 0,5-2 m/s (86,4 km/día para $V=1$ m/s)

Los acuíferos son sistemas muy inerciales

Velocidad del agua en acuíferos: 0,5 m/día- 20 m/día (Kársticos>)



3

PRESENCIA AGUAS SUPERFICIALES/SUBTERRÁNEAS

Depende de:

- Precipitación y régimen de lluvias
- Presencia/ausencia de formaciones permeables: Acuíferos
- Dimensión y morfología de las cuencas hidrológicas y de los acuíferos



Cuencas mediterráneas: elevado porcentaje de los recursos hídricos corresponden a RECURSOS SUBTERRÁNEOS

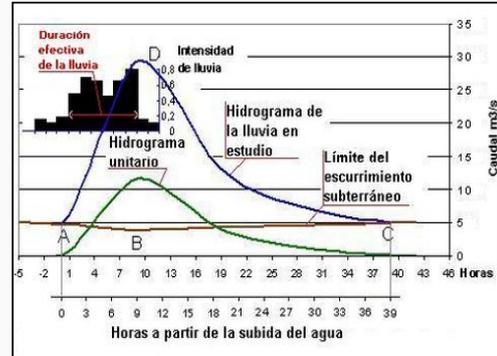
4

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS. Interés medioambiental

Constituyen el caudal base de ríos y zonas húmedas

Cuencas mediterráneas

Mantienen ecosistemas acuáticos
continentales en estiaje (> % A. sub.)

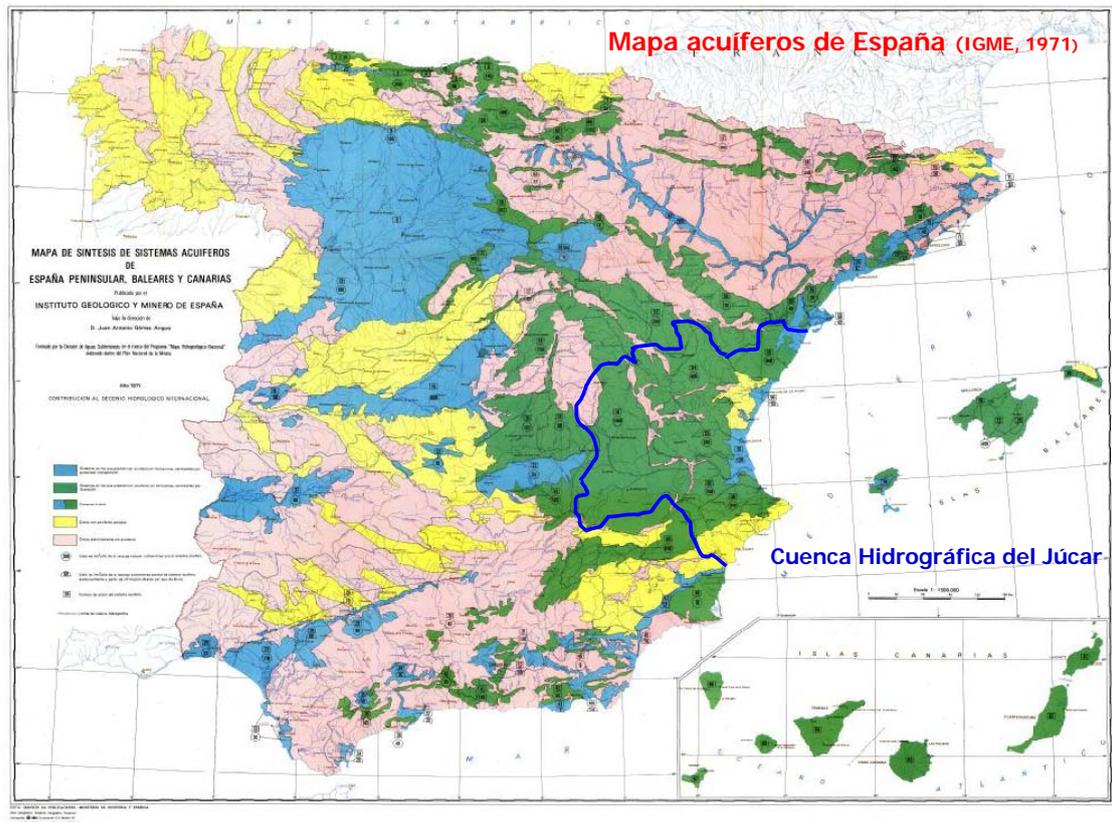


Cuencas mediterráneas
Son idóneas para aplicar USO CONJUNTO. Con limitaciones ambientales

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS

- Diferencias entre cuencas del norte de Europa y cuencas mediterráneas
 - Cuencas hidrográficas mediterráneas en España: entre **38-80%** (según cuencas) del total de recursos hídricos es de origen subterráneo
- Cuenca Júcar: 77 %** de 4.142 hm³/a (RD 1664/1998)





INCORPORACIÓN DE LOS ACUÍFEROS A LOS MODELOS DE USO CONJUNTO. REQUERIMIENTOS BÁSICOS

Códigos matemáticos adecuados: Robustez, flexibilidad, capaces de introducir condicionantes en los sistemas acuíferos

Modelo conceptual de funcionamiento de la cuenca fiable (esquema topológico): Modelos que reproduzcan la realidad

Calidad de datos aceptable

LOS ACUÍFEROS EN LOS MODELOS DE USO CONJUNTO. ASPECTOS A CONSIDERAR

NECESIDAD DE MODELAR ADECUADAMENTE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

(objetivo: optimización en el aprovechamiento de los recursos hídricos)

Volumen agua en acuíferos >>> volumen aguas superficiales

REQUIERE MODELOS NUMERICOS DE ELEVADA EXIGENCIA COMPUTACIONAL

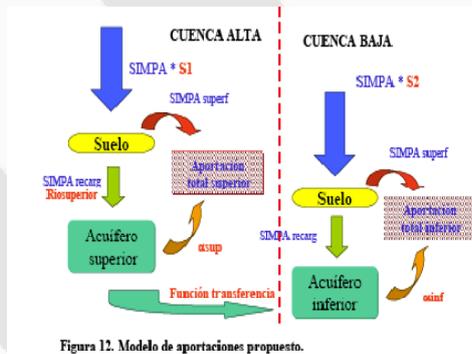
(modelos distribuidos de parámetros distribuidos)

LOS ACUÍFEROS EN LOS MODELOS DE USO CONJUNTO. ASPECTOS A CONSIDERAR

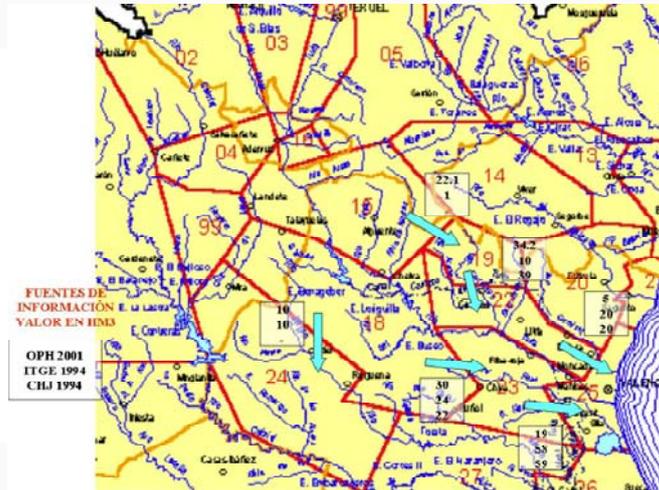
- Dificultad de conocer su funcionamiento
- Las reservas hídricas subterráneas. Curvas de llenado
- Descensos piezométricos (bombeos): Modificación del líneas de flujo
- Sobreexplotación: compartimentación
- Recarga inducida
- El problema de los límites abiertos:
 - acuíferos litorales (la intrusión marina)
 - salidas/entradas entre acuíferos. Conexiones concatenadas. Recirculaciones y bucles hídricos (retornos ...). Pérdidas embalses
- Condicionantes de calidad y requerimientos ambientales (usos, zonas húmedas, caudales ecológicos,). Limitaciones de la DMA (2000/60/CE)

LOS ACUÍFEROS EN LOS MODELOS DE USO CONJUNTO. ASPECTOS A CONSIDERAR

- Comportamiento de los acuíferos en situaciones extremas (sequías)
- Desconocimiento de los mecanismos que controlan la relación río-acuífero. Tipologías



Thormann & Cistac



Fuente: CHJ

11

LAS RESERVAS SUBTERRÁNEAS

TIPOS DE RESERVAS DE UN ACUÍFERO (Ballesteros *et al*, 2009)

Reservas Totales (RT): Volumen de agua existente entre su base y la superficie piezométrica en un instante determinado

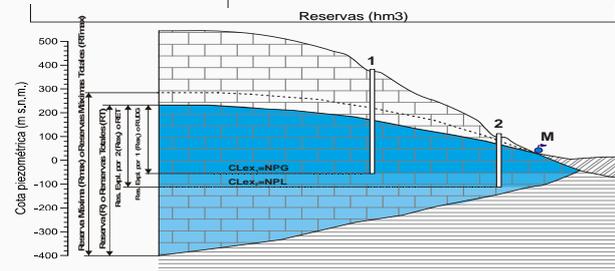
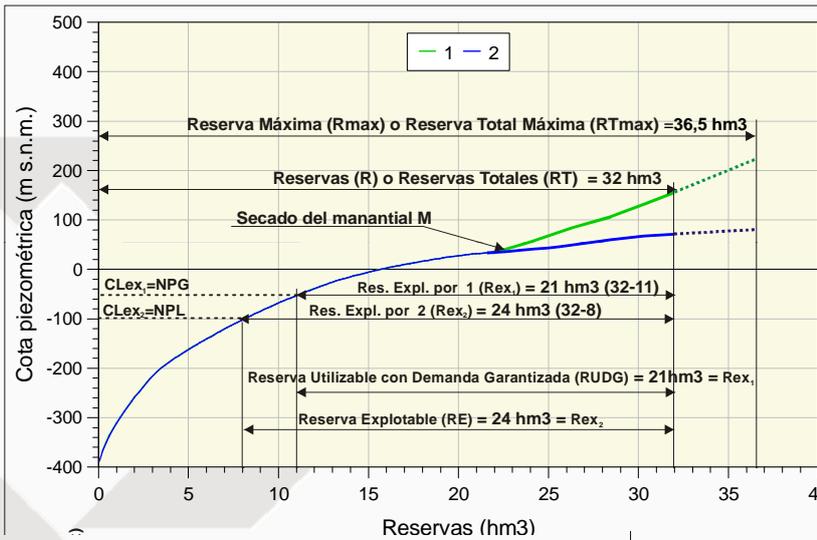
Reservas Explotables por una captación (Rexca): Limitadas por la profundidad de la captación

Reservas Utilizables con Demanda Garantizada (RUDG): Dada por la piezometría a partir de la cual alguna de las captaciones de un acuífero presenta fallos y no puede satisfacer totalmente la demanda

Reservas Utilizables Totales (RUT): Volumen de agua almacenado en un acuífero entre una superficie piezométrica definida para un momento dado y una cota, denominada Nivel Piezométrico Límite (NPL), a partir de la cual ninguna de las captaciones existentes puede extraer agua.

Pueden estar limitadas también por factores de calidad (uso) y ambientales.

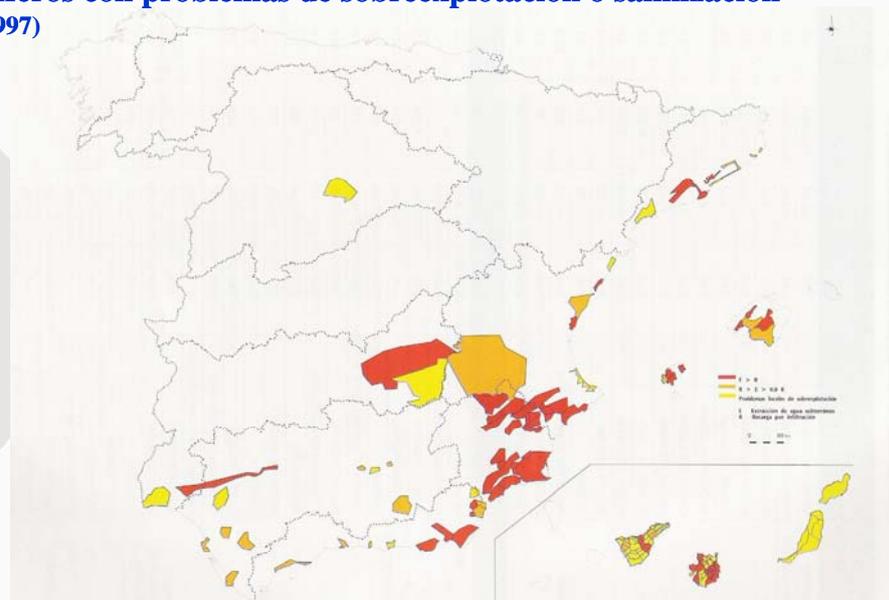
12



CURVA DE LLENADO/VACIADO DE UN ACUÍFERO. TIPOS DE RESERVAS

LA SOBREEXPLORACIÓN

Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización (DGOHCA-ITGE, 1997)

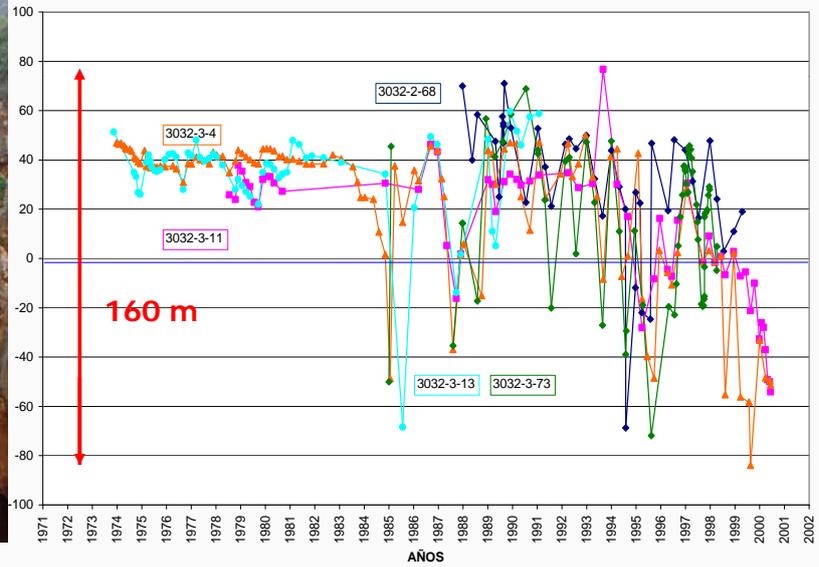


- ⇒ 77 acuíferos con problemas. Casi todos en el tercio suroriental peninsular e islas
- ⇒ 24 acuíferos pertenecen a las cuencas del Júcar y Segura.

LA SOBREEXPLOTACIÓN

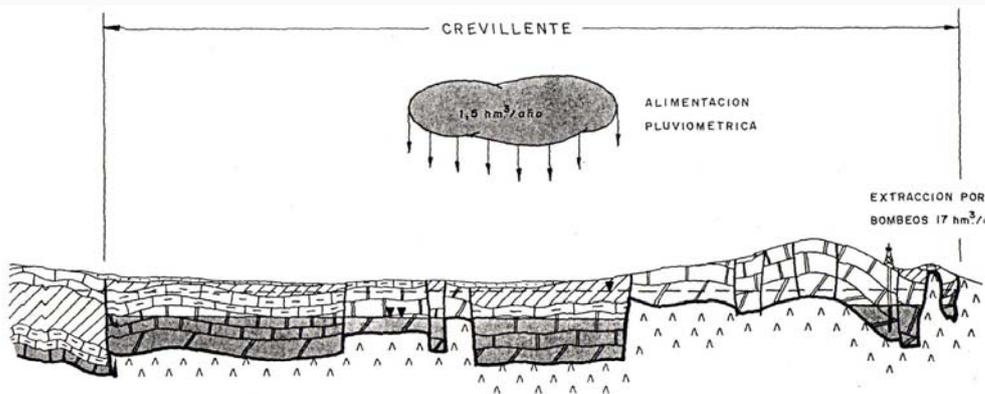


EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO SOLANA DE LA LLOSA



15

LA SOBREEXPLOTACIÓN. COMPARTIMENTACIÓN



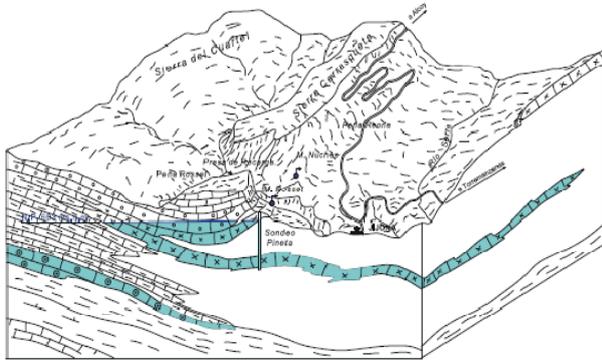
▼ N. P. 166 m.s.n.m. (1975)

▼▼ N. P. 60-88 m.s.n.m. (1983)

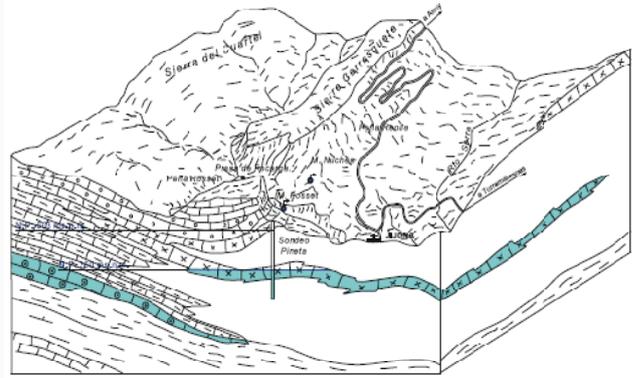
16

LA SOBREEXPLOTACIÓN. CAMBIOS EN LA GEOMETRÍA

ACUÍFERO DE JIJONA

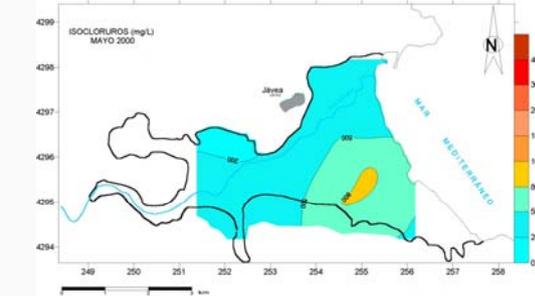
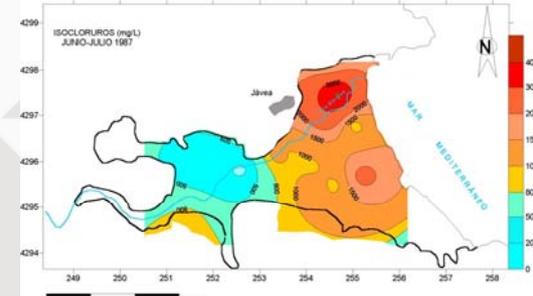
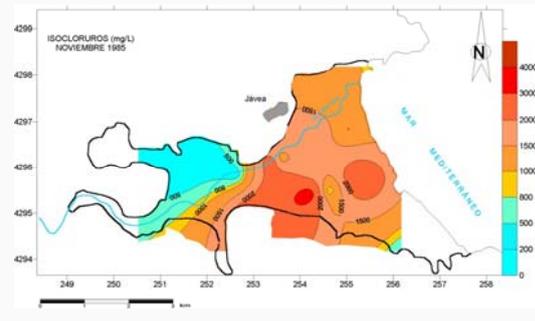
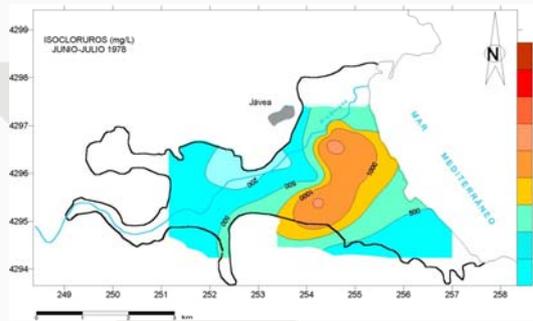


SITUACIÓN INICIAL



SITUACIÓN ACTUAL

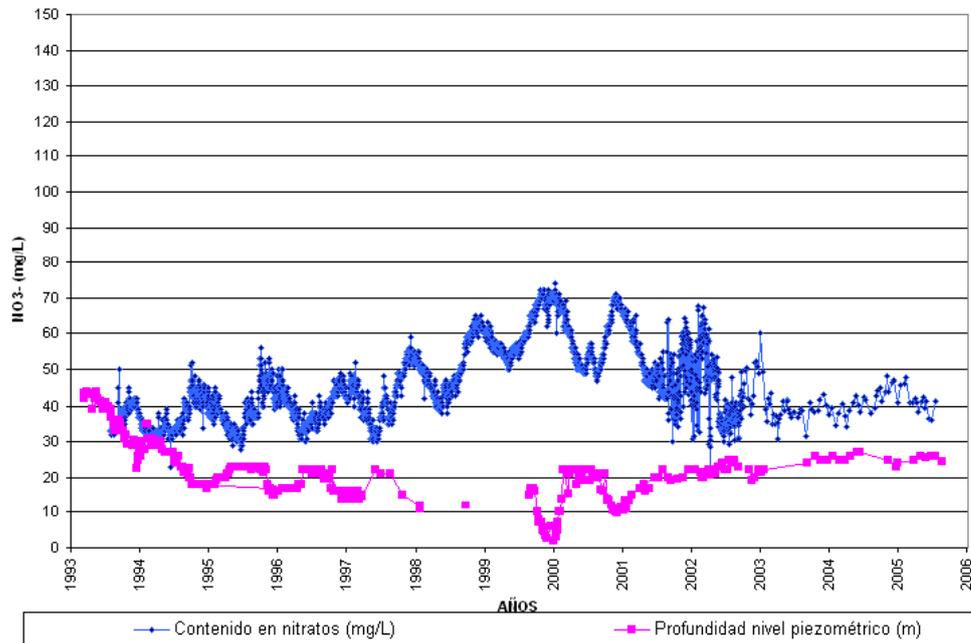
LA INTRUSIÓN MARINA



ACUÍFERO PLANA DE JÁVEA

CONDICIONANTES DE LA CALIDAD DEL RECURSO

RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO EN NITRATOS Y NIVELES PIEZOMÉTRICOS
SONDEOS DE BARRANCO HONDO



19

LOS ACUÍFEROS EN LOS MODELOS DE USO CONJUNTO

ALGUNAS LÍNEAS DE ACTUACIÓN: POR DONDE ESTAMOS AVANZANDO

- Mejora conocimiento del funcionamiento de los acuíferos. Modelos determinísticos
- Mejora conocimiento del intercambio hídrico entre aguas superficiales y subterráneas en las cuencas hidrológicas
- Conceptualización de diferentes tipologías de relación río-acuífero

20



FORMAS DE RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

- Existe **intercambio hídrico** entre las aguas subterráneas y los cursos de agua superficial que discurren sobre formaciones permeables o se encuentran próximos a ellas
- Fenómeno **poco conceptualizado**, a pesar de su importancia. Literatura escasa
- Interacciones difíciles de observar y de medir: en muchos casos soslayadas o **minusvaloradas** en la gestión de los recursos
- **Clasificación simple** basada exclusivamente en el **sentido de la transferencia hídrica**: ríos ganadores o efluentes, cuando drenan recursos hídricos de un acuífero, y perdedores o influentes, cuando ceden al flujo subterráneo parte su caudal (Winter TC, et al. 1998)
- **U.S. Geological Survey (Winter TC, et al. 1998)** recopila la información básica de los diferentes ámbitos donde tiene lugar, tanto desde el punto de vista del medio físico y climático como hidroquímico



FORMAS DE RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

Factores condicionantes de la relación río-acuífero

- **Geológicos**: naturaleza y disposición tecto-estratigráfica de las formaciones geológicas
- **Geomorfológicos**: geometría cauce (anchura-profundidad), sinuosidad, pendiente (tiempo de residencia), sistema deposicional.

- **Hidrológicos**: régimen fluvial

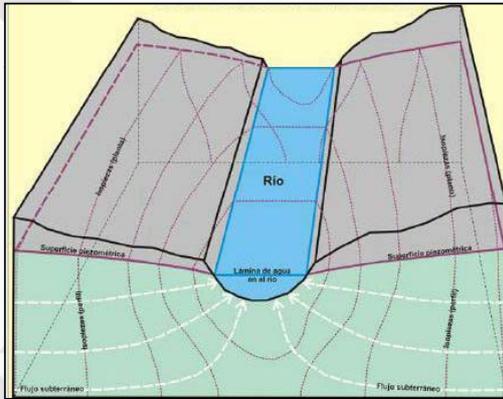
- **Hidráulicos**: conductividad hidráulica, conductancia hidráulica, potenciales hidráulicos

Criterios tipológicos de la relación río-acuífero

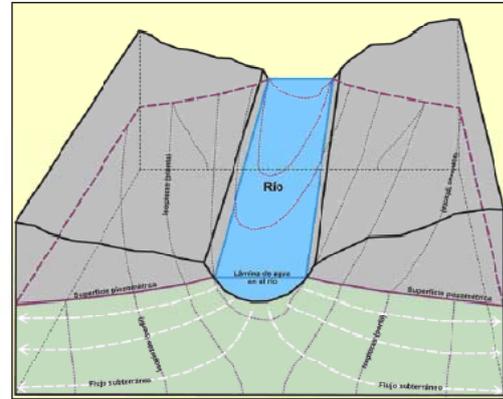
- A) Sentido de la relación hídrica
- B) Existencia de continuidad/discontinuidad hidráulica
- C) Características espaciales de la relación
- D) Temporalidad

CRITERIOS TIPOLOGICOS DE LA RELACION RÍO-ACUÍFERO

A) Sentido de la relación hídrica



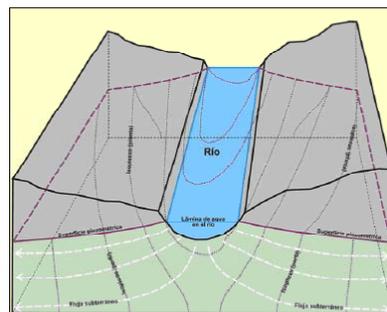
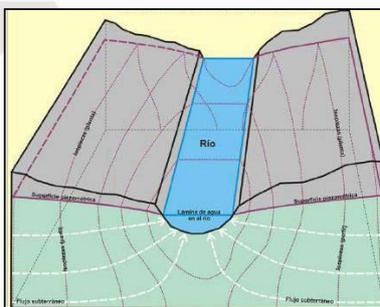
Efluente (río ganador)



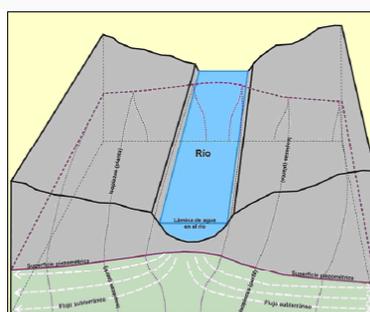
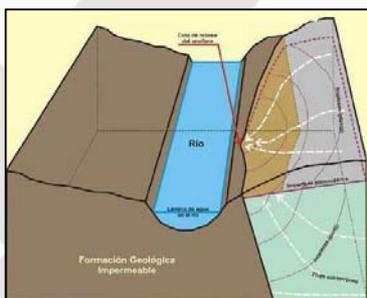
Influente (río perdedor)

TIPOLOGÍAS DE LA RELACION RÍO-ACUÍFERO

B) Continuidad/discontinuidad hidráulica



Continuidad hidráulica

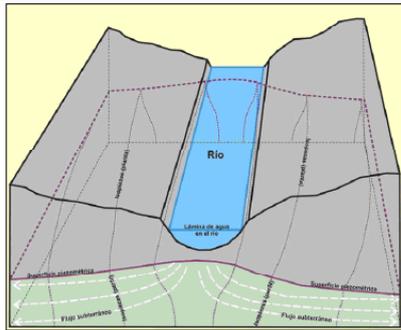


Discontinuidad hidráulica

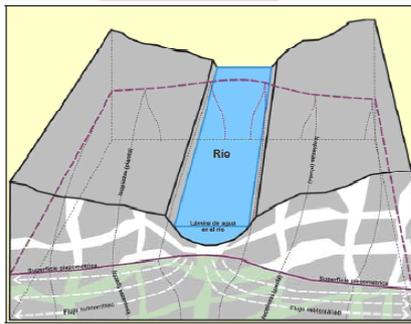
TIPOLOGÍAS DE LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

C) Característica espacial de la relación

- puntual
- grupal
- difusa
- múltiple



Transferencia difusa. Acuíferos con permeabilidad por porosidad

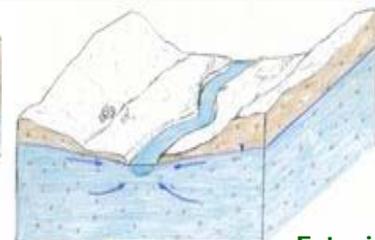
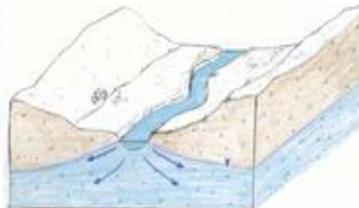


Transferencia puntual (grupal). Acuíferos por permeabilidad por fisuración/karstificación

TIPOLOGÍAS DE LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO

D) Temporalidad: Permanente, estacional, ocasional

Lluvias estacionales

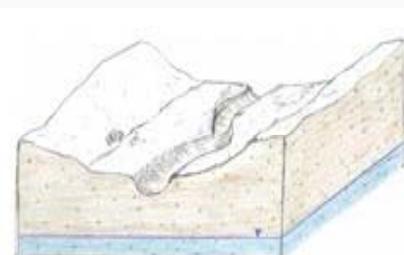
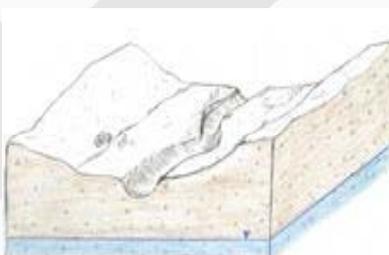


Estacional

PERIODO SECO

PERIODO HÚMEDO

Episodio torrencial

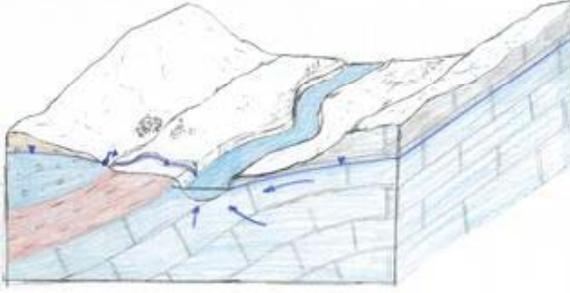
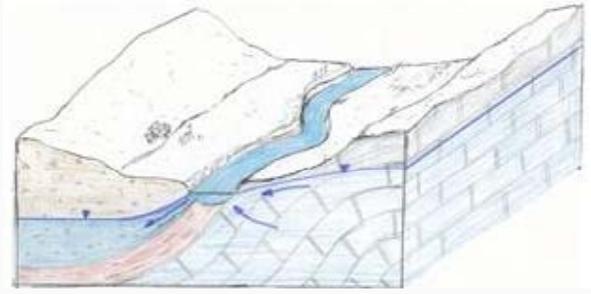
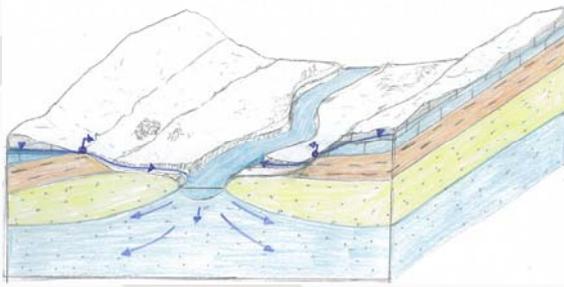


Ocasional

(Ballesteros et al, en elaboración)

t

TIPOLOGÍAS DE LA RELACIÓN RÍO-ACUÍFERO



Relaciones río-acuífero de tipo mixto

(Ballesteros *et al*, en elaboración)

27

MEJORA DEL CONOCIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS. MODELACIÓN NUMÉRICA DE ACUÍFEROS

- **Comportamiento de los sistemas acuíferos:** modelado de forma precisa mediante modelos determinísticos detallados, especialmente en condiciones extremas.
- **Integración en modelos de uso conjunto:** mediante modelos simplificados que reproduzcan el comportamiento y los condicionantes operativos obtenidos en el modelo de detalle. (Causa: elevados requerimientos computacionales)

28

MEJORA DEL CONOCIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS. MODELACIÓN NUMÉRICA DE ACUÍFEROS

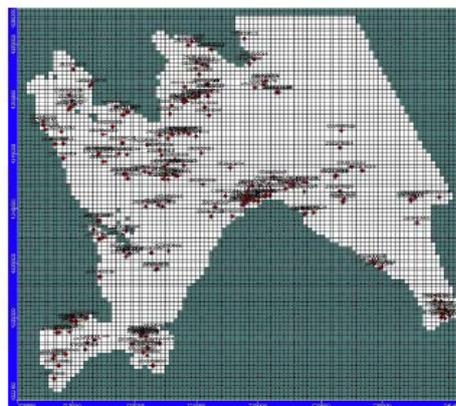
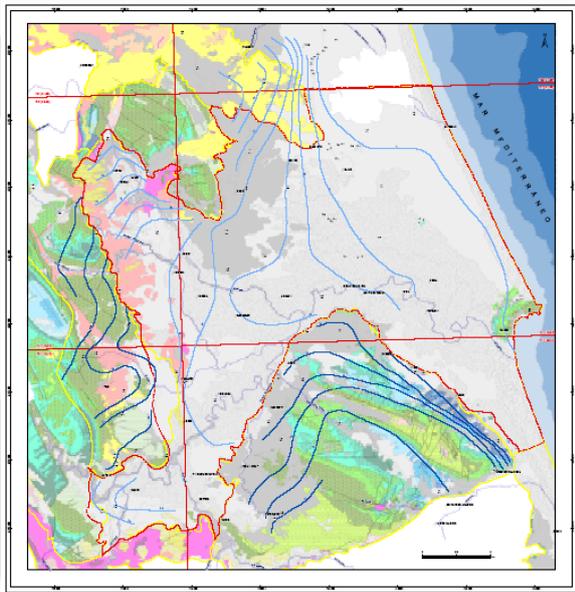


Figura 17.- Ubicación de los bombeos tratados en el modelo numérico

Celdas 100x100 (359 m x359 m)
1.289 km²

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA PLANA VALENCIA SUR

IGME en colaboración con la CHJ

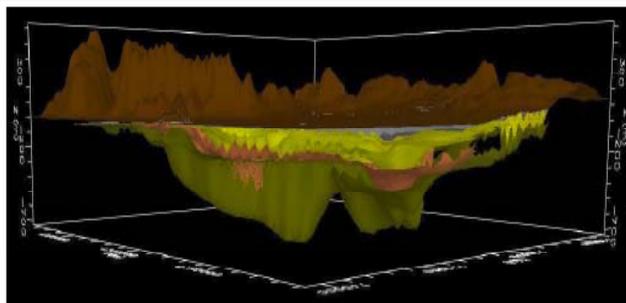
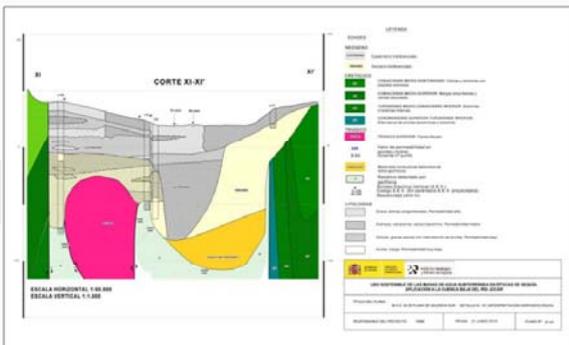
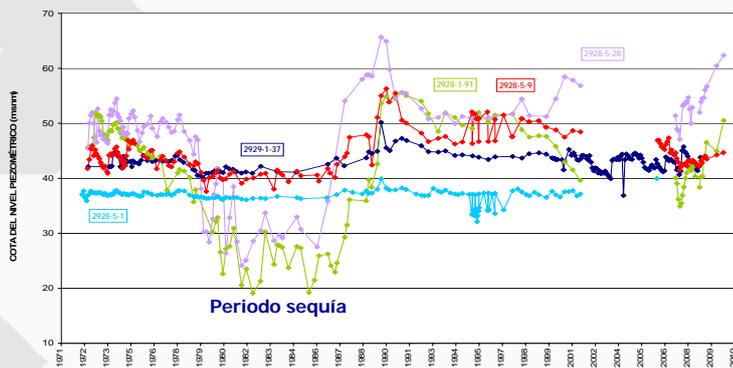
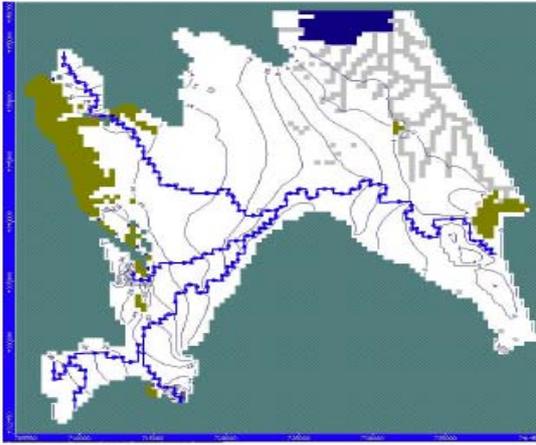


Figura 6.- Estructura resultante tras procesar MODFLOW los datos de entrada. Imagen obtenida por medio de ArcView

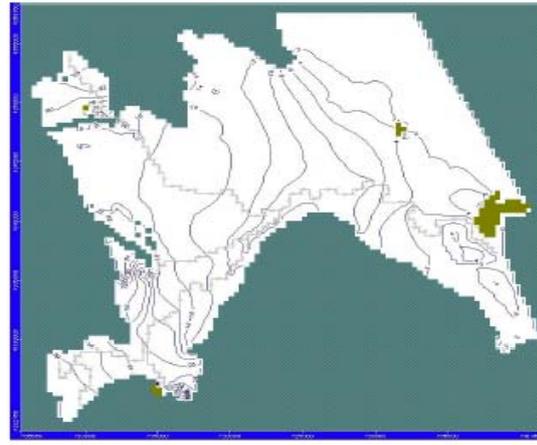


Integración de datos geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos

**MEJORA CONOCIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS.
MODELACIÓN NUMÉRICA DE ACUÍFEROS**



Superficie piezométrica
capa 1



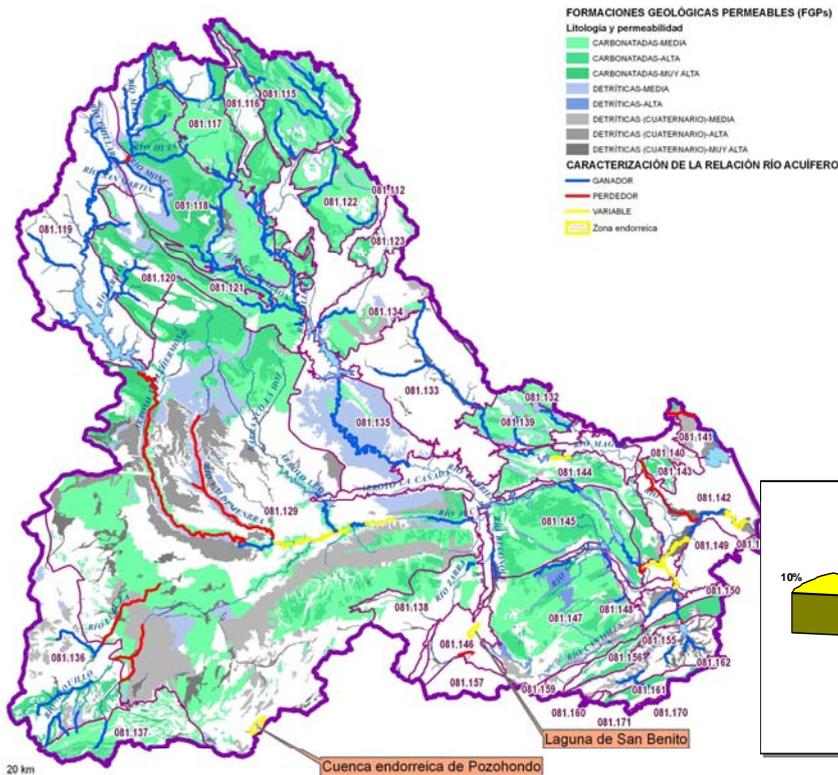
capa 2

**MEJORA CONOCIMIENTO DEL INTERCAMBIO HÍDRICO EN LAS CUENCAS
HIDROLÓGICAS. TRABAJOS PREVIOS**

“Identificación y caracterización de la interrelación entre aguas subterráneas cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés”.

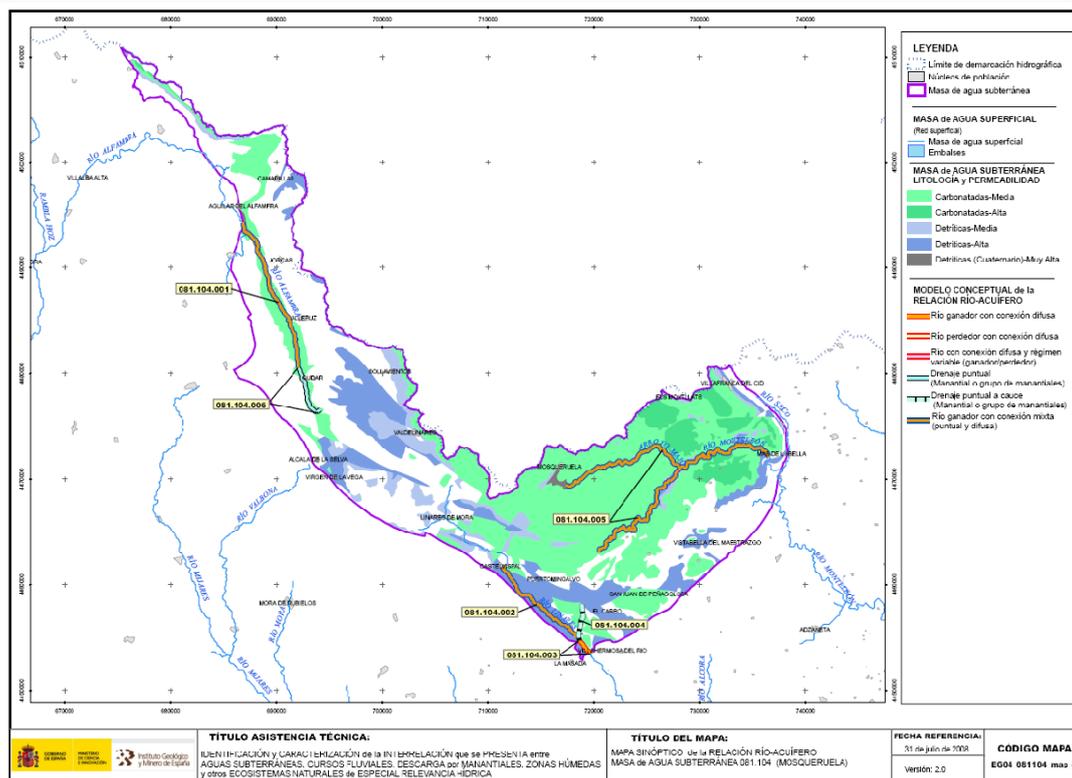
Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua (2010)





Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua (2010)

Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua (2010)



Cauce	Tramo	Relación río-acuífero en el cauce	Cuantificación de la relación	Referencia para la cuantificación
Río Júcar	Nacimiento – río Huécar, incluyendo sus afluentes	Ganador por cauce y manantiales	51,2 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Río Huécar – Río Moscas	Perdedor	No cuantificado	
	Río Moscas – Embalse de Alarcón, incluyendo sus afluentes	Ganador por cauce y manantiales	19,6 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Embalse de Alarcón – El Picazo	Perdedor	No cuantificado	
	El Picazo – Los Yesares, incluyendo el río Valdemembra aguas abajo de Villanueva de la Jara	Perdedor	50,7 hm ³ /año por cauce	Aforos diferenciales en situación actual
	Los Yesares – Valdeganga	Ganador por manantiales	5,0 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Valdeganga – La Recueja	Variable	No cuantificado	
	La Recueja – Las Eras, incluyendo el arroyo Ledaña aguas abajo de Fuentealbilla	Ganador por manantiales	1,8 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Las Eras – Embalse del Molinar	Variable	No cuantificado	
	Embalse del Molinar - Jalance	Ganador por cauce	No cuantificado	
	El Naranjero – Tous	Ganador por cauce	No cuantificado	
	Dos Aguas – Embalse de Tous	Ganador por manantiales	0,5 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Embalse de Tous - Antella	Ganador por cauce y manantiales	0,6 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Antella – Río Sellent	Perdedor	No cuantificado	
	Río Sellent – Alcira	Variable	No cuantificado	
Alcira – Sueca	Ganador por cauce	No cuantificado		
Sueca – Cullera	Variable	No cuantificado		
Río Cabriel	Nacimiento – Pajaroncillo	Ganador por cauce y manantiales	15,5 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Pajaroncillo – Embalse de Contreras	Ganador por cauce y manantiales	5,6 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Afluentes del Cabriel, aguas arriba de Contreras	Ganador por cauce y manantiales	110,5 hm ³ /año por cauce	Aforos diferenciales
	Embalse de Contreras – Villatoya	Ganador por cauce y manantiales	46,7 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
Río Magro	Embalse de Forata – Macastre	Ganador por cauce y manantiales	5,1 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ
	Real de Montroy – Río Júcar	Perdedor	16,5 hm ³ /año por manantiales	Inventarios de IGME y CHJ

Instituto Geológico y Minero de España y Dirección General del Agua (2010)

MEJORA CONOCIMIENTO DEL INTERCAMBIO HÍDRICO EN LAS CUENCAS HIDROLÓGICAS. TRABAJOS PREVIOS

“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con La Albufera de Valencia y el río Júcar”

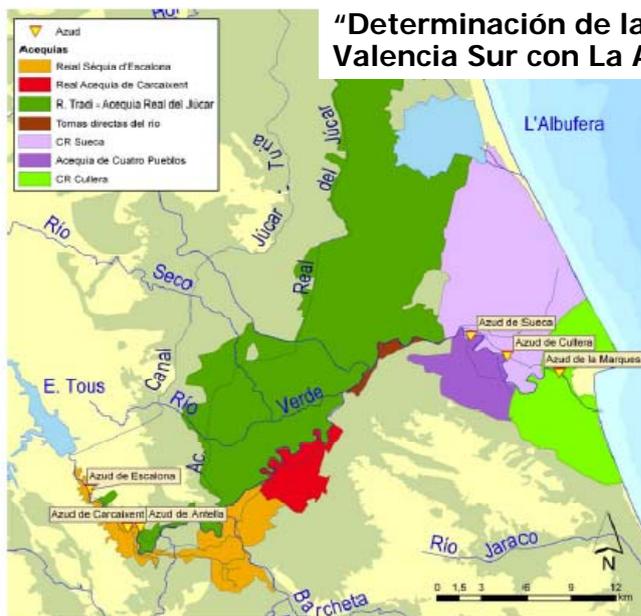
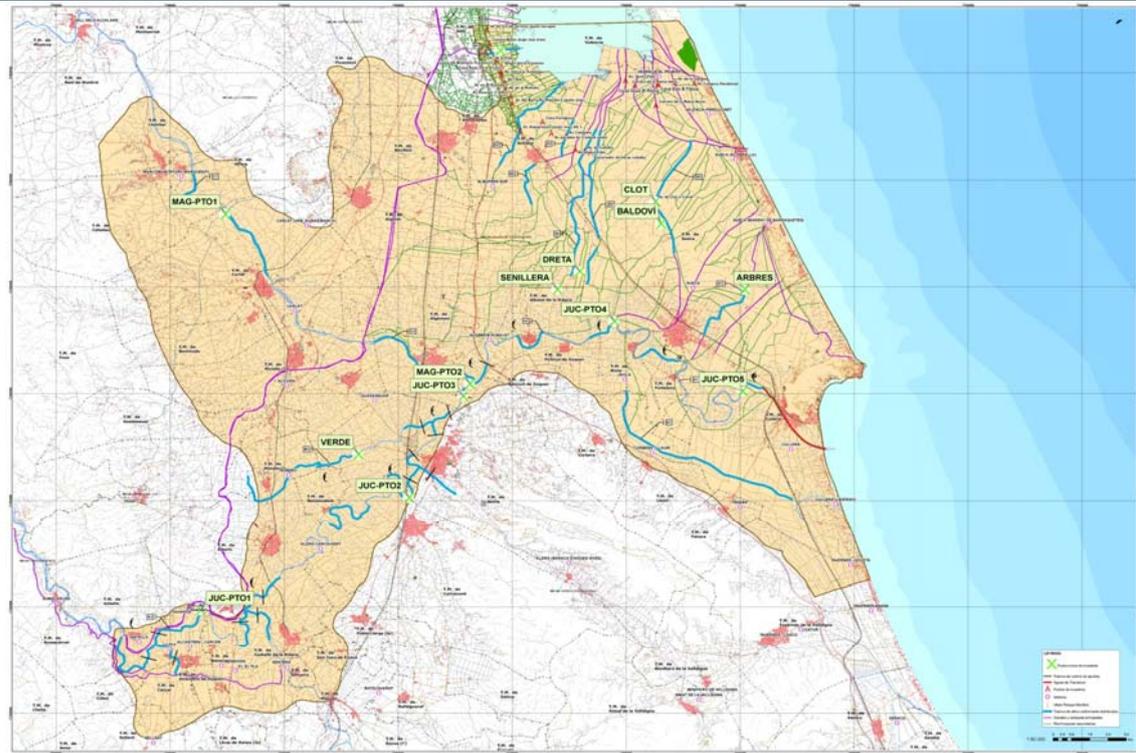
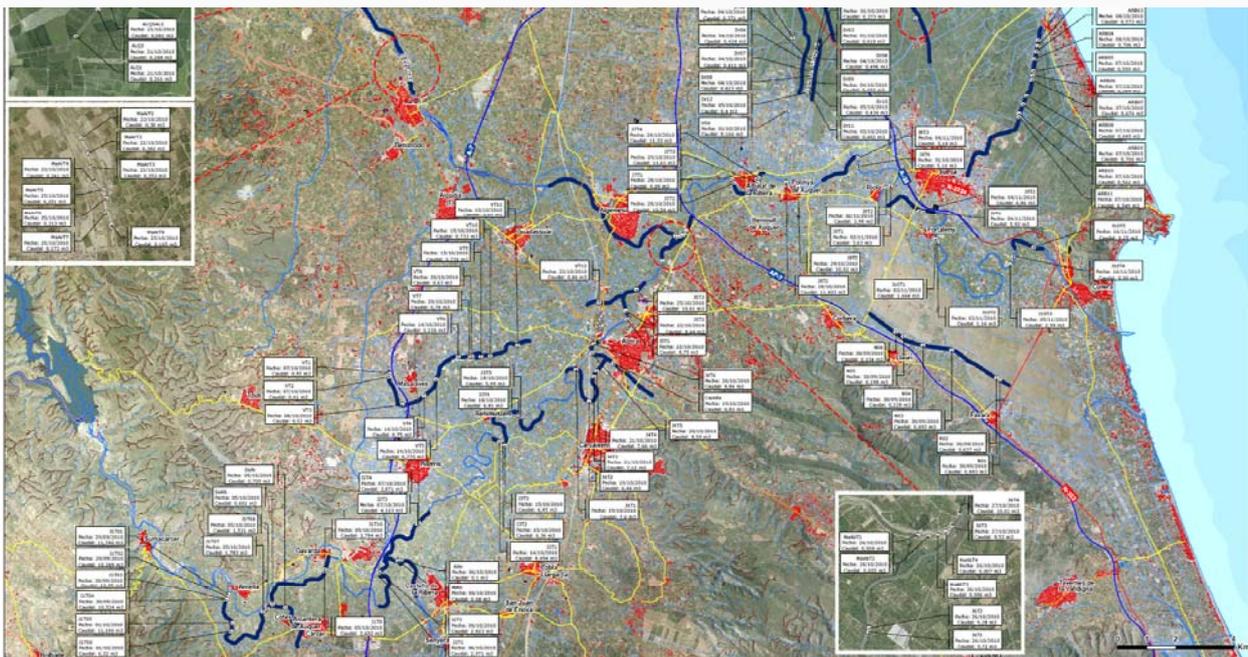


Figura 2. Los riegos tradicionales de la Ribera del Júcar

Instituto Geológico y Minero de España y Confederación Hidrográfica del Júcar (2011)



“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con la Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)



“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con la Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)

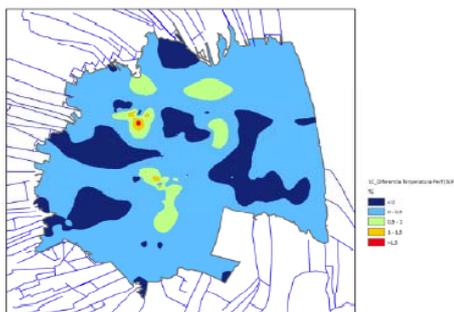


Figura 14. Plano del lago de la Albufera, diferencia entre temperatura superficial y temperatura en el mes de abril de 2011.

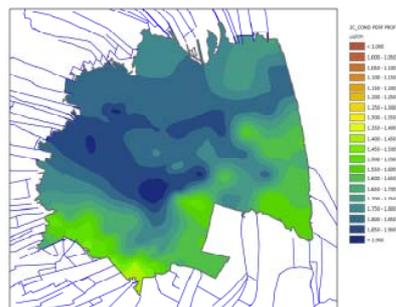


Figura 18. Plano de conductividad específica (µS/cm) en profundidad en lago de la Albufera en el mes de septiembre, elaborado a partir de perfiles en la columna de agua.

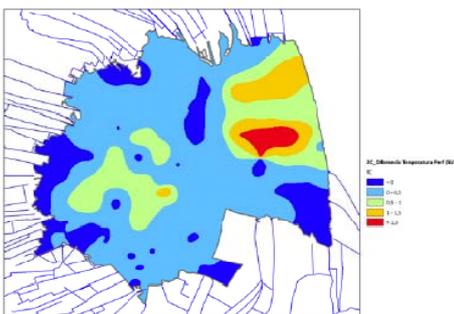


Figura 15. Plano del lago de la Albufera, diferencia entre temperatura superficial y temperatura en el mes de septiembre de 2011.

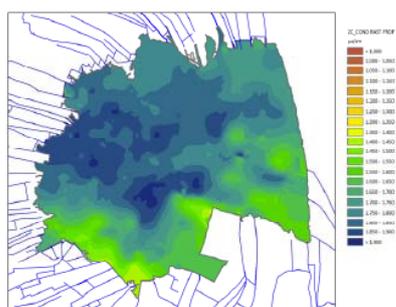
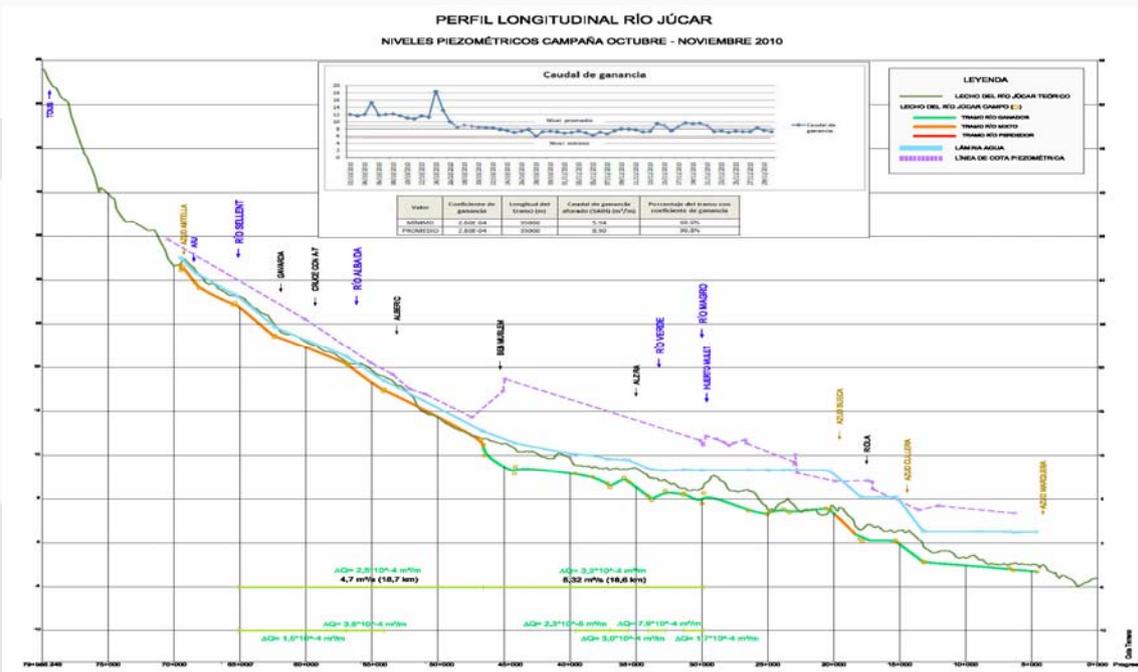


Figura 19. Plano de conductividad específica (µS/cm) en lago de la Albufera en el mes de septiembre, elaborado a partir de los rastreos en medición continua realizados mediante el CT ubicado a 90 cm. de superficie.

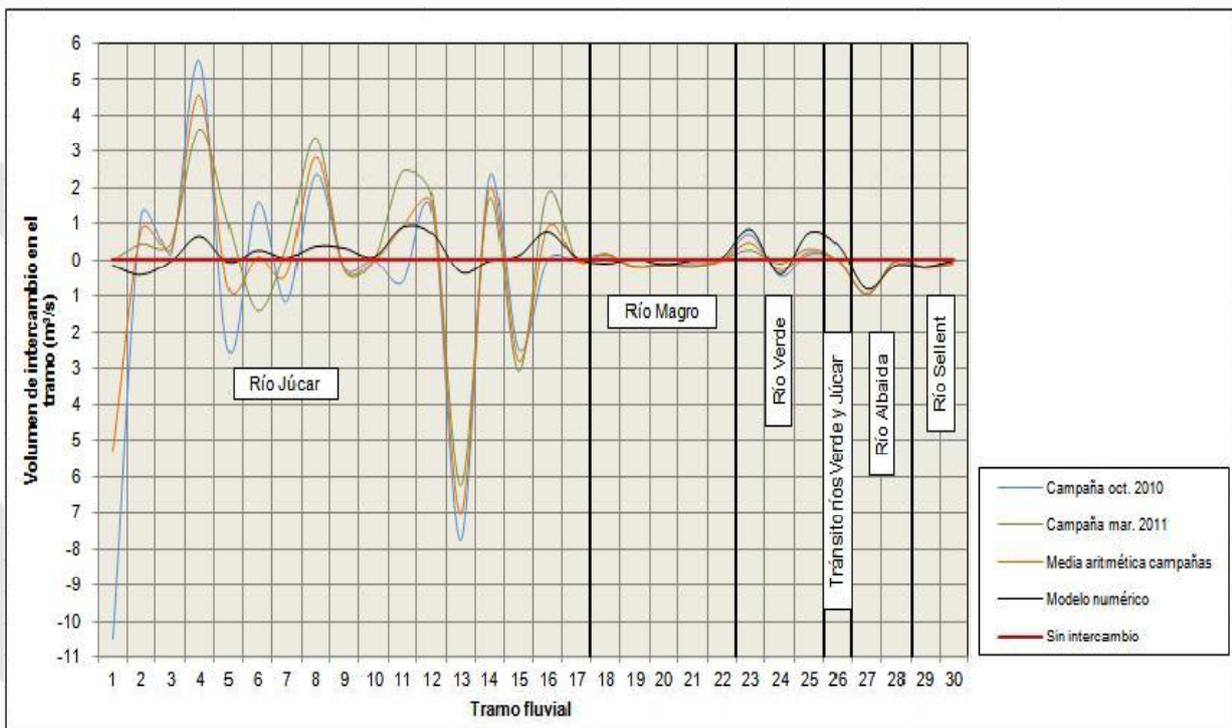
“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con La Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)



“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con La Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)



“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con La Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)



“Determinación de la relación hídrica de la MASub Plana Valencia Sur con La Albufera de Valencia y el río Júcar” IGME-CHJ (2011)

CONSIDERACIONES SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LOS MODELOS DE USO CONJUNTO

LO QUE SE ESPERA OBTENER

- Modelos conceptuales fiables sobre el funcionamiento de las cuencas hidrológicas que reproduzcan adecuadamente la realidad, incluidas las situaciones extremas
- Datos de base correctamente interpretados y optimizados. Datos representativos
- Resultados que permitan ser integrados en modelos de uso conjunto robustos, flexibles, capaces de introducir las limitaciones y condicionantes relacionados con los sistemas acuíferos



Una buena base científica es la mejor garantía para la toma de decisiones y para el diseño de las políticas de gestión hidrológica más adecuadas