

The logo for 'sya' features the lowercase letters 'sya' in a black serif font. The letters are contained within a light green speech bubble shape with a white border and a small tail pointing downwards and to the right. The background of the speech bubble has a fine grid pattern.

**II Symposium Internacional del Sector  
Agroalimentario de la Vega Baja  
ORIHUELA 2017  
23 – 24 de noviembre de 2017**

# **Salinidad y calidad del agua en el manejo del riego**



**Daniel Isidoro**

Unidad de Suelos y Riegos

Centro de Investigación y Tecnología  
Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA)

Ctra. Montañana, 930

50.059 Zaragoza

[disidoro@aragon.es](mailto:disidoro@aragon.es)

- ❑ Perspectiva del regadío en el mundo y en España
- ❑ Problemas ambientales debidos al regadío: Impacto ambiental del regadío
  - ★ Alteración del régimen hidrológico
    - Ejemplos: Bardenas
  - ★ Efectos internos: Degradación del suelo
    - Salinización
      - *Salinización del suelo vs. Salinidad en las aguas de retorno*
    - Elevación de la capa freática (water-logging)
    - Sodificación del suelo
    - Intrusión marina (salinización de acuíferos costeros)
  - ★ Efectos externos: Contaminación de las aguas por el regadío
    - Salinidad: reducción de las masas exportadas de sales
    - Nutrientes
    - Plaguicidas
- ❑ Modernización de regadíos: cómo afecta a la cantidad y calidad del agua
  - Ejemplo: La Violada

❑ Población y demanda de alimentos creciente → Incremento en el uso de agua (en la agricultura de secano y de regadío)

[Fuente: FAO]	<b>Población</b>	<b>Consumo</b>
<b>Año</b>	<b>(Millones)</b>	<b>(kcal/cap/día)</b>
1998	5900	2803
2015	7207	2940
2030	8270	3050

1 kg trigo → ~1000 kg agua; pero 1 kg ternera → ~ 15000 kg agua

**Cambios en la composición de la dieta mundial (kg/cap/año)** [Fuente: FAO]

<b>Año</b>	<b>Cereales</b>	<b>Tubérculos</b>	<b>Legumbres</b>	<b>Azúcar</b>	<b>Aceites vegetales &amp; Semillas oleaginosas</b>	<b>Carne</b>	<b>Leche &amp; Lácteos</b>
1998	171	69	24	5.9	11.4	36.4	78
2015	171	71	25.1	5.9	13.7	41.3	83
2030	171	74	26.3	6.1	15.8	45.3	90

## ❑ El regadío en el mundo

★ Necesidad de un incremento del 50% en la producción agrícola en los próximos 40 años (Umali, 1993)

★ Riego:

➤ Incremento 2-3% anual (FAO, 1988)

➤ 15% superficie → 36% producción

➤ Intensidad de cosecha 54% superior en el regadío

## ❑ El riego es el mayor usuario de agua en el mundo

★ En algunas áreas el riego utiliza más del 50% de los recursos renovables

★ El riego es un usuario diferente: USO CONSUNTIVO

□ ¿Qué aporta el regadío en España?

- ★ La producción en regadío es muy superior a la de secano [Ratio de productividad regadío/secano = 6.38]
- ★ La agricultura y actividades relacionadas suman un 6.8% del PIB y un 14% de las exportaciones y dan trabajo a 1.5 millones de personas
- ★ La agricultura de regadío ocupa el 14% de la superficie cultivable; pero origina el 55% de la producción final agrícola
- ★ El regadío es clave en el mantenimiento de la población en áreas rurales; así como de un nivel de vida adecuado

% de regadío por comarcas	Población	
	Crecimiento (1981-1990)	Densidad (hab/km <sup>2</sup> )
< 20%	-0.5	71
20% to 50%	7.9	88
> 50%	5.4	133
España	1.9	80

□ ¿Qué aporta el regadío en Aragón? —zonas despobladas

★ Fijación de la población en zonas rurales

Aragón (excluidas capitales de provincia)		
Regadío por municipios (% superficie agrícola)	Densidad 2001 (hab/km <sup>2</sup> )	Δ Densidad 1970-2001 (%)
> 50	36	+0.2
25 – 50	21	-10.8
9.4 – 25	17	-13.1
< 9.4	7	-27.9

★ Mantenimiento del nivel de vida de los agricultores

➤ Aragón (2000): 34700 personas

7% de la población activa [ $\Delta = -30\%$  ( $\nabla$ )]


➤ Aragón (1991-2000):  $\Delta$  PFA = -5.7% ( $\nabla$ )

$\Delta$  Renta = -12.5% ( $\nabla$ ) [Renta per cápita:  $\Delta=20\%$ ]

- El regadío es necesario a nivel global y conveniente a nivel local. Pero...

**¿Qué problemas ambientales se derivan del regadío, del aumento de la superficie de regadío o de la modernización de regadíos?**

- ❑ Impacto de las obras de riego (presas)
- ❑ Alteraciones del régimen hidrológico
- ❑ Efectos internos
  - ★ Elevación de la capa freática → Salinización
  - ★ Salinización del suelo
  - ★ Sodificación del suelo → Pérdida de permeabilidad
  - ★ Intrusión marina
- ❑ Efectos externos (sobre la calidad de las aguas)
  - ★ Salinidad
  - ★ Contaminación por nutrientes (eutrofización e hipoxia)
  - ★ Contaminación por plaguicidas
  - ★ Sedimentos
  - ★ *Concentración o masa → Por qué importan las masas exportadas*
  - ★ *Modernización de regadíos*
- ❑ Otros efectos (sanidad: transmisión de enfermedades)



**No son  
problemas  
separados**





□ El regadío conlleva:

★ **Disminución de la cantidad de agua disponible** (ET). En contraste con otros usos del agua, menos consuntivos

★ **Degradación de la calidad del agua** por los contaminantes (sales y agroquímicos) en el agua de retornos de riego

□ Los efectos externos (sobre la calidad de las aguas) e internos del regadío se contraponen:

★ A mayor drenaje:

➤ Menor salinidad en el suelo

➤ Mayor impacto sobre las aguas receptoras de los retornos

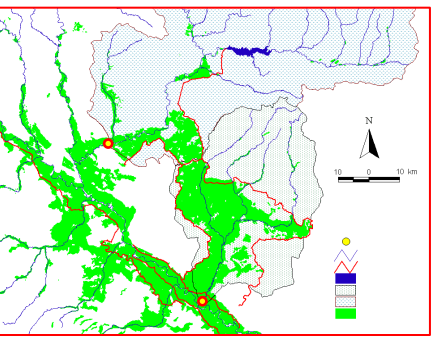
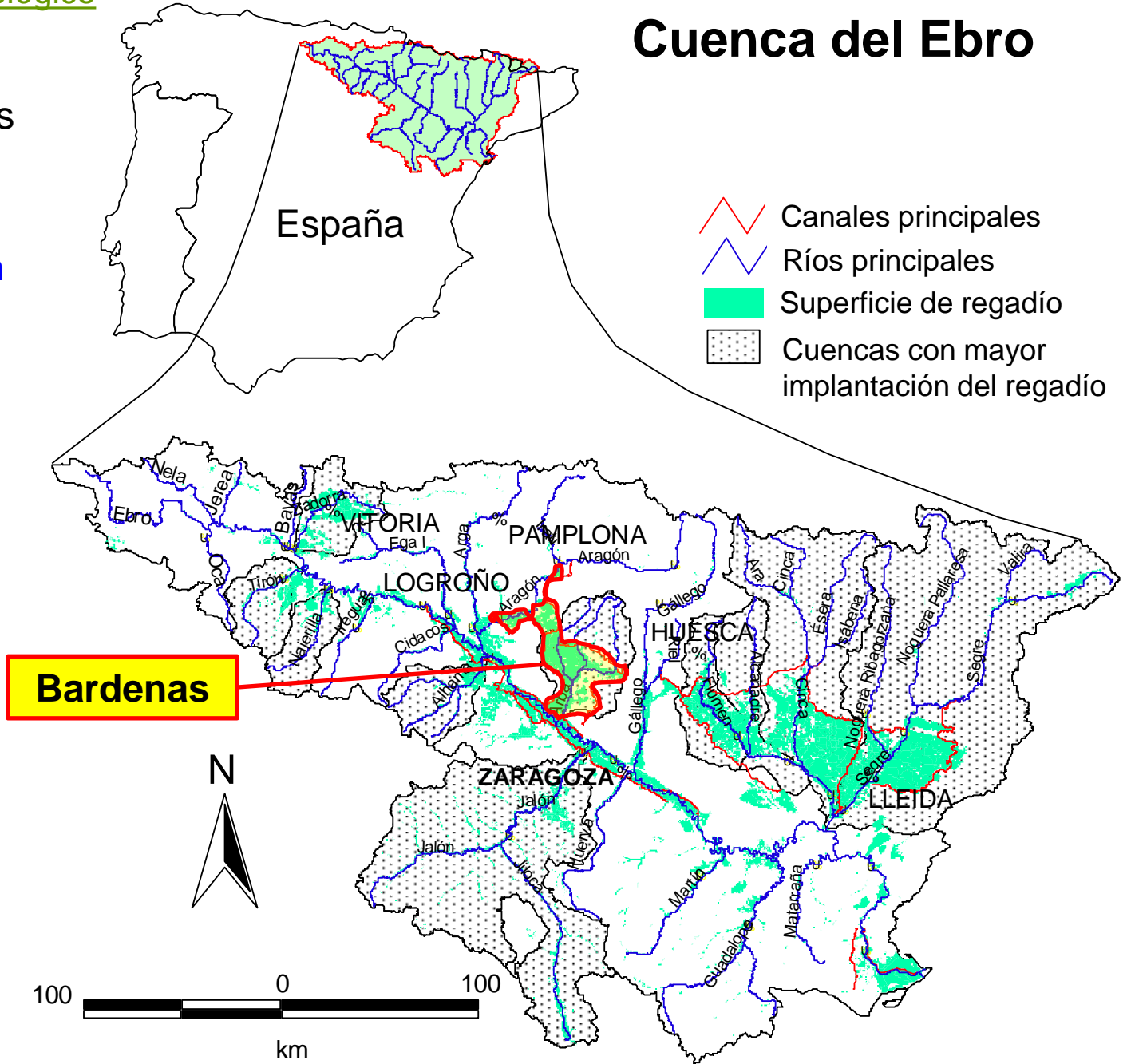
★ Sin drenaje → Salinización del suelo

*Equilibrio: Drenaje suficiente para evitar la degradación de los suelos y lo menor posible para evitar la contaminación de las aguas receptoras de los retornos*

# Alteración régimen hidrológico

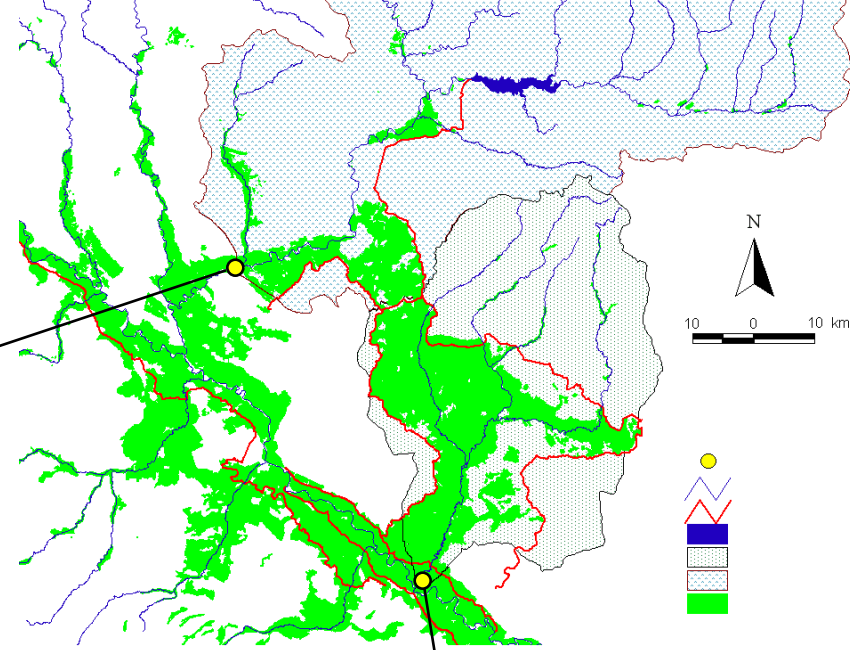
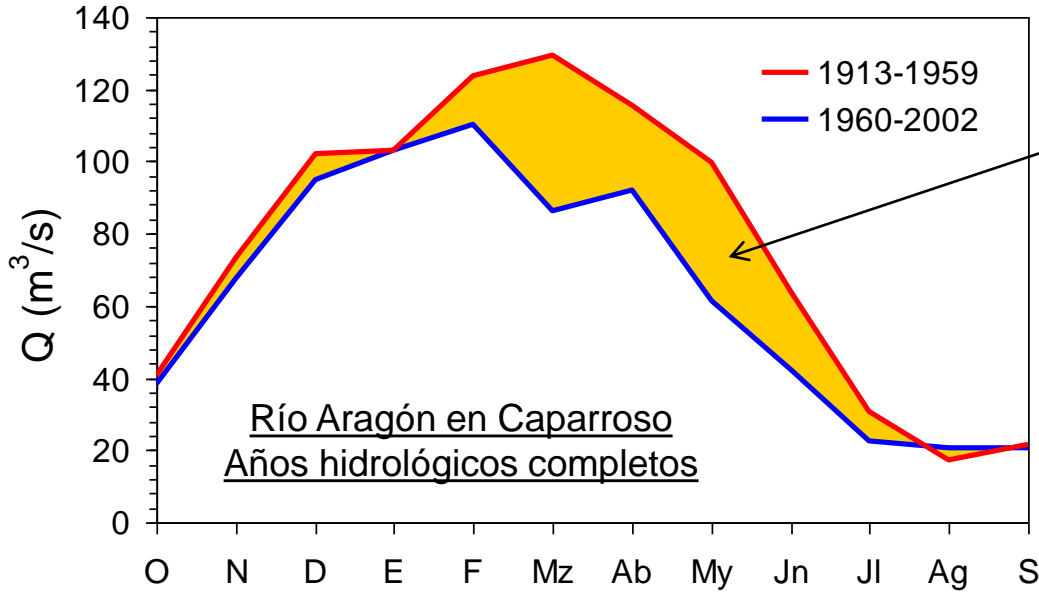
- Caso de los riegos del Canal de Bardenas
- ★ Inicio del riego en 1959
- ★ ~ 80 000 ha
- ★ Cuencas del Aragón y el Arba

# Cuenca del Ebro

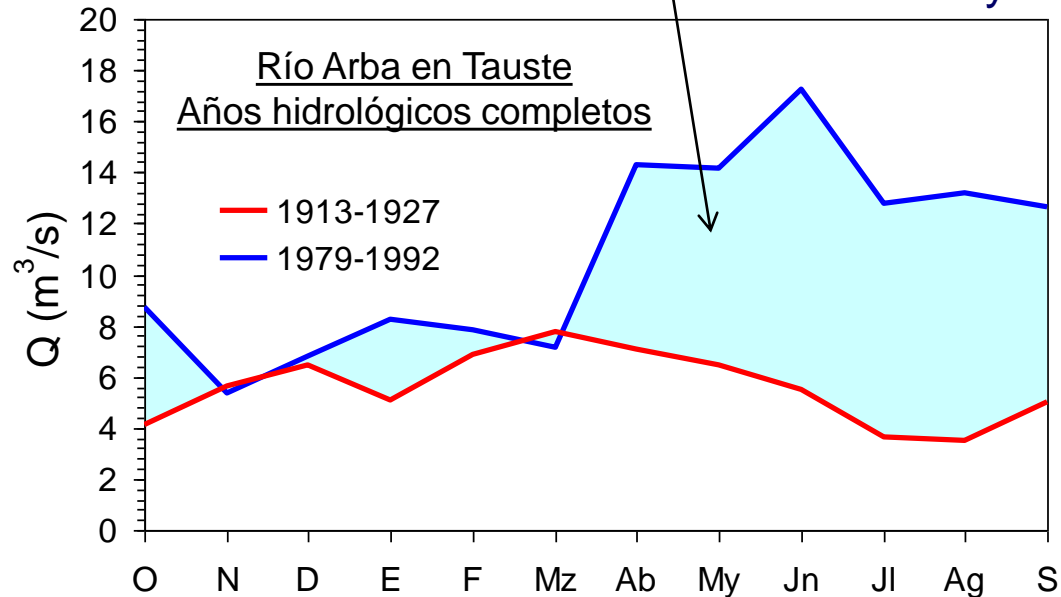


## Alteración régimen hidrológico

$\Delta \sim -427 \text{ hm}^3/\text{yr}$



$\Delta \sim 161 \text{ hm}^3/\text{yr}$



❑ Disminución de Q en el Río Aragón

★ De febrero a junio:  
almacenamiento en presa

❑ Aumento de Q en el río Arba

★ En verano, debido a los  
retornos de riego

❑ Los recursos totales de agua se  
reducen (ET: uso consuntivo)

- ❑ Extensión del problema de la salinidad de los suelos
- ❑ Degradación del suelo en zonas regadas (y de secano)
  - Riego  $\gg$  ET + Drenaje deficiente
    - ★ Water-logging
    - ★ Salinización
    - ★ Sodificación (problemas estructurales)
  - *Riego  $<$  ET: Riego deficitario*
    - ★ *Lluvias de invierno suficientes para el lavado de las sales acumuladas en la campaña*
    - ★ *A largo plazo: necesidad de vigilar la evolución de la salinidad del suelo*

## ❑ Degradación del suelo inducida por el regadío

★ Extensión del problema de la salinidad y la sodicidad en áreas regadas del mundo

➤ No se salinizan únicamente los suelos regados

Fuente: FAO	Área total	Afectada por salinidad	
	Mha	Mha	% total
Regadío	230	45	19.5
Secano	~1500	32	2.1

★ Preocupación por la degradación de la calidad del agua (superficial y subterránea) por fuentes difusas de contaminación

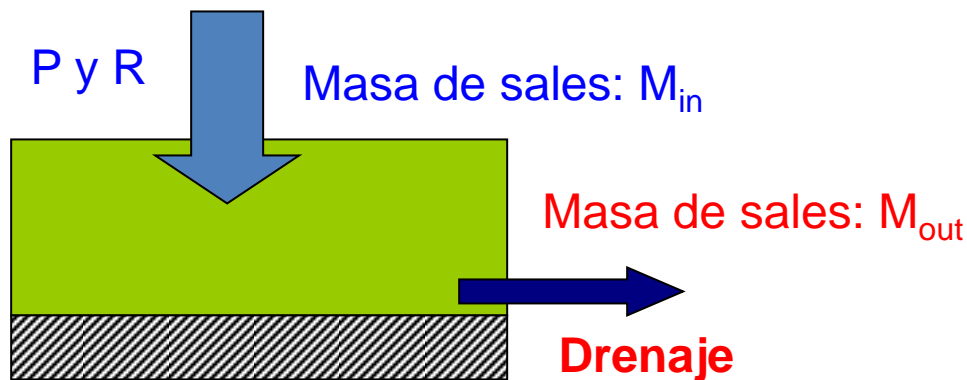
➤ La agricultura de regadío es más intensiva en insumos que la de secano. El riego moviliza más sales del medio y los mayores insumos de fertilizantes y otros agroquímicos favorecen un mayor lavado.

## □ Salinización del suelo (y del agua)

### ★ Salinización debida al riego:

- Efecto evapoconcentración
- Efecto aporte (meteorización)
- Intrusión marina (salinización de acuíferos costeros)

### ★ Equilibrio entre las entradas y salidas de sales o movilización de sales del suelo/subsuelo

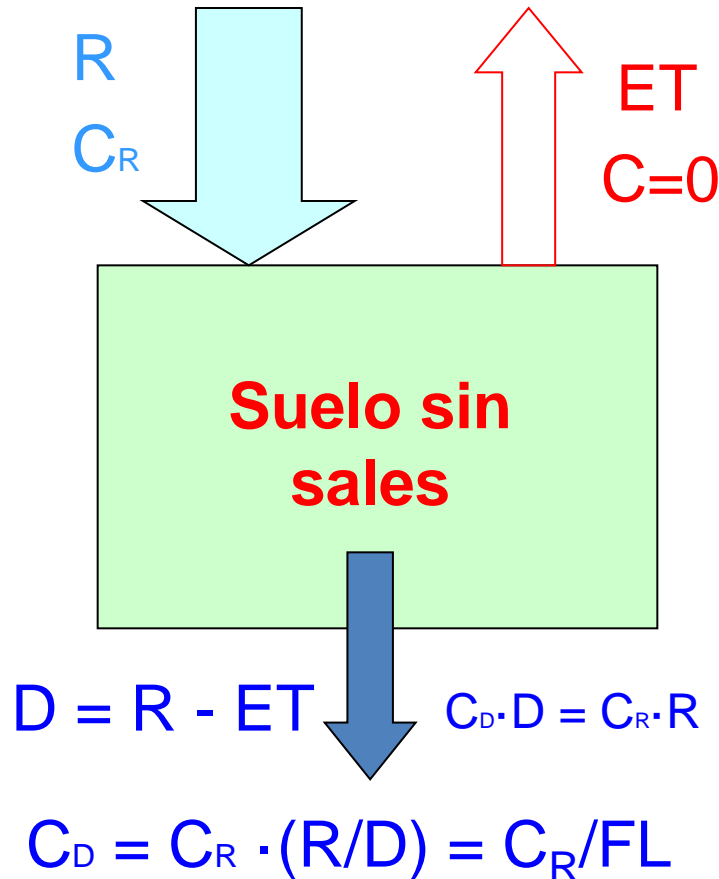


$M_{in} > M_{out} \rightarrow$  Salinización

$M_{in} = M_{out} \rightarrow$  Drenaje adecuado

$M_{in} < M_{out} \rightarrow$  Movilización de sales (meteorización)

Efecto evapoconcentración:  
Fracción de lavado (FL)



Fracción de lavado:  $FL = D/R$

$$FL \uparrow \rightarrow C_D \downarrow$$

$$FL \downarrow \rightarrow C_D \uparrow$$

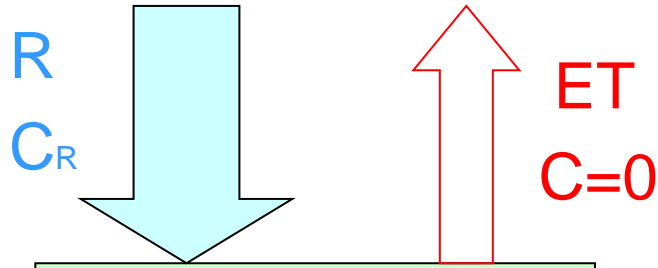
**El manejo del riego (FL) determina la salinidad del drenaje** [y de los retornos de riego en su conjunto]; pero la masa de sales exportada ha de ser siempre la misma (la que aporta el agua del riego) para evitar la salinización del suelo

El lavado (FL) puede verse incrementado por la lluvia, sin que podamos ejercer ningún control...



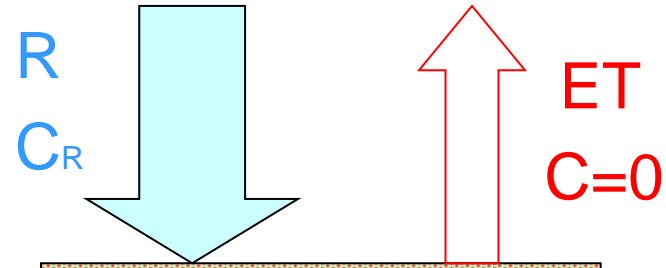
Efecto aporte:  
meteorización/lavado de sales

Degradación del suelo  
Contaminación de las aguas por el regadío



$$D = R - ET$$

$$C_D = C_R \cdot (R/D)$$



$$D = R - ET$$

$$C_D \approx \text{Constante} > C_R \cdot (D/R)$$

Masa exportada  $D \cdot C_D$

$D \cdot C_D$  permanece constante

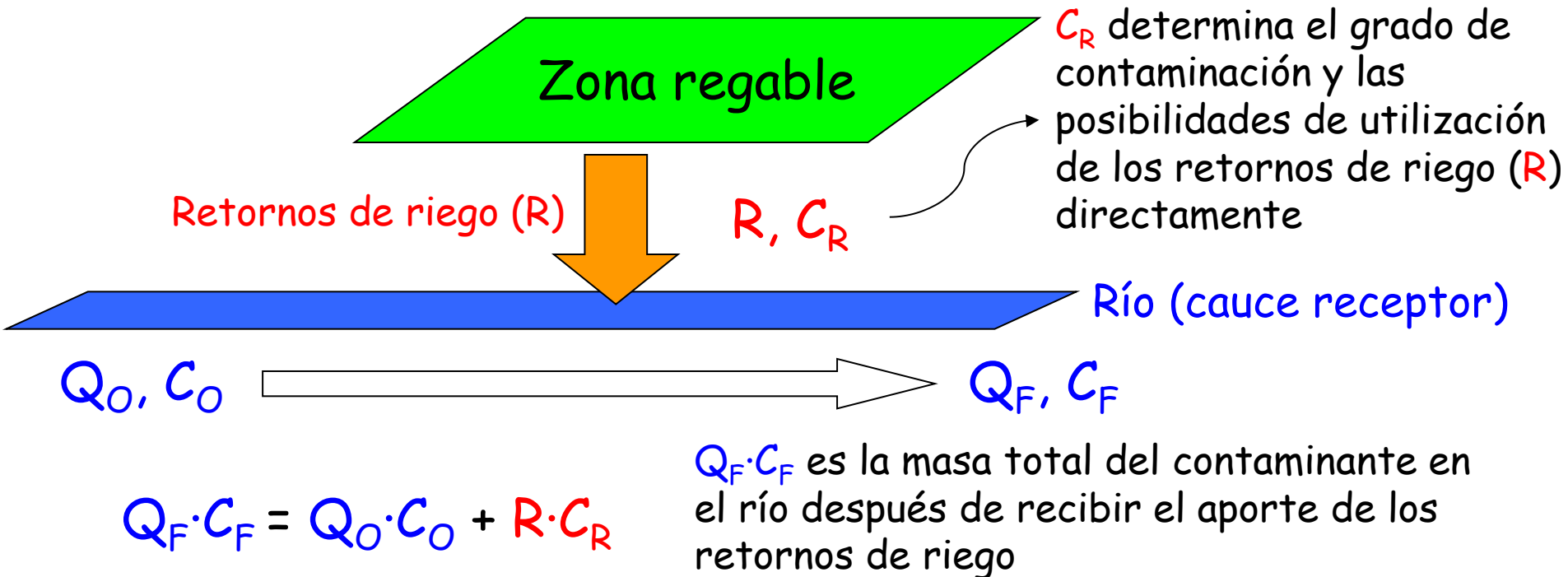
$D \cdot C_D$  se incrementa con el drenaje (D)

Puesto que la masa de sales exportada aumenta (linealmente) con el drenaje o se mantiene constante con él:

**el principal factor para reducir la exportación de sales es el control del drenaje**

- a) Reducir el drenaje al mínimo en terrenos salinos
- b) Impedir que el drenaje alcance zonas del subsuelo ricas en sales
- c) Pero SIEMPRE ha de existir drenaje (lavado de las sales aportadas por el agua de riego)

## Por qué importan las masas exportadas

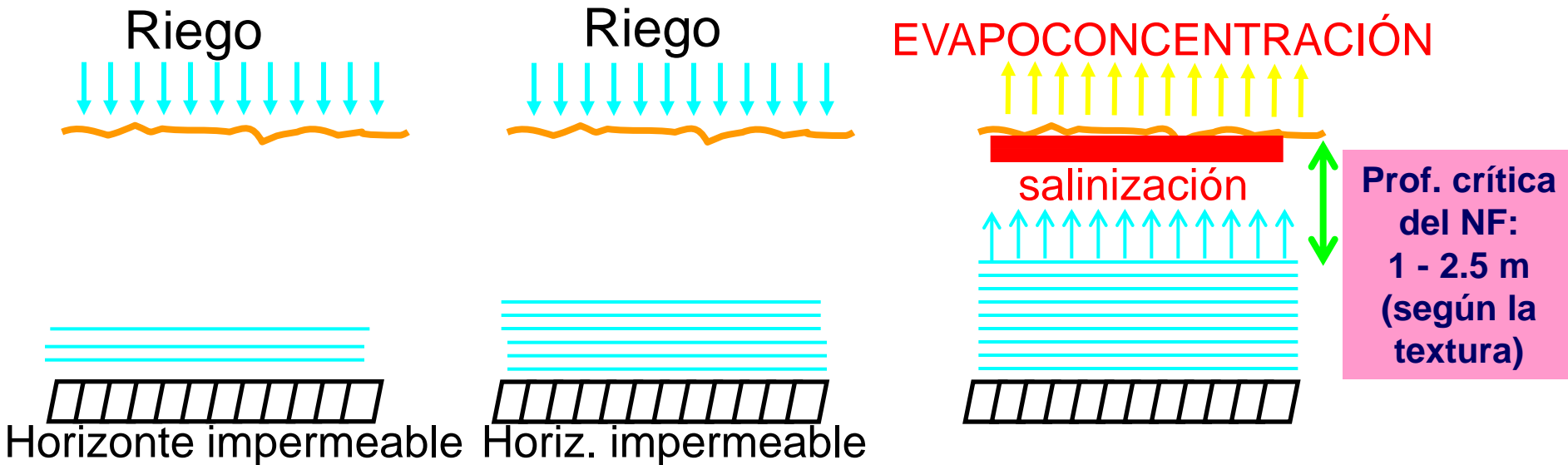


La concentración final ( $C_F$ ) depende de la masa total de contaminante aportada por los retornos ( $R \cdot C_R$ ) y no de su concentración solamente ( $C_R$ )

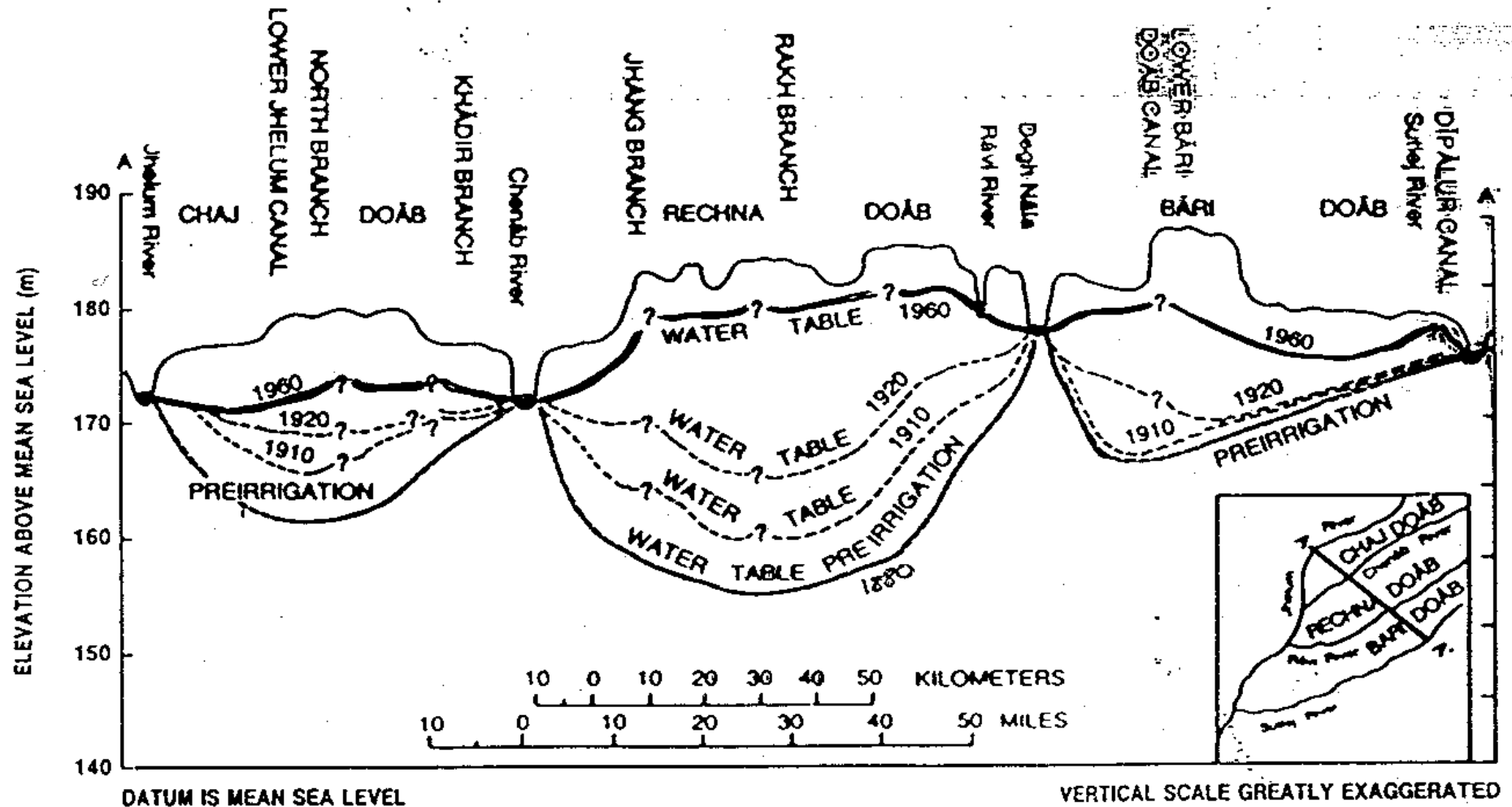
$C_F$  determina el grado de contaminación y las posibilidades de utilización del agua del río ( $Q_F$ ) después de recibir los retornos de riego

## ❑ Salinización del suelo (en regadío)

- ★ Aplicación excesiva de agua en suelos con drenaje limitado
- ★ Aparición de un nivel freático somero (water-logging):
  - Restricción para el lavado de sales
  - Ascenso capilar que se evapora en la superficie del suelo dejando en éste las sales que contiene

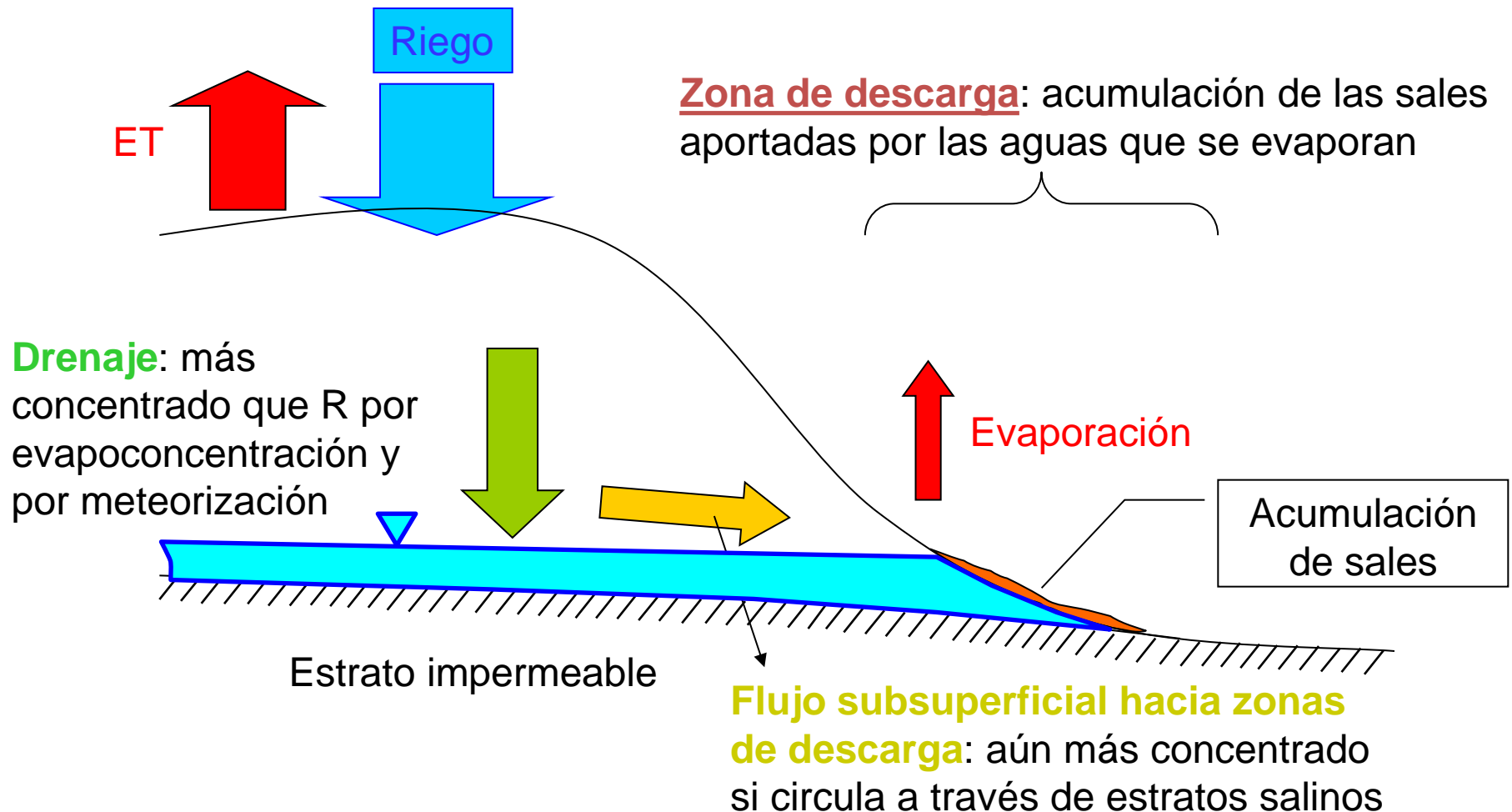


❑ **“Water-logging”** → Elevación de la capa freática inducida por el regadío (Valle del Indo, Pakistán)



□ **Salinización del suelo** (en regadío)

★ Salinización en zonas de descarga (efecto evapoconcentración y aporte)



❑ **Salinización del suelo** (en agricultura de secano)

- ★ Sustitución de la vegetación natural por cultivos de menor ET

NATIVE VEGETATION

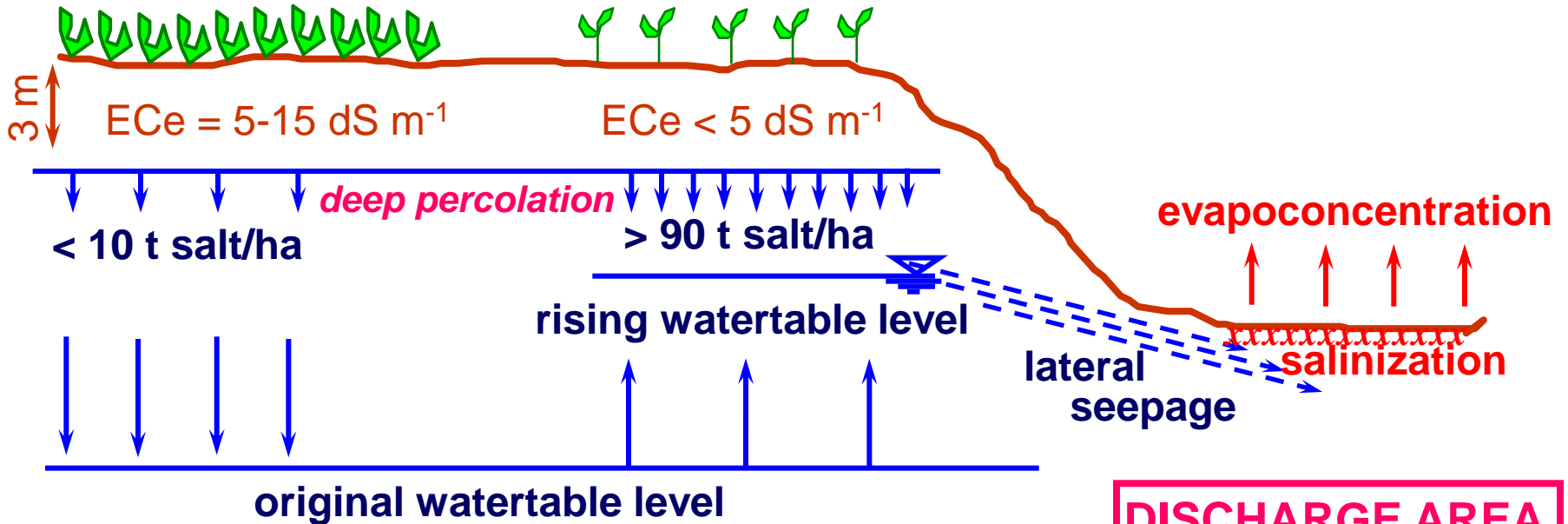


CROP-FALLOW ROTATION

Fuente: Ferguson y Bateridge (1982)

ET > ET  
GROUNDWATER RECHARGE < GROUNDWATER RECHARGE

**RECHARGE AREA**



## □ ARAGÓN (suelo salino)

Degradación del suelo





## □ Sodificación del suelo

★ Predominio del Na en la solución del suelo (en proporción al Ca y Mg) [RAS]

→ mayor proporción de Na en las posiciones de cambio de las arcillas

→ Ruptura de los agregados del suelo

→ Relleno y taponamiento de los poros del suelo

→ Pérdida de permeabilidad del suelo

★ Afecta sobre todo en superficie: se reduce la capacidad de infiltración

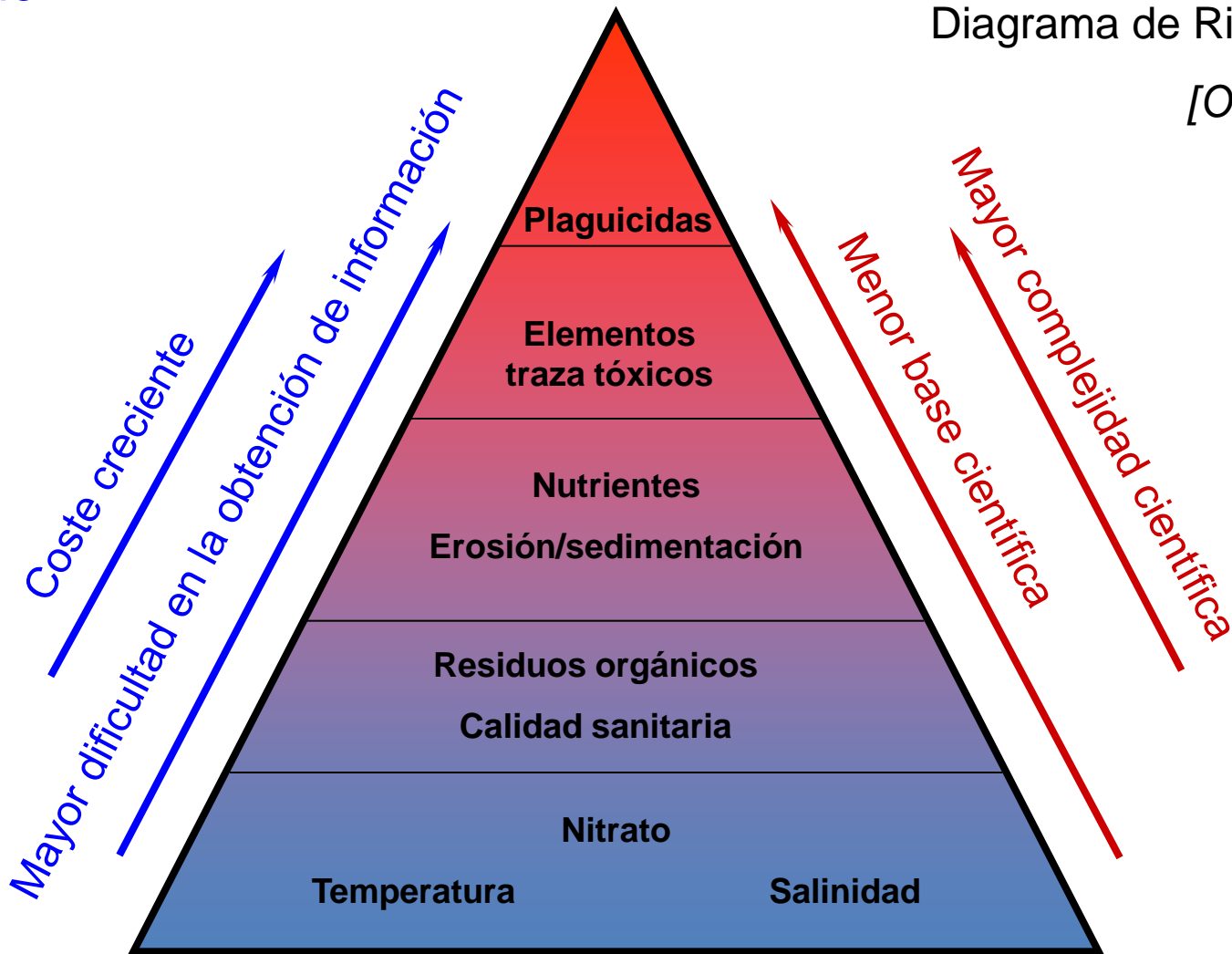
★ Pérdida de permeabilidad → Abandono de la tierra [o cambio a cultivos que conviven con (o necesitan) un sustrato impermeable, como el arroz]

★ La salinidad se puede resolver mediante lavado, la sodificación es más difícil de solucionar porque los suelos se vuelven impermeables (lavado difícil)

□ PAKISTAN (suelo salino-sódico o “solonetz”)



❑ Problemas asociados a las  
contaminación de las aguas por el  
regadío

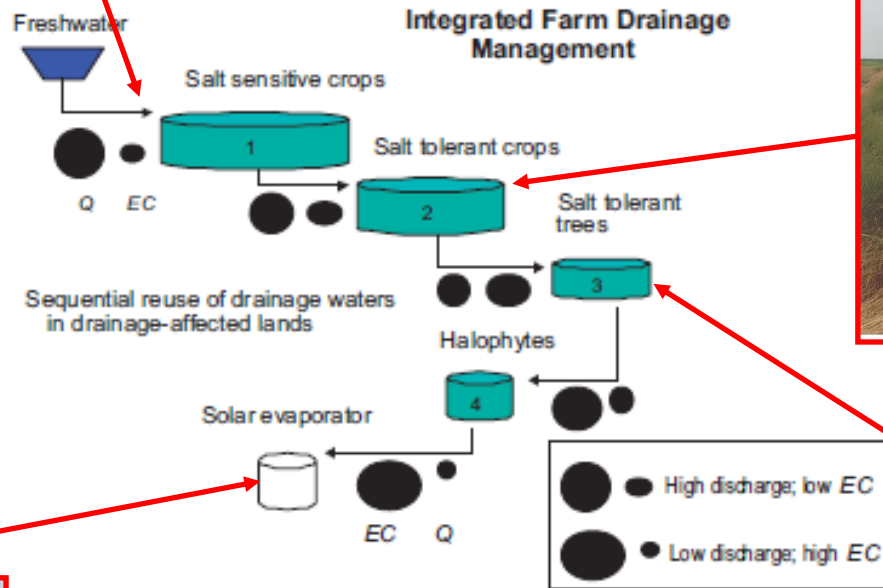


# Contaminación de las aguas por el regadío

❑ Reutilización secuencial del agua de drenaje y conducción final a ***balsas de evaporación*** (California)



## Principles of an IFDM system



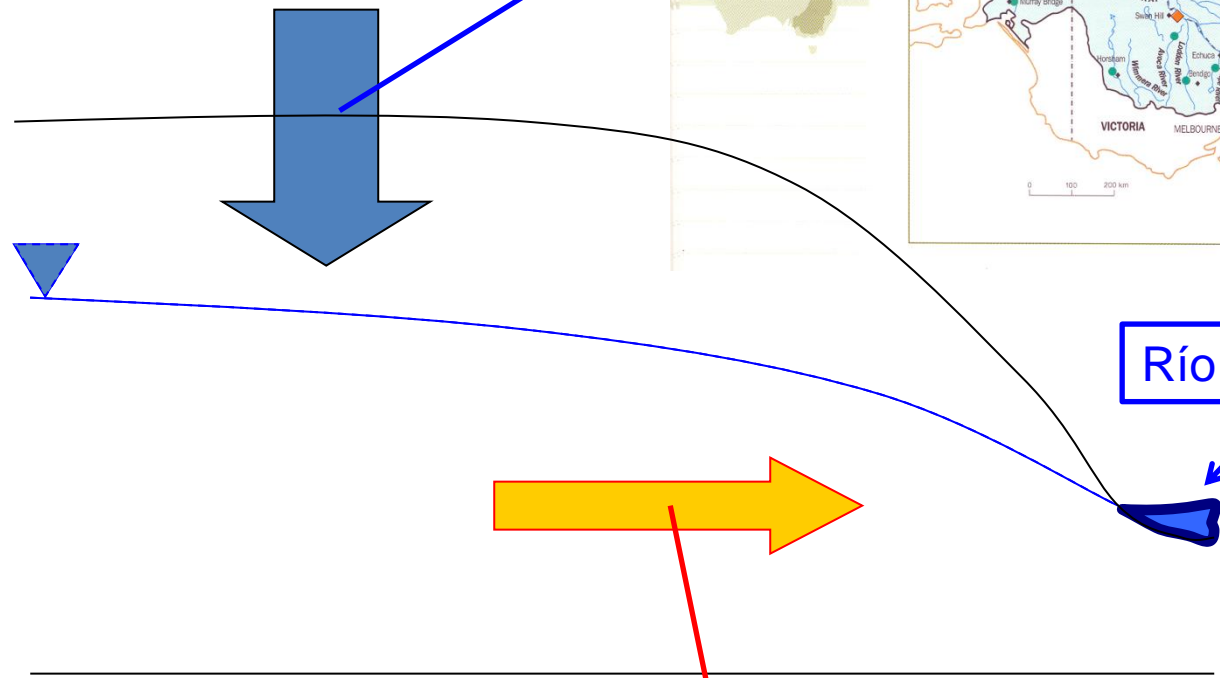
Source: SJVDIP, 1999d.



# Contaminación de las aguas por el regadío

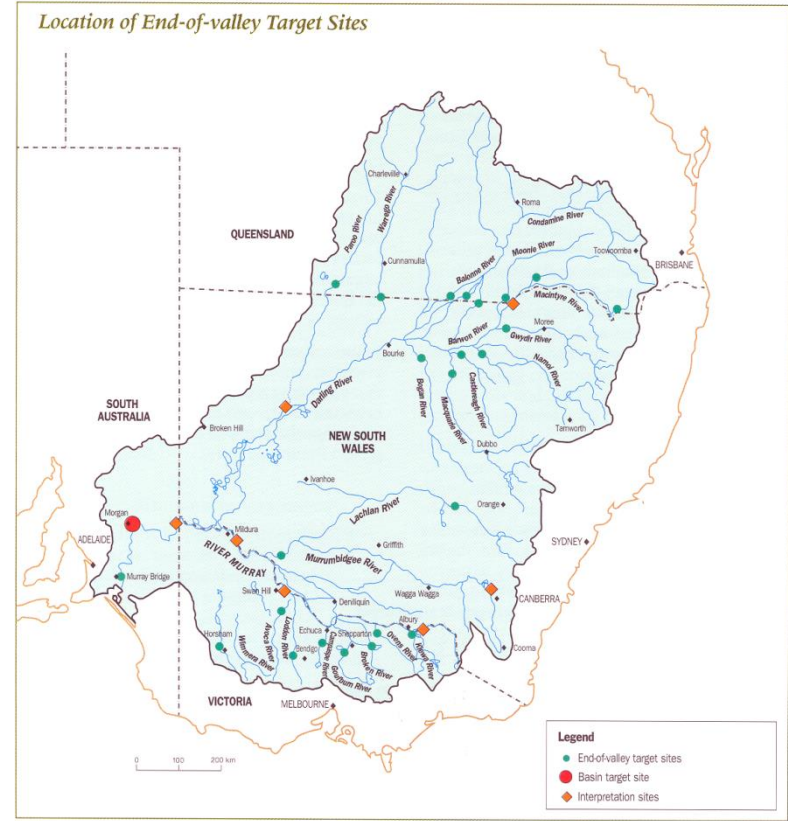
❑ Eliminación de flujos salinos antes de que lleguen a los ríos: **Salt Interception Schemes** (Australia)

Recarga por el drenaje del riego



Río Murray-Darling

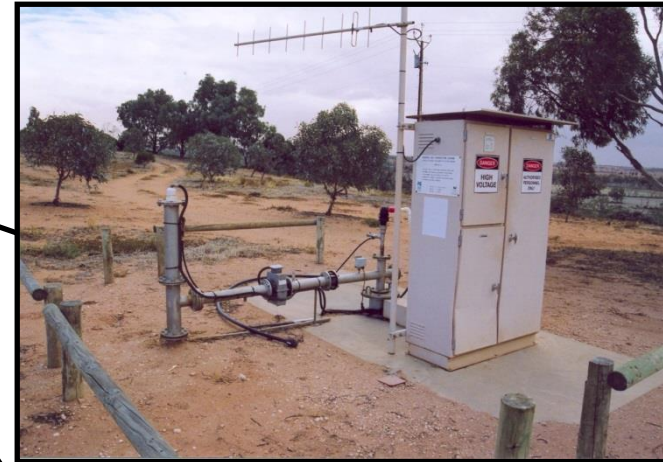
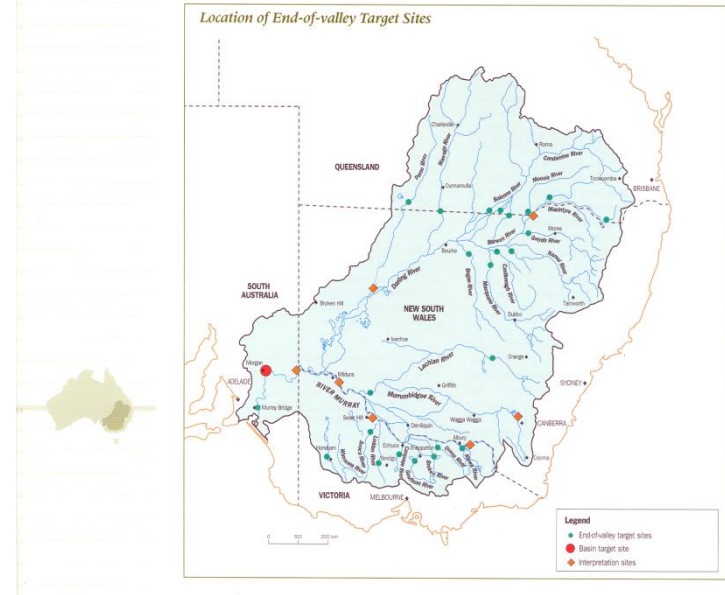
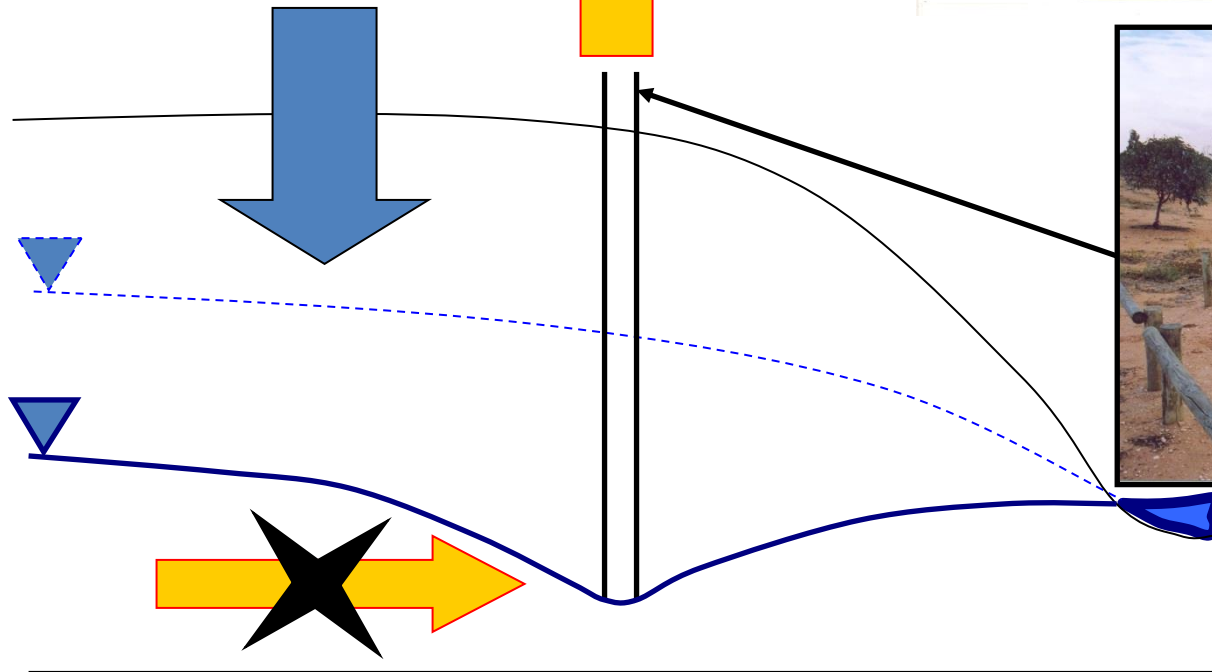
Descarga de Agua Subterránea muy salina al río (materiales muy salinos)



# Contaminación de las aguas por el regadío



Bombeo a lagunas artificiales



Eliminación de flujos salinos antes de que lleguen a los ríos: **Salt Interception Schemes** (Australia)

## Contaminación de las aguas por el regadío

- ❑ Aplicación de solución nitrogenada N32



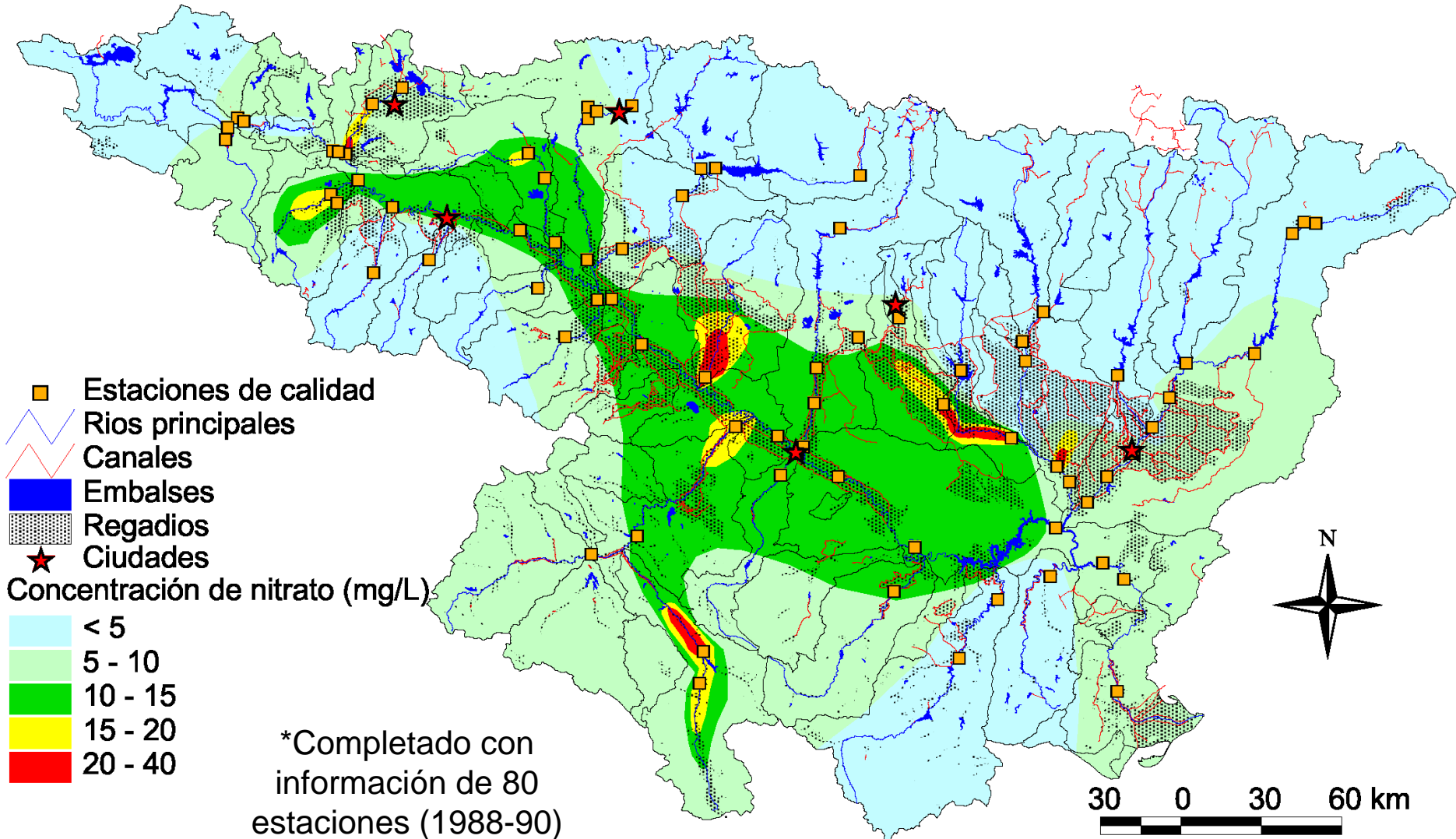
## Contaminación de las aguas por el regadío



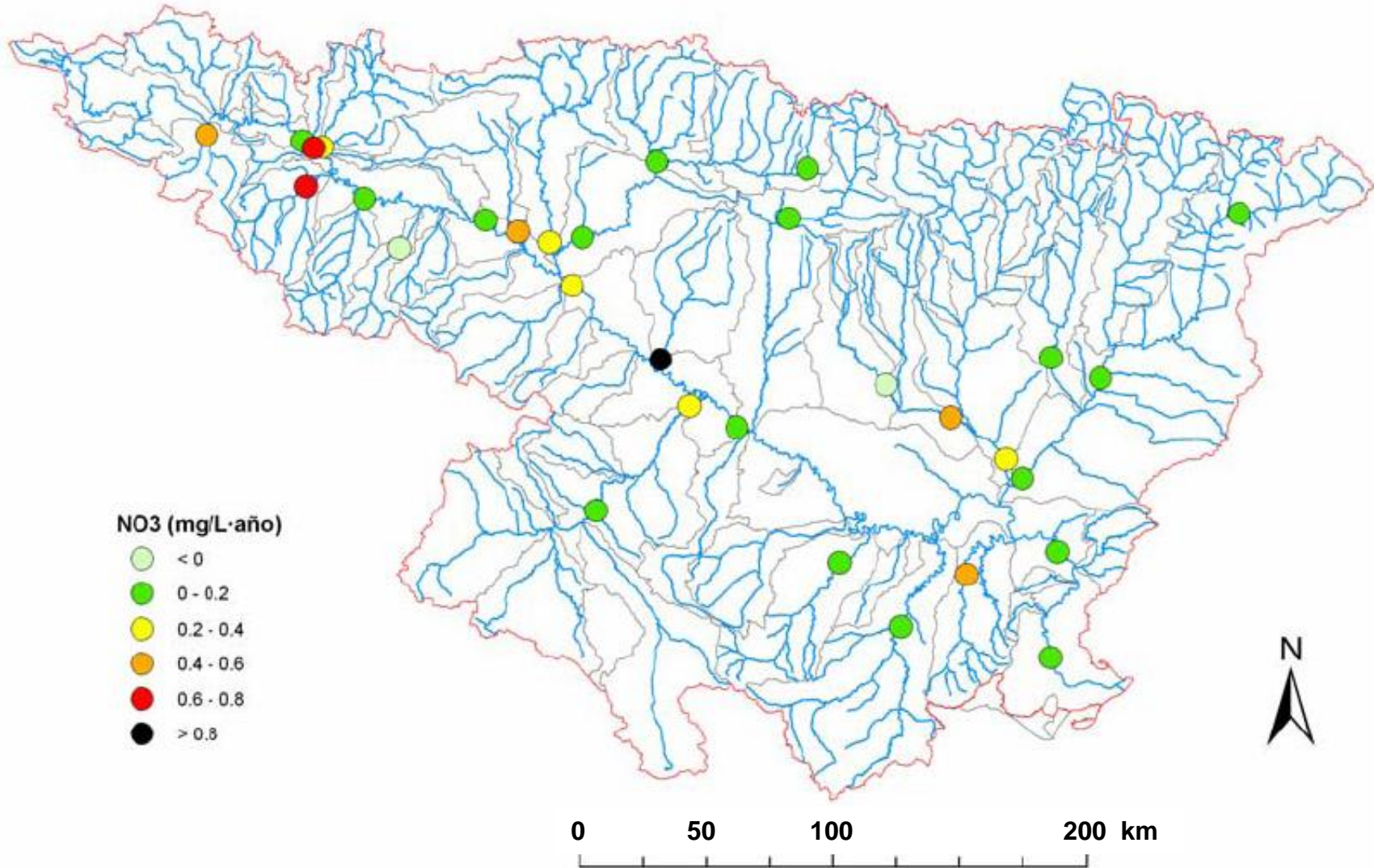


# □ Isolíneas de $\text{NO}_3$ y zonas de regadío en la cuenca del Ebro

★ (El  $\text{NO}_3$  es un problema más agudo en las aguas subterráneas)

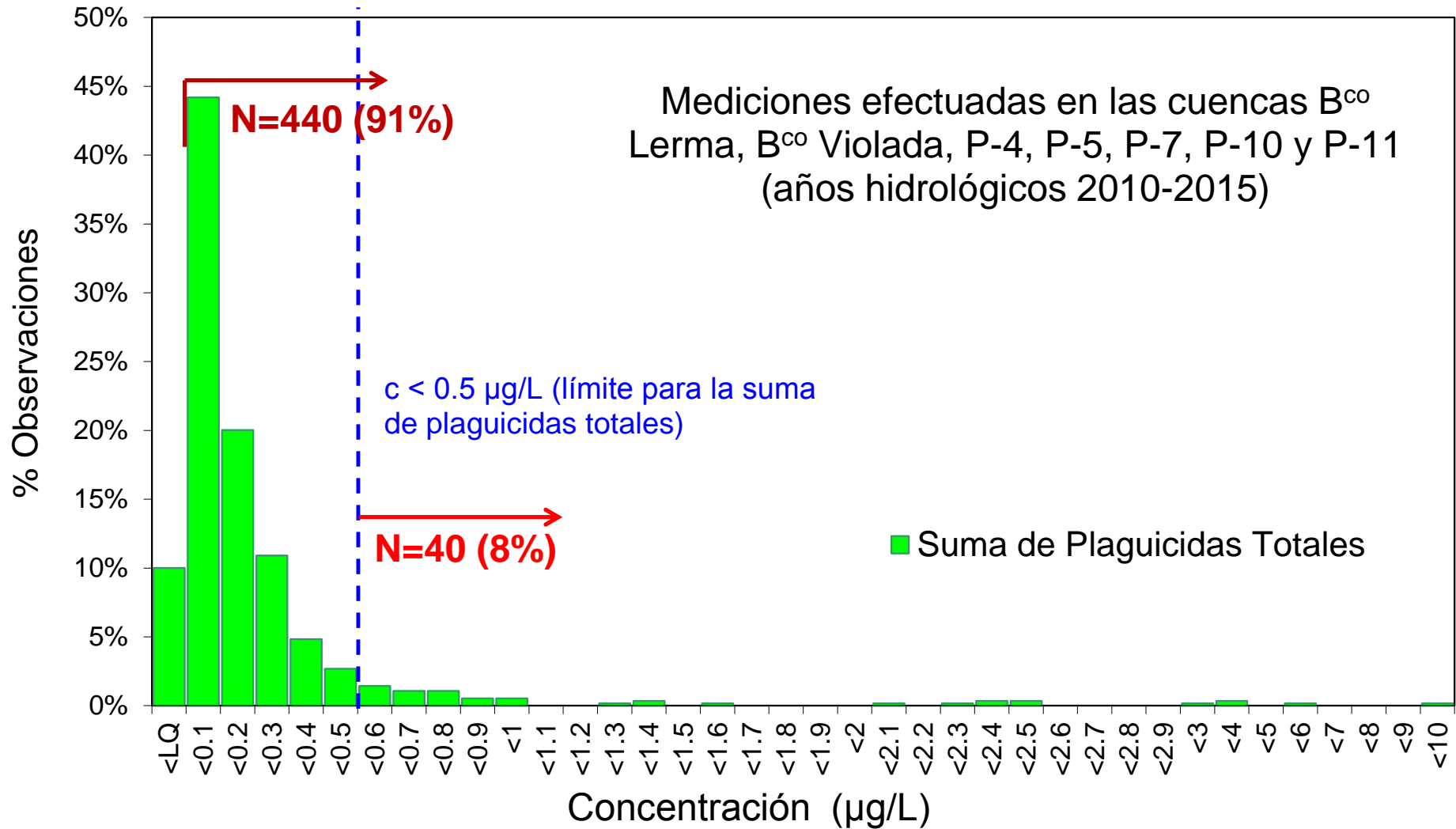


□ Tendencias de  $\text{NO}_3$  (1975-2004) en la cuenca del Ebro



## Suma de plaguicidas totales

□ Límite para aguas destinadas a consumo humano: 0.5  $\mu\text{g/L}$  [N = 485]



□ ¿Cómo va a afectar la modernización de regadíos a la cantidad y calidad del agua?

★ Incremento del USO CONSUNTIVO a nivel de cuenca (salvo que se vaya a un modelo nuevo de cultivos: frutales, RDC)

★ Aumento de la eficiencia de riego:

➤ ▽ Drenaje

➤ ▽ Arrastre de sales del suelo y sub-suelo y de agroquímicos

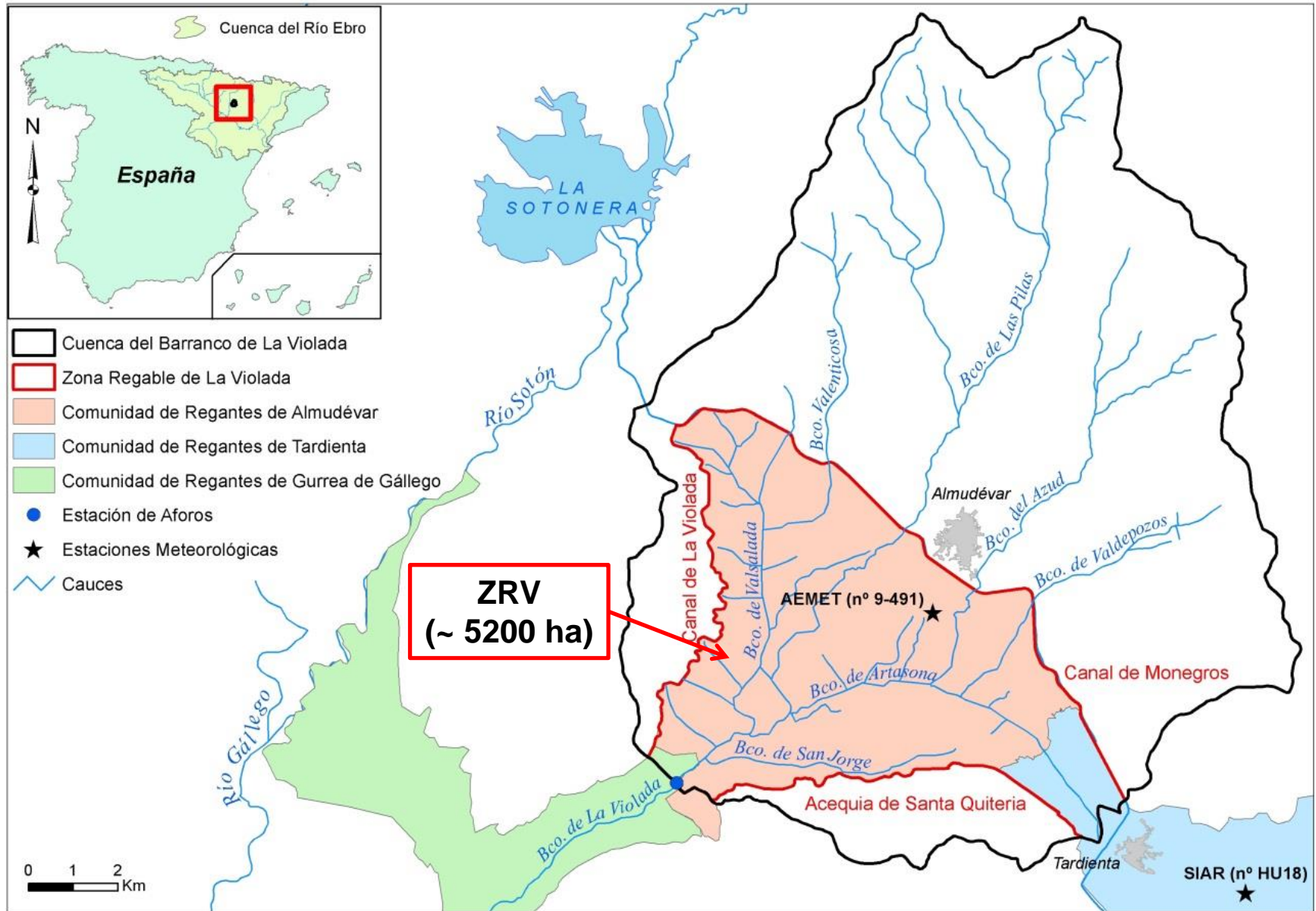
➤ Δ Concentraciones en el Drenaje

★ Posibilidad de aplicar mejor los fertilizantes (**Fertiriego**)

➤ ▽ Arrastre de agroquímicos

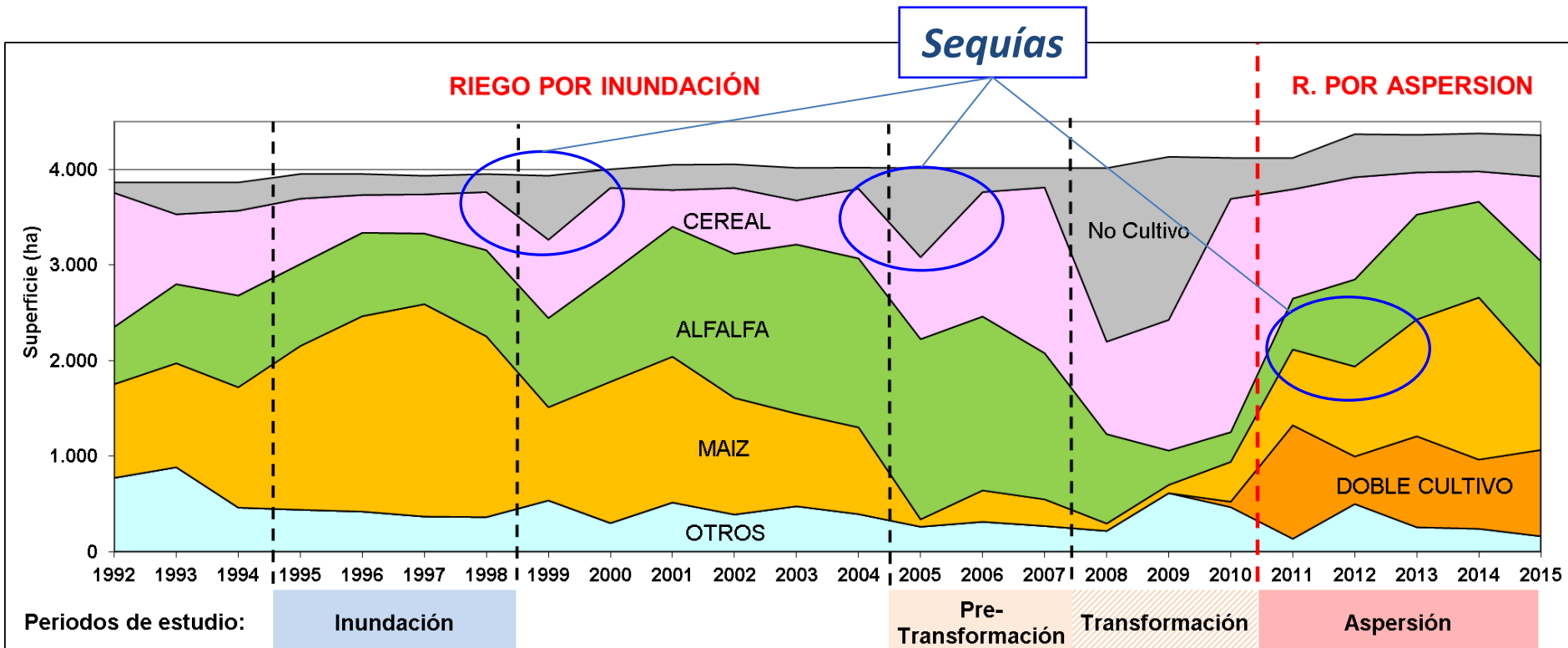
★ Eliminación de la nivelación → Aumento de la erosión y pérdidas de P (?) ← **NO con un manejo adecuado**

★ **EJEMPLO**: La Violada (Comunidad de regantes de Almodévar)

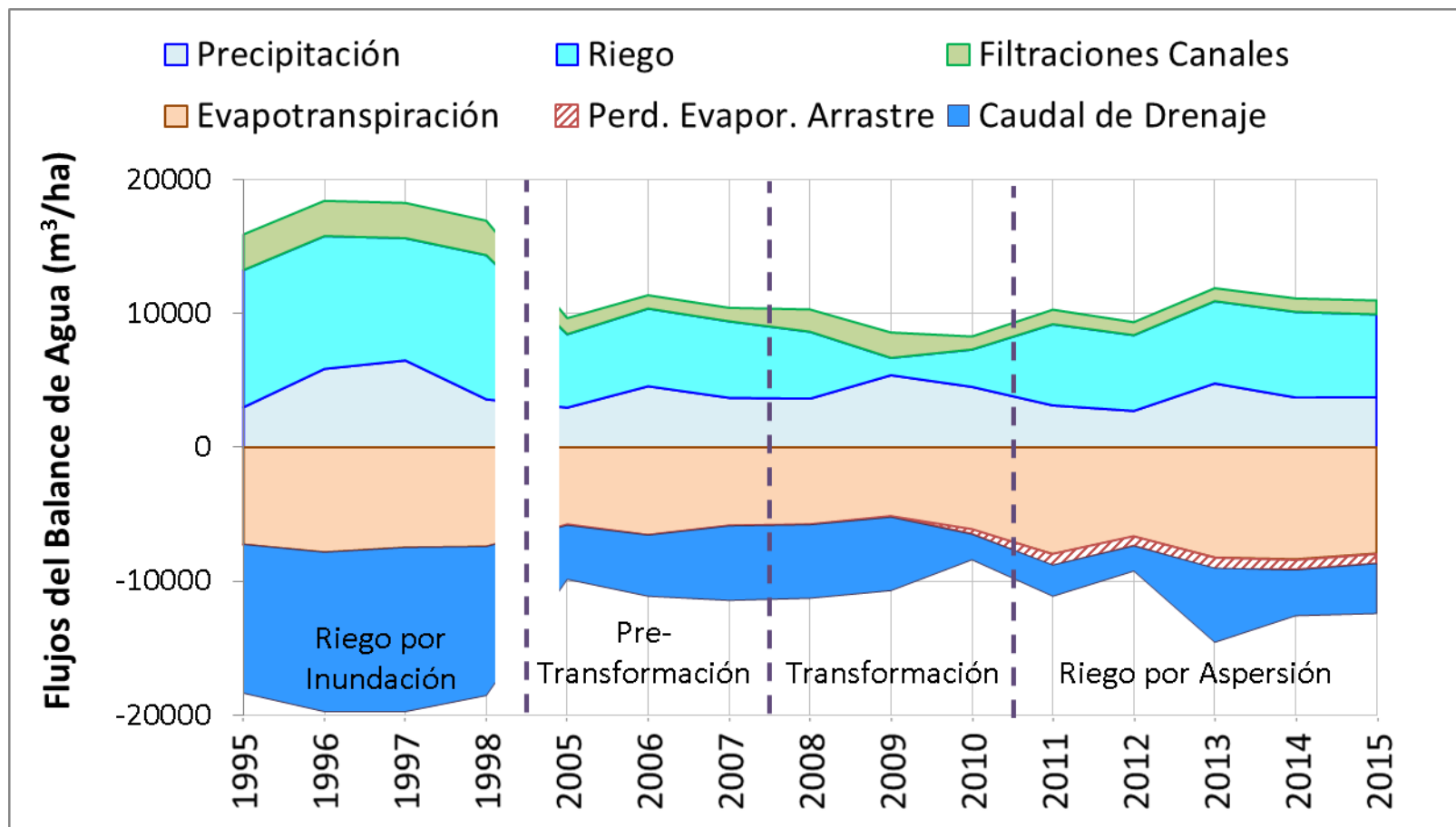


❑ Cambios en la CRA (92% de la ZRV):

- ★ Patrón de cultivos. Dominio de Maíz o Alfalfa
- ★ Patrón de riego
- ★ Patrón de abonado

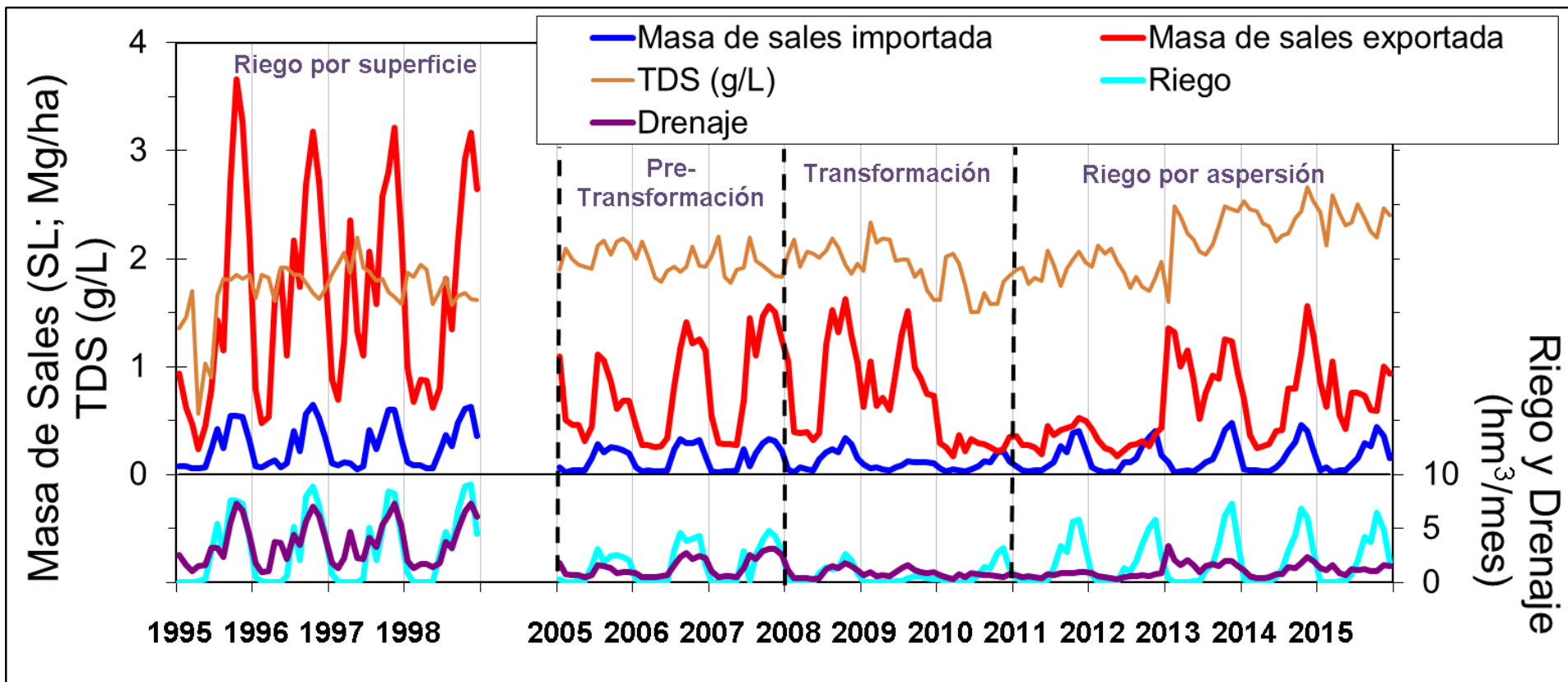


## Balance de agua en la ZRV



## ❑ Disminución de las Sales exportadas (SQ)

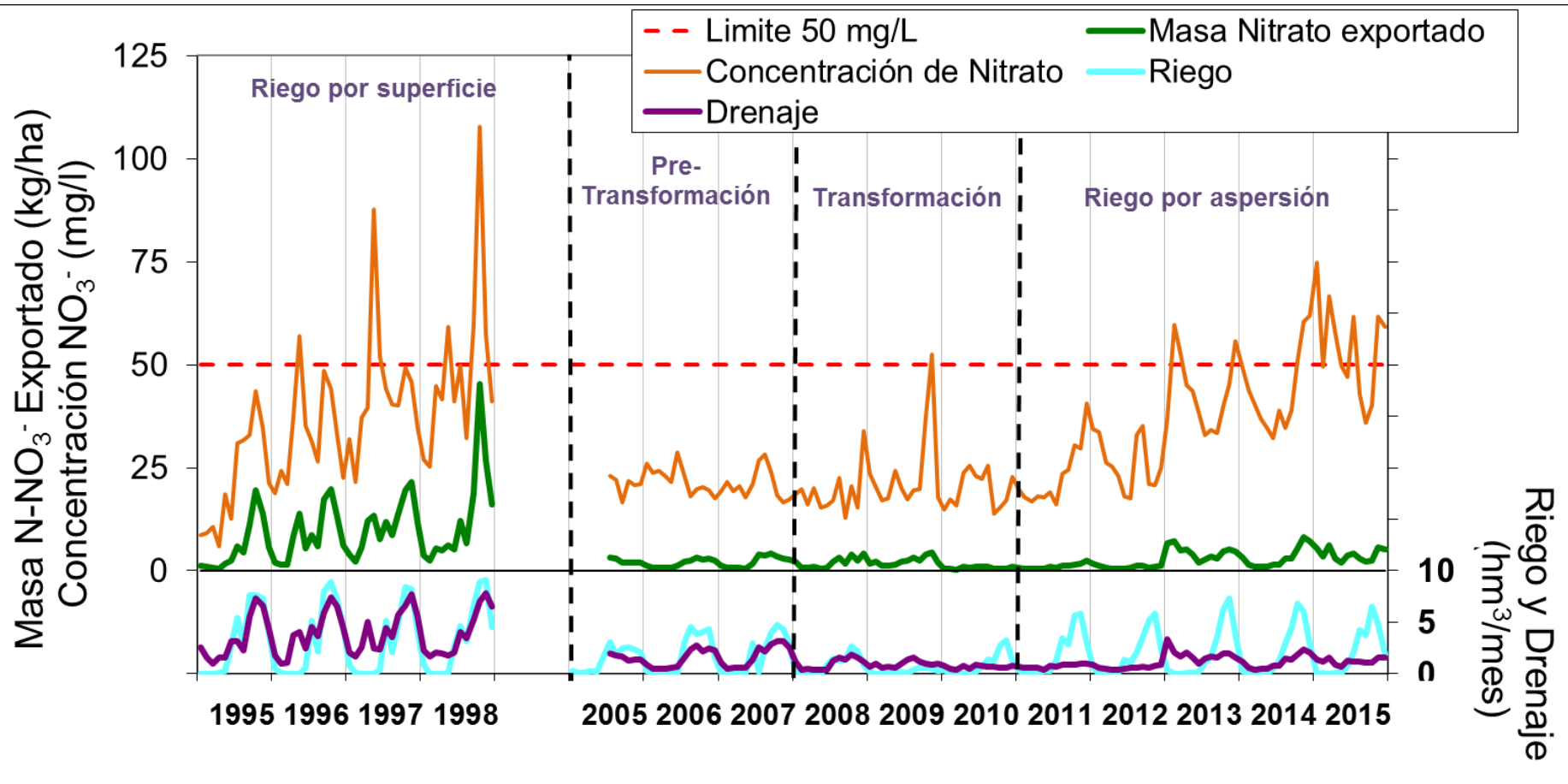
- ★ ▽ SQ antes de la transformación por intensidad de cultivos
- ★ ▽ SQ tras la puesta en marcha de la aspersión y recuperando la intensidad de cultivos.
- ★ △ SQ debido a las fuertes lluvias (octubre 2012; 144 mm)





❑ Disminución del Nitrato exportado

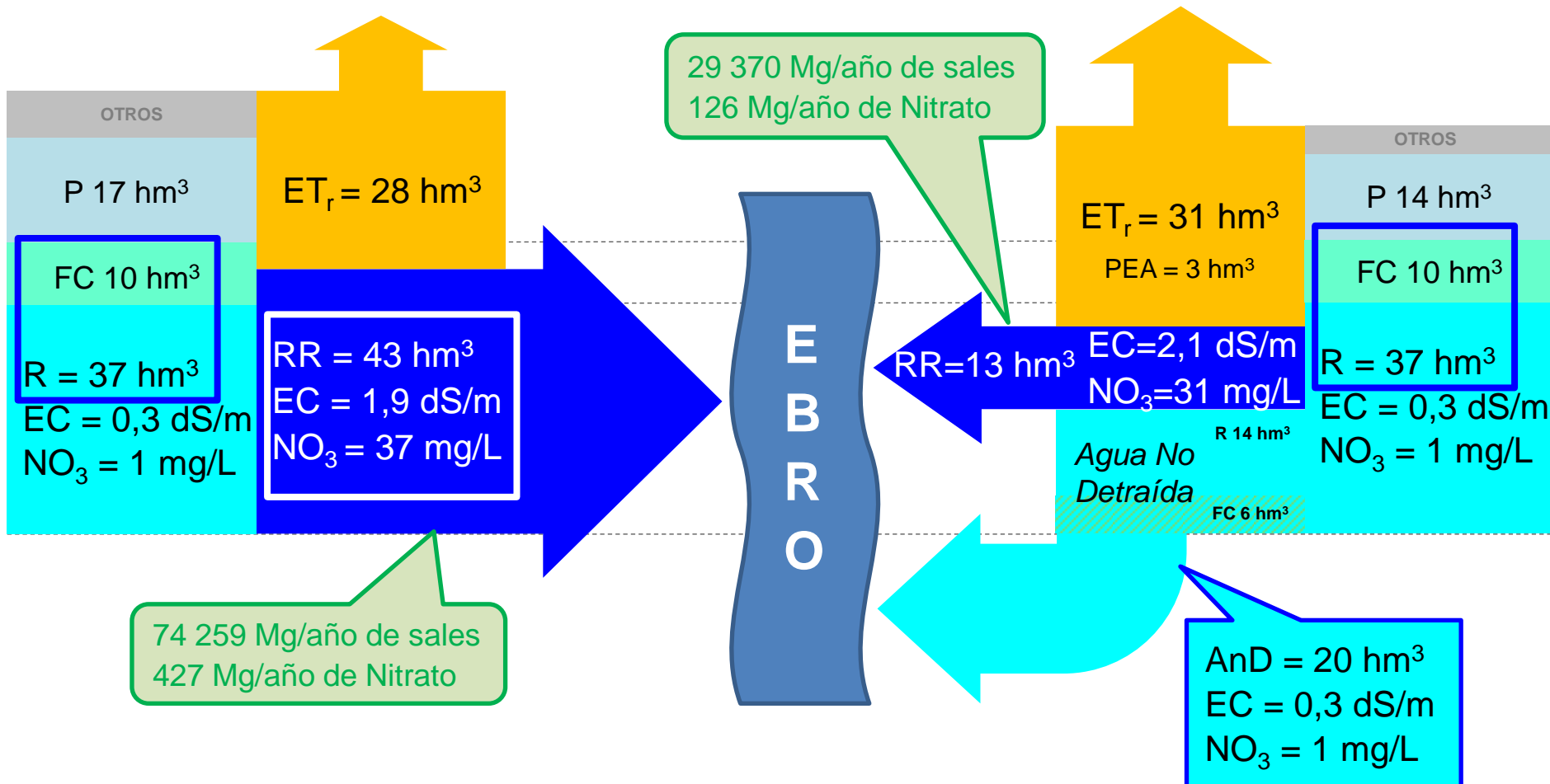
- ★ ▽ Masa nitrato exportado antes de la modernización. Precios. Alfalfa.
- ★ ▽ Masa nitrato exportado después de la modernización
- ★ ~ Concentración Antes-después de la modernización (¿evolución futura?)



**Polígono de Riego de la Violada. Cultivo Intensivo.**

**1995-98**

**2011-15**



## ❑ Concluyendo:

- Aumento del uso de agua a todos los niveles: Competencia creciente por los recursos hídricos
  - ★ Aumento previsible del regadío... necesidad
  - ★ Aumento de los problemas ambientales ligados al regadío
    - ⊗ Problemas in-situ: Degradación de suelos por salinidad y sodicidad
    - ⊗ Problemas externos: salinización y contaminación de las aguas y de las zonas de descarga

Las sales (y otros contaminantes) se mueven con el agua: es necesario conocer el movimiento del agua para establecer el movimiento de los contaminantes

La clave para reducir los efectos de los retornos de riego sobre las masas de agua receptoras es la reducción de las masas de contaminantes en los retornos de riego

La modernización puede ayudar a reducir la exportaciones de sales y contaminantes



**Gracias**