

**FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL
DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**



Andrés Sahuquillo Herráiz
Universidad Politécnica de Valencia
Real Academia de Ciencias

EL USO CONJUNTO-COORDINADO DE LOS
RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES
CON AGUAS SUBTERRÁNEAS
Cornellà de Llobregat - Barcelona,
14 de mayo de 2014

INDICE

- Particularidades de los acuíferos
- Relaciones entre las aguas superficiales y las subterráneas
- Componentes y particularidades de un sistema de recursos hidráulicos
- TIPOS de USO CONJUNTO
 - Recarga artificial
 - Uso conjunto alternante
 - Sistemas río-acuífero
 - Regulación de manantiales
- Problemas de drenaje

Uso conjunto

- Considera las aguas subterráneas y los acuíferos como componentes de un sistema de recursos hidráulicos
- Analizar las distintas alternativas para satisfacer las demandas de agua actuales y futuros considerando todas las fuentes de agua y sus interacciones. *Reutilización, desalación,...*

Particularidades de las aguas subterráneas

- Volumen de agua almacenado alto y gran espacio disponible para almacenamiento
 - Un cambio de pocos metros del nivel freático en acuíferos libres supone un almacenamiento muy superior al de la mayoría de los embalses
 - Permite bombear intensamente en sequías o estaciones secas.
 - *Normalmente su eficacia es superior a las soluciones estructurales*
 - Permite recargar en periodos húmedos
- Inercia ↔ Determinismo

RELACIONES ENTRE LA AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

- *La utilización de aguas superficiales o subterráneas afecta al otro componente del ciclo hidrológico*
- *Los bombeos de los acuíferos disminuyen los flujos de ríos, manantiales y zonas húmedas. En muchos casos los ríos han pasado de ser ganadores a perdedores*
- *Al circular el agua por un río perdedor*
 - *El río pierde agua y recarga al acuífero*
- *Se puede aumentar la recarga de los acuíferos*
 - *Al llenar embalses de superficie*
 - *Por retornos de riego*
 - *Hacer circular caudales por tramos de ríos perdedores*
 - *Recarga artificial*

RÍOS PERDEDORES

- La recarga de los acuíferos a partir de ríos perdedores o efímeros se puede alterar con las obras hidráulicas
 - *Aumenta si se crean embalses en zonas en las que el río es perdedor*
 - *Disminuye si hay derivaciones aguas arriba de esas zonas*
- Pueden aumentar o disminuir la recarga de ríos perdedores situados aguas abajo
 - *Dependiendo del régimen hidrológico de los ríos, de la operación de los embalses y de cómo se utilicen los recursos hidráulicos. En definitiva de cómo se haga circular el agua embalsada.*

OTRAS CONSIDERACIONES

- La integración de ambas fases del agua tienen que tener en cuenta su relación mutua y los cambios en la cantidad y calidad del agua que se pueden producir en ríos y acuíferos
- El uso conjunto puede utilizarse para reforzar los efectos positivos o para solucionar o paliar los negativos
- *Ejemplo: La recarga a un acuífero producida por las filtraciones de un embalse puede ser positiva. En vez de ser negativa si las aguas superficiales se utilizan de forma aislada*

TIPOS DE USO CONJUNTO

- **Por el uso del almacenamiento**
 - Recarga artificial
 - Uso conjunto alternante
 - *Sistemas Río-acuífero*
 - *Otros*

USO CONJUNTO ALTERNANTE

USO CONJUNTO ALTERNANTE

- Parte de la demanda se satisface solo con aguas superficiales, otra con aguas subterráneas
- El resto de forma alternante
 - Más agua superficiales en años húmedos con más agua en ríos y embalses
 - Más aguas subterráneas en años más secos

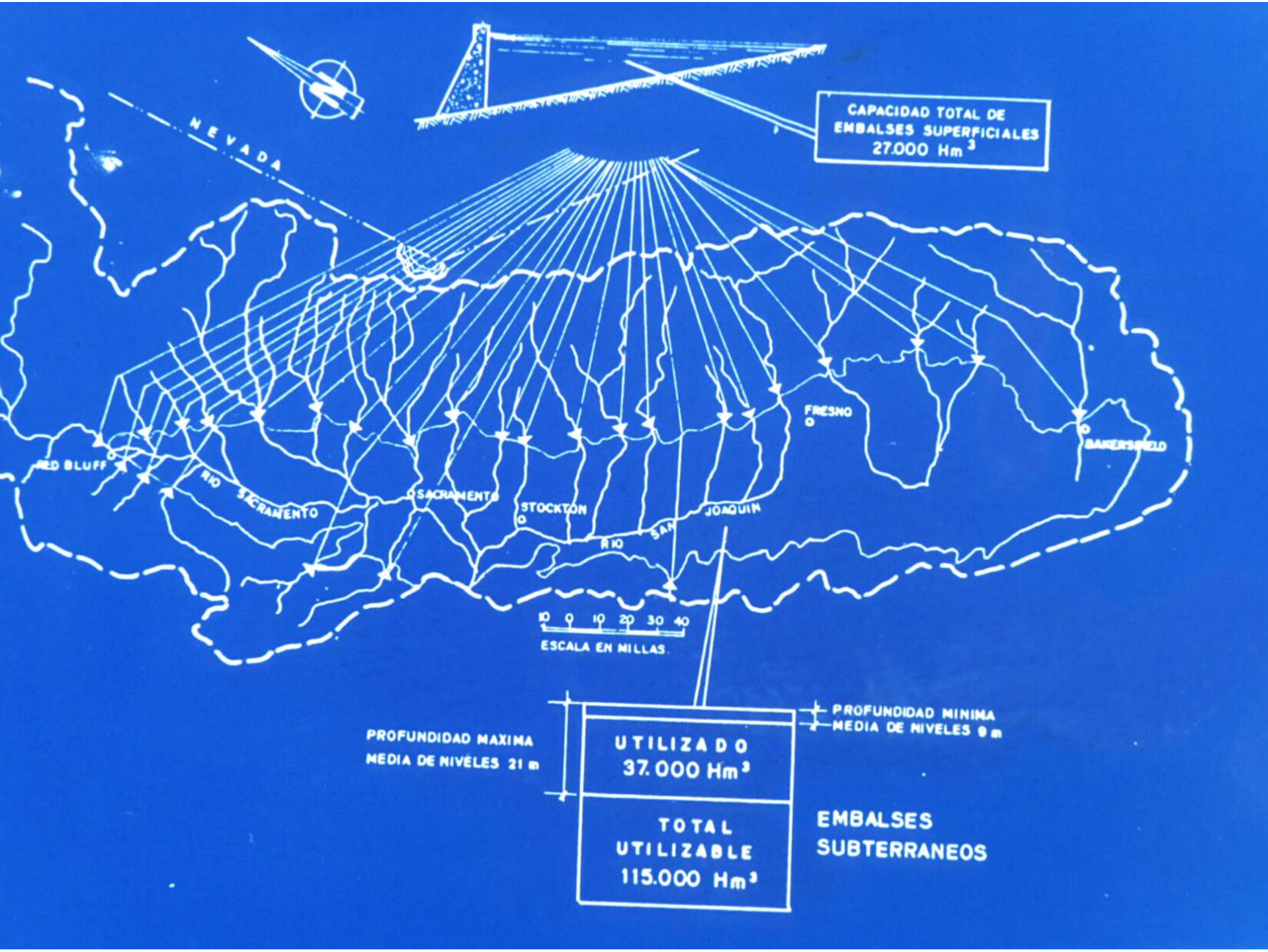
VENTAJAS

- Al aumentar los bombeos en años secos se pueden aumentar las disponibilidades
 - Aumento de garantía
- Usar más aguas superficiales los años húmedos hace disminuir los bombeos de acuíferos
 - Menores inversiones y costo del agua
 - Se aprovecha más agua superficial sin construir embalses
 - Aumenta el almacenamiento de los acuíferos o disminuye la sobreexplotación
- **AMPLIACIÓN**
 - Se pueden aumentar los recursos de agua del sistema
 - Sin nuevos embalses
 - Sin recarga artificial

- El almacenamiento del acuífero se utiliza con la diferencia de volumen de agua con niveles altos al final de un periodo húmedo, hasta la que tiene con los niveles más bajos después de un periodo húmedo
 - Alternativa a considerar para ampliar sistemas o contrarrestar efectos negativos del cambio climático
 - Puede requerir construir o ampliar algunas conexiones u obras menores

Propuesta inicial de uso conjunto alternante en el Valle Central de California



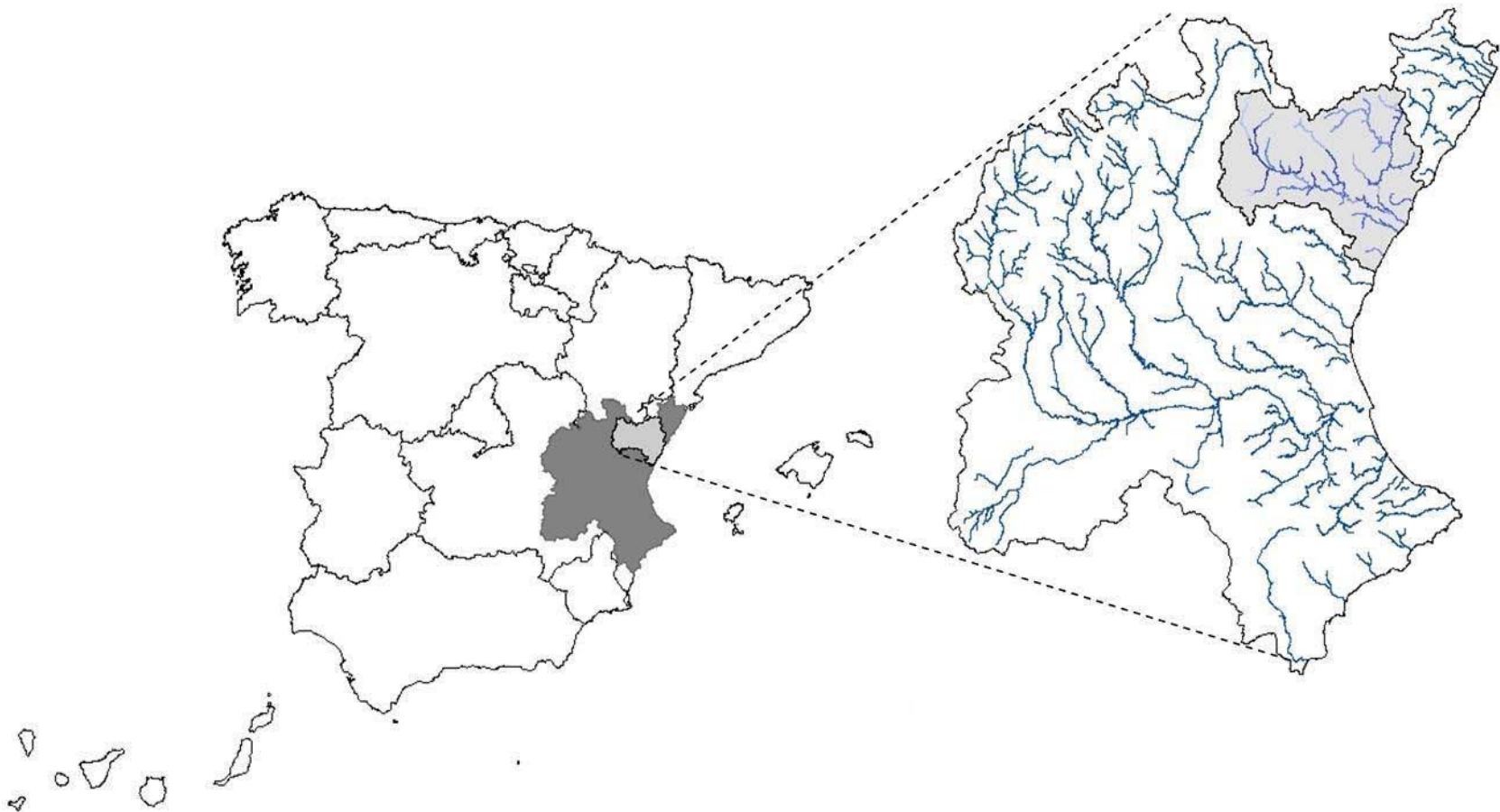


VALLE CENTRAL DE CALIFORNIA

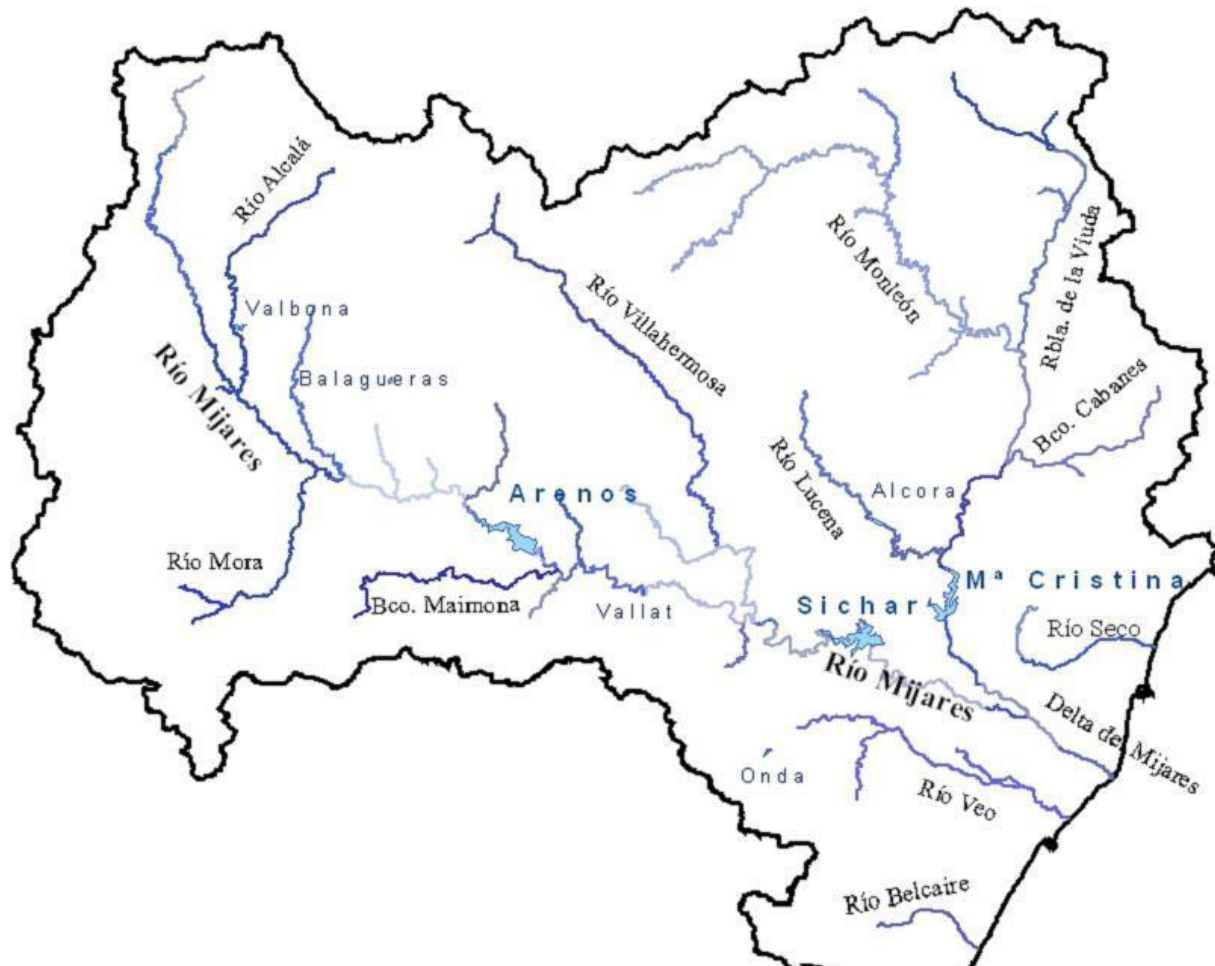
Plan de aguas de 1957

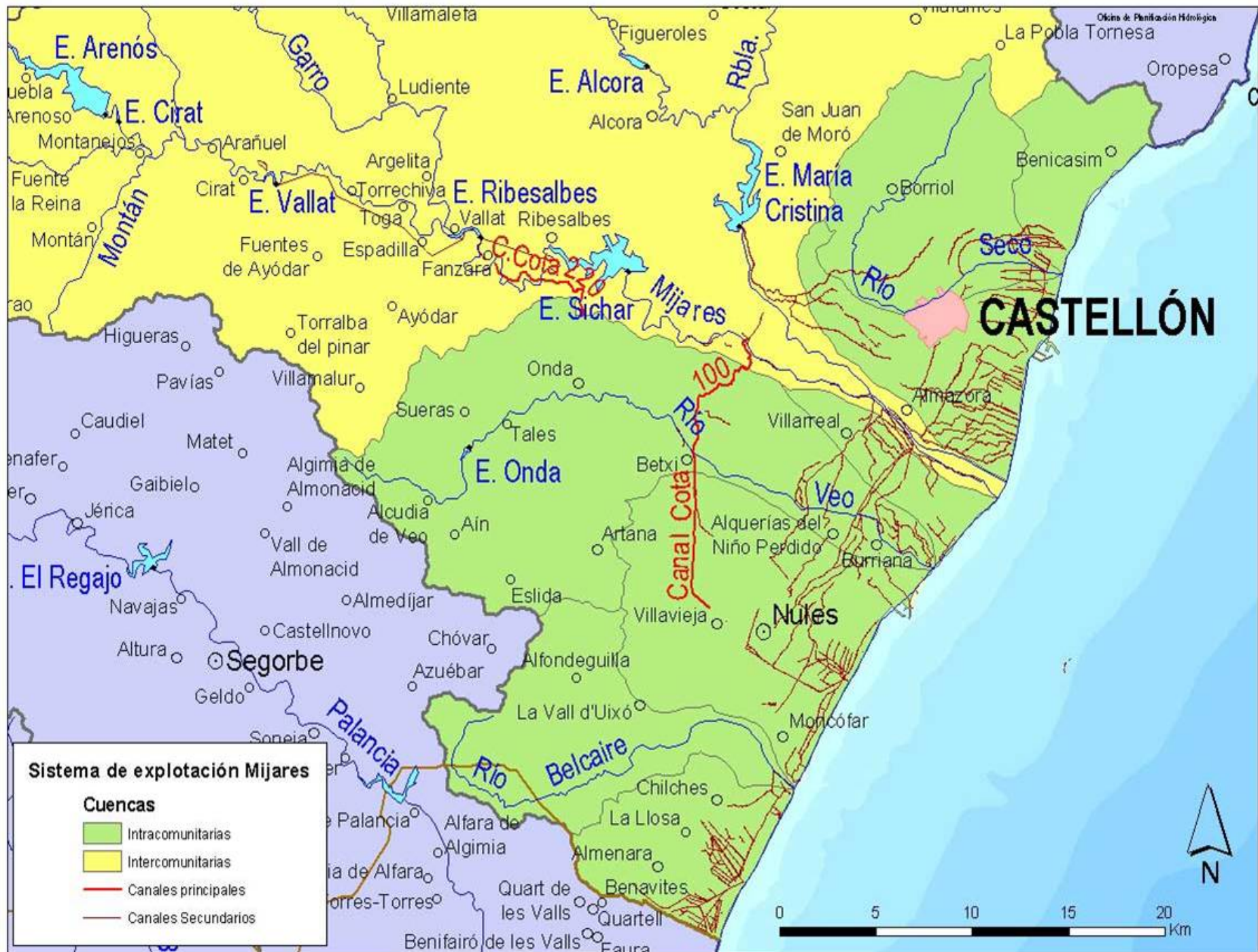
- Almacenamiento
 - Superficial 24.000 Mm³
 - Subterráneo 37.000 Mm³ se puede llegar hasta 110.000 Mm³ física y económicamente
- No se implementó
- En su lugar se han ido desarrollando muchos proyectos aislados de recarga artificial
 - Por razones administrativo-legales ?
- In “lieu recharge”
 - Uso directo de agua superficial disponible en algún momento, dejando de bombear del acuífero esa cantidad
 - Idea complementaria con la de bombear más en sequía para hacer como el UCA

Río Mijares-Plana de Castellón



Embalses Arenós, Schar y M^a Cristina Almacenamiento superficial 180 Mm³ Almacenamiento subterráneo 700 Mm³





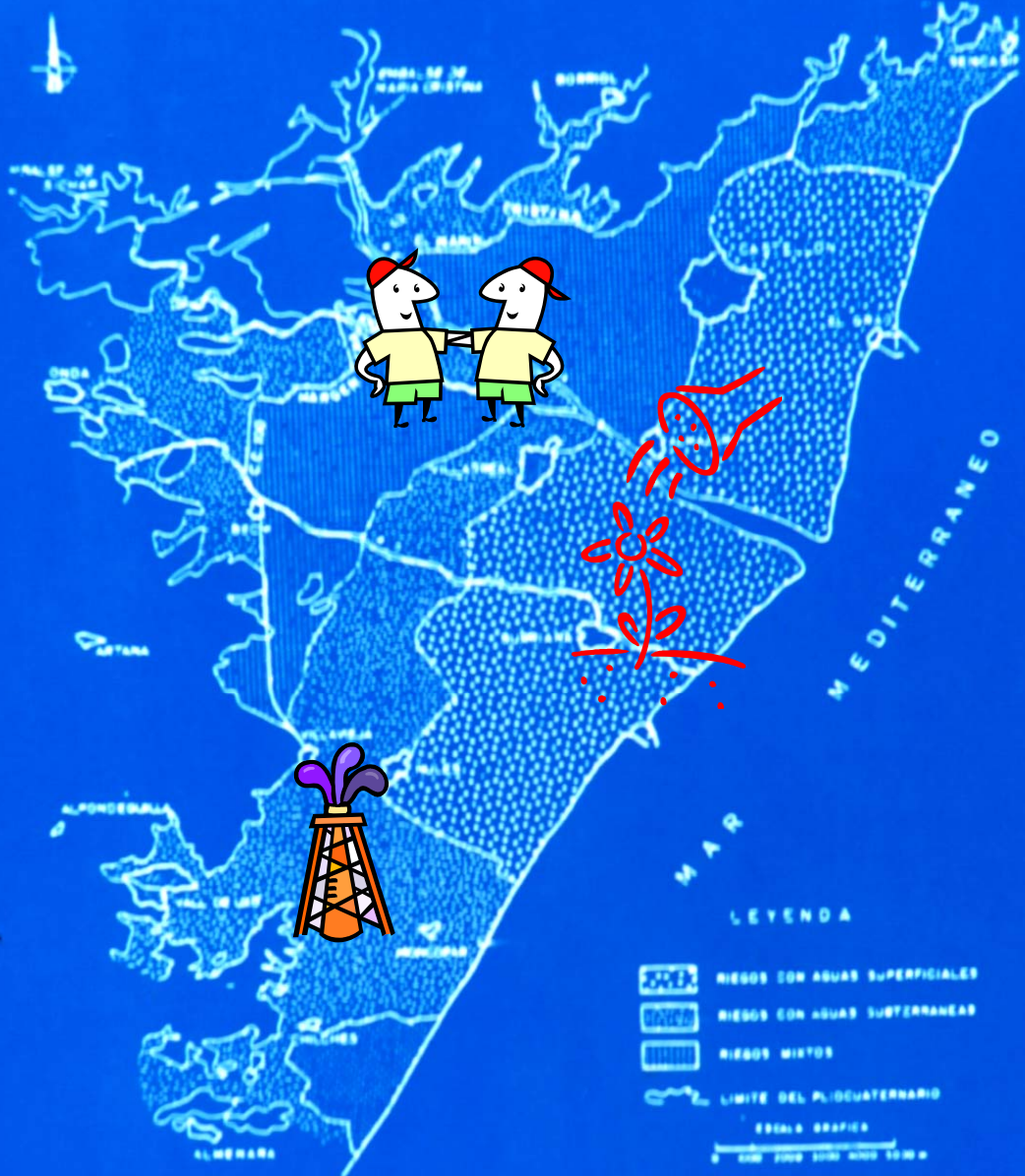
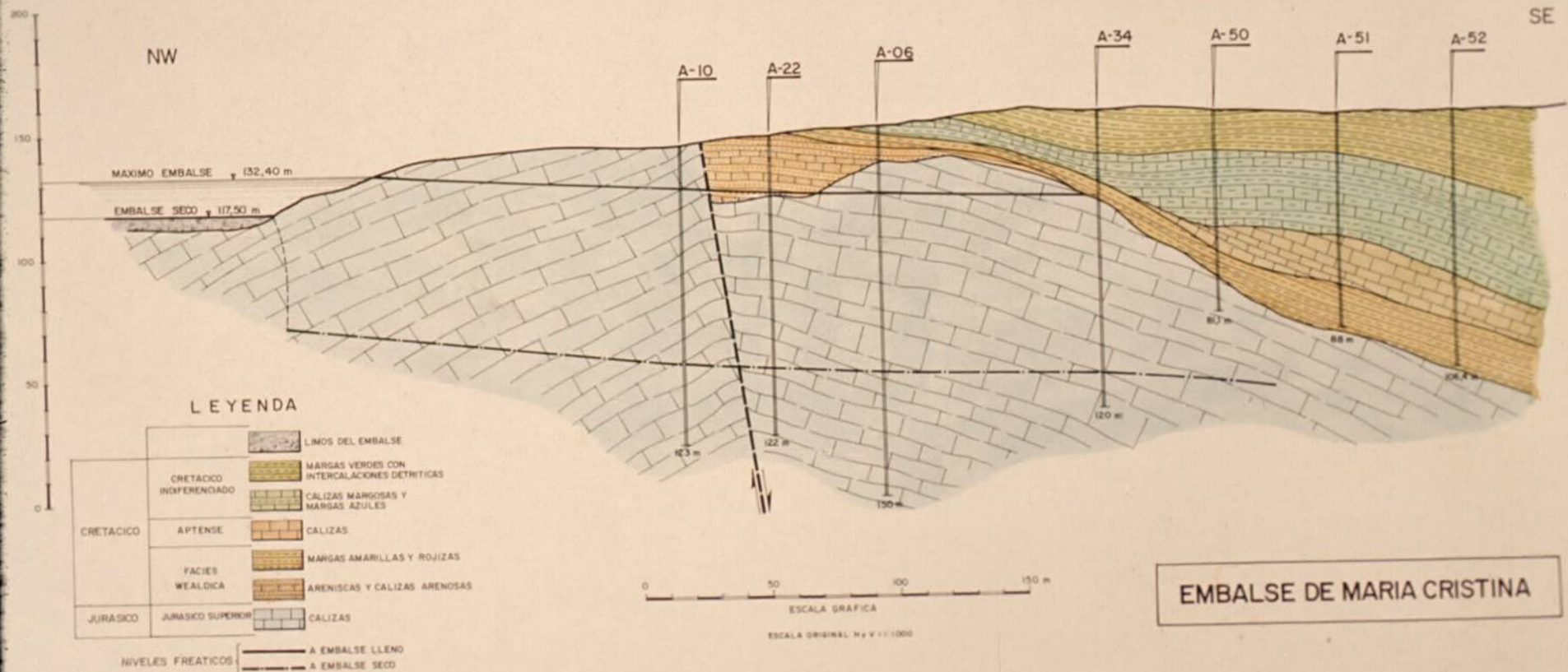


FIG. Nº 7
 ESQUEMA DE UTILIZACION CONJUNTA.
 PLANA DE CASTELLON



EVOLUCIÓN de EMBALSE VACIO a LLENO

CORTE C-C'



PIEZOMETRIC AND RESERVOIR OSCILATION

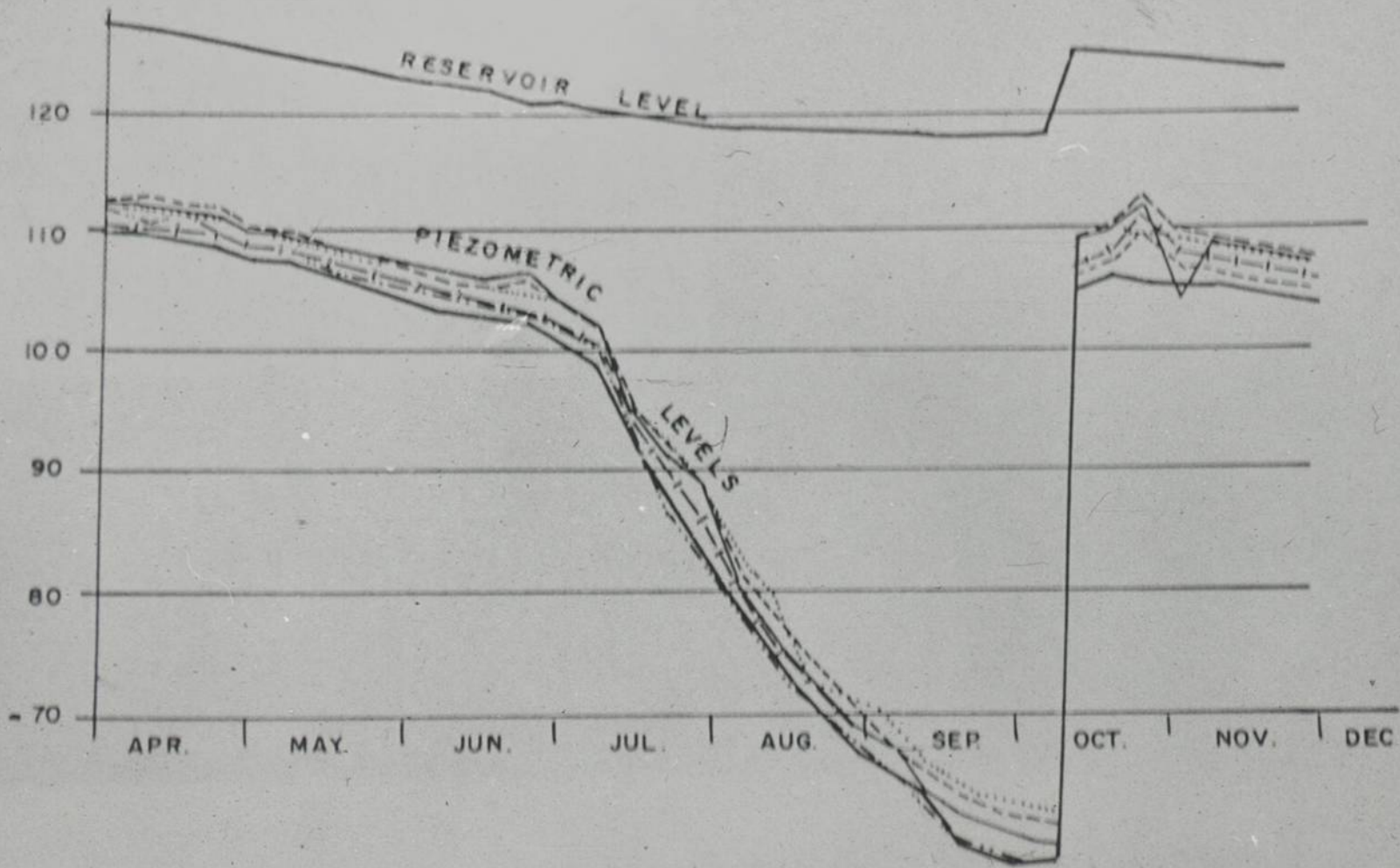


FIG. 2 - PIEZOMETRIC OSCILATION MARIA CRISTINA DAM.







Fig. 3. Malla del modelo

BALANCES

- **Almacenamiento subterráneo aumenta en años húmedos**
 - Más recarga lluvia
 - Media 40-50 Mm³/año
 - Más pérdidas de embalses
 - Media 40-50 Mm³/año
 - Mayor infiltración del río
 - Media 40-50 Mm³/año
 - Menos bombeos
 - Variación 150-200 Mm³/año
- **Disminuye en años secos por razones opuestas**
- **Almacenamiento subterráneo 700 Mm³/año**
- **Si aumenta área regada con UCA**
 - Mejora calidad SO₄ y NO₃. También con recarga artificial
(Al aumentar los niveles los excedentes salen subterráneamente al mar con sus sales disueltas y mejora el balance de nitratos y sulfatos)
 - La disponibilidad apenas mejora añadiendo recarga artificial

PLANA DE CASTELLON

Evolución del volumen total





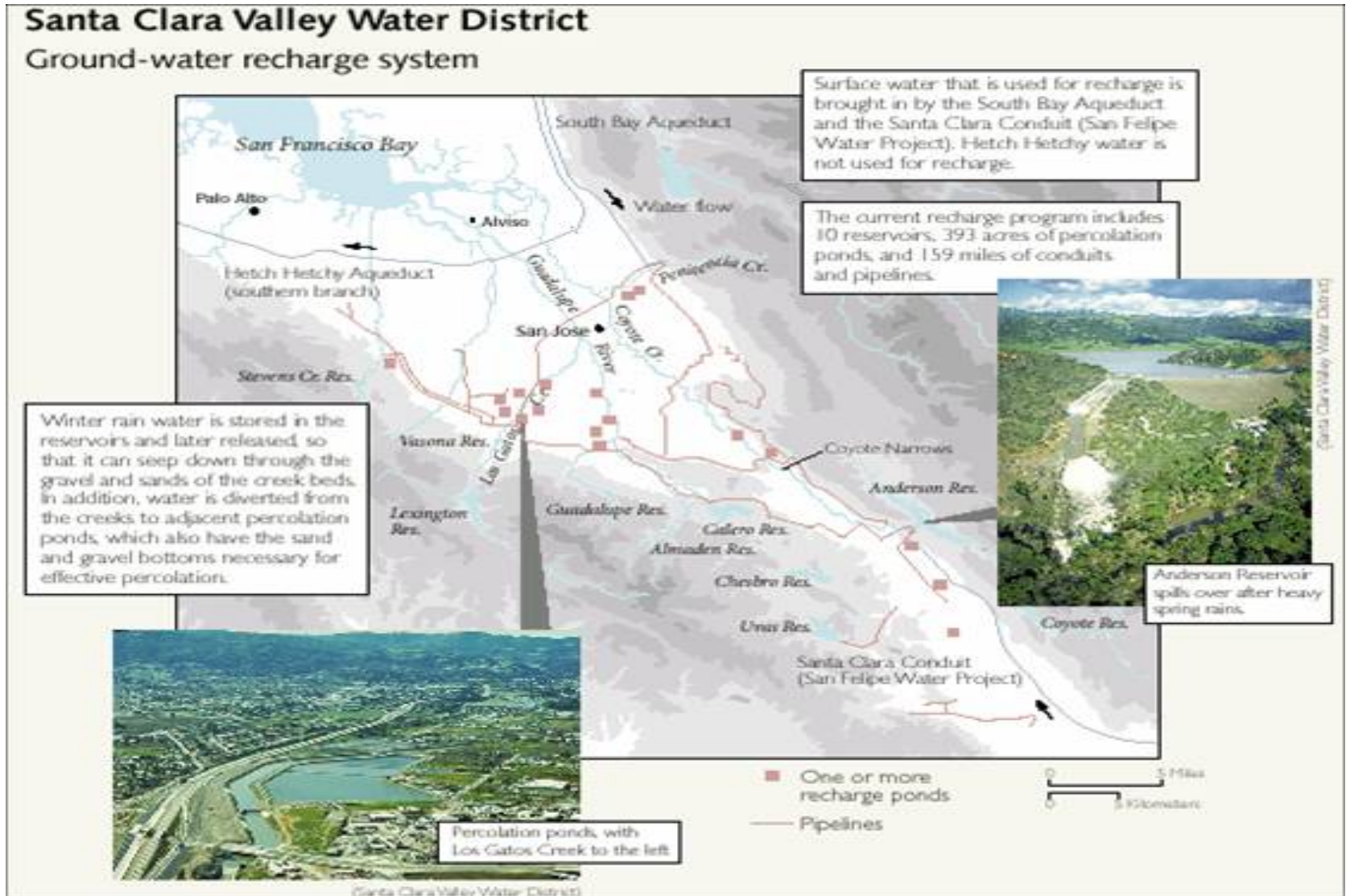
OTROS

- Plana Valencia. Canal Júcar-Turía.
- Cuenca Duero
- Madrid
- Salt Lake City.
- Muchos otros

RECARGA ARTIFICIAL



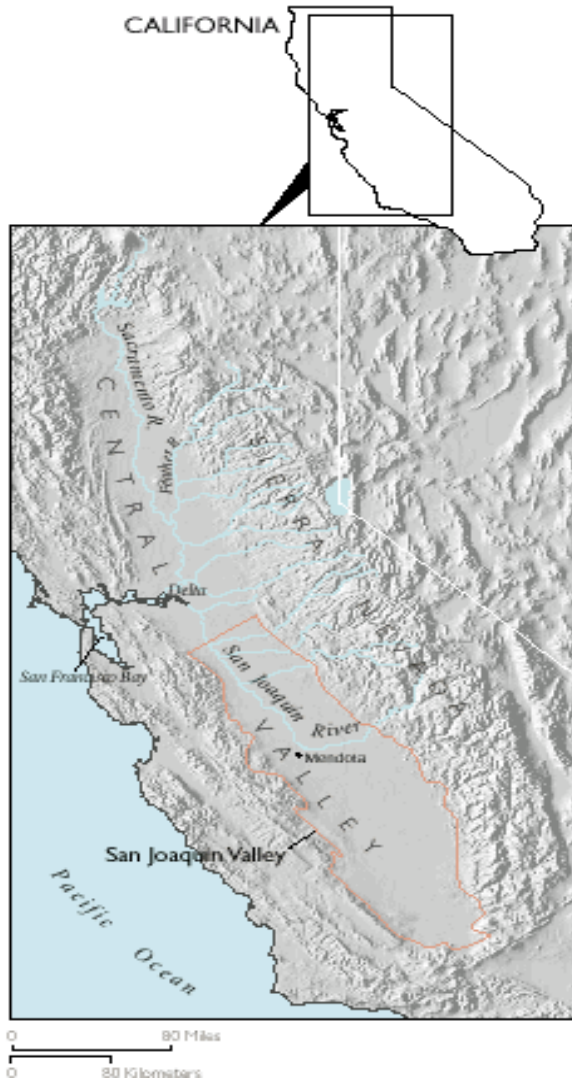
RECARGA ARTIFICIAL VALLE DE SANTA CLARA





VALLE DE SAN JOAQUIN

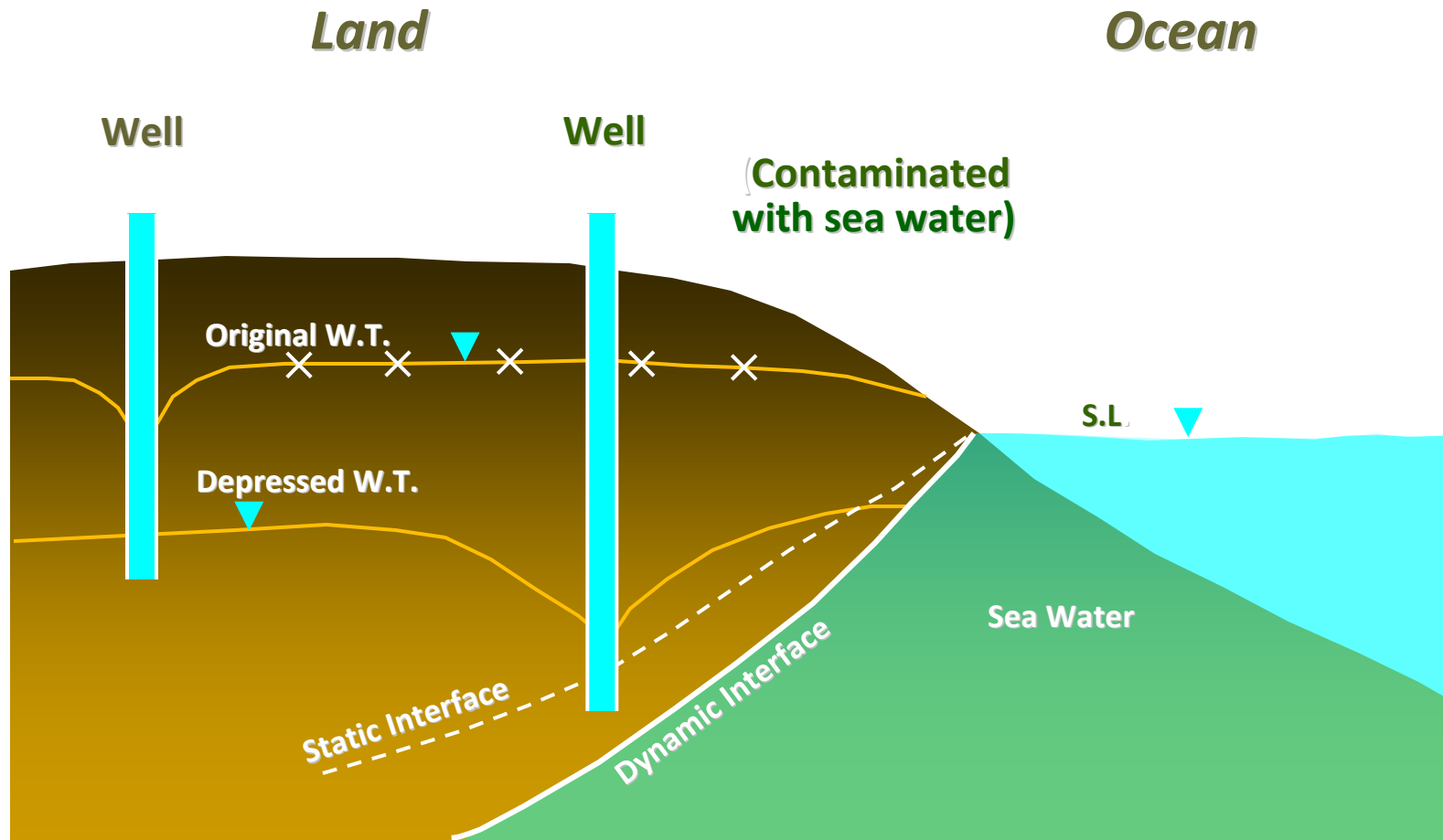
14.000 Km² con asentamientos > 30cm.
Máximo 9m



Tipos de uso conjunto

Process of Sea Water Intrusion

(Unconfined Aquifer)



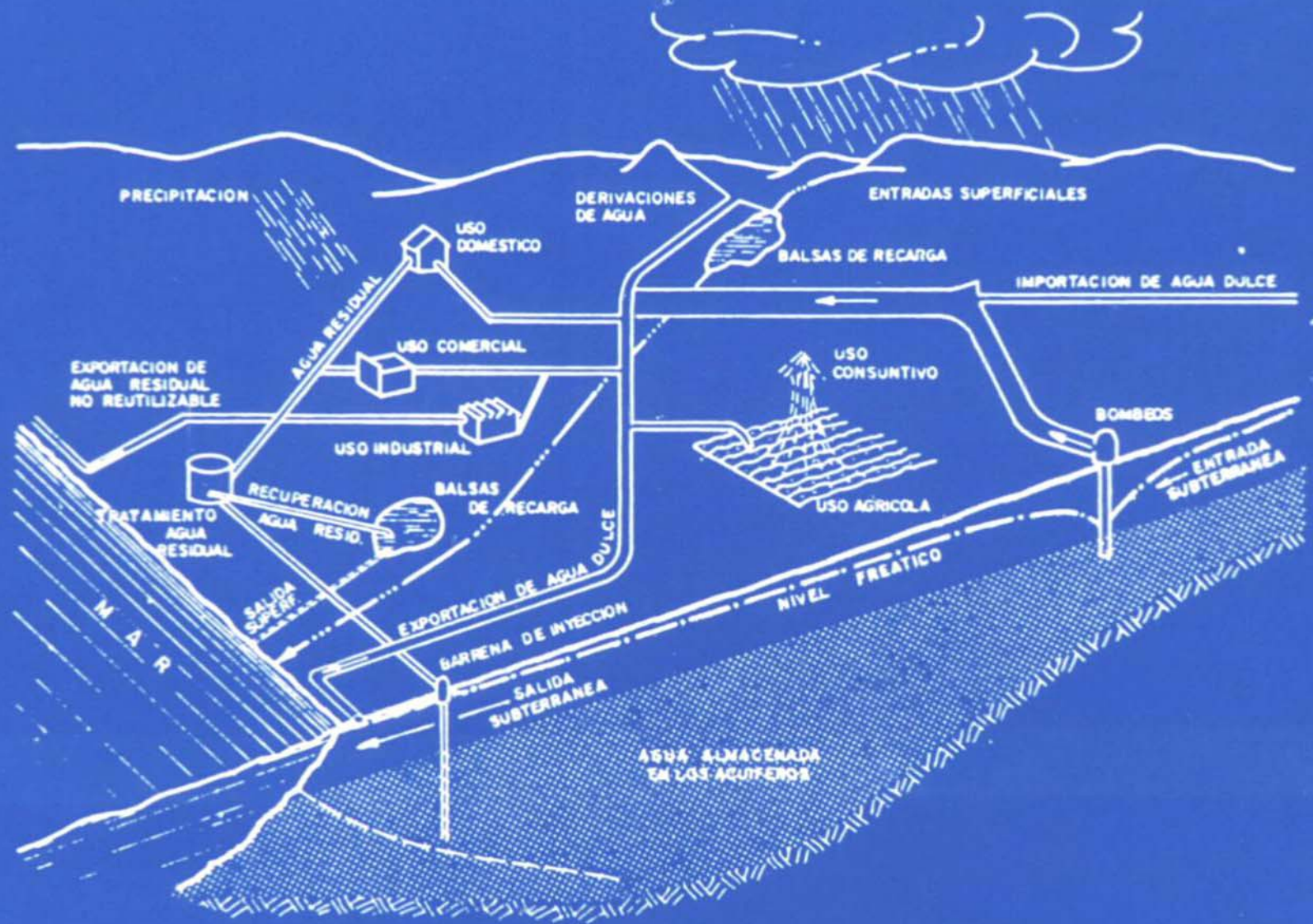


FIG. 3

Casos de USO CONJUNTO

Con recarga artificial

- **ISRAEL**
 - National Water Carrier
 - Agua de avenida
 - Proyecto Dan
- **Arizona**
 - Salt river proyect
 - Central Arizona Canal
- **Holanda**
- **España**
 - Llobregat Recarga superficie + ARS
- **U.K**
 - Río-Acuífero + ASR
- **Otros**
 - India

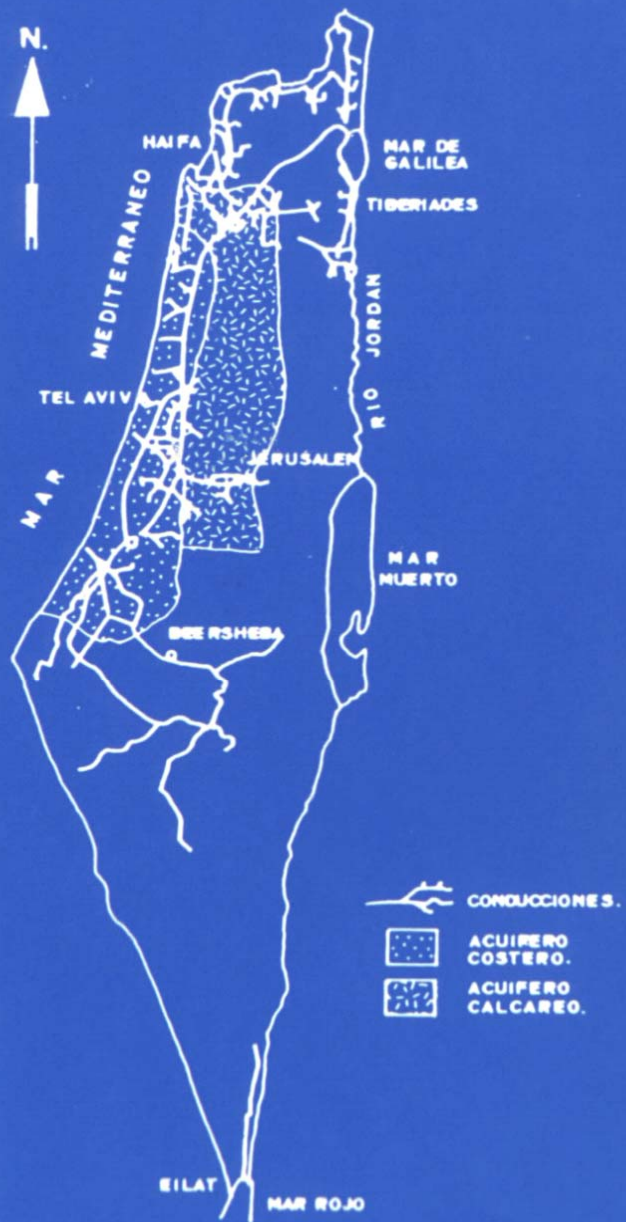


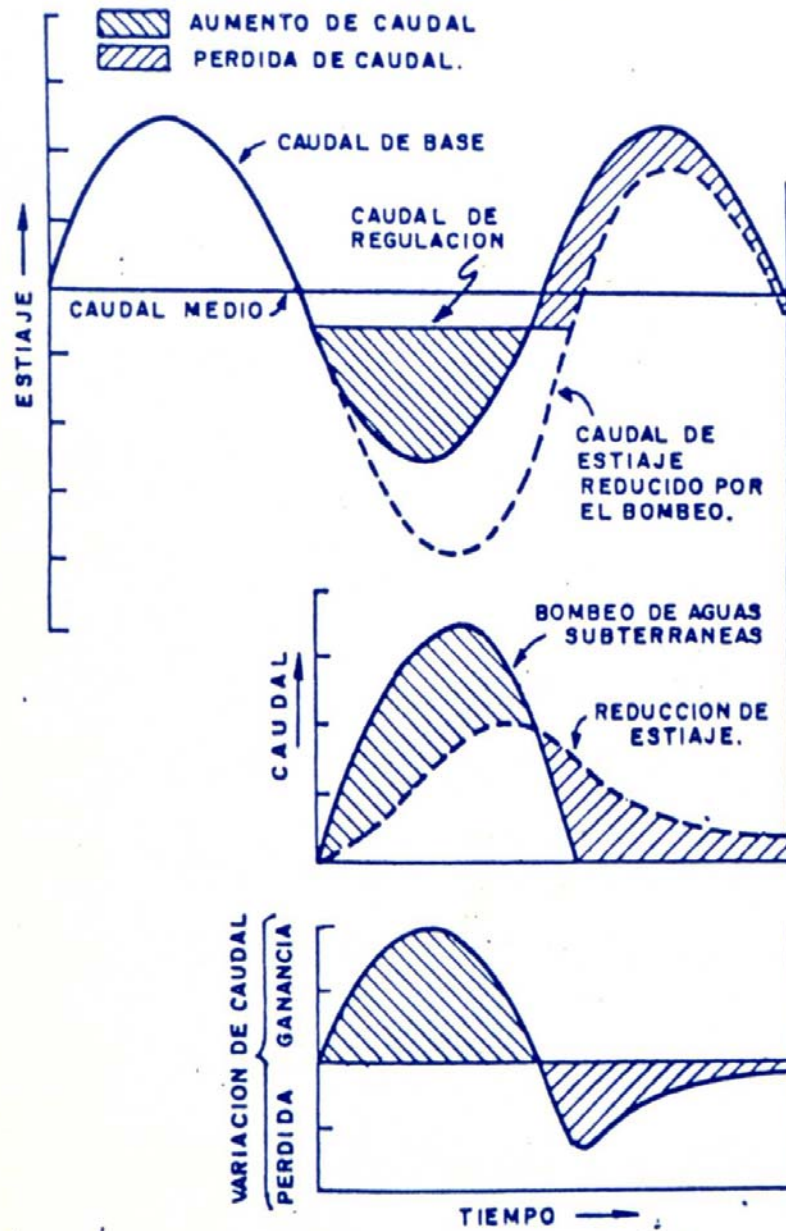
Fig. 7. El sistema de recursos hidráulicos de Israel (Modificado de Wiener, 1980)

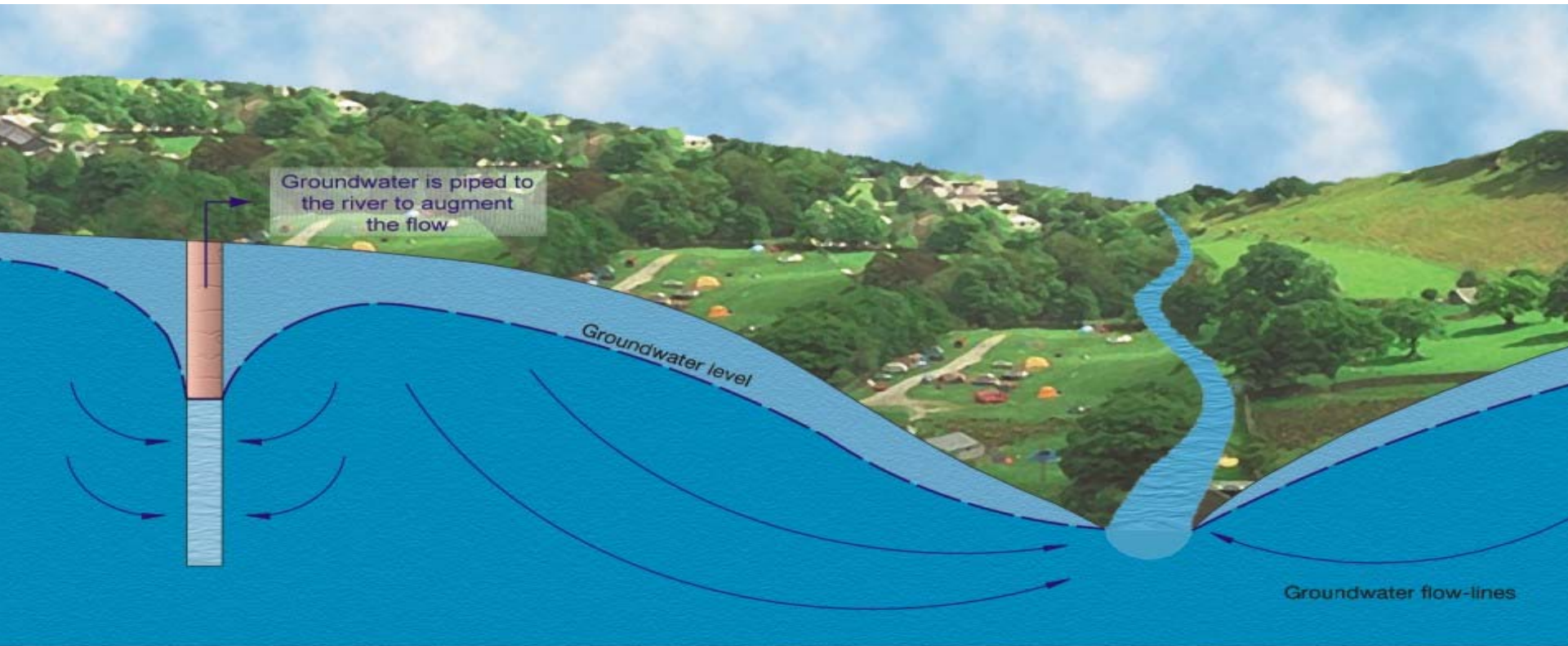


SISTEMAS RÍO ACUÍFERO

SISTEMAS RÍO ACUÍFERO

- Reacción rápida
 - Acuíferos aluviales
 - Dimensiones pequeñas $\alpha > 0.0001$
- Aumento de disponibilidades
 - Retraso en la disminución de caudales del río por almacenamiento en el acuífero





REALIZACIONES

- **Inglaterra y Gales**

- **River augmentation**

- Creta

- Areniscas

- Calizas Jurásicas

- **USA**

- Aluviones Río South Platte

- Río Arkansas s.d.f

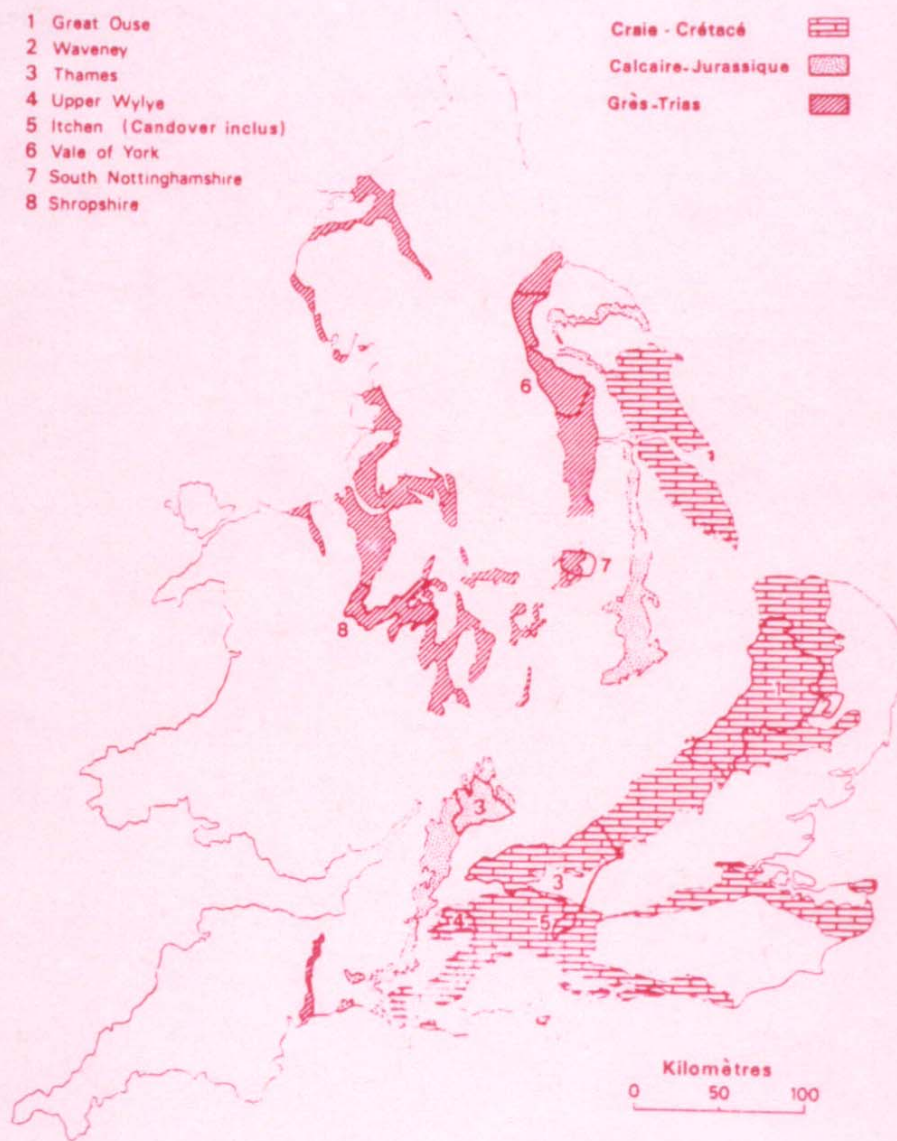
- **ESPAÑA**

- Pozos sequia aluviales Segura

- Plana de Valencia

- 1 Great Ouse
- 2 Waveney
- 3 Thames
- 4 Upper Wylve
- 5 Itchen (Candover inclus)
- 6 Vale of York
- 7 South Nottinghamshire
- 8 Shropshire

- | | |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Craie - Crétacé |  |
| Calcaire-Jurassique |  |
| Grès-Trias |  |



PRINCIPALES ACUIFEROS DE INGLATERRA Y GALES



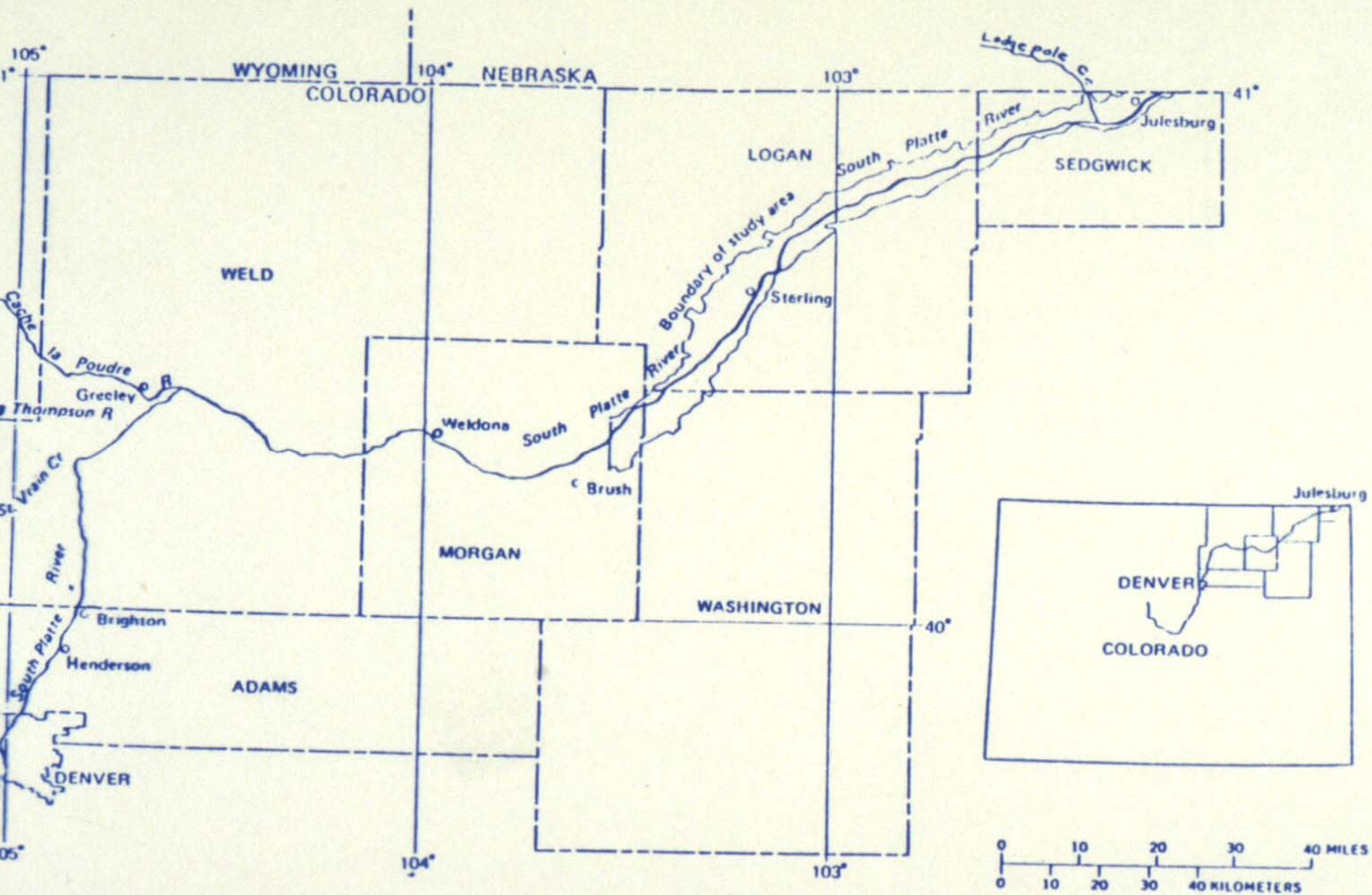
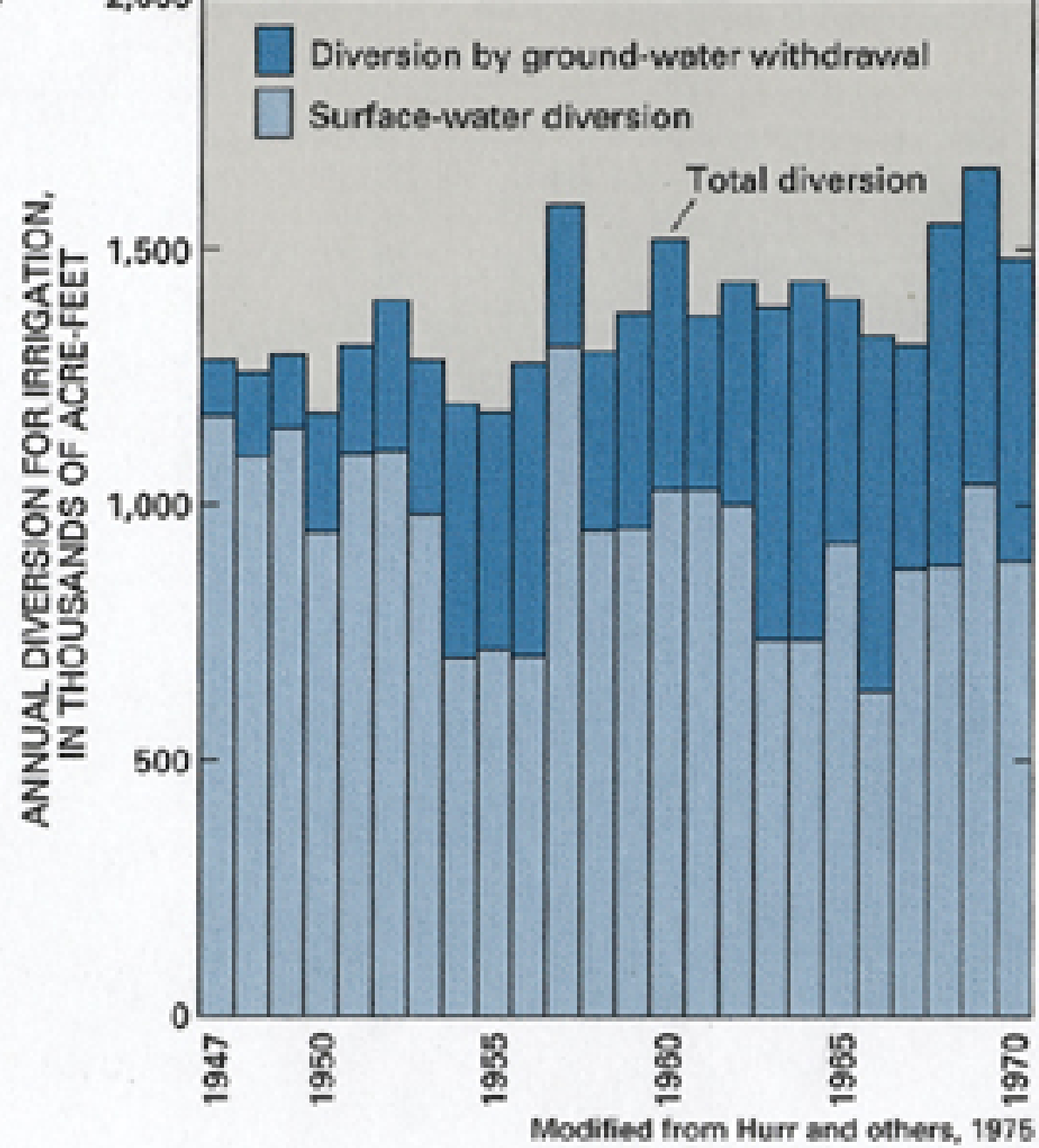


Figure 10. Location of the study area (Hurr, et. al. 1972).

Figure 30. Ground-water withdrawal differs from year to year in response to varying irrigation requirements and availability of surface water.



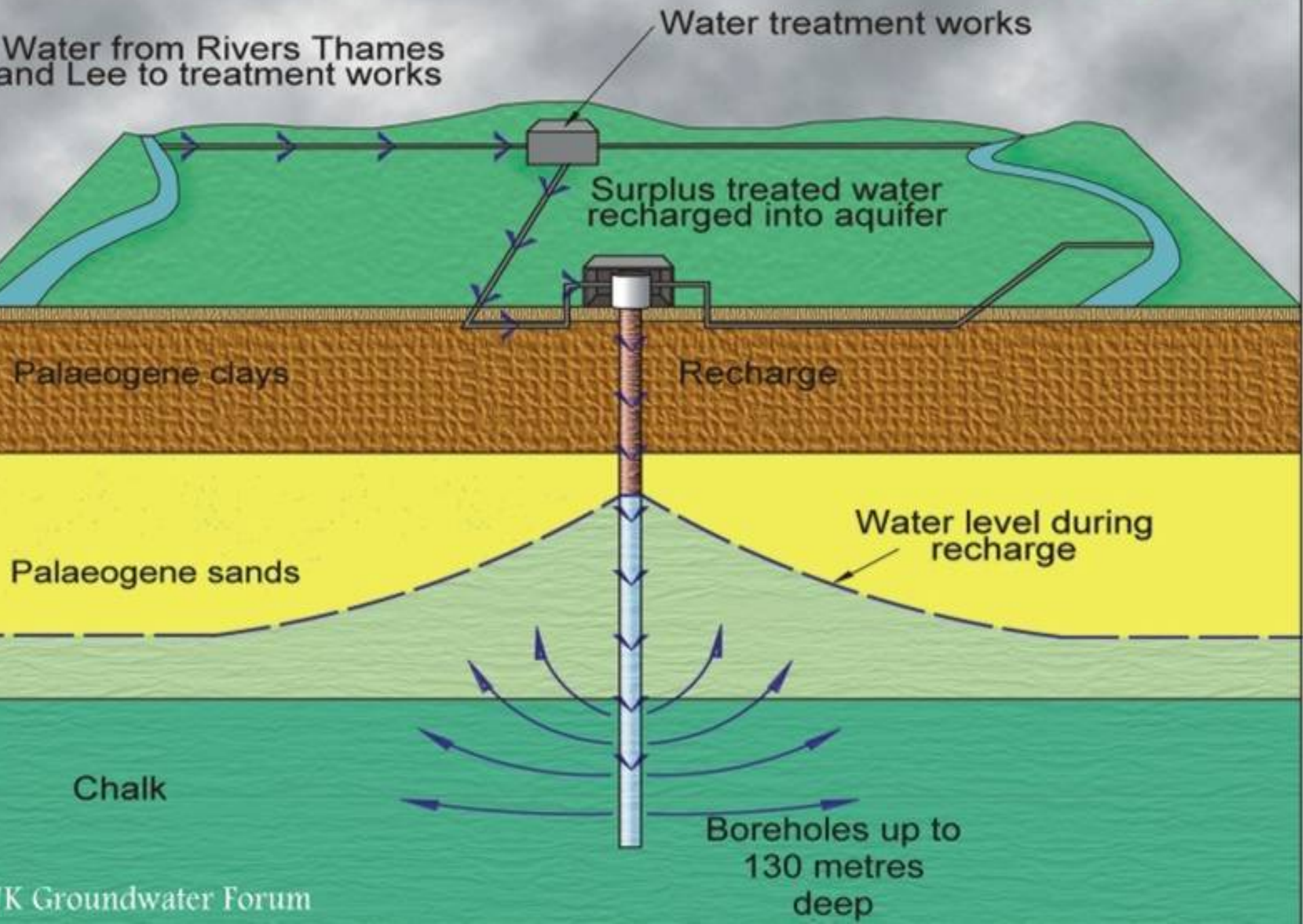
Modified from Hurr and others, 1975

ASR

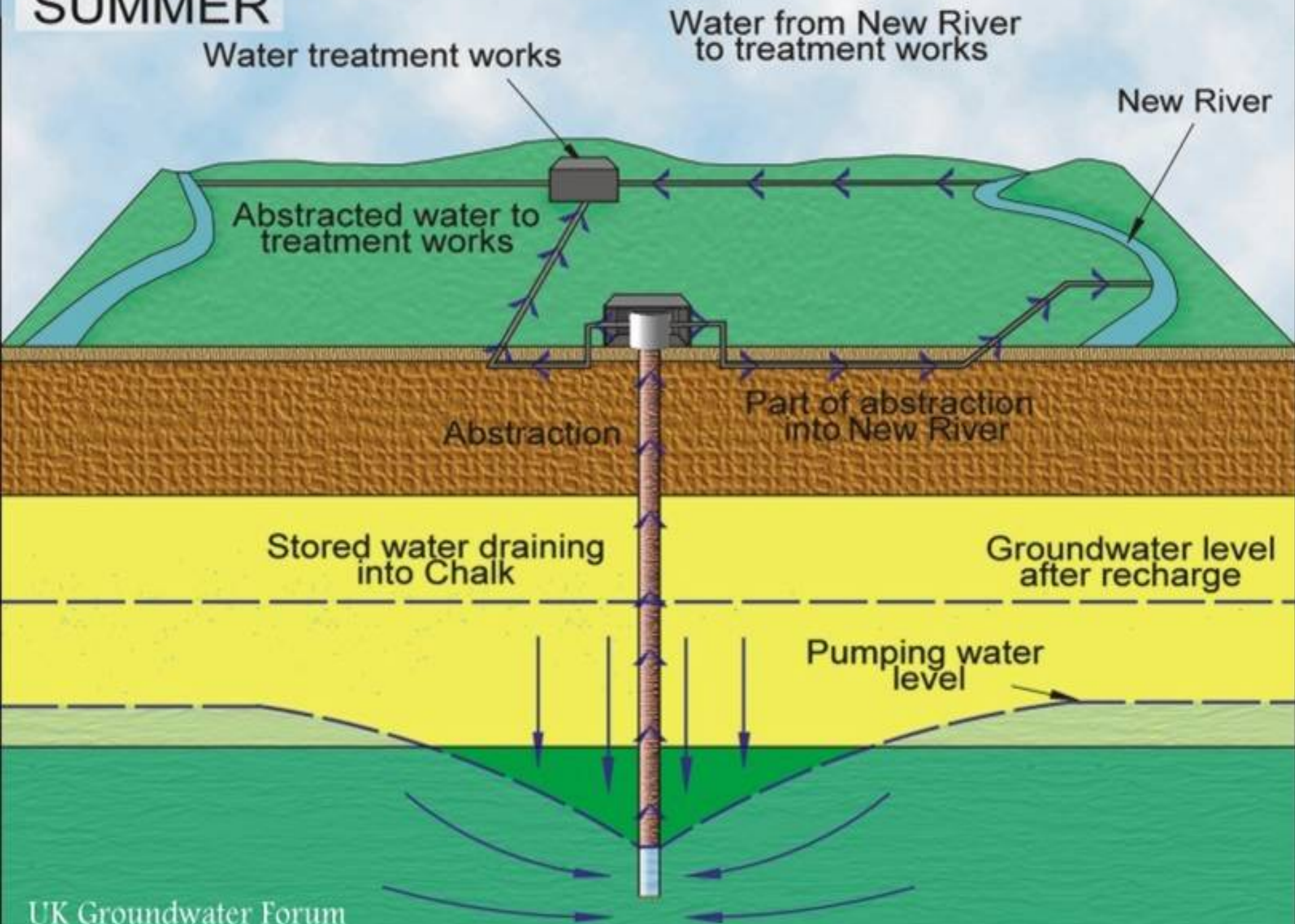
Aquifer Storage & Retrieval

- Recarga de agua tratada y depurada para almacenarla temporalmente en un acuífero
- Cuando el agua del acuífero es de calidad deficiente la desplaza.
 - Se recupera un porcentaje de la inyectada
- Muy importante en Florida donde se inició ??
 - No tengo referencias si las realizaciones de Barcelona son anteriores. Al menos son de fechas muy próximas

WINTER



SUMMER



PROBLEMAS de SALINIZACIÓN Y DRENAJE

Riegos del Indo

RIEGOS EN ZONAS ÁRIDAS

- Con utilizaciones de dosis de riego altas y pérdidas en cauces, canales y acequias no revestidas se pueden producir elevaciones de niveles freáticos que ocasionan
 - Problemas de drenaje
 - Salinización de suelos y agua por la concentración que produce la EVT
- La explotación de las aguas subterráneas puede aliviarlos. De paso se pueden conseguir ventajas adicionales si se usan conjuntamente con las superficiales
- En otros casos los excedentes de riego han transformado la relación río acuífero pasando de ser perdedores a ganadores o aumentando los caudales mínimos en época invernal

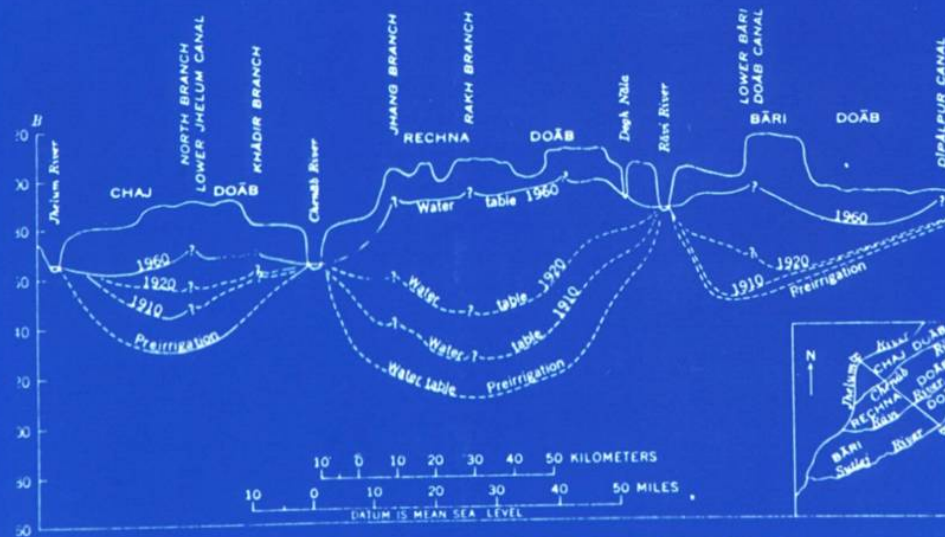


FIGURE 7.—Water-table profiles along line B-B', Chaj, Rechna, and Bari Doabs.





REGULACIÓN de MANANTIALES

OBJETIVOS

- Reducir la variabilidad de los manantiales cársticos para aumentar las disponibilidades
- La influencia de los pozos alejados es más lenta pero con frecuencia las condiciones topográficas impiden colocar los pozos para que no resulten demasiado profundos o haya que bombear hasta alturas grandes
- Los pozos cerca del manantial afectan de forma inmediata sus caudales, pero:
 - **Cerca del manantial suele haber canales o conducciones con que pueden conducir los caudales bombeados**
 - **Con frecuencia han proporcionado caudales muy grandes**
 - **(850+350)l/s. en Los Santos**
 - **2,350 l/s. en 5 pozos en Deifontes (Granada)**
 - **(400+400) en el Algar, Marina Baja (Alicante)**

Embalse subterráneo

- El acuífero actúa como un embalse subterráneo
 - Más de 40 Mm³ en Los Santos
 - 40 Mm³ en el Algar mayor que los dos embalses de superficie de la cuenca

