

**CONGRESO ADECUAGA  
AGRICULTURA, AGUA  
Y ENERGÍA**



**Agricultura de regadío y calidad del agua  
a nivel fuente y sumidero**

**R. Aragüés ([raragues@aragon.es](mailto:raragues@aragon.es))**

**Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada  
EEAD-CSIC)**

**CITA-DGA**

**Zaragoza**

**Madrid, 11 de mayo de 2011**

**Índice de la presentación**

**I- Agricultura de regadío: efectos internos/externos**

**II- Calidad de aguas a nivel fuente: riego**

- Variables a considerar.
- Respuesta de los cultivos.
- Respuesta de los suelos.
- Sistemas de riego y salinidad. Riego Deficitario Controlado (RDC).

**III- Calidad de aguas a nivel sumidero: retornos de riego**

- DMA; PHN; Red Vigilancia Ambiental Regadíos.
- Estudios en la cuenca del Ebro.
- Contaminación difusa del regadío: masa y concentración en los retornos de riego.
- Estrategias de control de la contaminación difusa.

## Eficiencia del riego y efectos internos y externos relacionados con la calidad de aguas y suelos

**INCREMENTO DE LA EFICIENCIA DEL RIEGO**

**REDUCCIÓN DE LA FRACCIÓN DE LAVADO**

**AUMENTO DE LOS EFECTOS NEGATIVOS INTERNOS**

- salinización del suelo
- sodificación del suelo
- Efectos negativos sobre plantas y suelos

**REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS NEGATIVOS EXTERNOS**

- Disminución del volumen de agua y masa de contaminantes en los retornos de riego
- Menor degradación en la calidad de los sistemas receptores

**Es necesario un compromiso sostenible entre estos efectos antagónicos...**

**Calidad de aguas a nivel fuente:  
riego**



## Variables que definen la calidad del agua para riego

La aptitud de calidad de un agua para riego depende de su resultante en el suelo...

- **Variables directas (analíticas):**

- 1 – Salinidad: Conductividad Eléctrica (CE, dS/m)
- 2 – Sodicidad: Relación de Adsorción de Sodio (RAS)
- 3 – Alcalinidad: pH
- 4 – Toxicidad iónica específica: Na, Cl, B

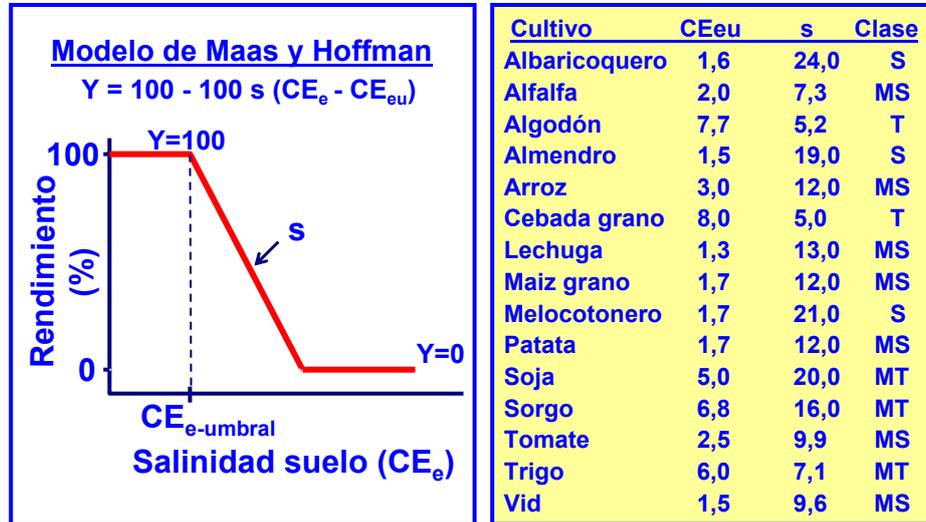
- **Variables indirectas:**

- 5 – Tolerancia de los cultivos a la salinidad:  $CE_u$ ,  $CE_{50}$
- 6 – Tolerancia de los suelos a la salinidad (CE) – sodicidad (RAS) – alcalinidad (pH)
- 7 – Manejo del riego: Sistema de riego, Fracción de Lavado
- 8 – Clima: Déficit Hídrico (Precipitación, ETc)

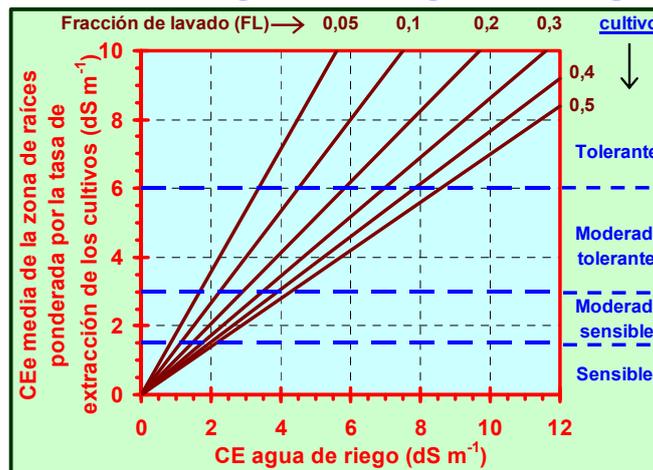
## Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego

- **Variables a considerar: CE agua riego, Fracción de Lavado (FL), y tolerancia del cultivo a la salinidad.**
  - Actualmente se recomienda establecer la respuesta del cultivo en base a la CE media de la zona de raíces ponderada por su tasa de extracción. Clasificación menos restrictiva que la convencional (basada en la CE media aritmética).
  - Debe tenerse en cuenta el efecto del lavado de sales por el agua de lluvia (total y su distribución).
  - Para aguas “no convencionales” y lluvias significativas se recomienda el uso de modelos (Watsuit, Unsatchem, Hydrus, etc.) ya que mejoran las estimas de salinidad del suelo.

## Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego: tolerancia de los cultivos a la salinidad



## Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego: nomograma

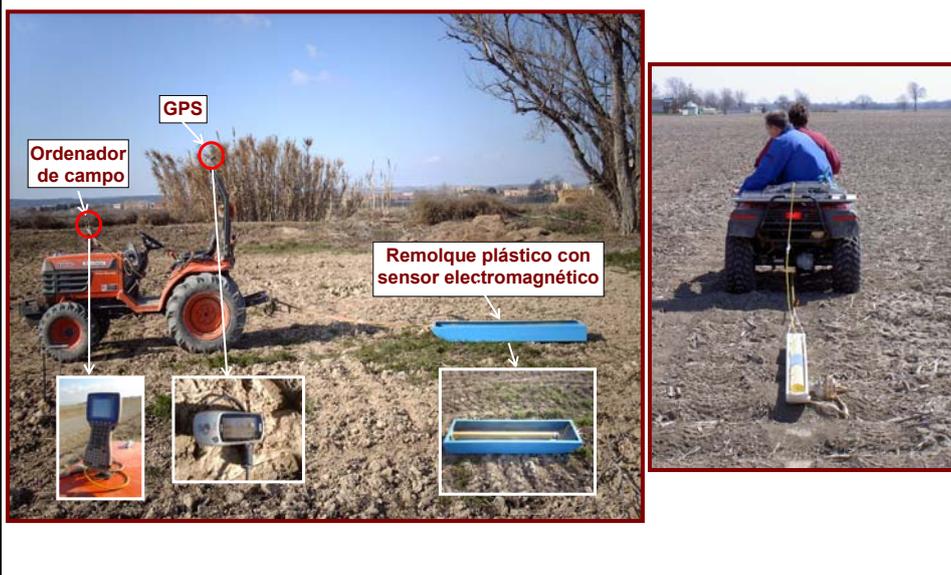


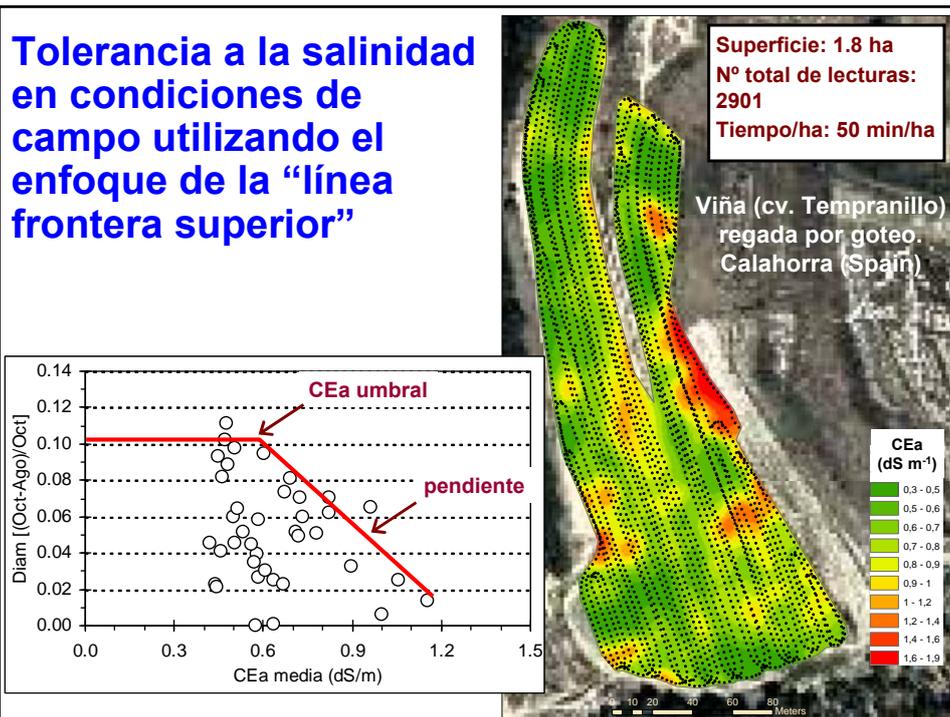
1. CE agua riego y FL ⇒ estima de la CEe m.p. zona raíces
2. CEe umbral cultivo > CEe m.p. ⇒ agua apta para riego
3. CEe umbral cultivo < CEe m.p. ⇒ agua no apta para riego

## Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego. ¿Cómo cuantificarla?

- La respuesta es ambiente-dependiente. La cuantificación debe hacerse en condiciones de campo naturales o, preferentemente, controladas.
- En cualquier caso, es fundamental medir la salinidad del suelo en la zona de raíces del cultivo.
- El uso de sensores de inducción electromagnética calibrados para estimar la salinidad edáfica es una práctica recomendada.

## Sensor electromagnético móvil georreferenciado Prototipo diseñado en el CITA-DGA





### Respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego

- **Variables a considerar: CE, RAS (RAS ajustado), pH del agua riego, y tolerancia del suelo a CE-RAS-pH.**
- **La respuesta es específica para cada tipo de suelo (en particular, depende de su mineralogía y contenido de materia orgánica).**
- **Debe tenerse en cuenta el efecto desestabilizante del agua de lluvia.**
- **No existen métodos robustos de laboratorio capaces de predecir la estabilidad estructural de los suelos bajo condiciones reales de campo. Los ensayos de campo son necesarios (y difíciles de realizar).**

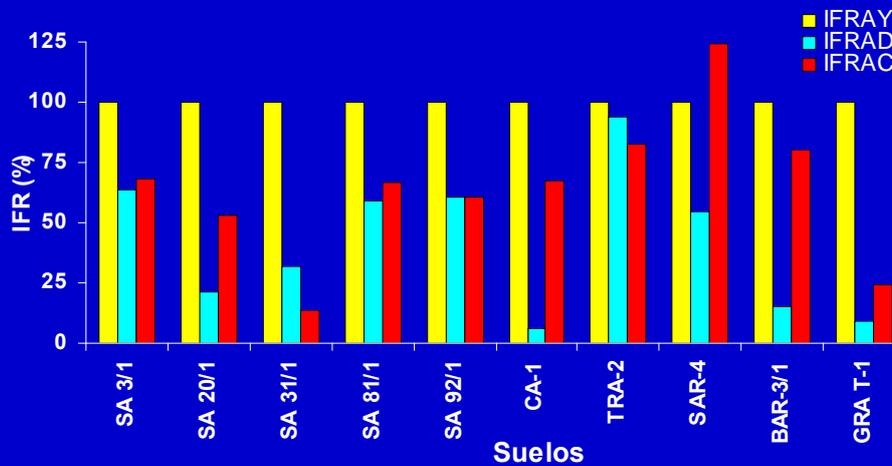
## Ensayos de campo

Respuesta de la infiltración del suelo sujeto a agua saturada en yeso (AY), agua canal de riego (AC) y agua destilada (AD) mediante un infiltrómetro automático desarrollado en el CITA



## Susceptibilidad de los suelos a dispersión química: Efecto de la calidad del agua en la infiltración

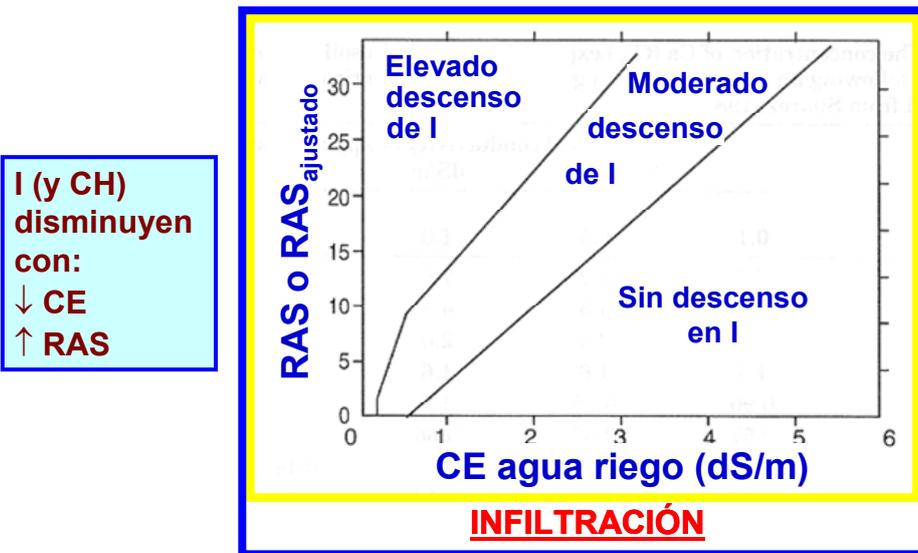
AY = agua saturada en yeso (2.2 dS/m); AD = agua destilada < 0.1 dS/m); AC = agua del canal de riego (0.4 dS/m)  
IFR = infiltración relativa a la obtenida con AY (100%)



## ¿Porqué se desestabilizan los suelos perdiendo su capacidad para transmitir agua?



## Respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego: curvas de estabilidad estructural

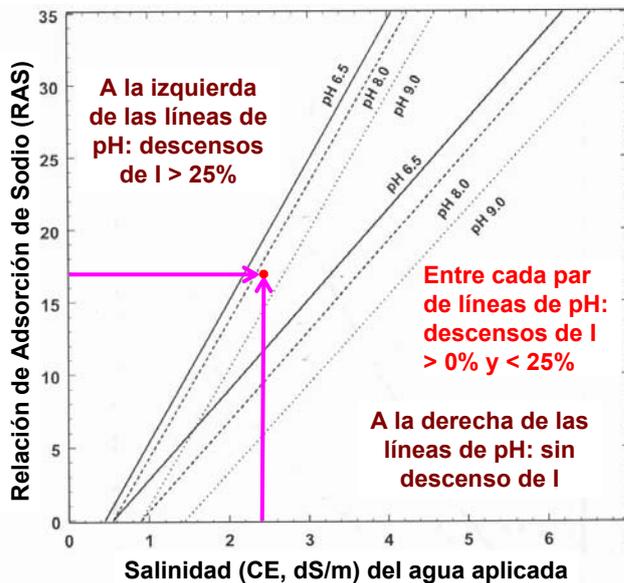


## Relaciones CE-RAS-pH-I (infiltración) D.L. Suarez, ASCE Manual (2011)

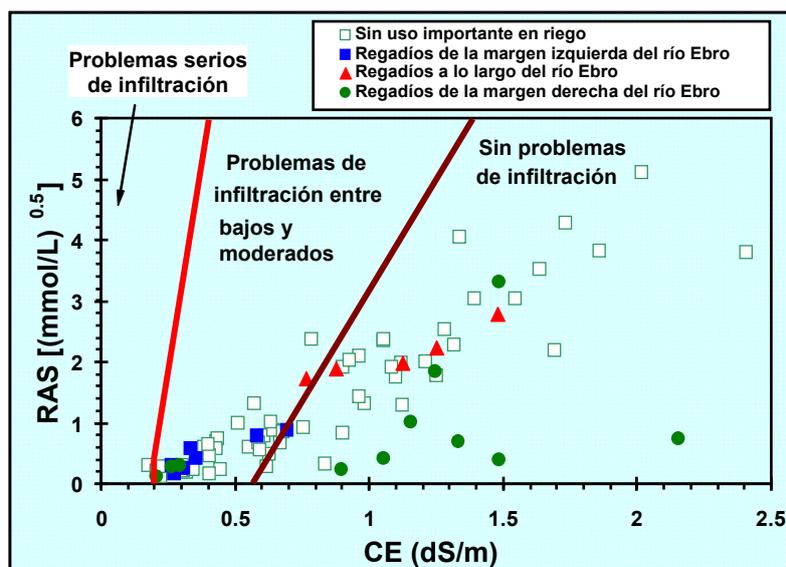
**I disminuye con:**  
 ↓ CE  
 ↑ RAS  
 ↑ pH

**Ejemplo: CE = 2.4 y RAS = 17**  
 - pH = 6 ó 8 ⇒ descenso I < 25%  
 - pH = 9 ⇒ descenso I > 25%

**El efecto del pH es menor que el efecto de la CE o del RAS**



## Respuesta de los suelos a la calidad del agua: el caso de la cuenca del Ebro



## Sistema de riego y salinidad: síntesis de problemas potenciales y medidas correctoras

Sistema	Problema potencial	Medidas correctoras
Inundación	Baja uniformidad en la distribución del agua ⇒ lavado diferencial de sales	<b>Nivelación por láser</b> ; evitar encharcamientos prolongados; incrementar la frecuencia del riego (con dosis menores en cada riego)
Surcos	Evaporación del agua y acumulación de sales en la parte superior de los caballones	<b>Acolchado del caballón</b> ; reformado del caballón; sembrar a los lados del caballón; riego en surcos alternantes
Aspersión	Mojado de las hojas y absorción iónica foliar ⇒ toxicidad iónica específica	<b>Evitar el mojado de las hojas</b> ; regar por la noche; reducir la frecuencia y aumentar los tiempos de riego; aplicar post-riegos con agua dulce
Goteo	Acumulación de sales en los bordes del bulbo húmedo; obturación de goteros Goteo subterráneo: acumulación de sales entre la superficie del suelo y las líneas de goteo	<b>Aumentar la densidad de goteros</b> ; conectar el riego si llueve (evitar la entrada de sales en la zona de raíces); acidificar el agua Goteo subterráneo: lavar las sales acumuladas en superficie regando por inundación o aspersión



**Rideco**  
Conceller  
 (CSD2006 – 00067)

### Riego deficitario controlado en cultivos leñosos



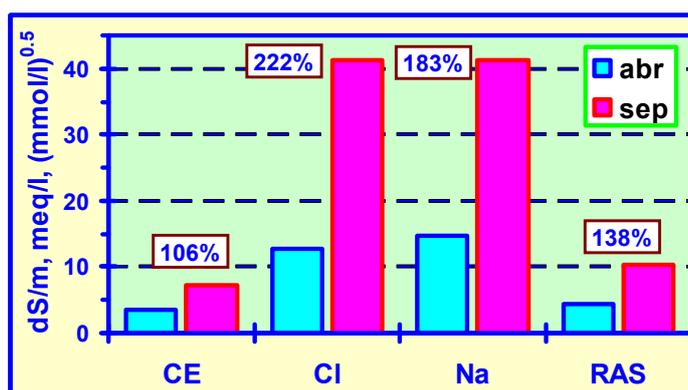
Finca santa Bárbara, Grupo ALM

## Riego deficitario controlado (RDC)

- Imposición de estrés hídrico en períodos que no afectan a la cosecha.
- Estrategia no aplicable a todos los cultivos.
- El riego deficitario puede aumentar la productividad del agua en más del 200%...
- Pero puede aumentar la salinidad/sodicidad del suelo.

Cambio de políticas basadas en maximizar la **productividad del cultivo** (“máximo riego-máxima producción”) a políticas basadas en maximizar la **productividad del agua** (“menos riego-máxima productividad del agua”).

## RDC en melocotonero (CE agua riego = 1.2 dS/m)



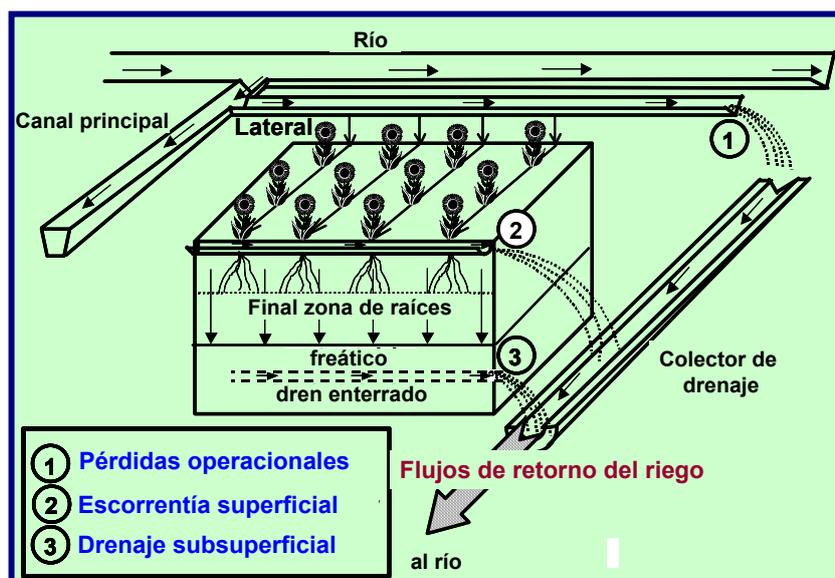
- RDC:
- 100% ETc
  - 50% ETc en Fase III

- 1- Incrementos muy elevados, en particular para Cl y Na. Los valores en septiembre superan a los umbrales FAO-melocotón.
- 2- Incremento de la sodicidad (RAS) superior al de salinidad (CE). El valor de RAS en septiembre (10.3) puede inducir a la pérdida de estabilidad de los suelos sujetos a lluvia o aguas de baja CE.

## Calidad de aguas a nivel sumidero: retornos de riego



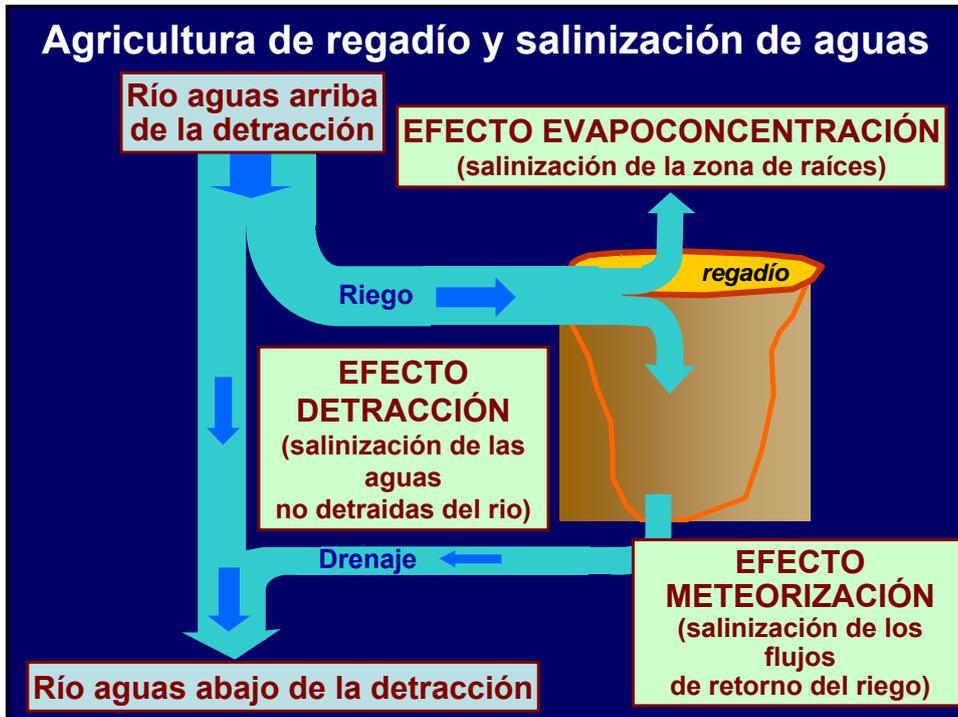
## Componentes de los flujos de retorno del riego



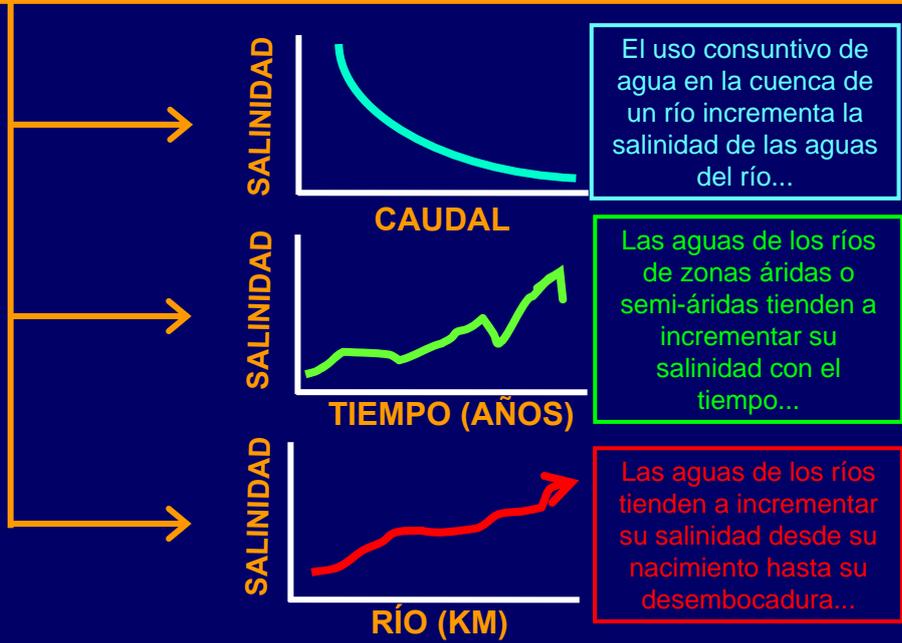
**Parámetros de calidad de los tres componentes de los flujos de retorno del riego y cambios de calidad esperables en relación con la calidad del agua de riego**

Parámetros de calidad	Componentes de los flujos de retorno del riego		
	Pérdidas operac.	Escorr. superf.	Drenaje subsup.
Degradación general de calidad	0	+	++
Salinidad	0	0, +	++
Nitrogeno	0	0, +, ++	++, +
Fósforo	0, +	++	0, -, +
Demanda biológica de oxígeno	0	+, 0	0, -, --
Sedimentos	0, +, -	++	--
Residuos de pesticidas	0	++	0, -, +
Elementos traza	0	0, +	0, -, +
Organismos patógenos	0	0, +	-, --

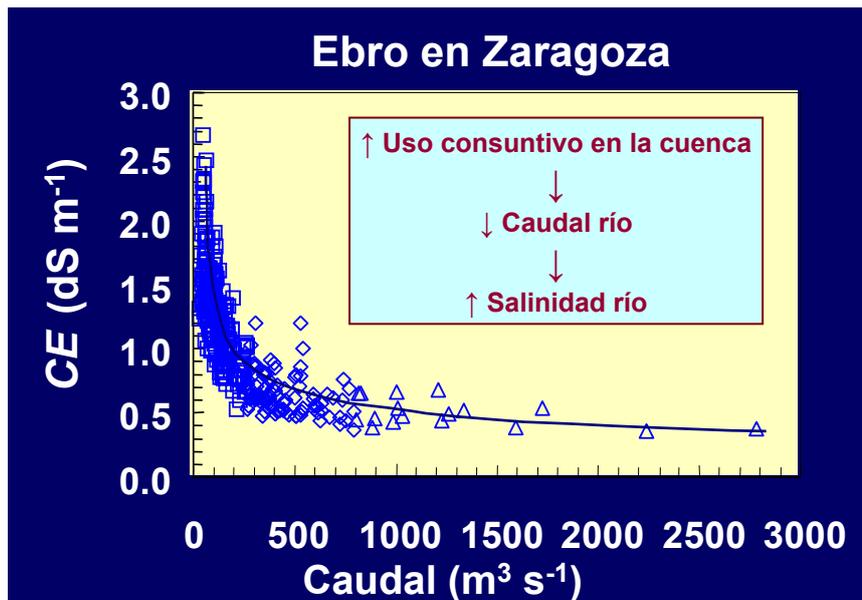
0: Degradación de calidad despreciable  
 +, ++: Degradación moderada, elevada de calidad (evapoconcentración, aplicación de agroquímicos, erosión del suelo, disolución de minerales, etc.)  
 -, --: Mejora moderada, elevada de calidad (filtración, fijación, degradación microbiana, precipitación de minerales, etc.)



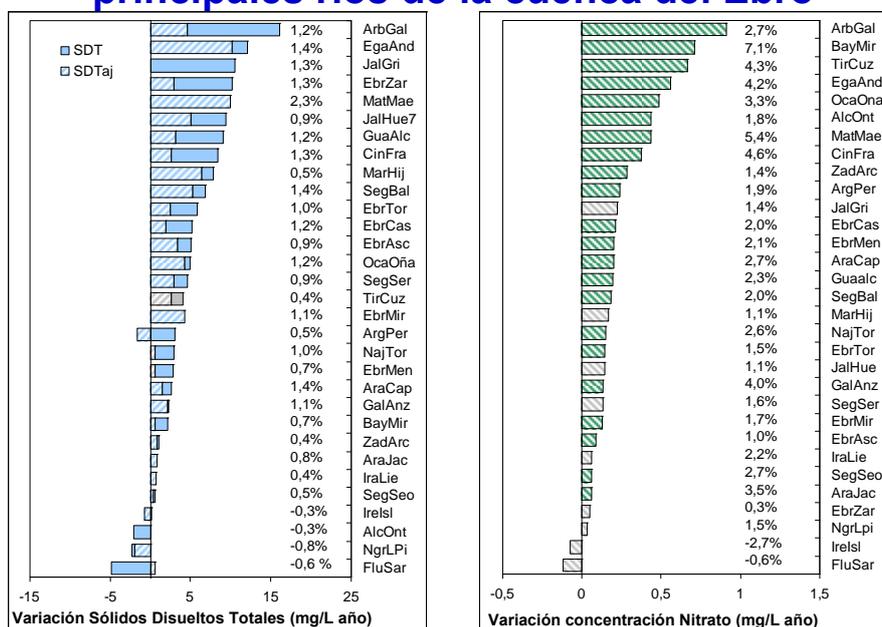
### “Detracción+ Evapoconcentración+Meteorización”



### Relación salinidad (CE) – caudal (Q)



## Tendencias de salinidad y Nitrato en los principales ríos de la cuenca del Ebro



## Directiva Marco Europea del Agua (DMA) y Plan Hidrológico Nacional (PHN)

- **Objeto DMA:** marco para la protección de la calidad de las aguas en Europa. **Basada en concentraciones...**
- Las masas de agua deben alcanzar un “buen estado ecológico” en 2015.
- **“Quien contamina, paga”...** Complicado cuando la contaminación es difusa (regadío).
- **Presión creciente hacia sistemas agrarios que garanticen la calidad de las aguas: necesidad de cuantificar la contaminación inducida por el regadío.**

**Directiva Marco, Plan Hidrológico  
y  
Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)**

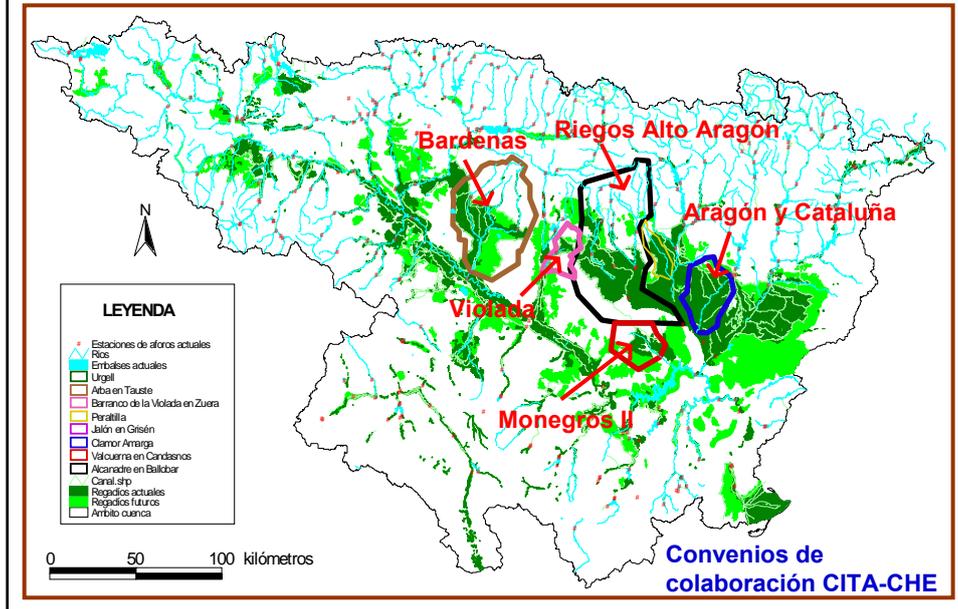
- Seguimiento de los impactos ambientales.
- Investigación de las relaciones causa-efecto.
- Elaboración de códigos de buenas prácticas agrarias.
- Establecimiento de un sistema de indicadores agroambientales.
- Red de Vigilancia Ambiental de Regadíos en cada Demarcación Hidrológica de España.

**Red de Control de Calidad Ambiental de  
Regadíos en la Cuenca del Ebro  
(Convenios CHE-CITA)**

**Objetivos:**

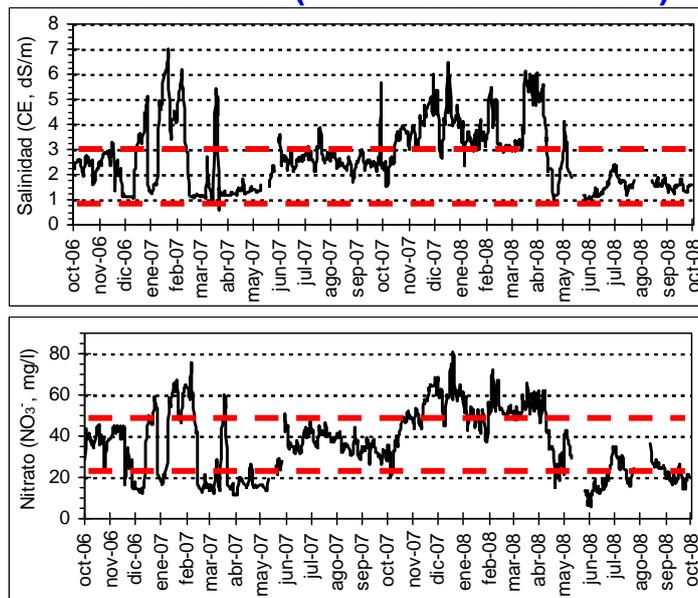
- Manejo de los factores de producción (agua y agroquímicos).
- Balances de masas (agua y contaminantes: sales, fertilizantes, pesticidas).
- Cuantificación del volumen de agua y la concentración y masa de contaminantes en los retornos de riego.
- Optimización del riego y agroquímicos

## Red de Control de Regadíos en la Cuenca del Ebro



## Agricultura y contaminación de aguas: el ejemplo de Bardenas (río Arba en Tauste)

**Salinidad y Nitratos del río Arba en Tauste. Años hidrológicos 2007 y 2008**

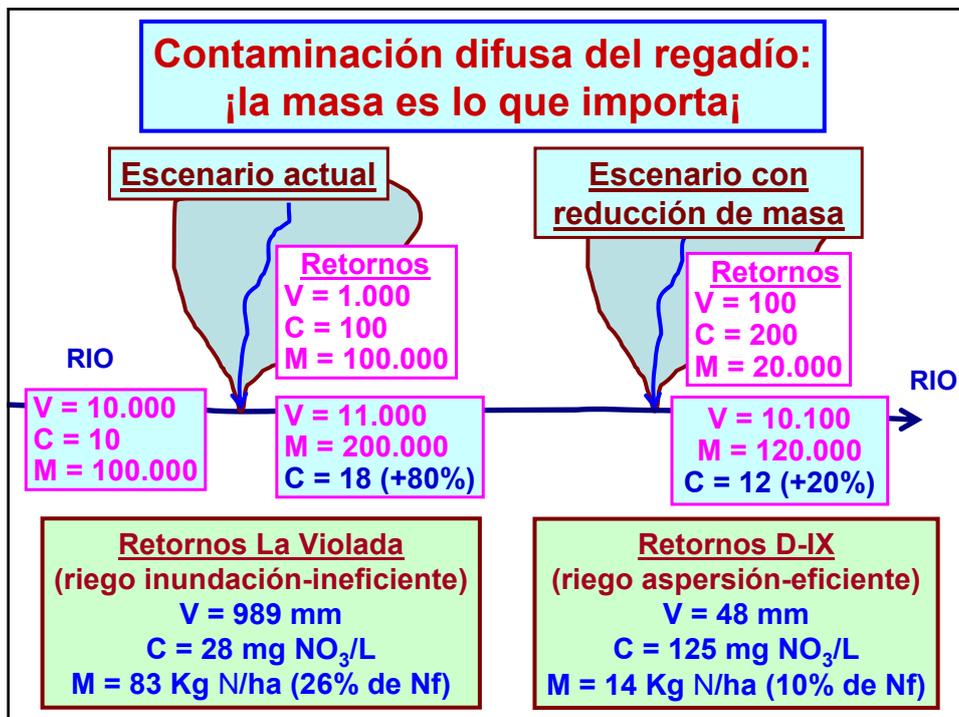


## Cuadros resumen – salinidad y nitratos

CE (dS/m)	2007 + 2008		
	ENR	ER	AH
Máximo	7.0	5.9	7.0
Media	3.2	2.1	2.7
Ton/ha · año	2.7	3.3	6.0

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	2007 + 2008		
	ENR	ER	AH
Máximo	81	62	81
Media	44	29	37
Nº > 50	165 (45%)	9 (2%)	174 (24%)
Nº > 25	297 (81%)	200 (55%)	497 (68%)
Kg/ha · año	52	62	114



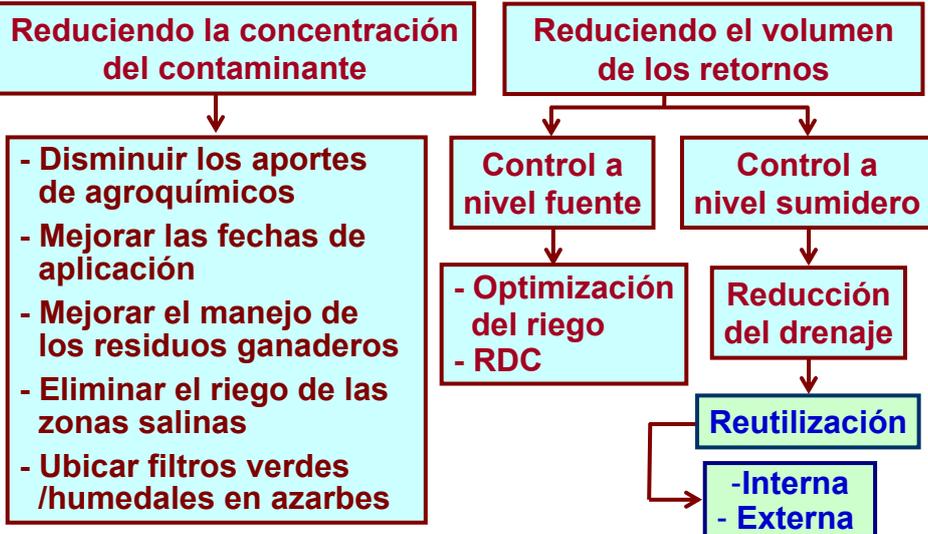
**Plan de Choque de Modernización  
de Regadíos (MARM, 2006):  
¿cómo afecta a la calidad de las aguas?**

**La calidad de las aguas mejora en la Cuenca:**

- 1- Porque aumenta en los ríos el volumen de agua de buena calidad no detraída para el riego.**
- 2- Porque se reduce el volumen de los retornos de riego.**
- 3- Porque disminuye la masa de contaminantes exportados por los retornos de riego (aunque aumenta su concentración).**

**¿Cómo minimizar la masa exportada  
del contaminante?**

**(Masa = Concentración x Volumen)**



### Conclusiones

- 1- Es necesario un compromiso sostenible entre los efectos antagónicos *internos* y *externos* del regadío.
- 2- La aptitud de calidad del agua para riego depende de su resultante en el suelo. Variables a considerar: cuatro directas (analíticas) y cuatro indirectas.
- 3- La respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego debe establecerse en base a (1) su propia tolerancia, (2) la FL, y (3) la CE media de la zona de raíces ponderada por su tasa de extracción.
- 4- La respuesta de los cultivos a la calidad del agua de riego es ambiente-dependiente y exige ensayos de campo. Es necesario medir la salinidad del suelo.

### Conclusiones

- 5- La respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego debe establecerse mediante sus curvas de estabilidad estructural “CH (I) – CE – RAS – pH”.
- 6- La respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego es ambiente-dependiente y exige ensayos de campo.
- 7- Cada sistema de riego tiene problemas potenciales y medidas correctoras específicas. Especial atención al riego por aspersión con aguas salinas.
- 8- El riego deficitario controlado puede aumentar la salinidad y sodicidad del suelo y, por lo tanto, sus efectos negativos sobre cultivos y suelos.

## **Conclusiones**

- 9- La DMA, el PHN y el PVA exigen el control de la calidad de las aguas. Es necesario establecer Redes de Control de la Calidad Ambiental de los Regadíos a nivel Demarcación hidrológica.**
- 10- La masa de contaminantes en los retornos de riego es la variable fundamental para el análisis de la contaminación difusa inducida por el regadío.**
- 11- La masa de contaminantes en los retornos de riego puede minimizarse reduciendo la concentración del contaminante y el volumen de los retornos de riego a nivel fuente y sumidero.**
- 12- La modernización de regadíos mejora la calidad de las aguas en la cuenca (pero reduce el recurso agua y aumenta la concentración contaminante en los retornos).**