



**Seminario Internacional DIAGNÓSTICO Y
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA
AGRICULTURA DE REGADÍO MEDITERRÁNEA
Zaragoza (España), 20-21 Octubre 2010**



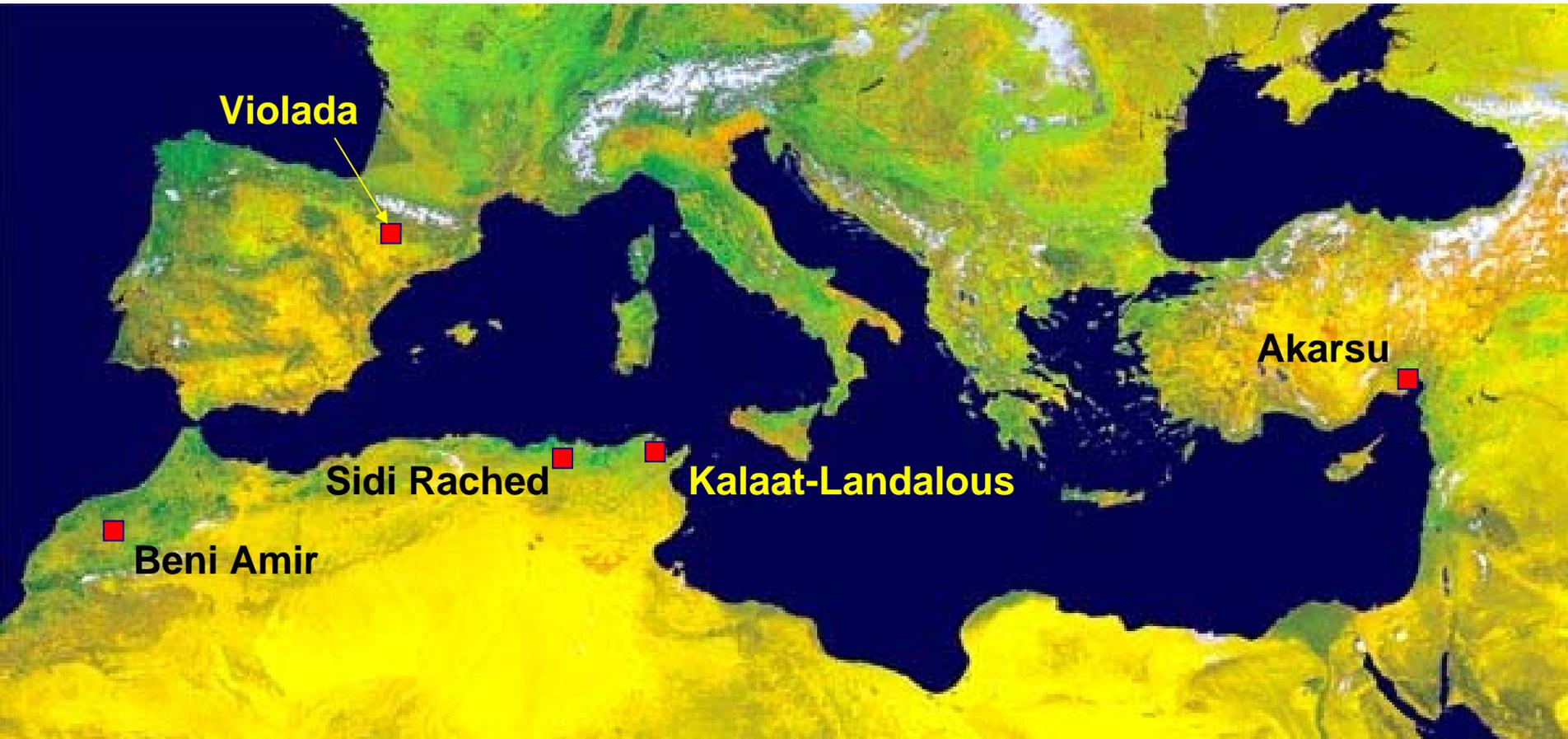
Balances de masas de agua, sales y nitrógeno

Daniel Isidoro
Unidad de Suelos y Riegos
(Unidad asociada EEAD-CSIC)
CITA-DGA
E-mail: disidoro@aragon.es



- ❑ Caracterización de las cuencas de estudio
- ❑ Metodología de los balances
 - Determinación de las entradas de agua y sales
 - ⊗ Precipitación
 - ⊗ Riego
 - Determinación de las salidas de agua y sales
 - ⊗ Cálculo de la ET
 - ⊗ Aforo de las salidas de drenaje
- ❑ Cálculo de los índices de calidad del riego
- ❑ Cálculo de las masas exportadas
- ❑ Índices de sales exportadas

★ Seguimiento de cuencas regadas mediterráneas





	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât- Landalous (Túnez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
Años	2006-08	2007-09	2006-08	2006-08	2006-08
Area (ha)					
Cuenca	10695		3115	15640	19637
Regable	9495	2600	2905	10970	4013
Regada	9495	2037	880 (2020) ¹	3786	3257 (3786) ²
Localización					
Longitud	35°34' E	6°40' W	10°07'E	2°56'	00°35' W
Latitud	36°54' N	32°20' N	37°04'N	36°36'	42°01' N
Altitud (msnm)	10-21	420-450	0 – 5	50-80	345-414
Estación de riego					
	Abr-Sep	Mar-Nov	Mar-Sep		Abr-Sep

¹ Excluido 2006 en que el cereal de invierno no se regó (P=516 mm)

² Excluido 2008 en que comenzó la transformación del sistema de riego



	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât- Landalous (Túnez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
Clima (madias anuales)					
P (mm)	642	256	497	631	438
T (°C)	18.9	19.0	18.3	18.6	13.8
ET _o (mm)	1117	1383	1343	1168	1116
Métodos de riego (%)					
Superficie	74	100	28	90	95
Aspersión	6	0	52	4	4
Goteo	20	0	20	6	1



	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât- Landalous (Túnez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
Cultivos (% superficie regable, media de los años de estudio)					
Alfalfa	-	-	1	-	36
Cereal	27	40	39	50	33
Maíz	35	-	-	-	6
Frutales	27	14	3	12	2
Hortalizas	0	-	19	22	1
Forrajeras	-	34	38	-	3
Algodón	8	-	-	-	-
Otros	3	5	-	3	1
No Cultivado	-	7	-	13	19 (6) ¹

¹ Excluido 2008, que tiene una superficie sin cultivo mayor debido a las obras de transformación



❑ Características de los suelos

	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât- Landalous (Túnez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
Suelos (textura, CC y PM, % tipos de suelos en caso de ser muy diferentes)					
Textura dominante	Arcillosa	Arcillo-Limosa	Franco-arenosa	Arcillosa (49-77%)	Limosa
Drenaje sub-superficial	No	No	Sí	Sí	Sí
Sales en el suelo-subsuelo	No (AS: ~3.5 dS/m, >30 dS/m)	2-4 dS/m (↑)	No	No	Yeso



□ Balance de agua

➤ Volumen de control

➤ Entradas

⊗ Riego

⊗ Precipitación

⊗ Otras entradas

➤ Salidas

⊗ $ET_o \rightarrow ET_c = K_c \cdot ET_o \rightarrow ET_r = K_s \cdot ET_c$ (balances de agua en el suelo)

⊗ Drenaje (superficial Q , en Beni-Amir, subterráneo)

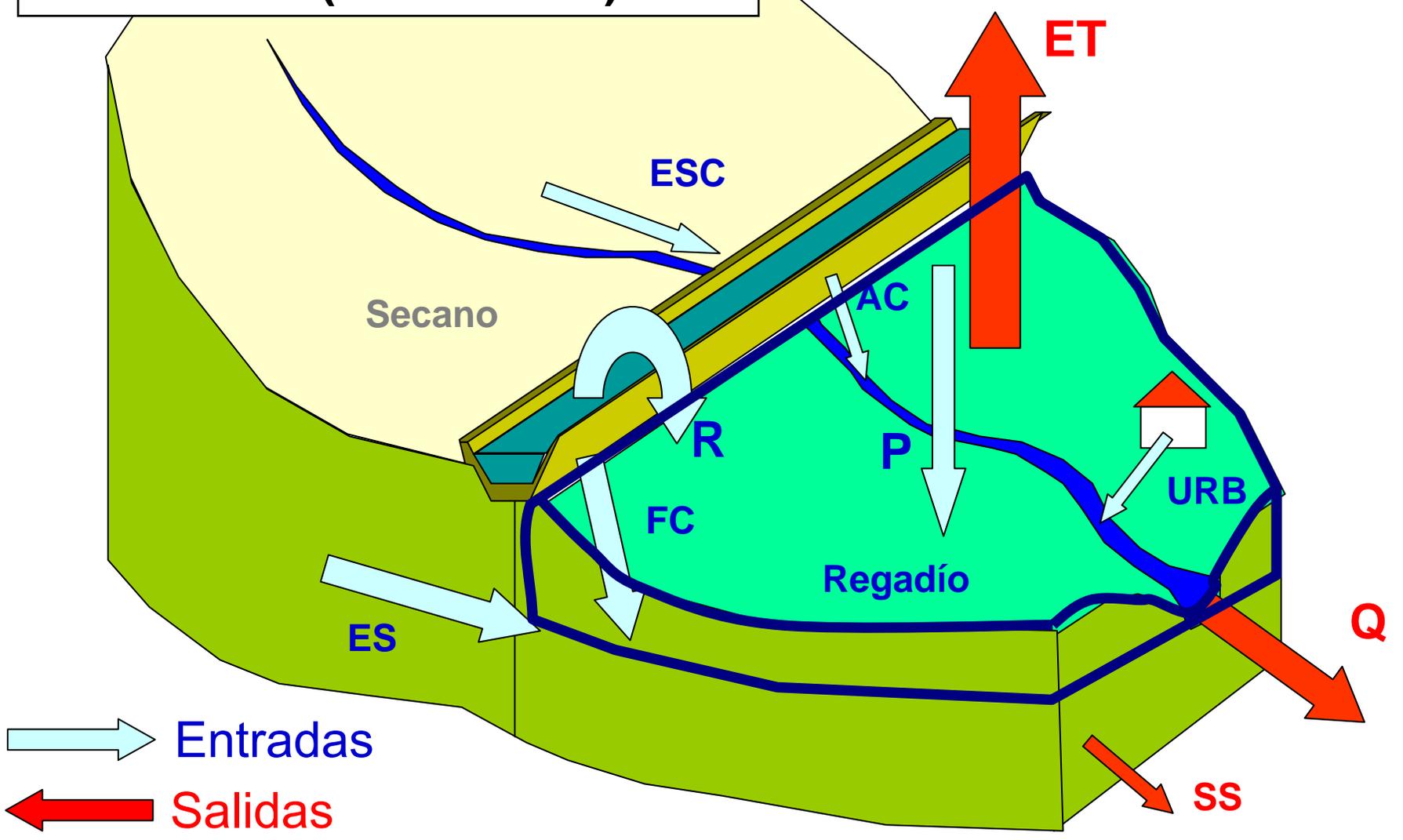
➤ Almacenamiento de agua en el suelo ΔW_s (y en el acuífero superficial Akarsu, Violada: ΔW_{ph})

Error = Entradas – Salidas - Almacenamiento

□ Volumen de control: volumen de suelo-subsuelo regado que se drena a través de la red de drenaje superficial (excepto en Beni Amir)



$$R + P + OE - (ET + Q + OS) = \Delta W$$

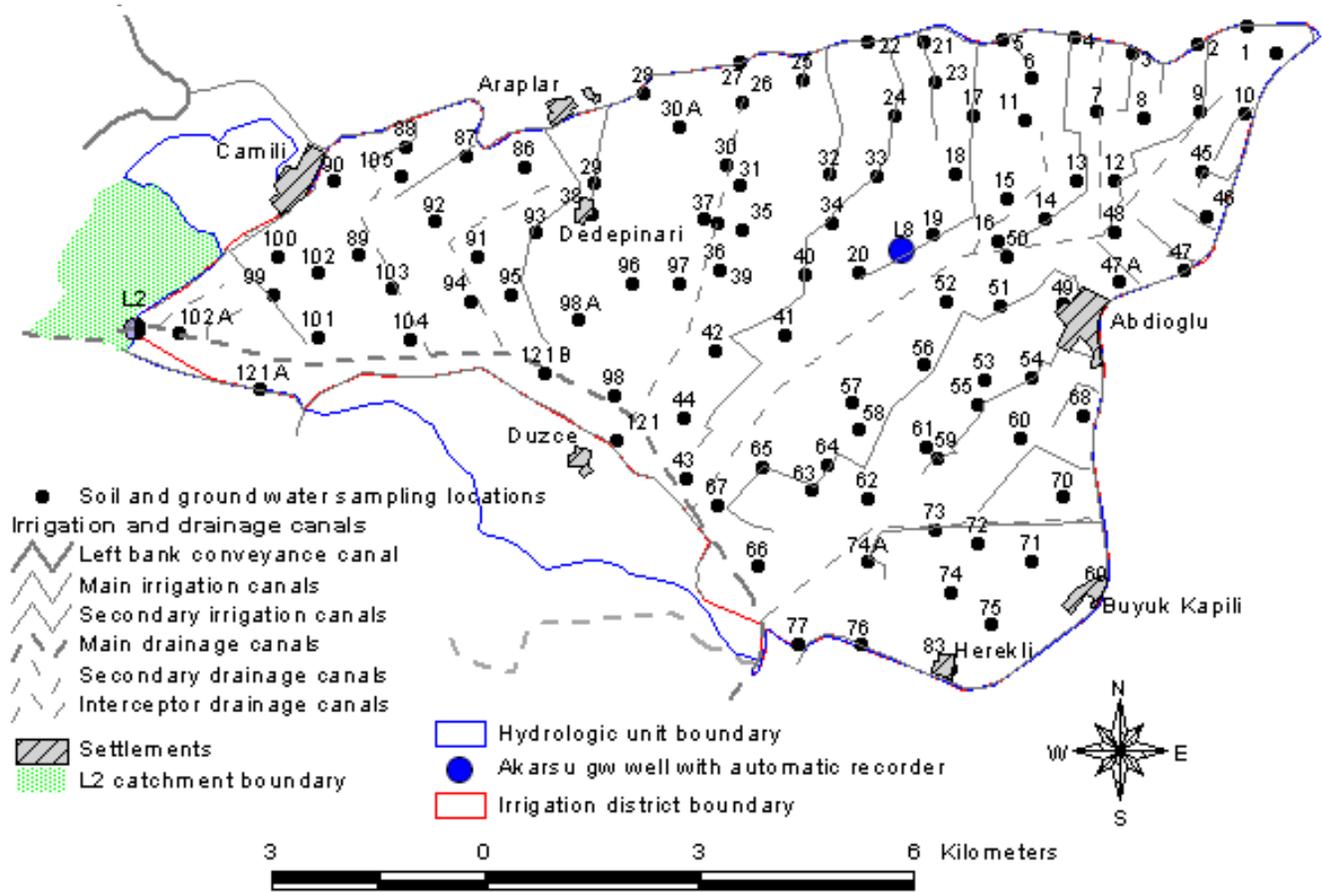


→ Entradas
← Salidas



$$P + \underbrace{(I_{in} - I_{out})}_{\text{Riego}} + \underbrace{(D_{si} - D_{so})}_{\text{Flujos laterales subterráneos (río Ceyhan)}} - \underbrace{(Q_{out} - Q_{in})}_{\text{Flujos superficiales}} - \underbrace{ETc}_{\text{Almacenamiento de agua en el acuífero superficial}} = \pm 10 \eta \Delta h \pm \Delta S$$

Riego Flujos laterales subterráneos (río Ceyhan) Flujos superficiales Almacenamiento de agua en el acuífero superficial

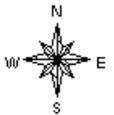


Balances de agua: Akarsu



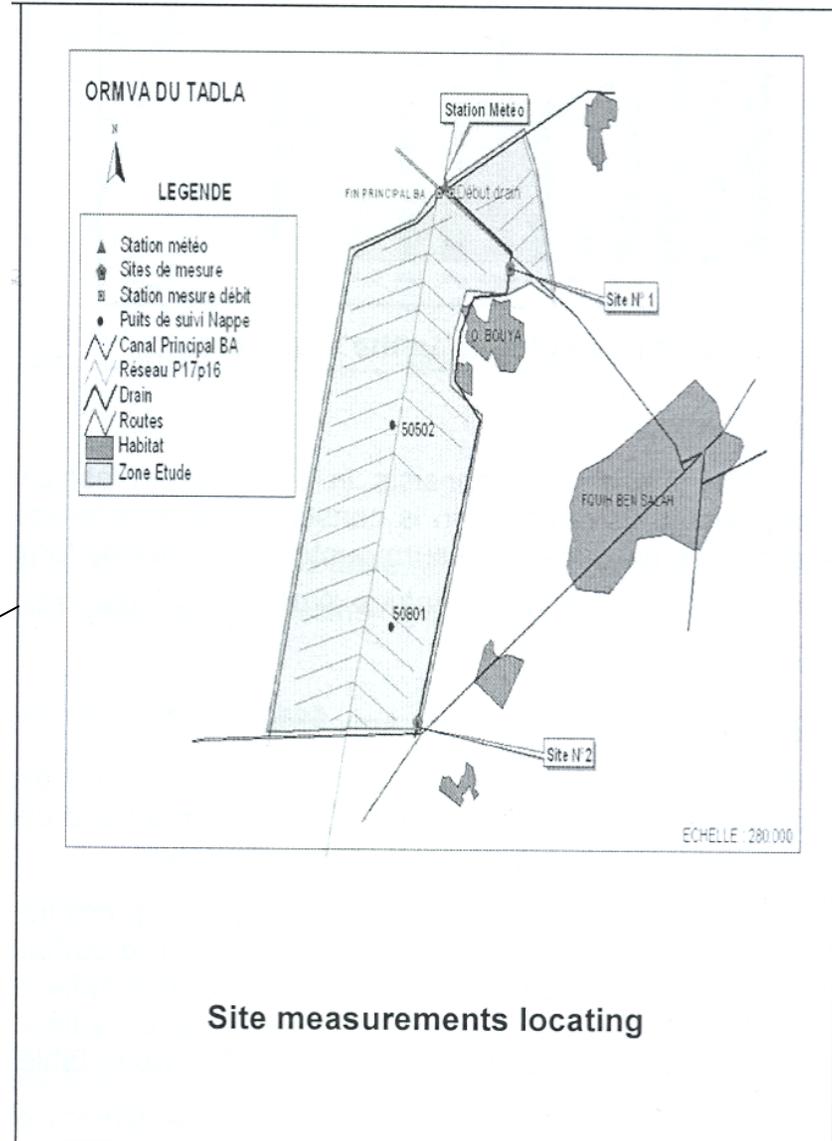
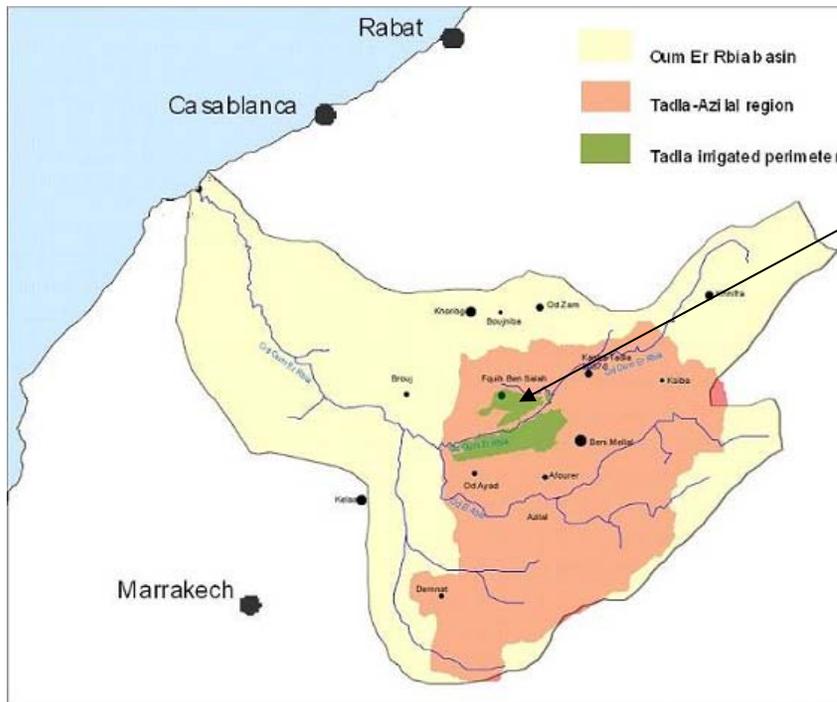
- ⊙ Piezometer clusters
- ▬ Irrigation and drainage canals
 - ▬ Left bank conveyance canal
 - ▬ Main irrigation canals
 - ▬ Secondary irrigation canals
 - ▬ Main drainage canals
 - ▬ Secondary drainage canals
 - ▬ Interceptor drainage canals
- ⊠ Irrigation pumping station
- ▨ Settlements
- ▤ L2 catchment boundary

- ▭ Hydrologic unit boundary
- Akarsu gw well with automatic recorder
- ▭ Study area boundary
- Irrigation gauging stations

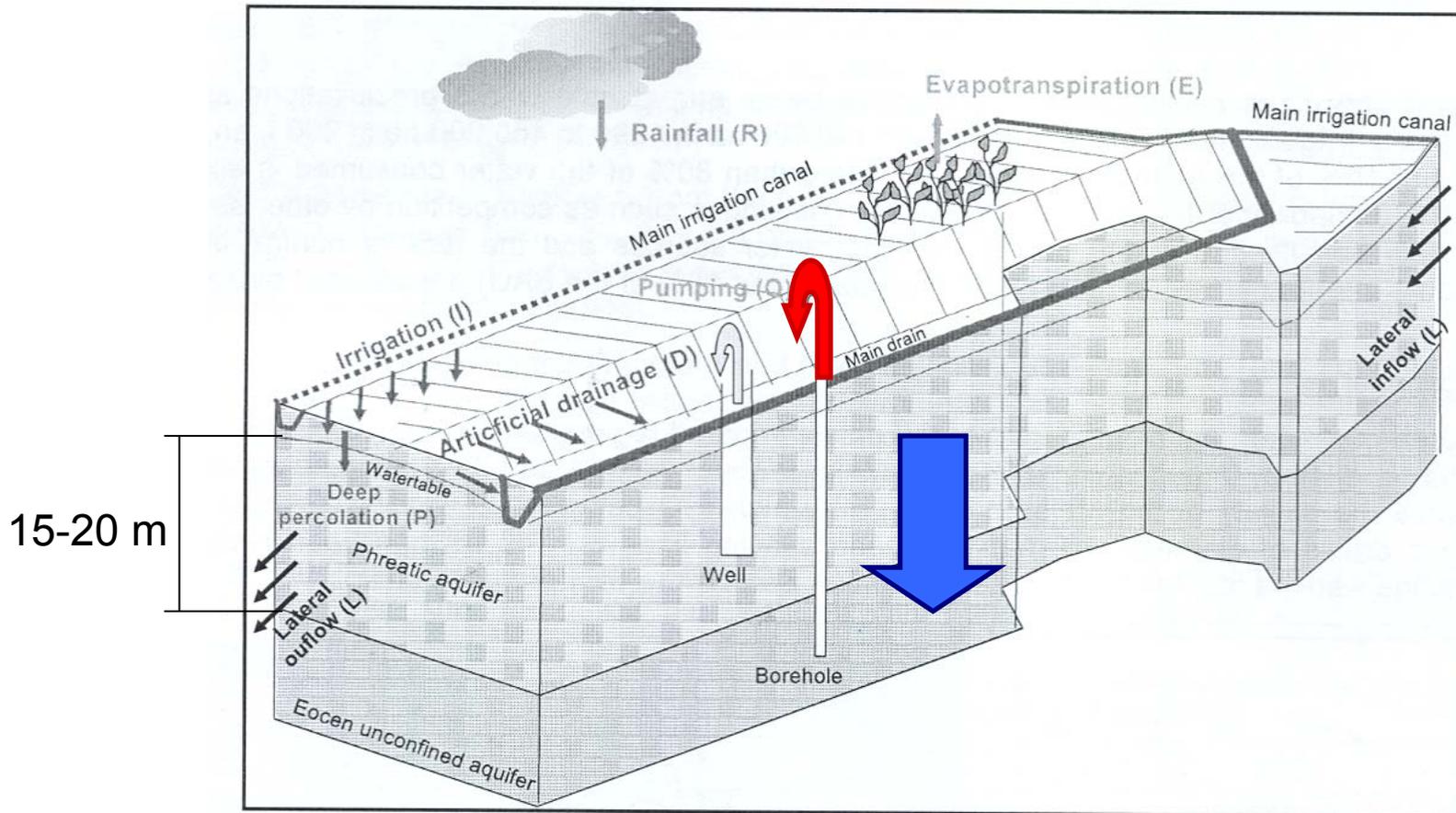


Balances de agua: Beni Amir (Marruecos)

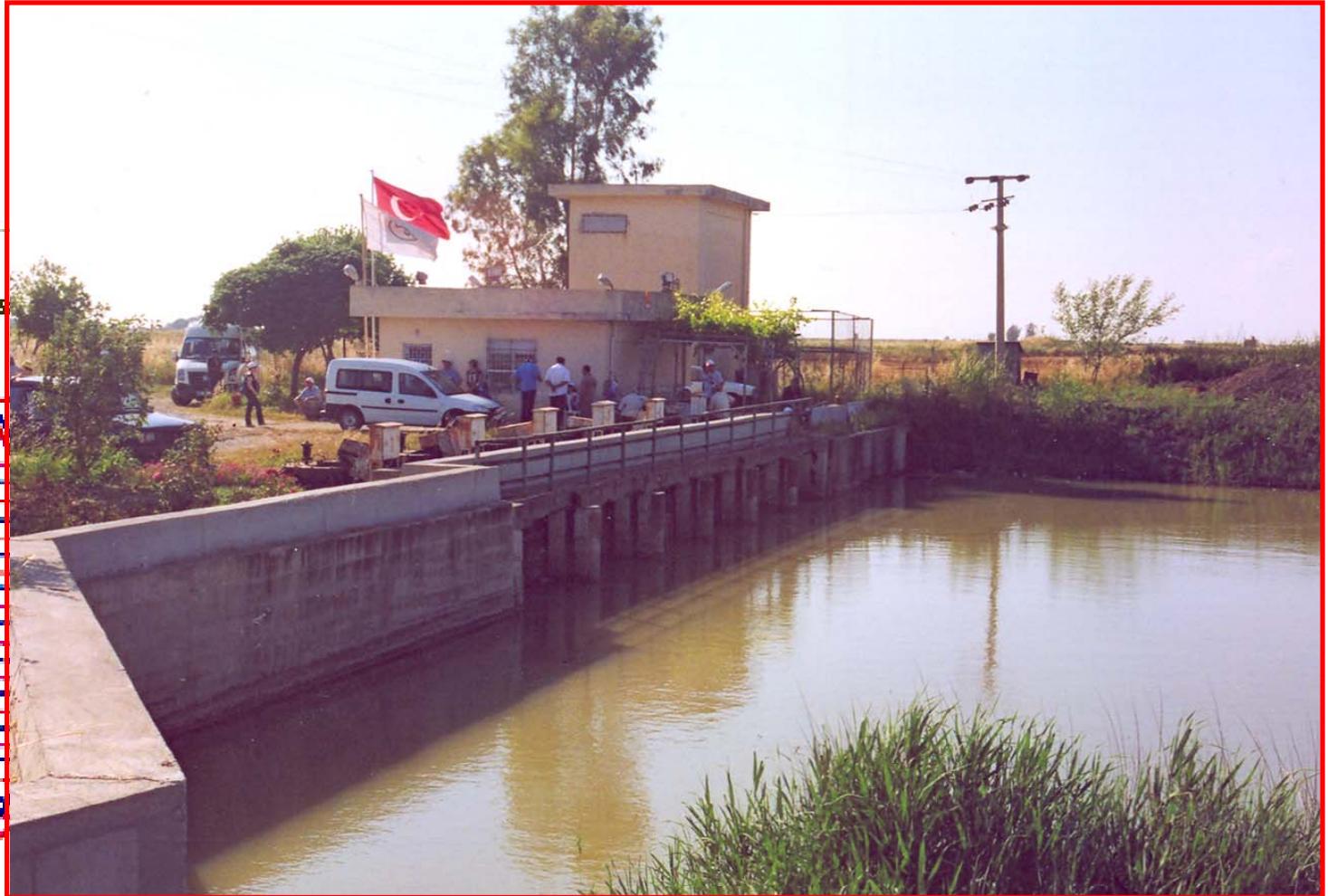
- ❑ Riego por gravedad desde una acequia central (espina de pescado)
- ❑ Un único colector en un lateral
- ❑ El drenaje se incorpora a la capa freática



- Principal (única) salida: Recarga al acuífero
- Reutilización de agua subterránea para riego (bombeo)



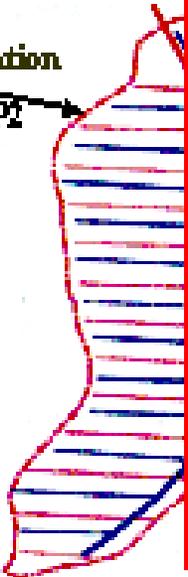
❑ Bombeo del drenaje al mar



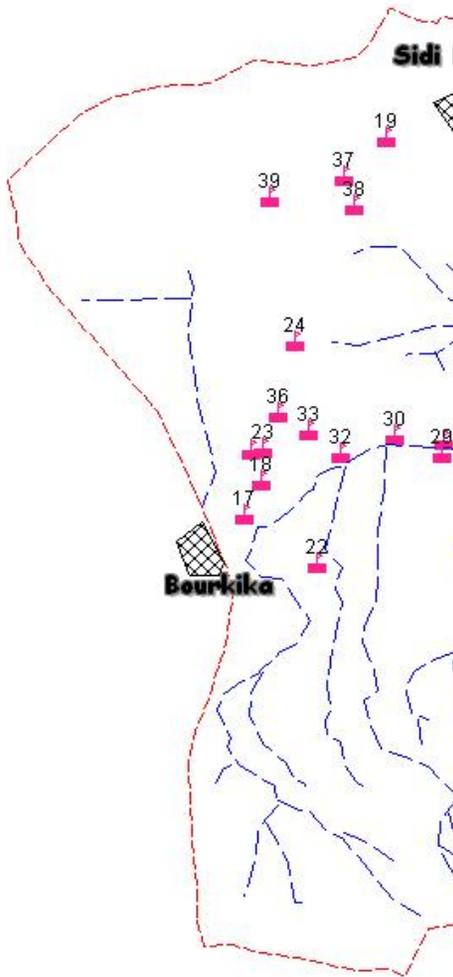
Émiss

Irrigation

SPT



Balances de agua: Sidi Rached





□ La Violada

$$\underbrace{[R + P + (\underbrace{ESC+URB+AC}_{OE}) + FC]}_{\text{Entradas}} - \underbrace{[ET_r + Q]}_{\text{Salidas}} = \underbrace{\Delta W_s + \Delta W_{ph}}_{\text{Almacenamiento de agua en el suelo y en el acuífero}}$$

⊗ $ET_r \rightarrow$ balance de agua diario en el suelo

⊗ FC (y AC): A partir de la altura de agua en los canales y un balance de agua mensual suelo-acuífero



Balances de agua: Violada (España)

 Almenaras (AC)

 Alturas en canales (FC)

 Irrigated area

 Non irrigable area

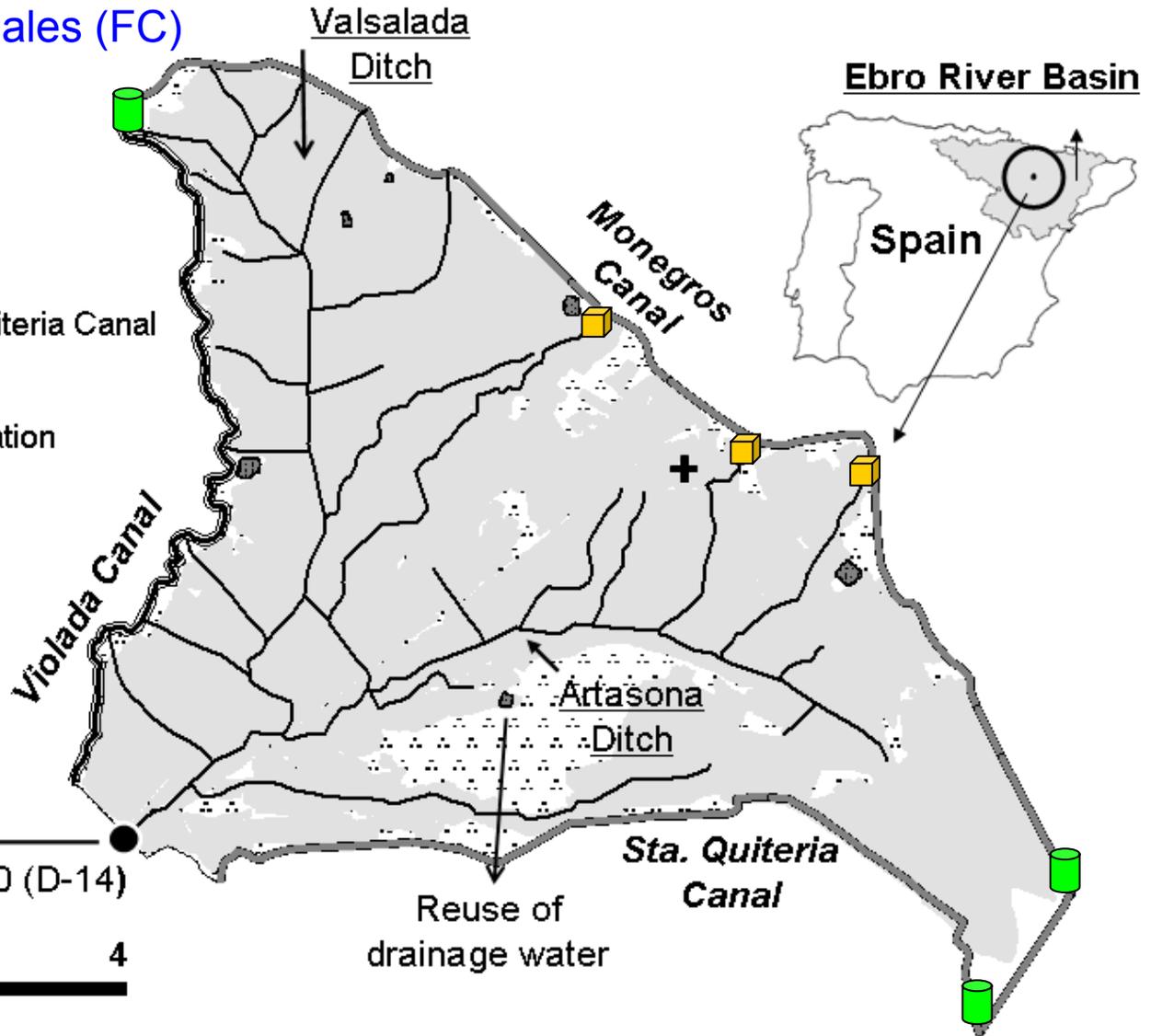
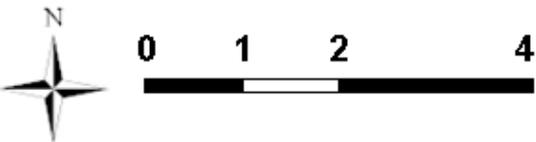
 Internal reservoirs

 Monegros and Quiteria Canal

 Violada Canal

 Meteorological Station

Violada Gully
Gauging station n°230 (D-14)





Barranco de La Violada



Estación de aforo D-14





□ Índices hidrológicos de calidad del riego:

➤ Eficiencia de riego:

$$E_fR = \frac{ET_r - P_e}{R + P}$$

➤ Fracción de drenaje:

$$FD = \frac{Q - OE}{R + P}$$

	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât-Landalous (Túnez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
P_e	$0.6 \cdot P - 10$ si $P < 75$ $0.8 \cdot P - 25$ si $P > 75$	$0.90 \cdot P$	$0.93 \cdot P$	$0.95 \cdot P$	Balance
ET_r	ET_c	ET_c	$K_s \cdot ET_c$	ET_c	$K_s \cdot ET_c$

K_s {

 Basado en P , R y ET_c

 Basado en el balance de agua en el suelo



□ Índices hidrológicos de calidad del riego:

$$EfR = \frac{ET_r - P_e}{R + P}$$

$$FD = \frac{Q - OE}{R + P}$$

	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât-Landalous (Tunez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
EfR (%)	40	45	35	72	57
FD (%)	50	58	32	9	37

Ineficiencias en el sistema de distribución

Valores bajos de eficiencia y altos de FD propios de un sistema de riego por superficie

Resultados muy bajos para un sistema de riego presurizado

Eficiencia elevada para riego por superficie (suelo arcilloso)

Eficiencia alta debido a la reutilización de 2006



❑ Concentraciones de sales y masas de sales exportadas

- Masa = Flujo · Concentración (R, P, Q... ET_r ; $C=0$)
- Muestreo de las aguas de riego, drenaje, etc.

Año 2007	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât-Landalous (Tunez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
Riego					
R (mm)	1014	495	488	400	543
SDT (mg/L)	719	960	2211	1150	234
M (t/ha reg)	7.3	4.8	10.8	4.6	1.3
Drenaje					
Q (mm)	788	306	254	90	527
SDT (mg/L)	2137	-	6300	2000	1941
M (t/ha reg)	13.9	-	16.0	1.8	10.2



□ Índices de exportación de sales

$$IBS = \frac{M_{Q^*}}{M_R + M_P}$$

$$FCR = \frac{SDT_{Q^*}}{SDT_R}$$

	Akarsu (Turquía)	Beni-Amir (Marruecos)	Kalaât-Landalous (Tunez)	Sidi Rached (Argelia)	Violada (España)
IBS	1.9	-	1.5	0.4	7.8
FCR	3.0	-	2.8	1.7	8.3

□ Violada → Presencia de yeso en el suelo (disolución)

□ Sidi Rached → Lavado insuficiente... → Posible Acumulación de sales



GRACIAS