

**CONGRESO ADECUAGA
AGRICULTURA, AGUA
Y ENERGÍA**



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

R. Aragüés (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

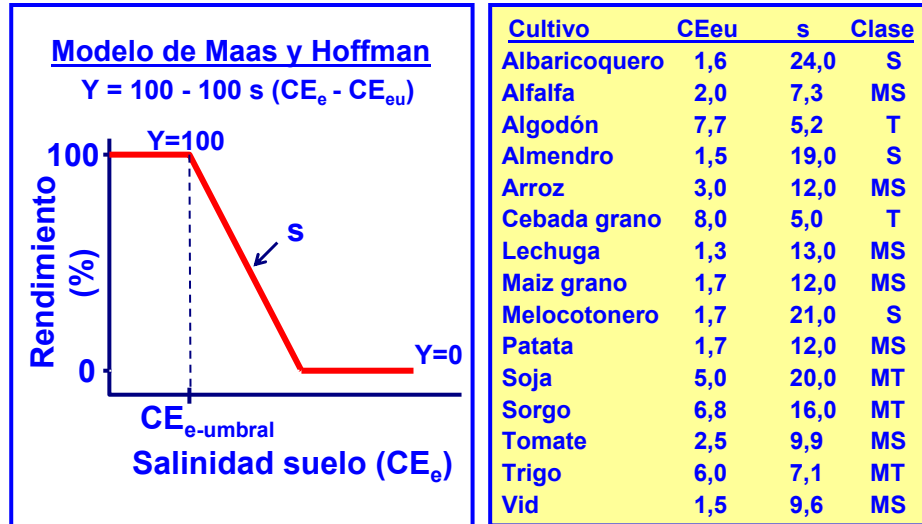
- **Variables indirectas:**

- 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)

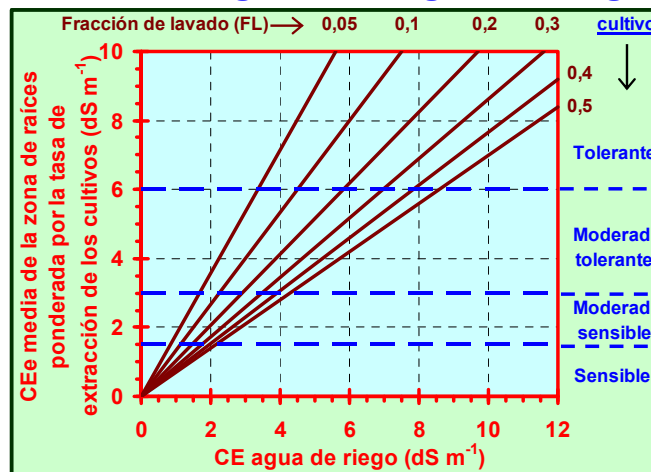
Respuesta de los cultivos a la salinidad del agua de riego

- **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

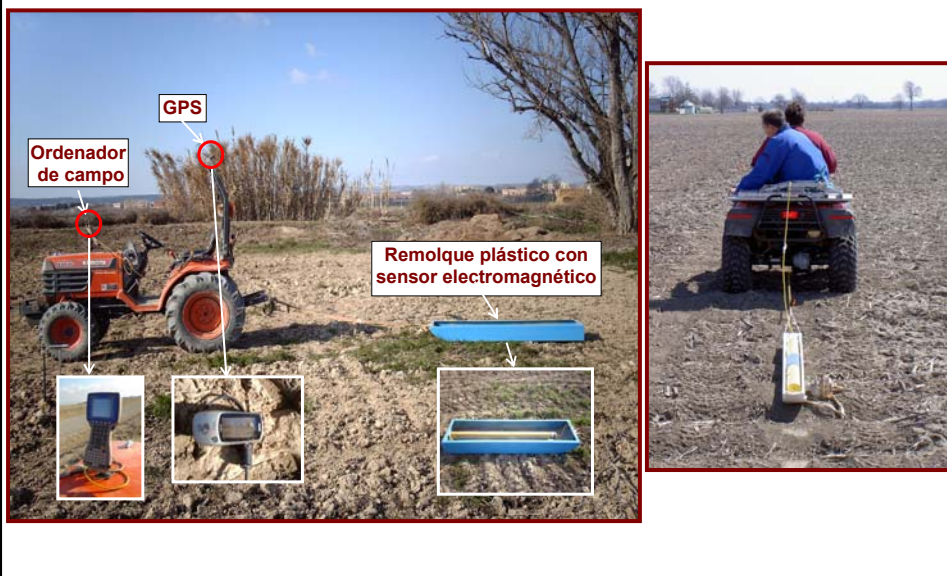


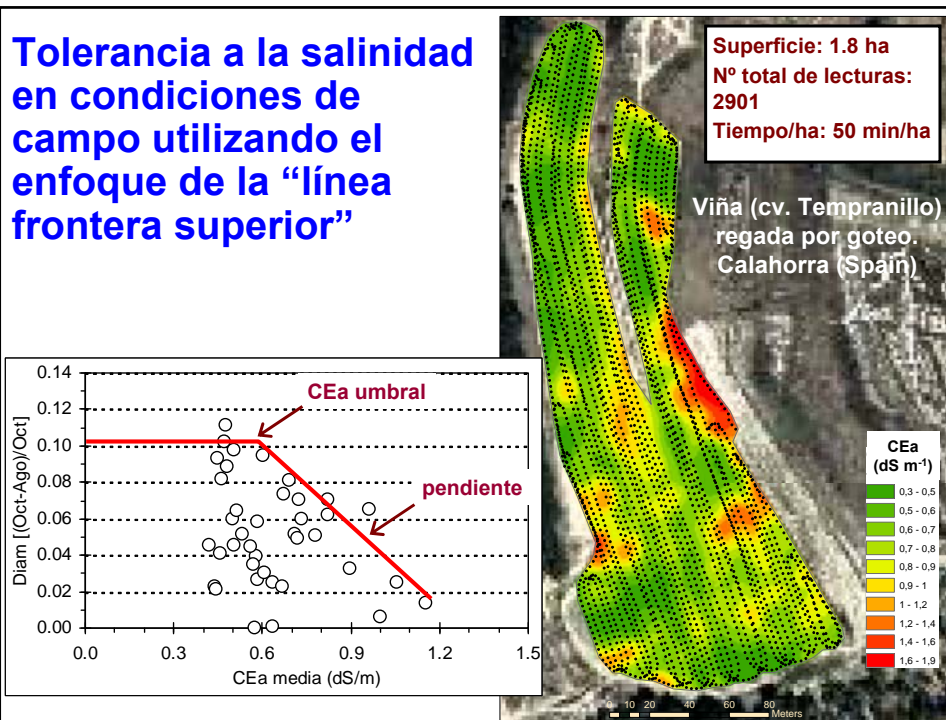
1. CE agua riego y FL ⇒ estima de la CEe m.p. zona raíces
2. CEe umbral cultivo > CEe m.p. ⇒ agua apta para riego
3. CEe umbral cultivo < CEe m.p. ⇒ agua no apta para riego

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



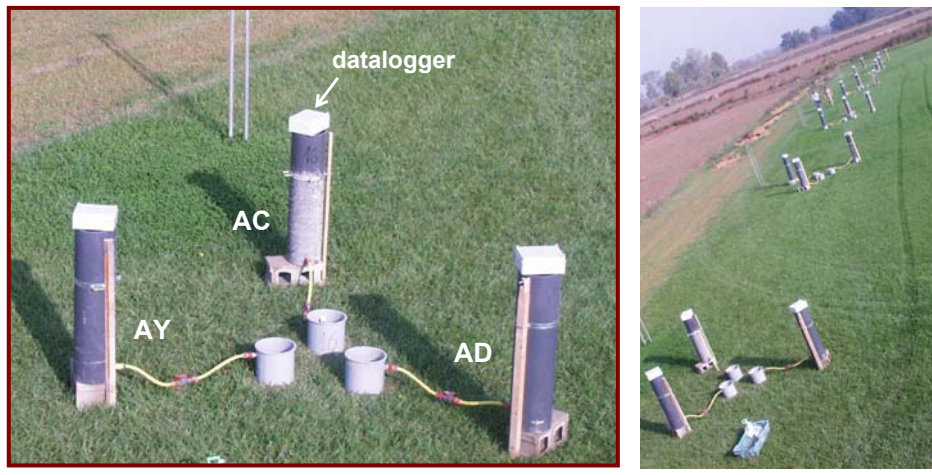


Respuesta de los suelos a la calidad del agua de riego

- **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).**

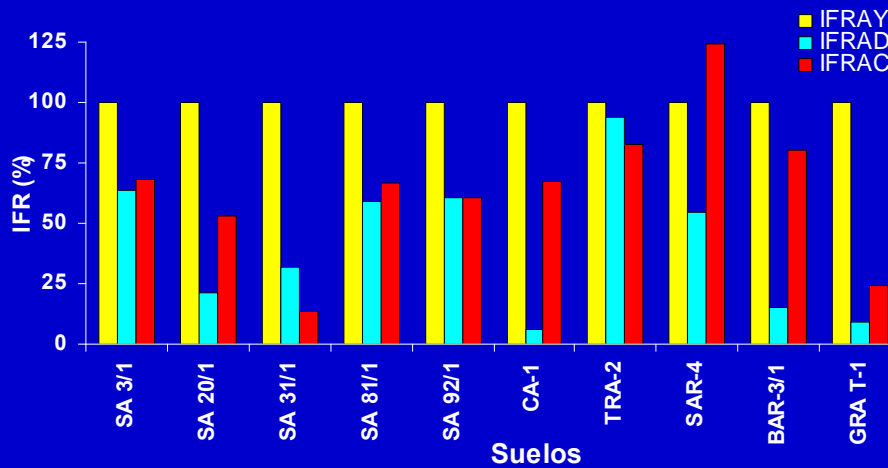
Ensayos de campo

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%)

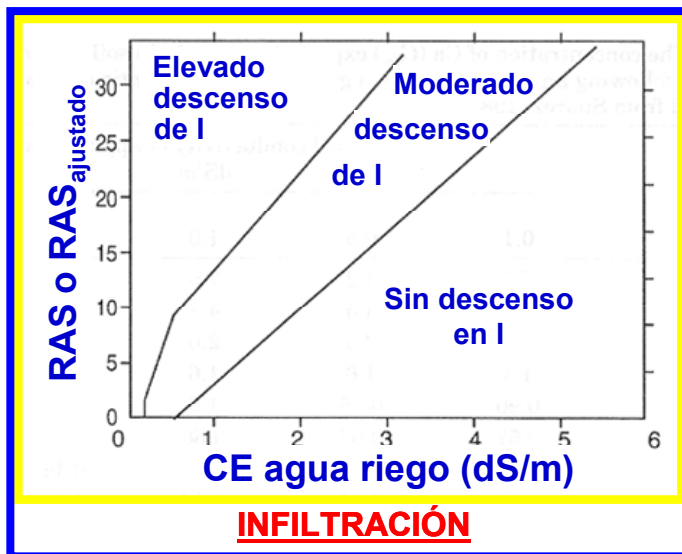


¿Porqué se desestabilizan los suelos perdiendo su capacidad para transmitir agua?



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

I (y CH) disminuyen con:
 ↓ CE
 ↑ RAS



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

I disminuye con:

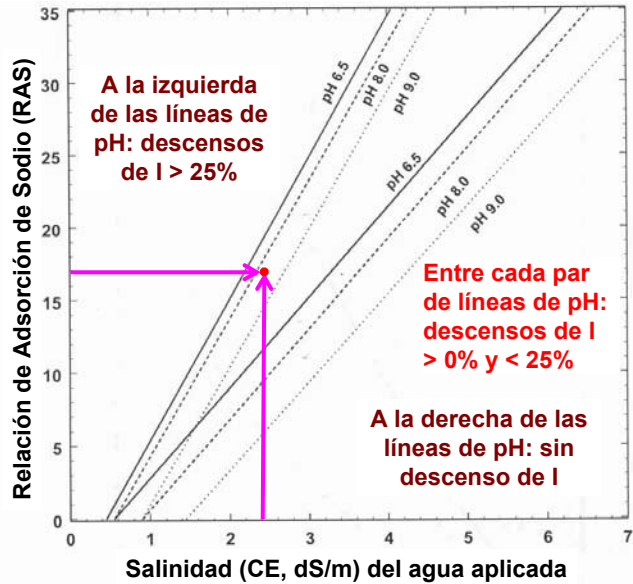
↓ CE
↑ RAS
↑ pH

Ejemplo: CE = 2.4 y RAS = 17

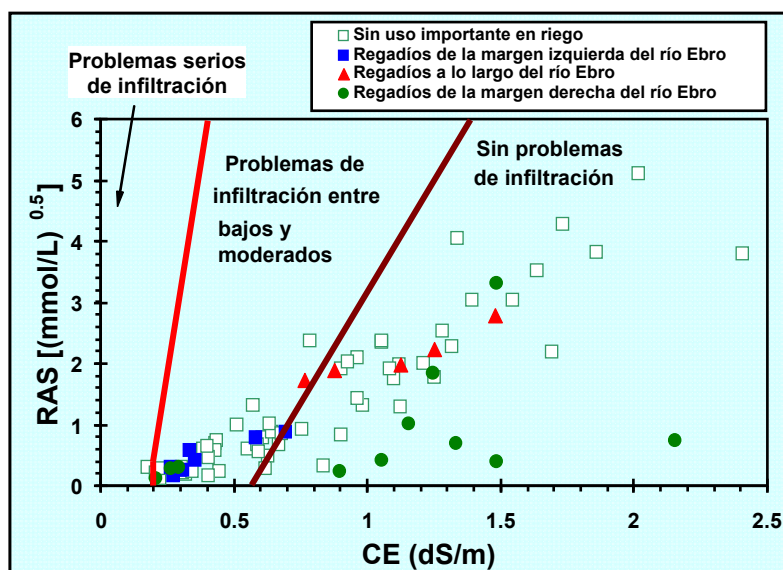
- pH = 6 ó 8 ⇒ descenso I < 25%

- 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	Nivelación por láser ; 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	Acolchado del caballón ; 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	Evitar el mojado de las hojas ; 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	Aumentar la densidad de goteros ; 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



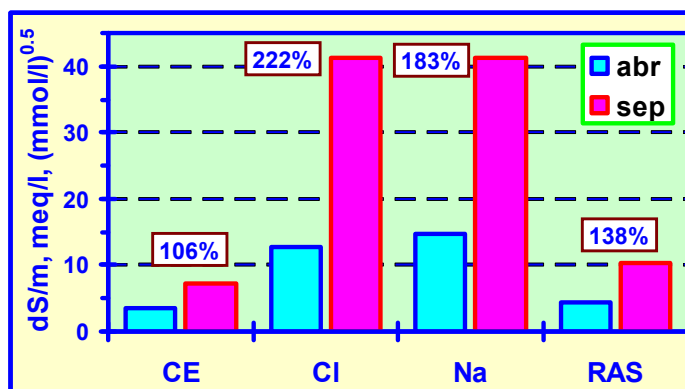
Finca santa Bárbara, Grupo ALM

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)



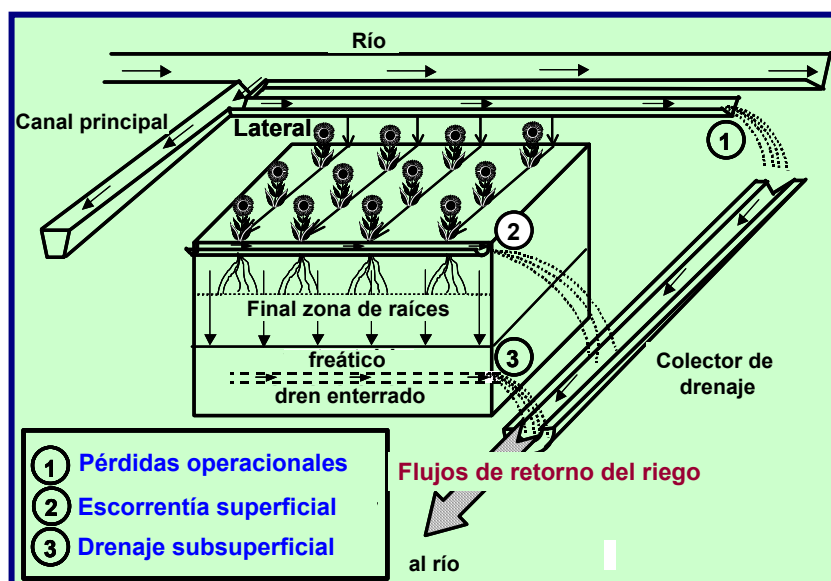
- RDC:
- 100% ETc
 - 50% ETc en Fase III

- 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



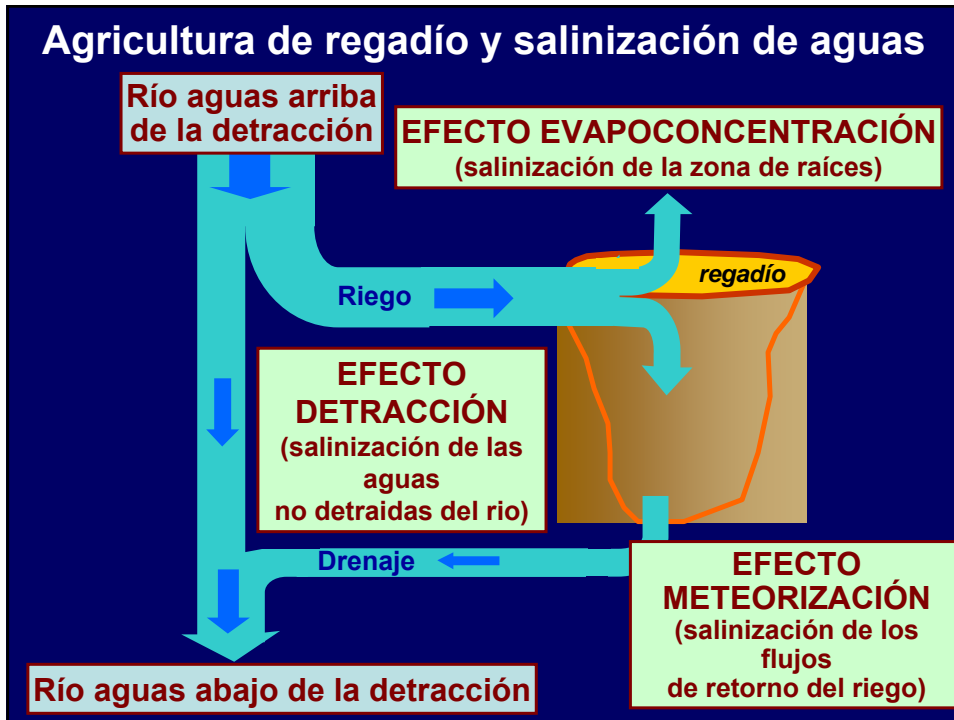
Componentes de los flujos de retorno del riego



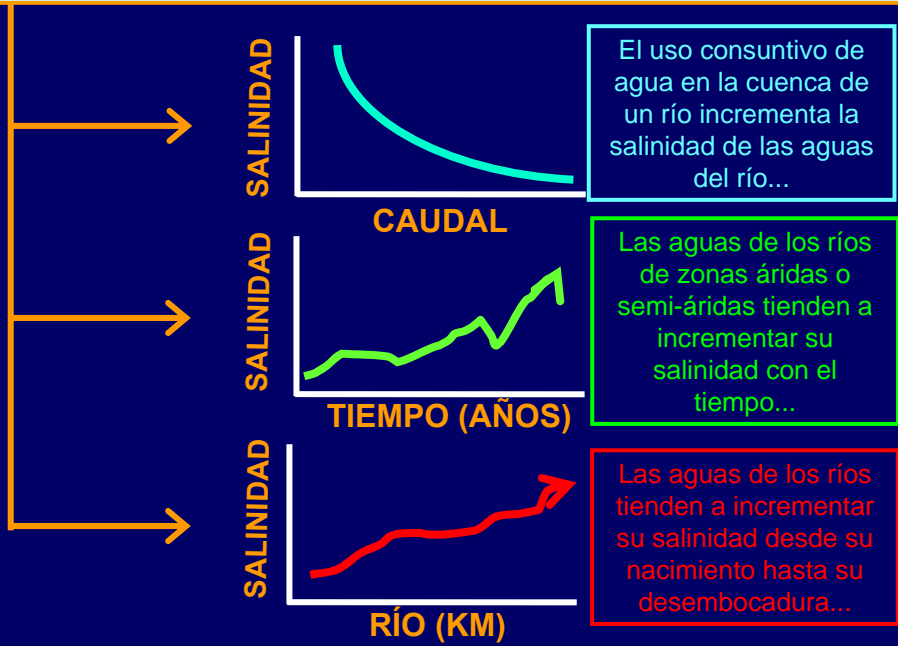
Parámetros de calidad de los tres componentes de los flujos de retorno del riego y cambios de calidad esperables en relación con la calidad del agua de riego

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, +	-, --

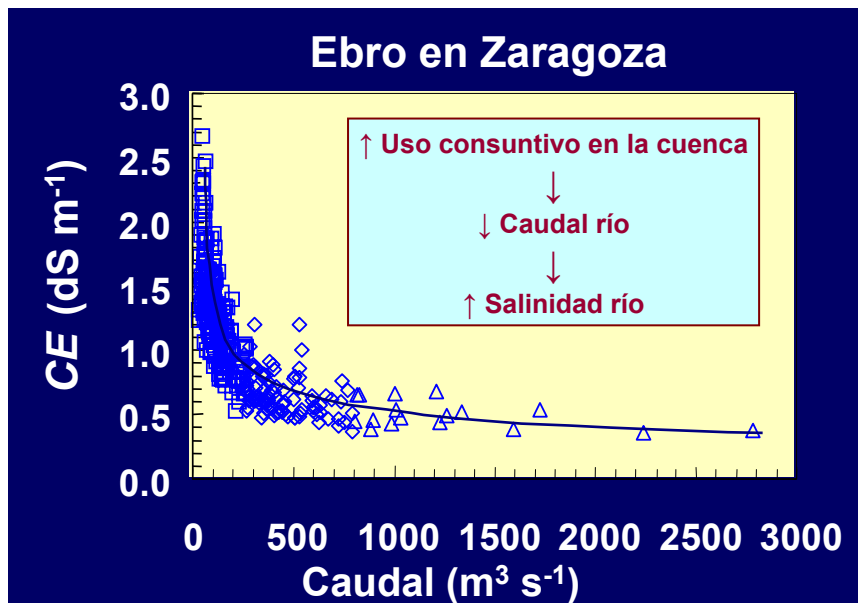
0: Degradación de calidad despreciable
 +, ++: Degradación moderada, elevada de calidad (evapoconcentración, aplicación de agroquímicos, erosión del suelo, disolución de minerales, etc.)
 -, --: Mejora moderada, elevada de calidad (filtración, fijación, degradación microbiana, precipitación de minerales,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



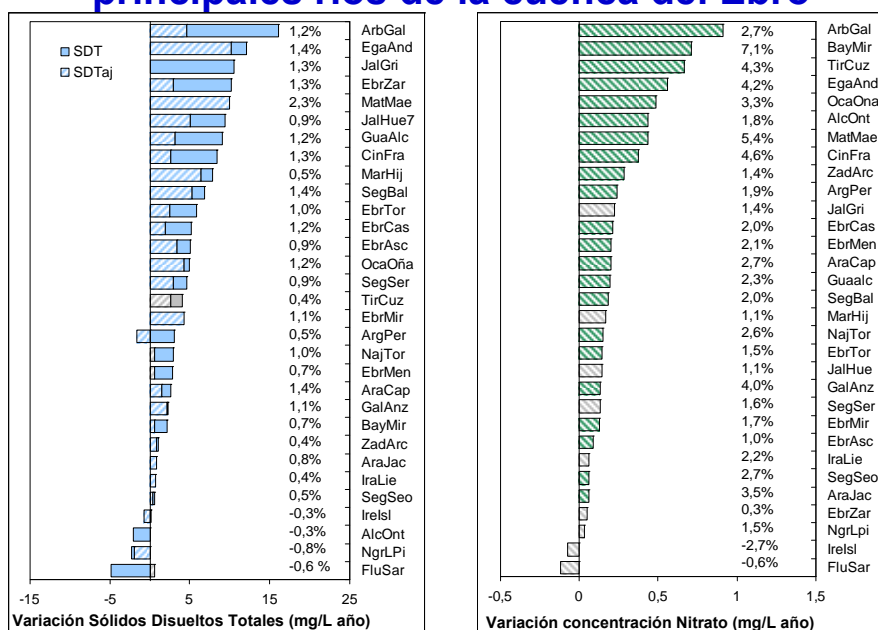
“Detracción+ Evapoconcentración+Meteorización”



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)

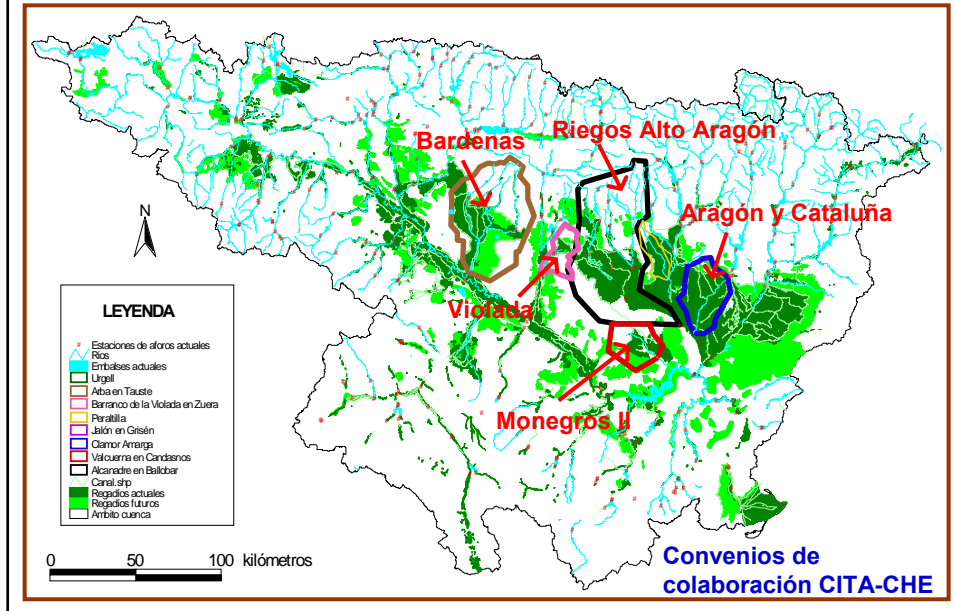
- **Seguimiento de los impactos ambientales.**
- **Investigación de las relaciones causa-efecto.**
- **Elaboración de códigos de buenas prácticas agrarias.**
- **Establecimiento de un sistema de indicadores agroambientales.**
- **Red de Vigilancia Ambiental de Regadíos en cada Demarcación Hidrológica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

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

Objetivos:

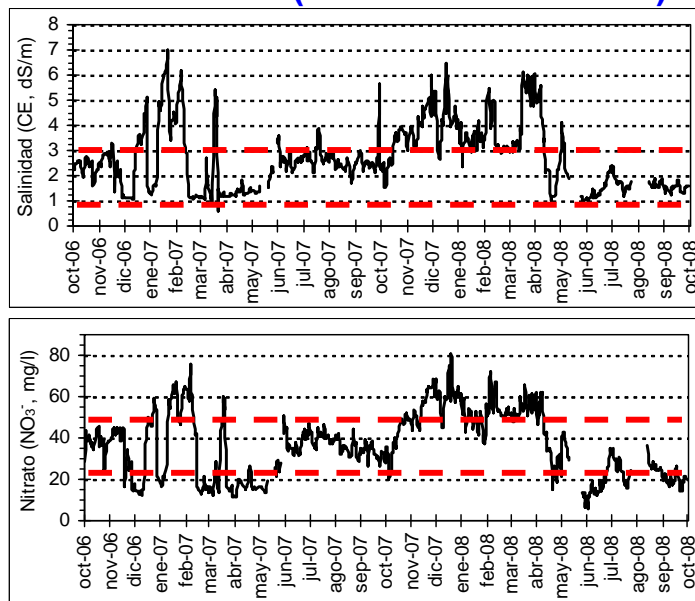
- **Manejo de los factores de producción (agua y agroquímicos).**
- **Balances de masas (agua y contaminantes: sales, fertilizantes, pesticidas).**
- **Cuantificación del volumen de agua y la concentración y masa de contaminantes en los retornos de riego.**
- **Optimización del riego y agroquímicos**

Red de Control de Regadíos en la Cuenca del Ebro



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

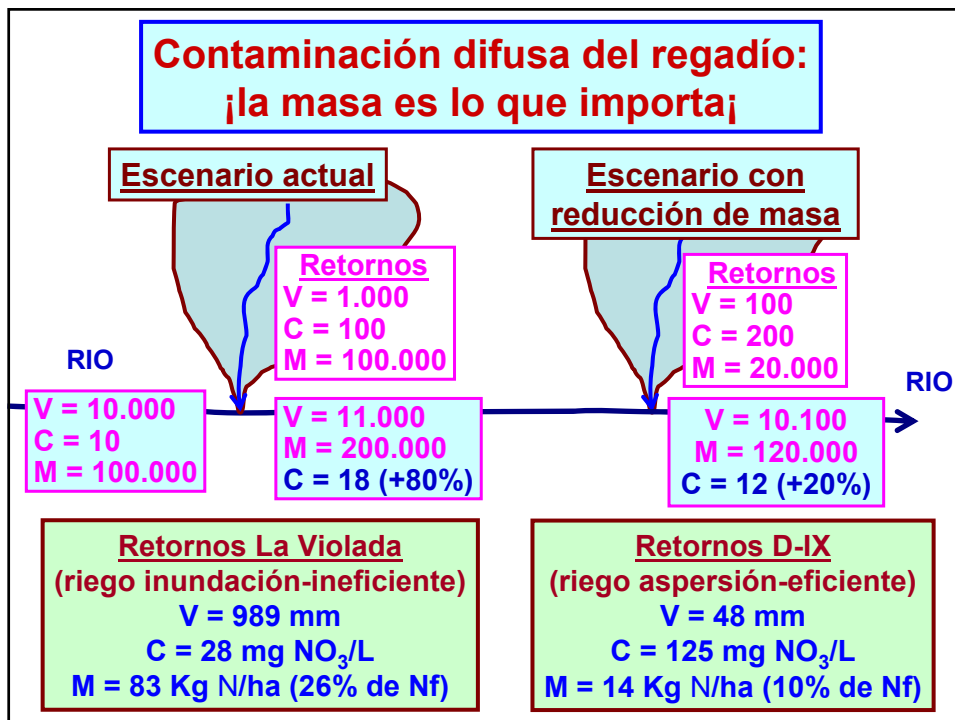
Salinidad y Nitratos del río Arba en Tauste. Años hidrológicos 2007 y 2008



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 ₃ ⁻ (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



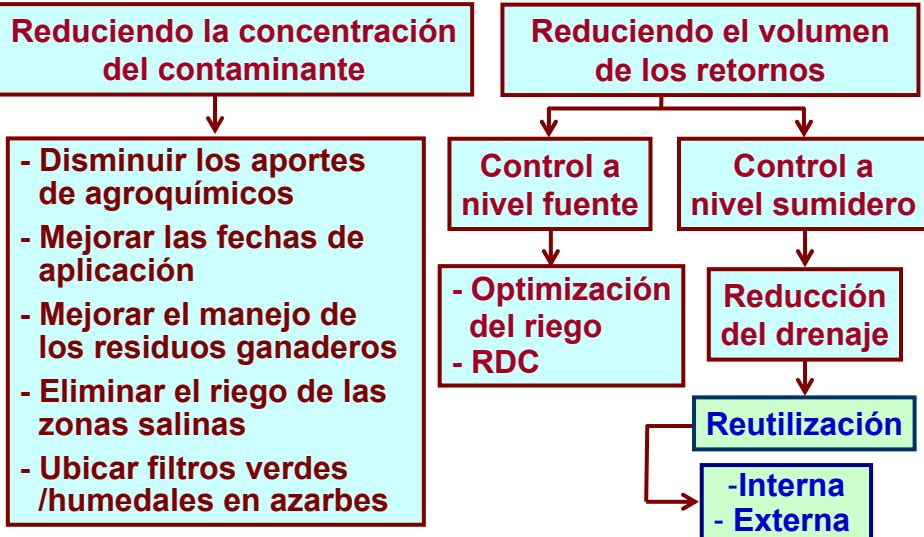
**Plan de Choque de Modernización
de Regadíos (MARM, 2006):
¿cómo afecta a la calidad de las aguas?**

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).**