



EEAD- Ciclo de Seminarios 2013

**Agricultura de regadío y salinidad de
aguas: 30 años de trabajos en el CITA**

**Ramón Aragüés (raragues@aragon.es)
Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC)
Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de
Aragón (CITA)**

14 de marzo de 2013

Índice del seminario

- **Breve historial de la Unidad de Suelos y Riegos y del Grupo “Riego, Agronomía y Medioambiente”**
- **Agricultura de regadío y salinidad: ¿Porqué se salinizan las aguas y suelos?**
- **Principales trabajos de la USyR relacionados con salinidad (suelos, aguas, cultivos)**
- **Algunos casos de estudio**
- **A modo de síntesis...**

Breve historial de la USyR (CITA-DGA)

PERSONAL

- **1974 y 1975: R. Aragüés y J. Faci pre-becarios Inia-Banco Mundial en EEAD**
- **1975-1977: Becas BIRF en UCD (Ms Water Sci.)**
- **1977-1978: R. Aragüés y J. Faci se incorporan a la Unidad de Fruticultura del CRIDA-03**
- **1980: Creación de la Unidad de Suelos y Riegos**
- **1981: Incorporación de D. Quílez como becaria**
- **1982: Transferencia a la DGA. Error histórico...**

PERSONAL

- **1992: Creación del Centro Mixto CSIC-DGA (Laboratorio de Agronomía y Medioambiente)**
- **2000-2006: Crecimiento sostenido de la USyR (14 doctores en 2007). Programa “Cajalitos”**
- **2002: Creación del Grupo Consolidado “Suelos, Riegos y Cultivos” (18 investigadores)**
- **2007: Creación de la Unidad Asociada al CSIC**
- **2006- ?????: Descenso sostenido de la USyR. Pérdida de 8 doctores**
- **2013: Total de 8 doctores (6 en plantilla- R. Aragüés, J. Faci, D. Quílez, A. Casterad, R. Isla, D. Isidoro y 2 eventuales- F. Dechmi, S. Lecina)**

Nuestra colaboración y asociación sostenida en los últimos 20 años con personal investigador de EEAD (E. Playán, J. Burguete, J. Cavero, J. Herrero, A. Martínez-Cob, N. Zapata, C. Castañeda, R. Salvador) conforma uno de los grupos europeos más relevantes en el área de riegos, agronomía y medioambiente... **fortaleza que no debería perderse en el futuro**

(16 investigadores en la actualidad)



TRABAJOS MAS RELEVANTES **EN CALIDAD DE AGUAS/SUELOS**

- **1977-1980: INIA-USDA** (Mejora de la eficiencia del riego por gravedad como método de controlar la salinidad en la Cuenca Media del Ebro)
- **1980-1983: CCHN** (Calidad de las aguas continentales y marítimas: Delta del Ebro)
- **1982-1985: CAICYT** (Calidad de las aguas continentales en la Cuenca del Ebro: evaluación en polígonos piloto de regadío de sus tendencias de evolución y medidas correctoras a través de un modelo conceptual hidrosalino)
- **1985-1988: CCHN** (estimación de los flujos de retorno y de las tendencias de salinidad en Monegros II)

TRABAJOS MAS RELEVANTES **EN CALIDAD DE AGUAS/SUELOS**

- **1988-1991: UE** (Degradation of physical properties in irrigated soils of the Middle Ebro River Basin)
- **1990-1994: UE** (Agronomical and physiological characterization of differential barley genotypes to salt stress)
- **1998-2000: UE** (Assessment and development of salinity, sodicity and waterlogging tolerant wheat genotypes for India and Pakistan)
- **2005-2008: UE** (Biosaline agroforestry: remediation of saline wastelands through production of renewable energy, biomaterials and fodder)

TRABAJOS MAS RELEVANTES **EN CALIDAD DE AGUAS/SUELOS**

- **2006-2010: UE** (Diagnosis and control of salinity and nitrate pollution in Mediterranean irrigated agriculture)
- **2006-2012: CONSOLIDER** (Programa integral de ahorro y mejora de la productividad del agua de riego en la horticultura española)
- **2011-2014: UE** (Technologies for water recycling and reuse in Latin America context)
- **2005-2014: Convenios CHE-CITA** (Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos de riego en la Cuenca del Ebro)

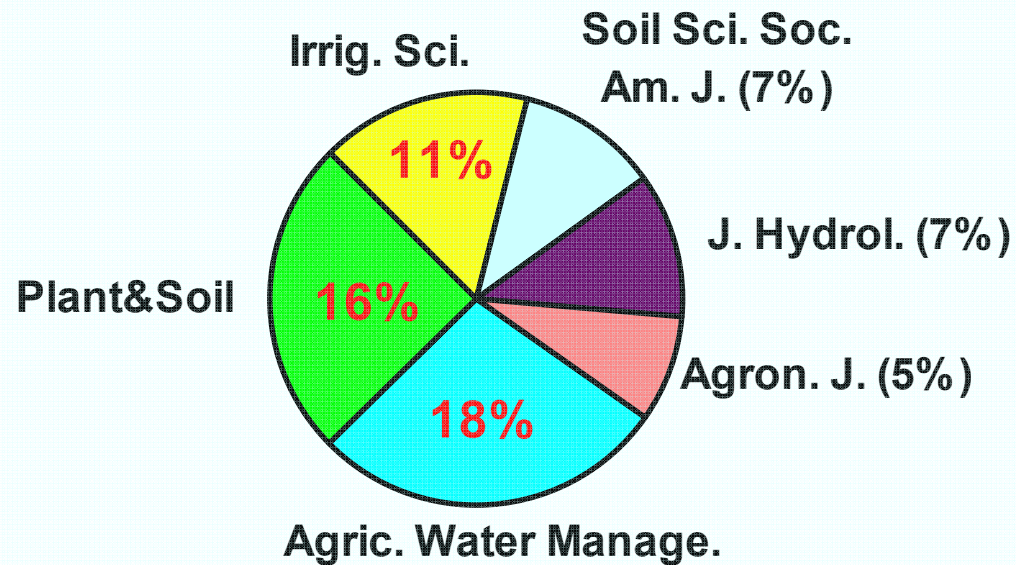
ALGUNOS INDICADORES DE LA USyR
EN EL AREA DE CALIDAD DE AGUAS/SUELOS
(últimos 20 años)

- **Publicaciones SCI: > 60**
- **Publicaciones técnicas/divulgación: > 80**
- **Tesis Doctorales y Master: 12 + 9**
- **Cursos internacionales y nacionales: > 40, > 50**

¿Mi especialidad?

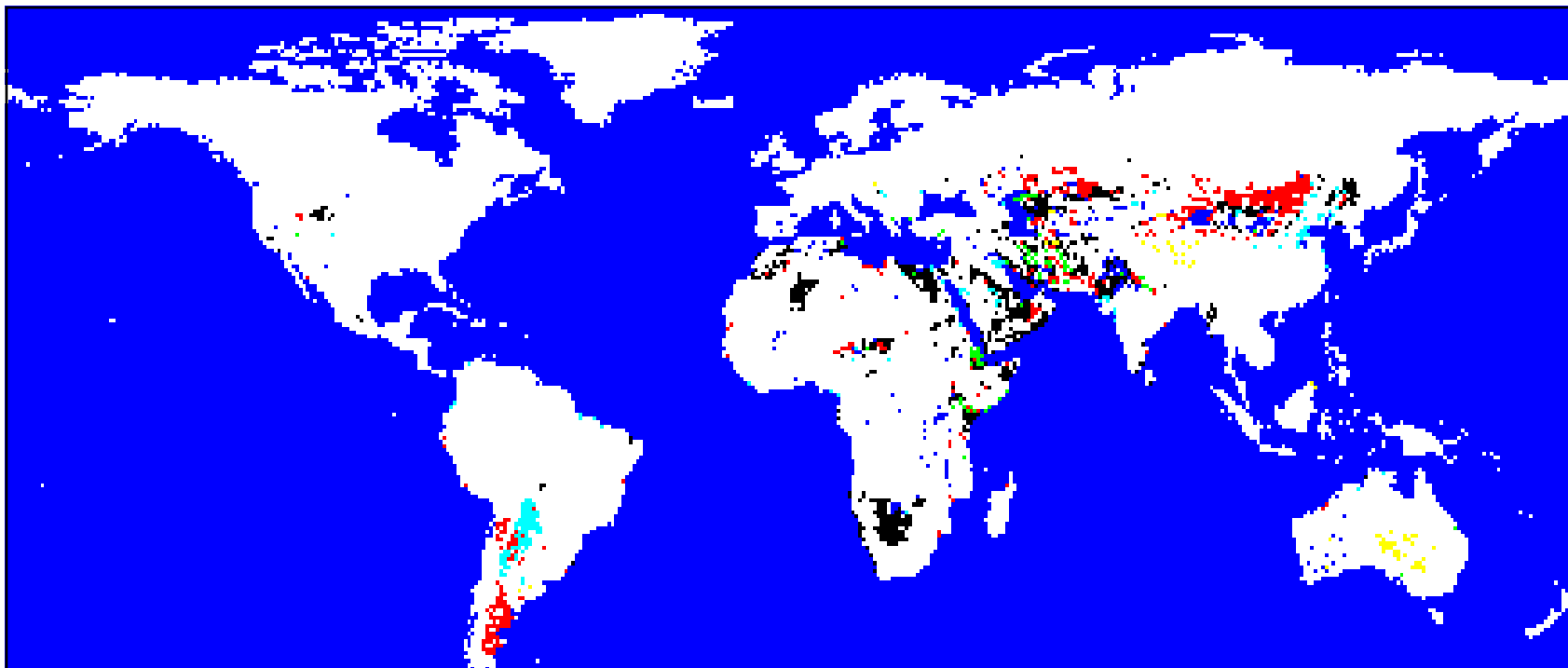
Agricultura de regadío y salinidad

Publicaciones SCI - % del total



AGRICULTURA DE REGADÍO Y SALINIDAD: ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

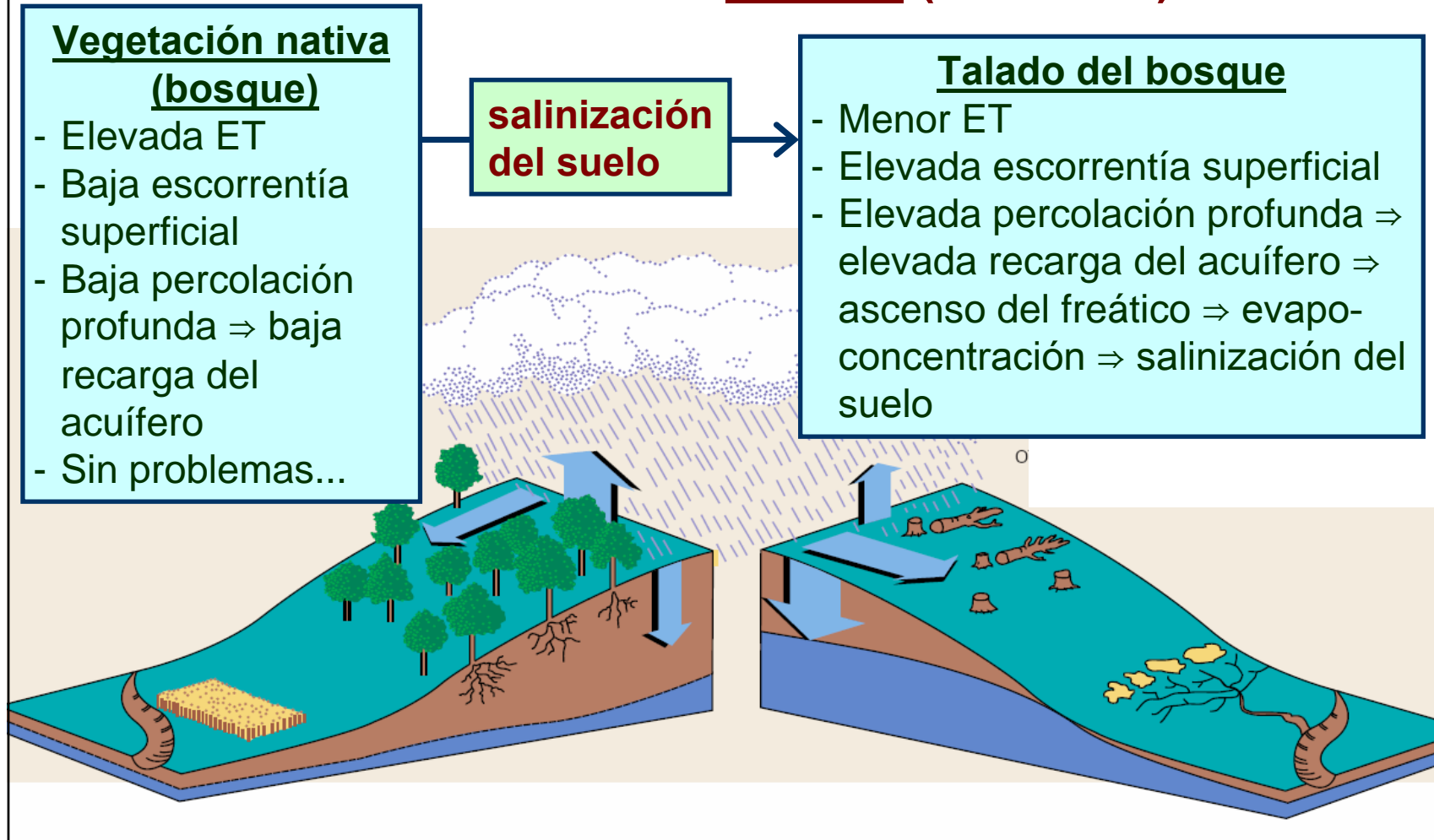
- **Salinidad = concentración de sales disueltas totales (SDT, mg/L). Suele expresarse como Conductividad Eléctrica (CE, dS/m) del agua o de un extracto suelo:agua.**
- **Sodicidad = proporción de la concentración de Na^+ respecto a la de Ca^{++} y Mg^{++} (mmol/L). Suele expresarse como Relación de Adsorción de Sodio [RAS, $(\text{mmol/L})^{0.5}$] del agua o de un extracto suelo:agua.**



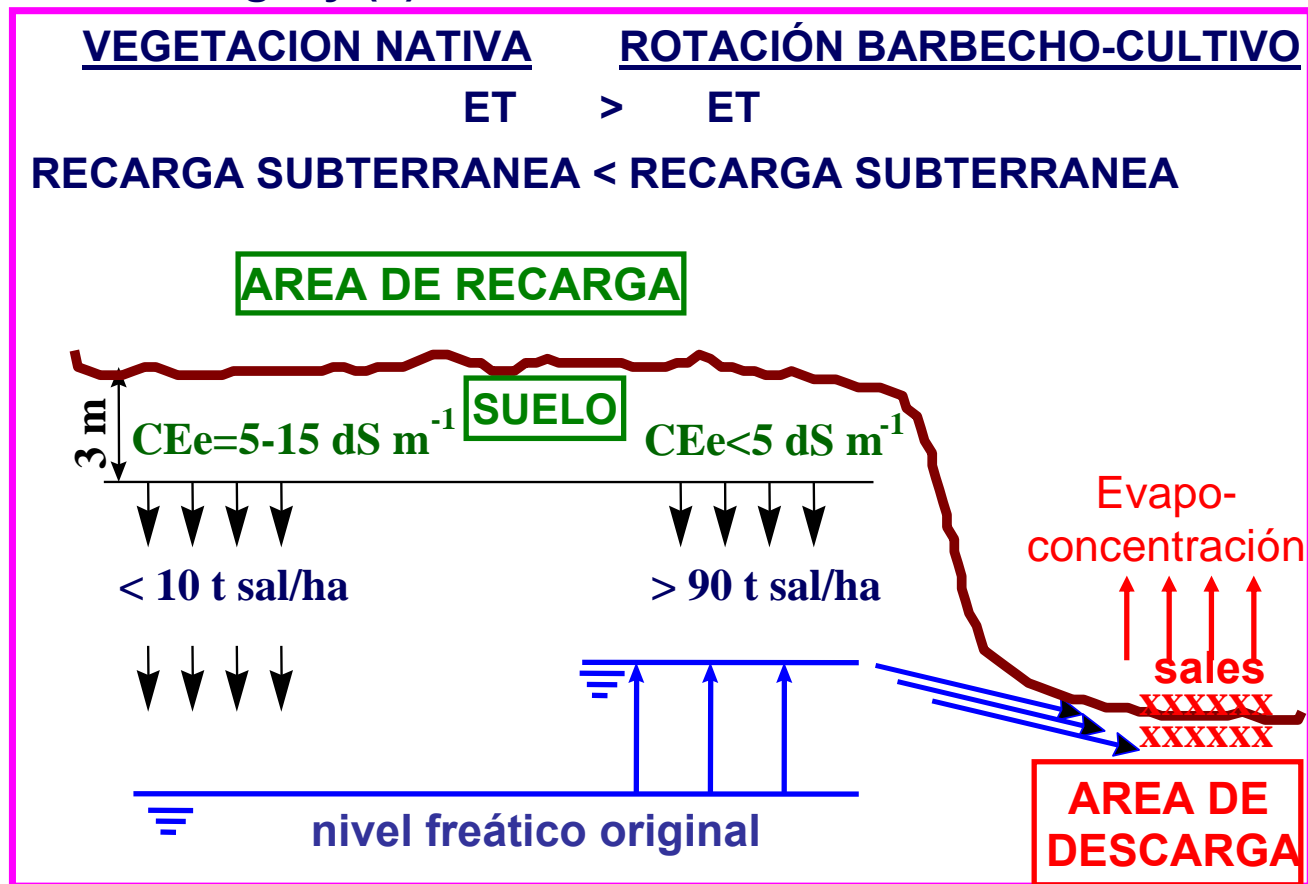
- **La salinidad de los suelos es uno de los estreses agrícolas mas importantes (unos 1000 m ha afectadas por salinidad).**
- **De los 230 m ha de regadío, un 10% está seriamente afectado y un 30% moderadamente afectado por salinidad. Unos 0.25-0.50 m ha se pierden cada año por salinización.**
- **Porcentajes afectados por salinidad: EE. UU. (28%), China (23%), Pakistan (21%), India (11%), Cuenca Ebro (25%)...**

¿PORQUÉ SE SALINIZAN LOS SUELOS?

Diagrama esquemático de procesos de salinización en secano (Australia)



Secano: El cambio de un sistema de vegetación nativa a un sistema de rotación barbecho/cultivo en las zonas de recarga: (1) reduce la ET, (2) aumenta la FL (\Rightarrow reduce la salinidad de la zona de raíces), (3) incrementa la percolación profunda y la masa de sales disueltas, (4) asciende el nivel freático incrementando los flujos laterales de agua hacia las áreas de descarga, y (5) induce la creación de rezumes salinos en las áreas de descarga.



*Ferguson H.,
Bateridge T.
(1982). Soil Sci.
Soc. Am. J. 46:
807-810.*

¿PORQUÉ SE SALINIZAN LOS SUELOS?

Diagrama esquemático de procesos de salinización en regadío

1- Efecto evapo-concentración: salinización de la solución del suelo debida a la evapotranspiración (ET) de los cultivos



✓ **El efecto evapo-concentración es inevitable:**

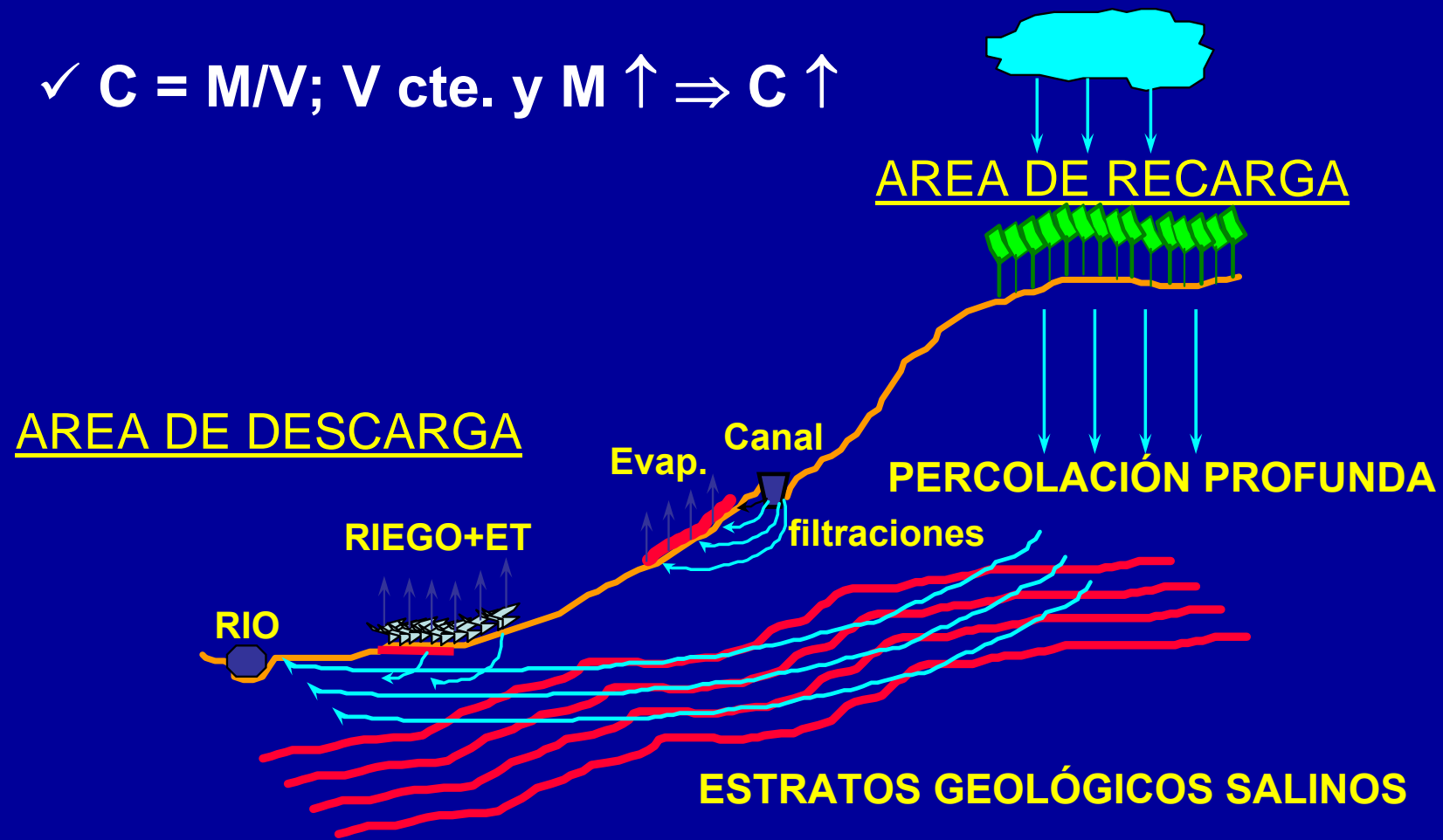
- **Las plantas absorben agua cuasi-dulce.**
- **La evaporación y la transpiración (ET) son en forma de vapor de agua (sin sales).**
- **Por lo tanto, las sales disueltas en el agua remanente en el suelo se concentran:**

$$C = M/V; M \text{ cte. y } V \downarrow \Rightarrow C \uparrow$$

- **La tendencia natural de un regadío es a la salinización de la zona de raíces de los cultivos sujetos a ET**
- **Es necesario por lo tanto el lavado de sales acumuladas en la zona de raíces...**

2- Efecto meteorización: disolución por las aguas de percolación profunda de las sales/minerales presentes en el suelo/subsuelo

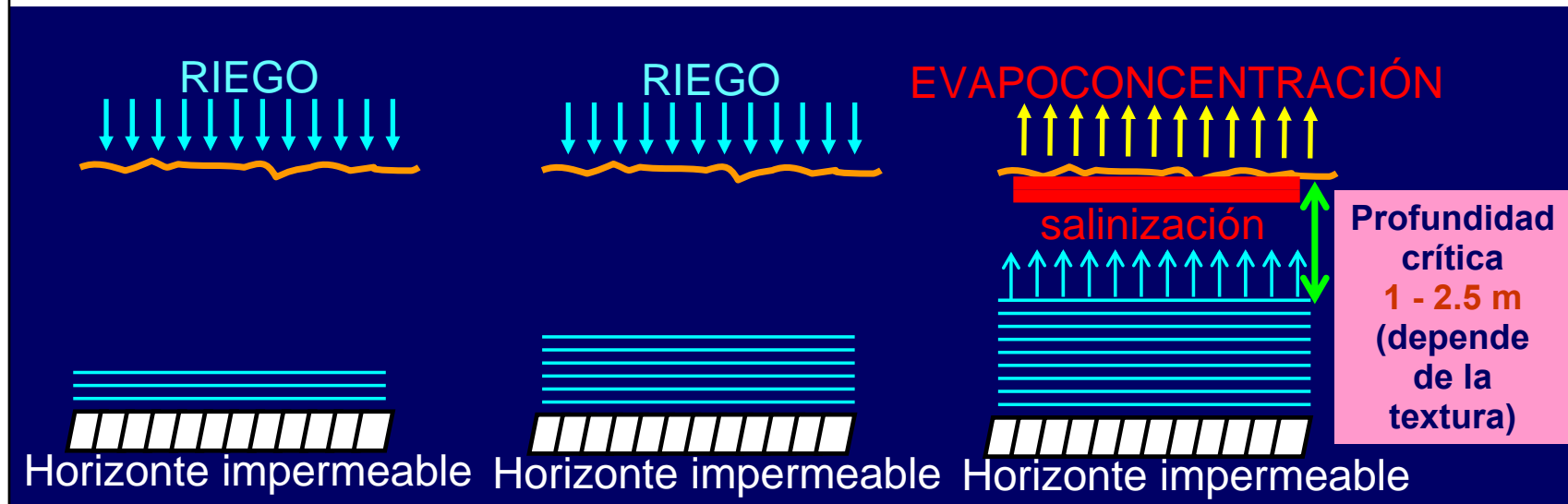
✓ $C = M/V$; V cte. y $M \uparrow \Rightarrow C \uparrow$



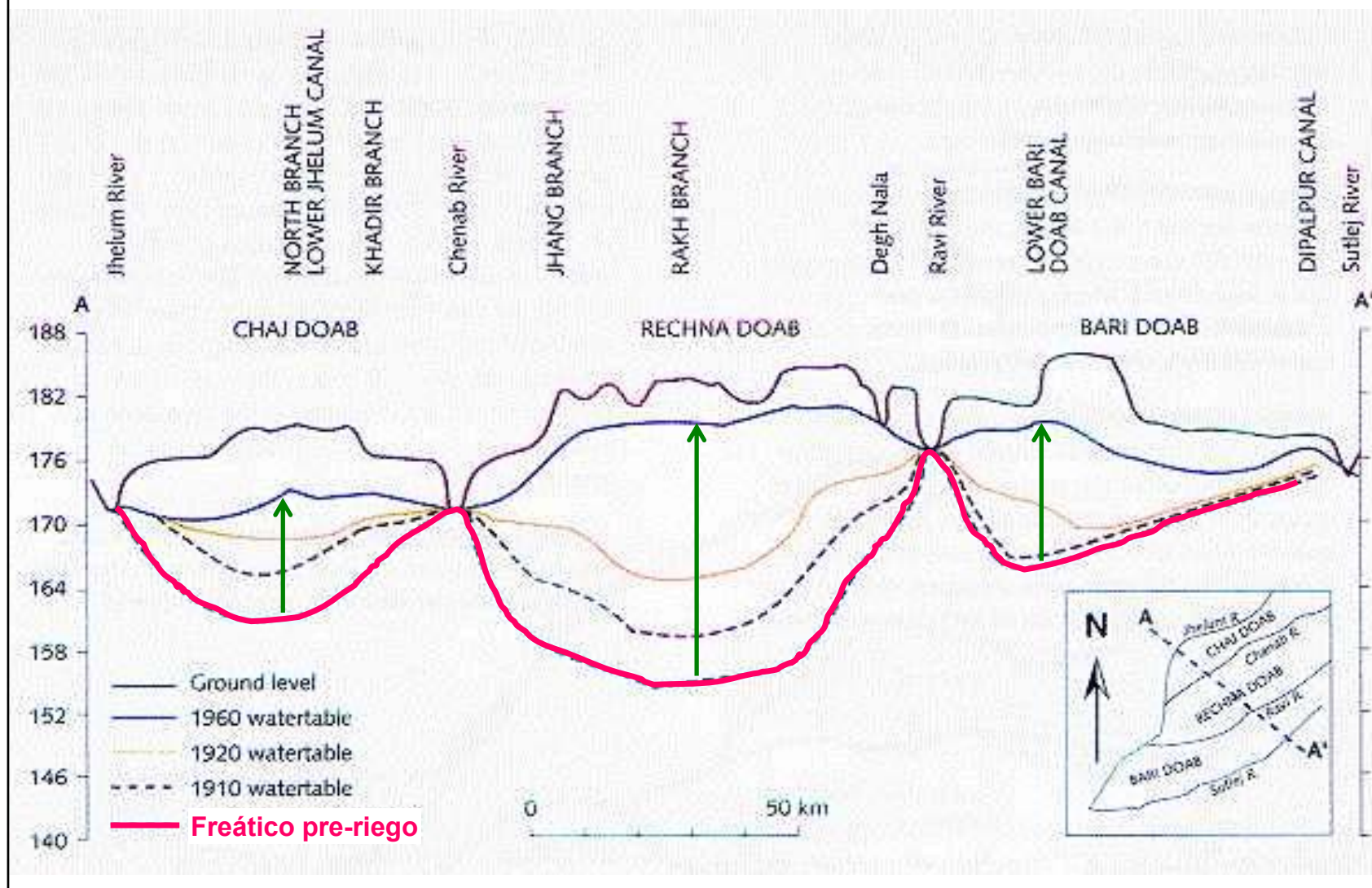
¿PORQUÉ SE SALINIZAN LOS SUELOS?

“Es necesario por lo tanto el lavado de sales acumuladas en la zona de raíces...”

La causa principal de salinización de los suelos bajo riego es la aplicación excesiva de agua en suelos con drenaje limitado que crea capas freáticas superficiales (“colgadas”), el ascenso capilar de agua y sales, la evapoconcentración y la salinización del suelo.



Pakistan (llanura del río Indo): ascenso del nivel del agua subterránea desde el inicio del riego



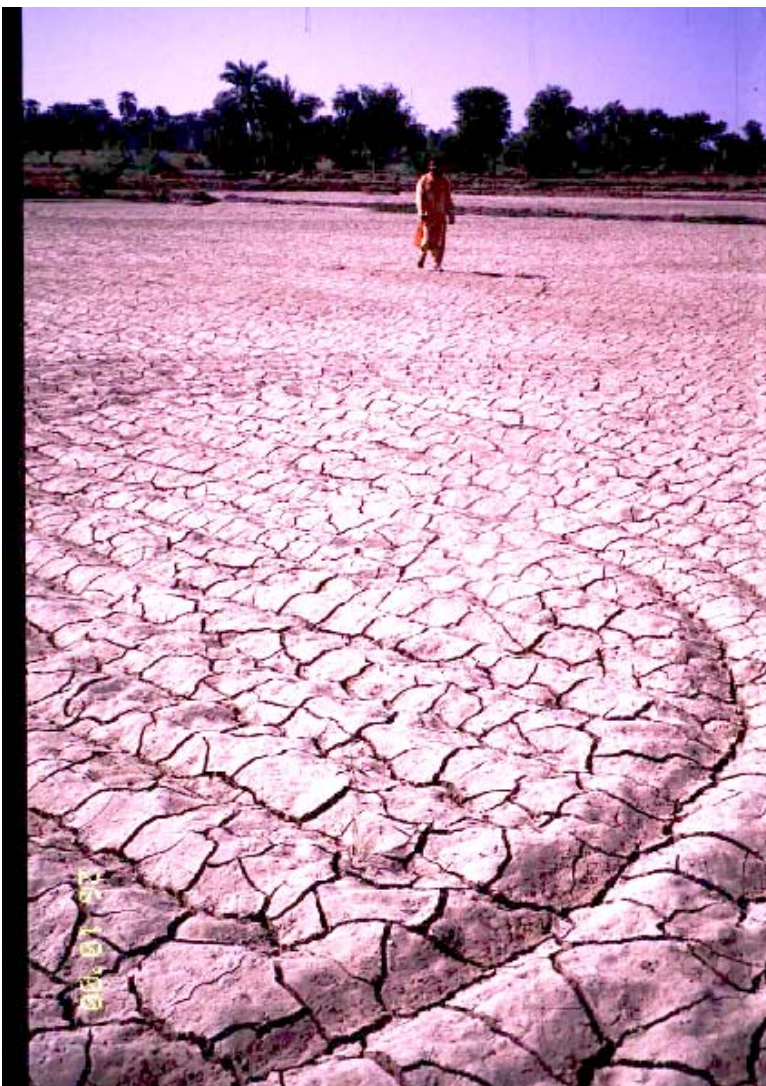
PAKISTAN
**Suelo salino-
sódico,
muy alcalino
("black alkali")**



- Color negro debido a que los elevados pH (> 10) dispersan la materia orgánica
- Suelos impermeables, muy difíciles de recuperar
- Arroz...



PAKISTAN: Suelo salino-sódico: recuperación por lavado y zanja de drenaje



ARAGÓN: Suelo salino sembrado con cebada

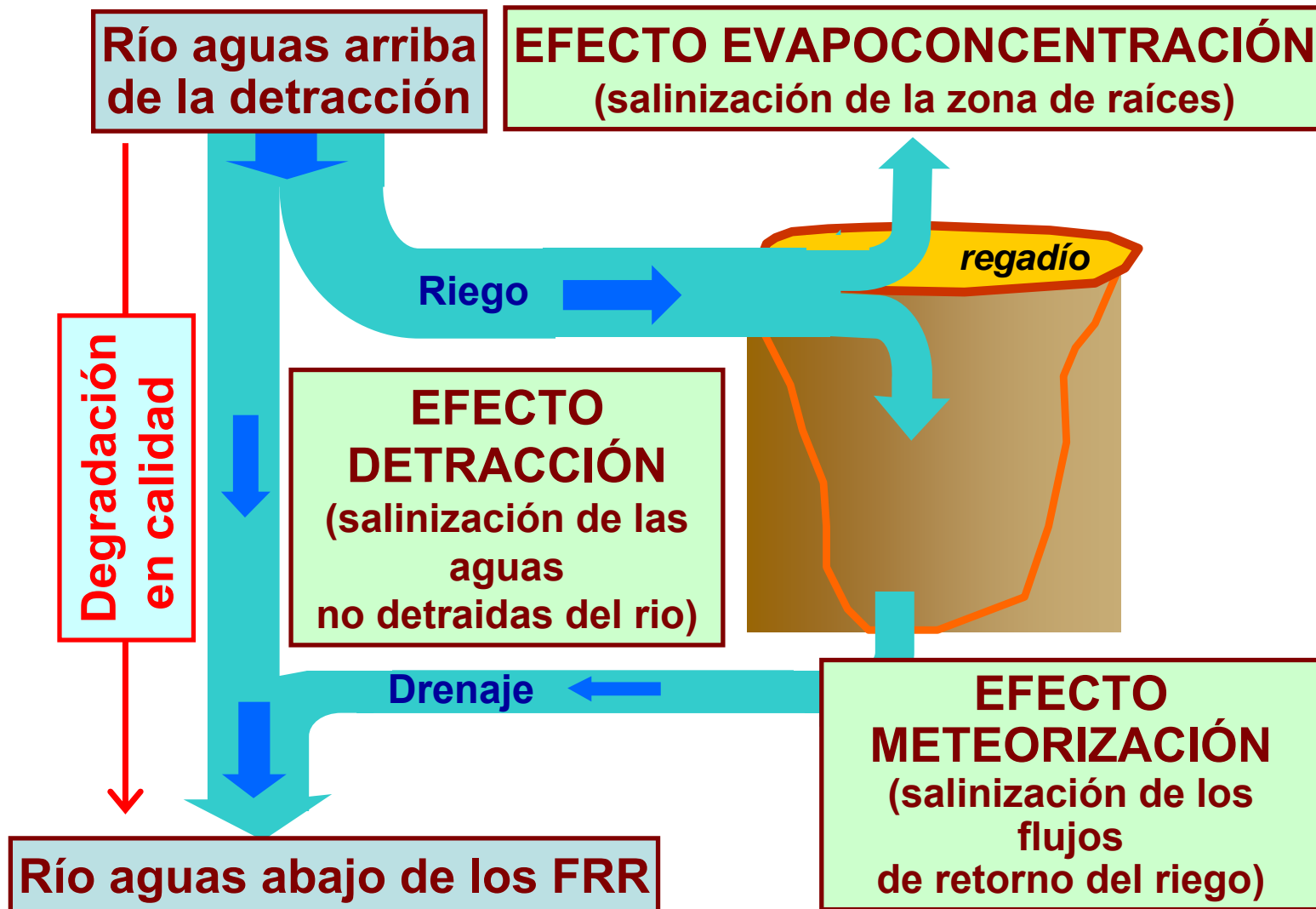


Parcela de trigo con buen rendimiento gracias a la evacuación de sales por la red de drenaje



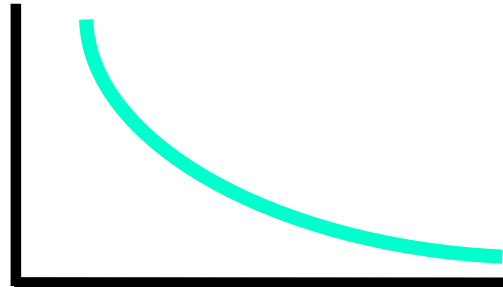
**EL DRENAJE Y EL CONTROL DEL
RIEGO SON LAS DOS CLAVES
FUNDAMENTALES PARA
CONTROLAR LA SALINIDAD EN
LA AGRICULTURA DE REGADÍO**

¿PORQUÉ SE SALINIZAN LAS AGUAS?



Detracción + Evapoconcentración + Meteorización

SALINIDAD



El uso consuntivo de agua en la cuenca de un río incrementa la salinidad de las aguas del río...

SALINIDAD



Las aguas de los ríos de zonas áridas o semi-áridas tienden a incrementar su salinidad con el tiempo...

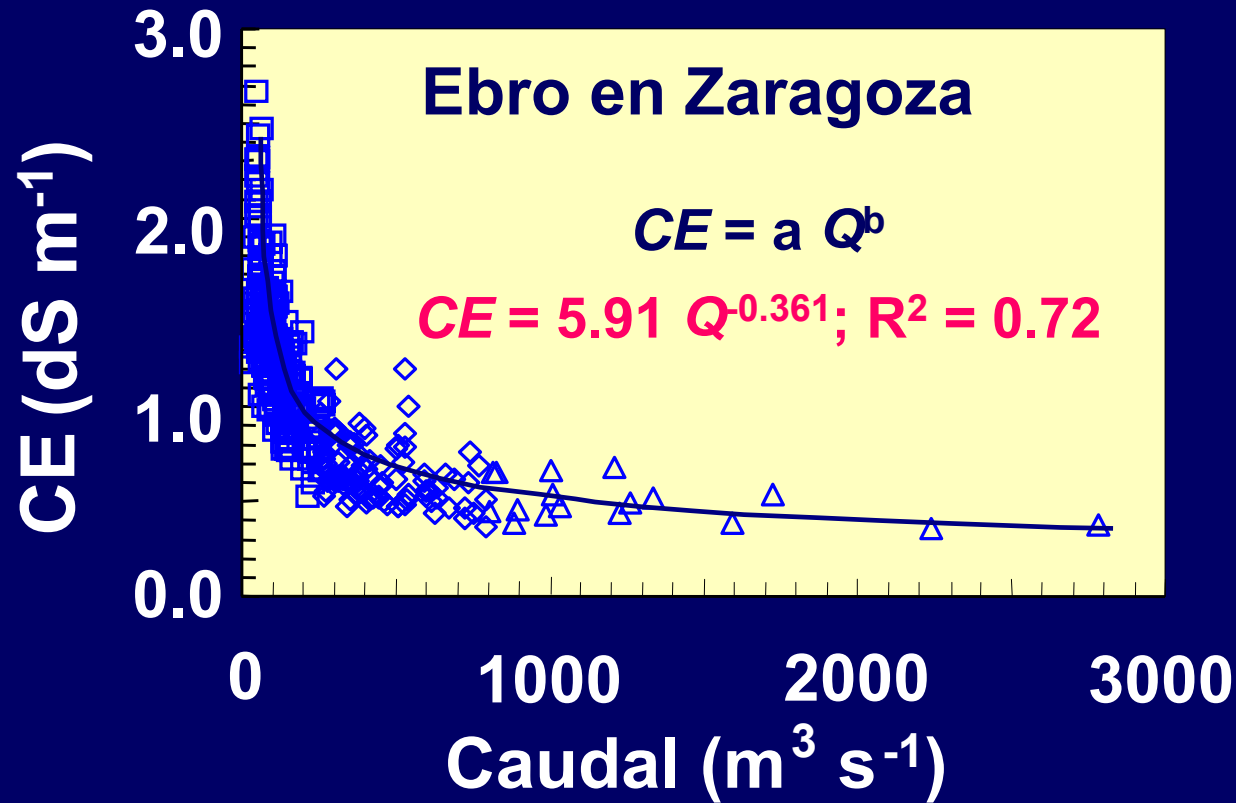
SALINIDAD



Las aguas de los ríos tienden a incrementar su salinidad desde su nacimiento hasta su desembocadura...

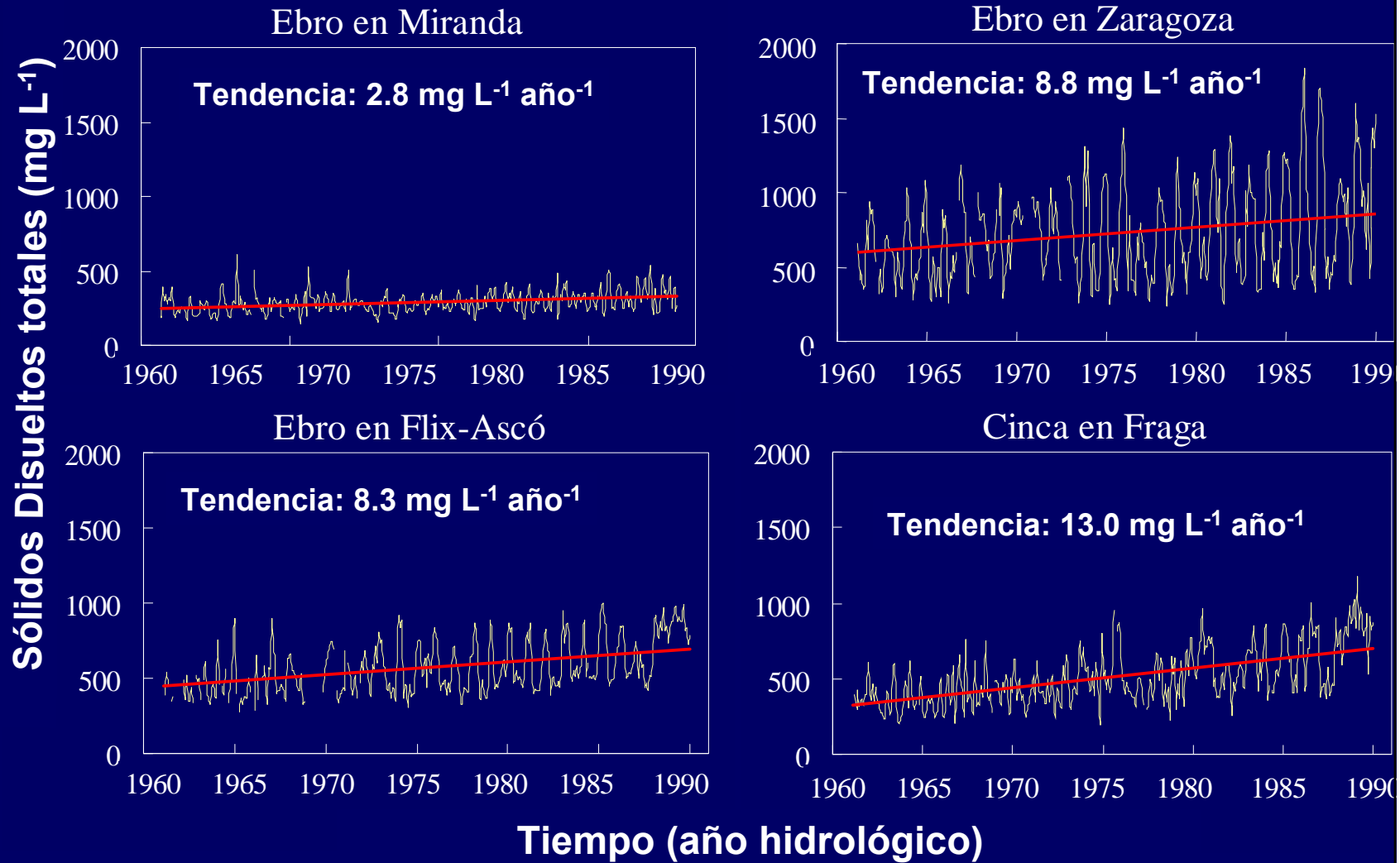
RÍO (KM)

- Relaciones salinidad (CE) – caudal (Q)



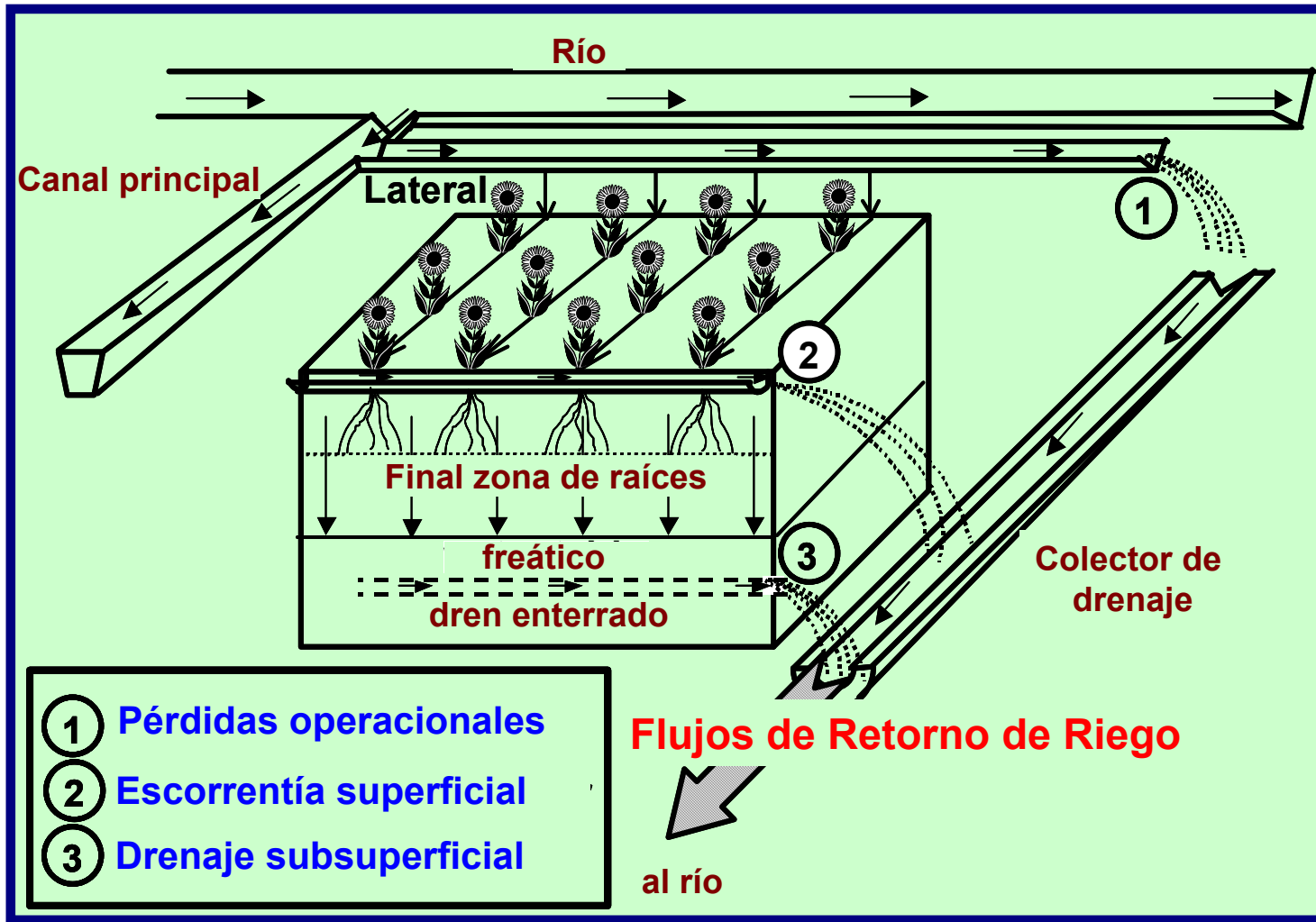
D. Quílez, Tesis Doctoral (1998)

● Tendencias de salinidad (análisis Kendall)



(D. Quílez, Tesis Doctoral 1998)

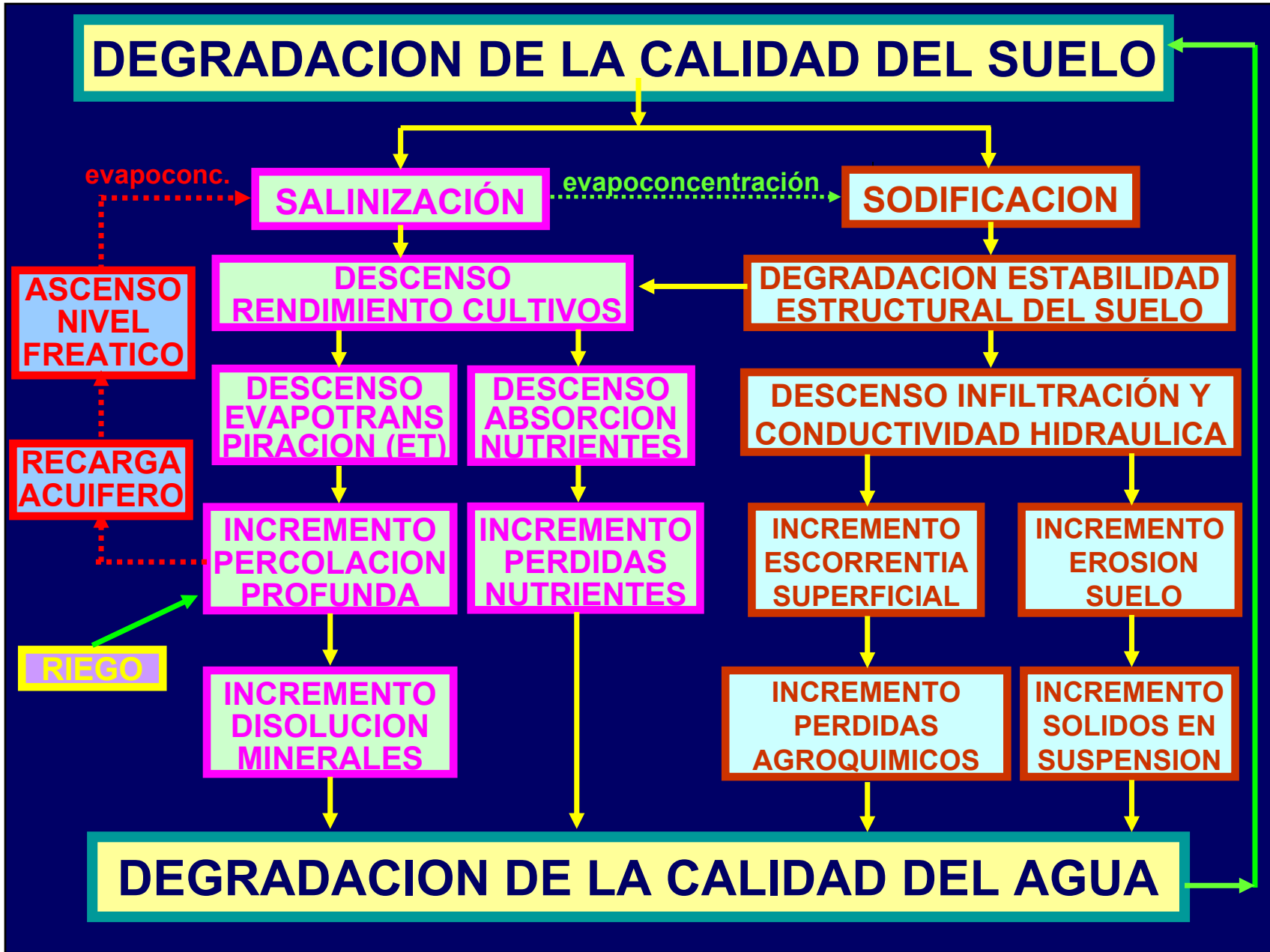
Componentes de los flujos de retorno del riego (causa fundamental de degradación de calidad de las aguas superficiales en la Cuenca del Ebro)



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...)
- , --:** Mejora moderada, elevada de calidad (filtración, fijación, degradación microbiana, precipitación de minerales, etc.)

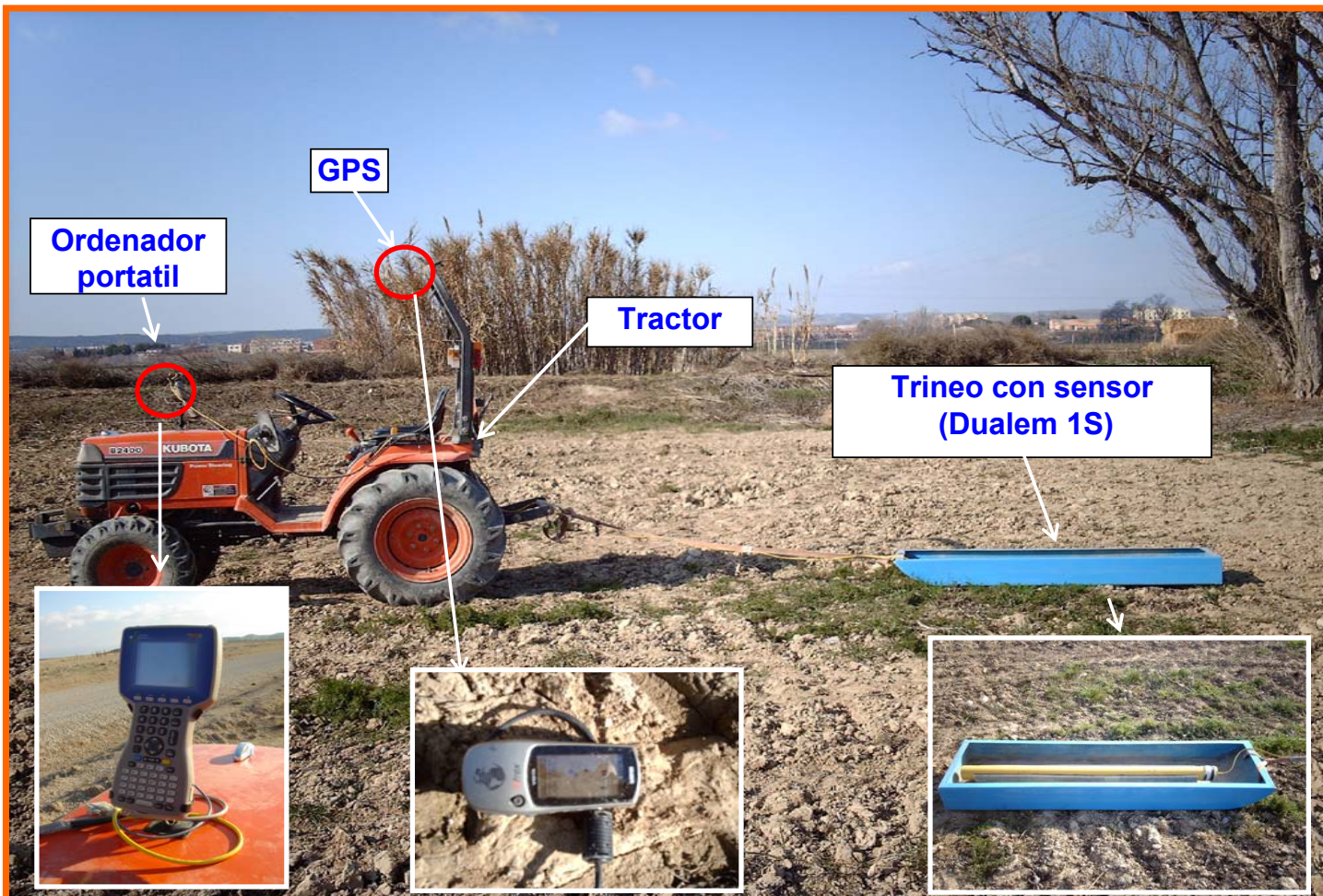


Principales trabajos de la USyR relacionados con salinidad (suelos, aguas, cultivos)

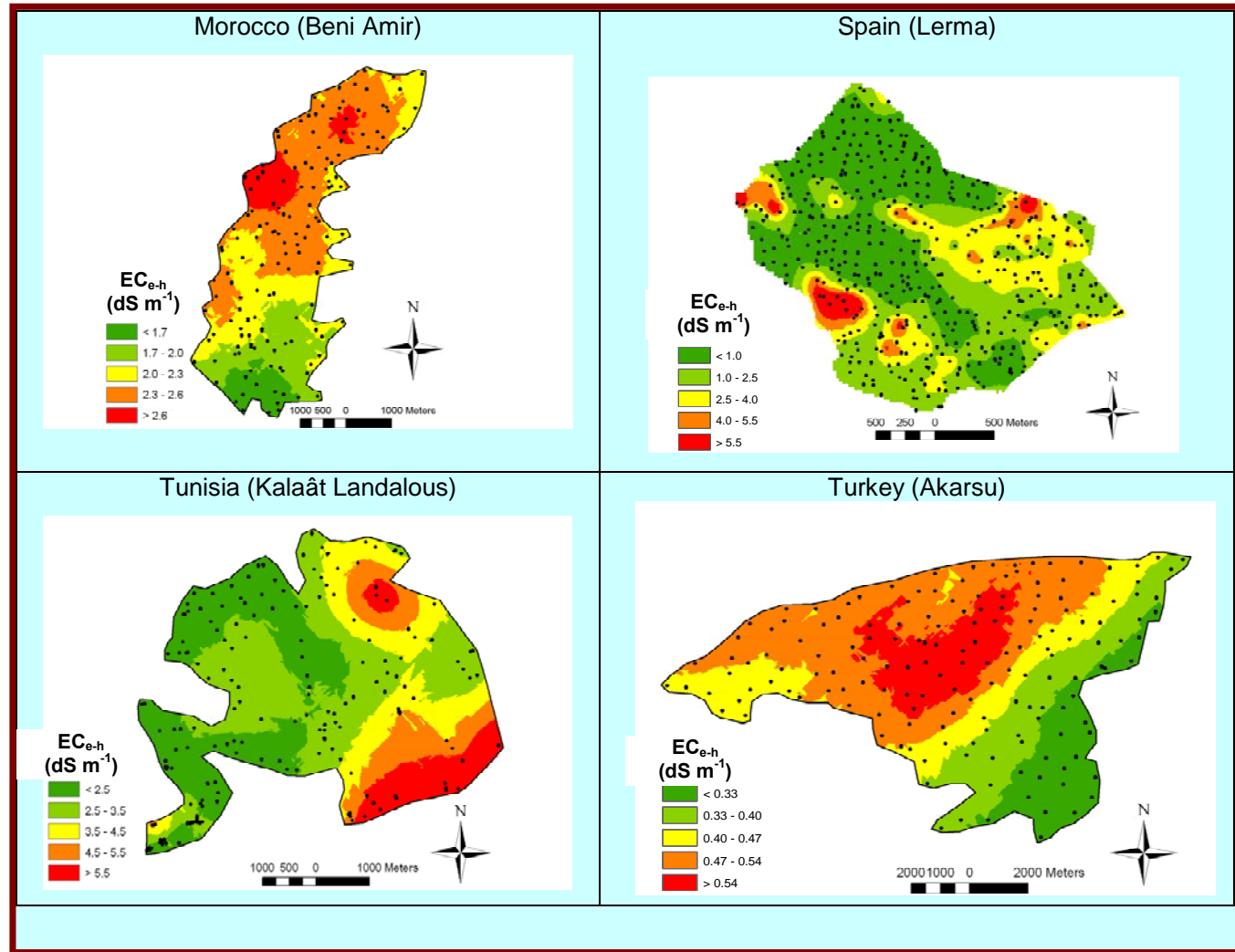
Suelos	Aguas	Cultivos
<p>1 Diagnóstico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recuperación - Relaciones calidad de aguas-estabilidad estructural 	<p>3 Calidad de las aguas de la cuenca del Ebro</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flujos de retorno de riego. Modelización - Modernización de regadíos y calidad de aguas <p>4 Riego deficitario controlado y salinización de suelos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo de metodologías para establecer tolerancia a salinidad en condiciones de campo - Respuesta de los cultivos al riego por aspersión; manejo - Respuesta de los cultivos al riego por goteo; manejo

1 Diagnostico de salinidad de suelos (y mas...)

Desarrollo de un sensor electromagnético móvil georreferenciado (SEM-G) en el CITA



Desarrollo de mapas de salinidad basados en lecturas SEM (CEa) y calibraciones CEa-CEe en España, Marruecos, Tunes y Turquía (proyecto INCO-Qualiwater)

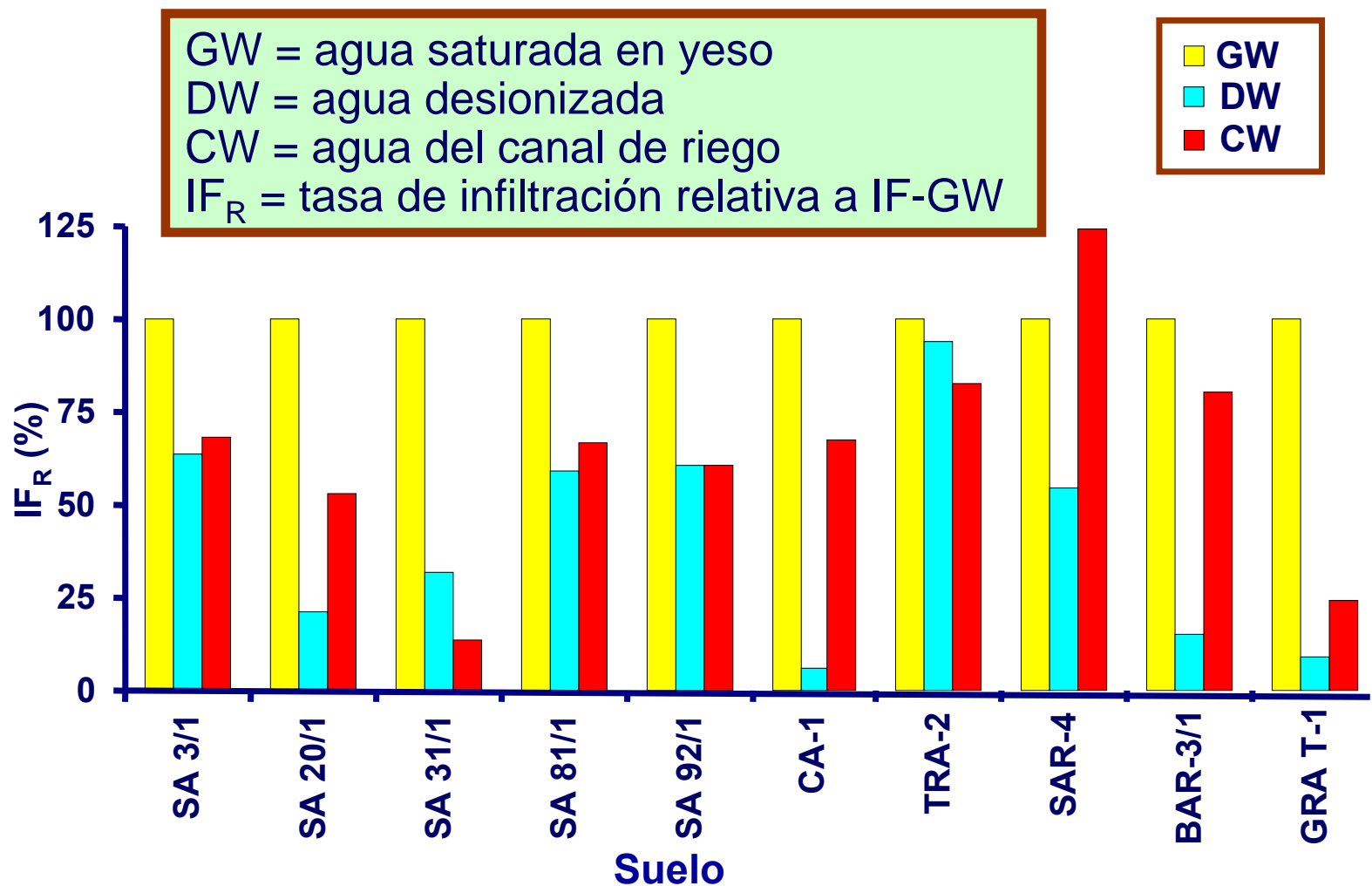


2 Relaciones calidad agua-estabilidad estructural

Desarrollo de un infiltrómetro automático para el registro en continuo de la infiltración del agua en el suelo

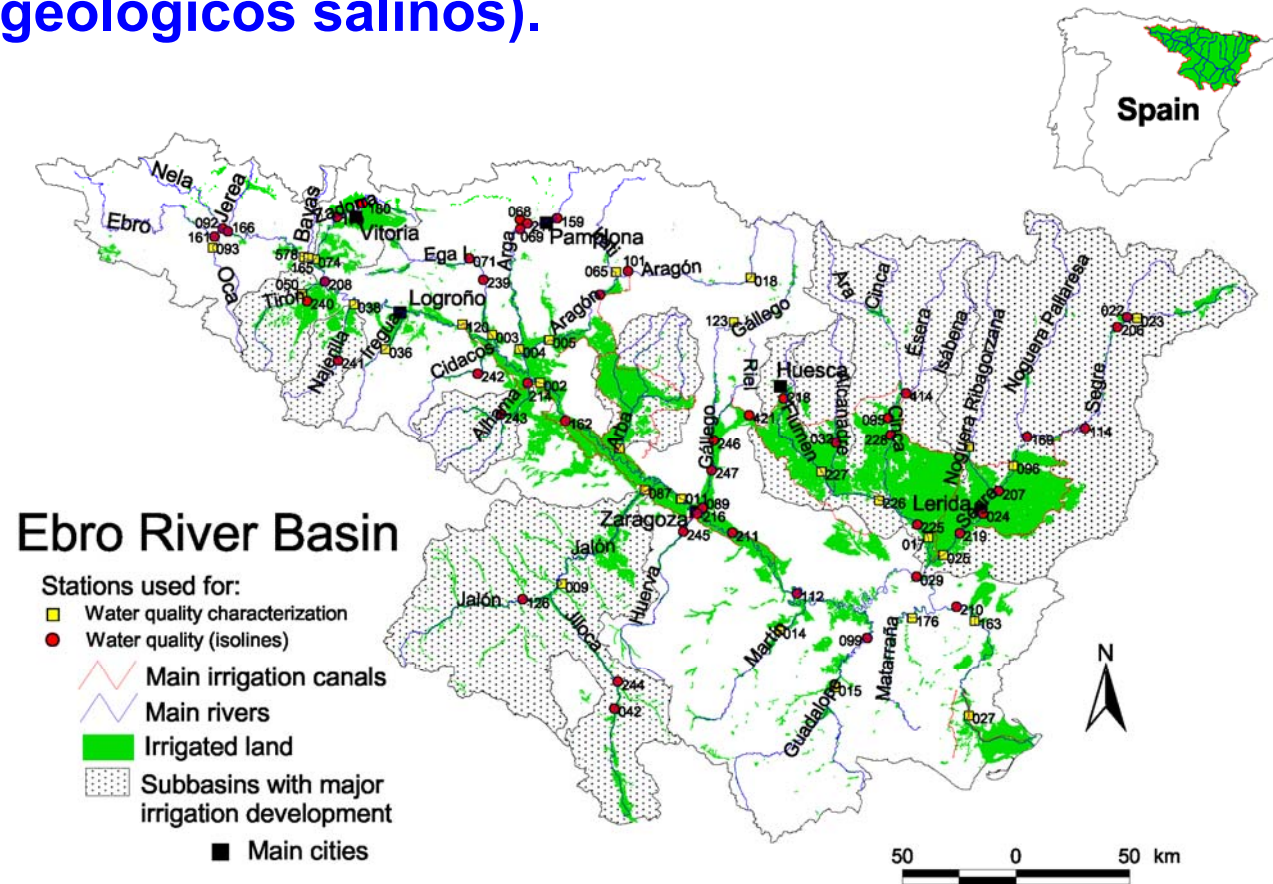


Susceptibilidad a dispersión química de 10 suelos de la cuenca del Ebro: efecto de la calidad del agua sobre la tasa de infiltración (IF)



3 Calidad de las aguas de la cuenca del Ebro

- Superficie de 85.400 Km², la mayor cuenca de España.
- 8.000 Km² de regadío (21% del total en España).
- Unas 100.000 ha afectadas por sales (meteorización de materiales geológicos salinos).



El regadío, historia inconclusa de Aragón



Canal de Monegros-1915



Plantación del primer arbol-Monegros



Acueducto Tardienta-1935



Canal de Bardenas-1934

Calidad de las aguas de la cuenca del Ebro

Variables que definen la calidad del agua para riego

- 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:

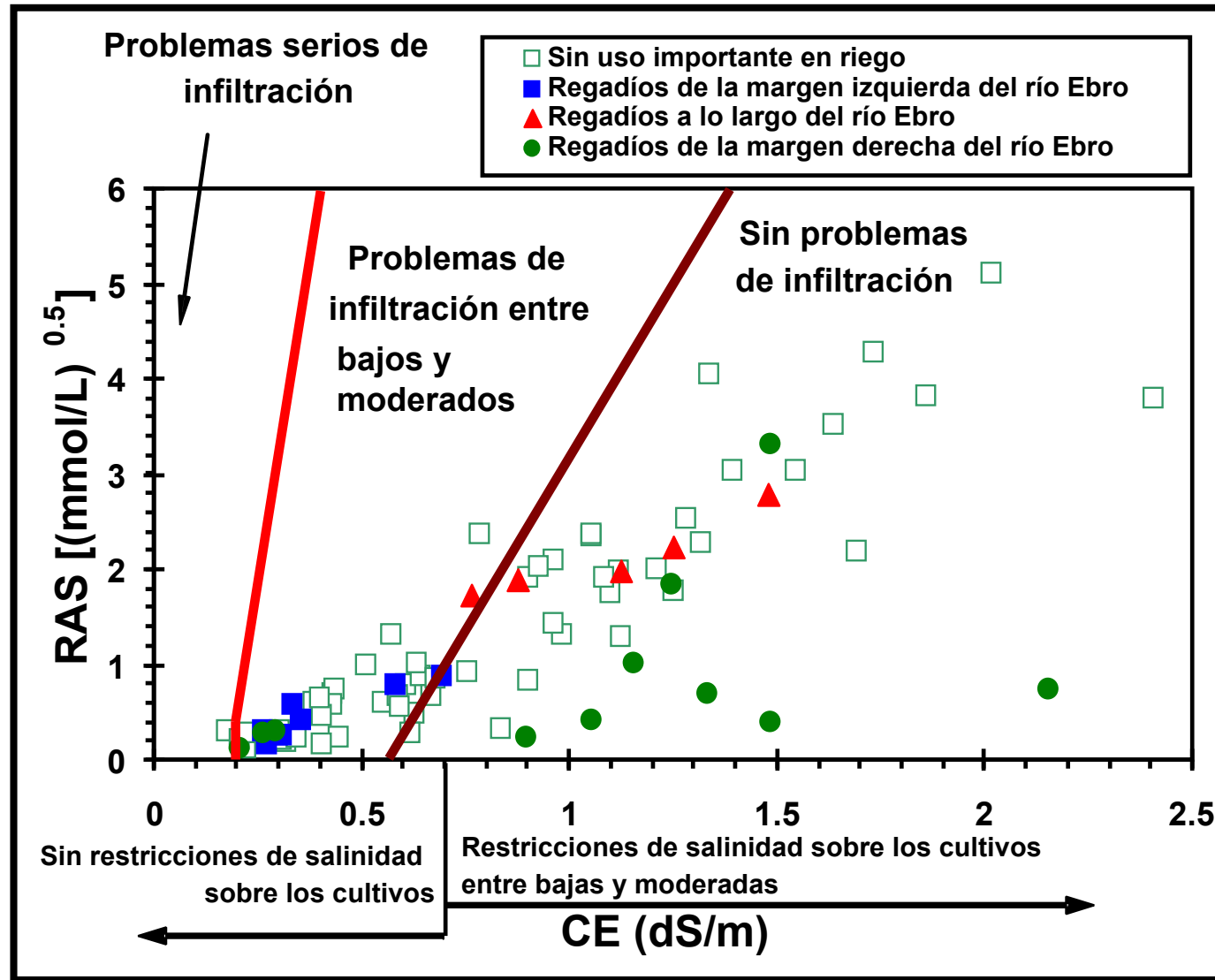
5 – Tolerancia de los cultivos a la salinidad: CE_u , CE_{50}

6 – Tolerancia de los suelos a la salinidad (CE) – sodicidad (RAS) – alcalinidad (pH)

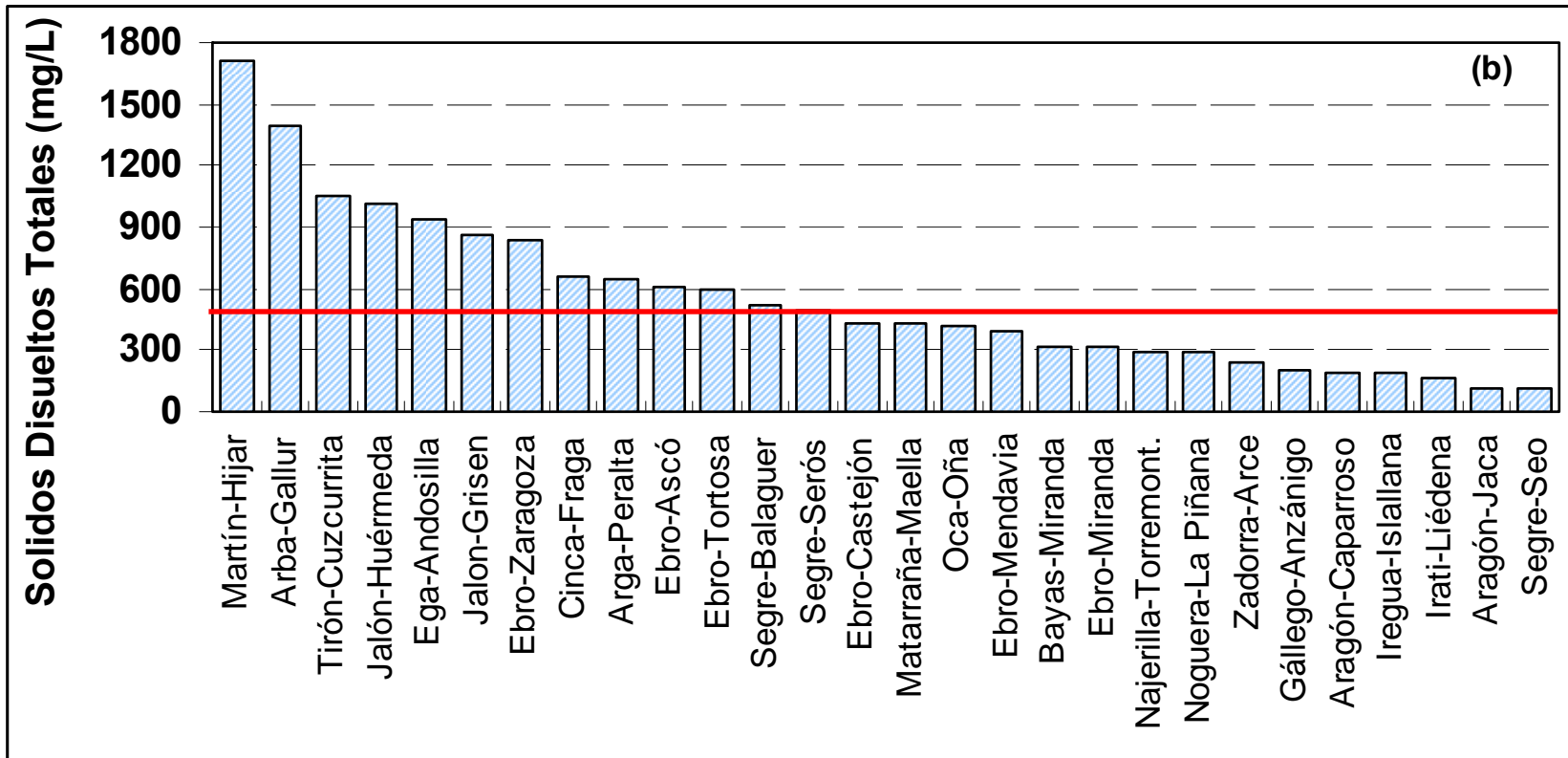
7 – Manejo del riego: Sistema de riego, Fracción de Lavado

8 – Clima: Déficit Hídrico (Precipitación, ETC)

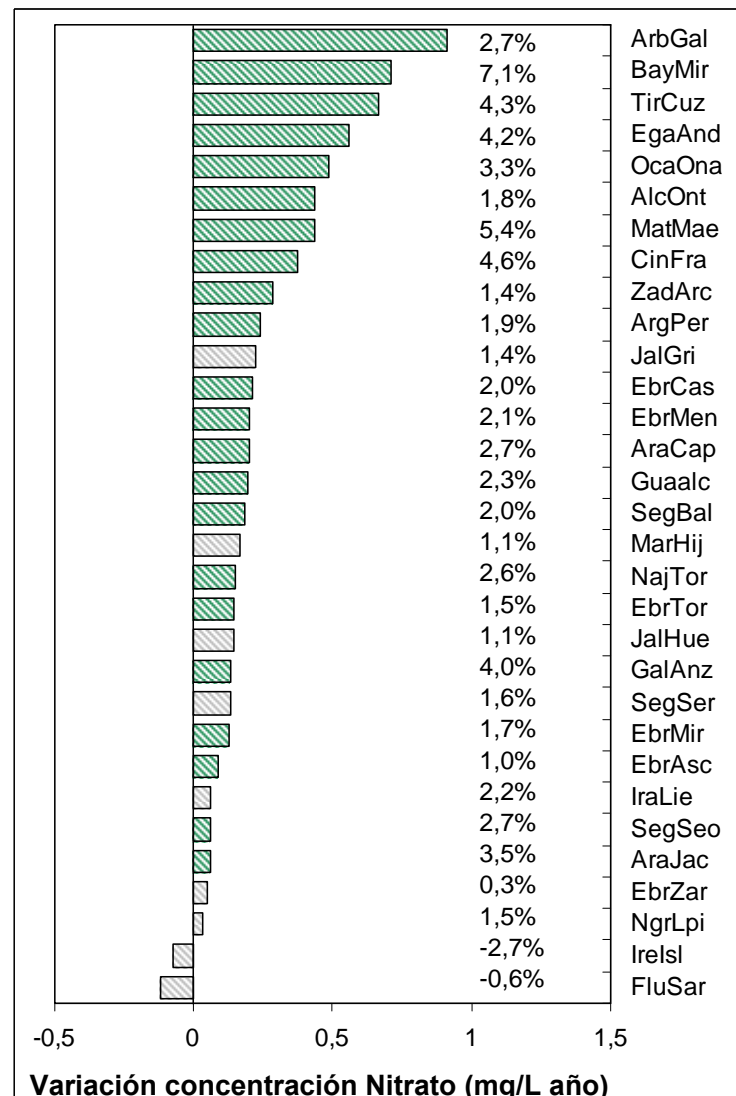
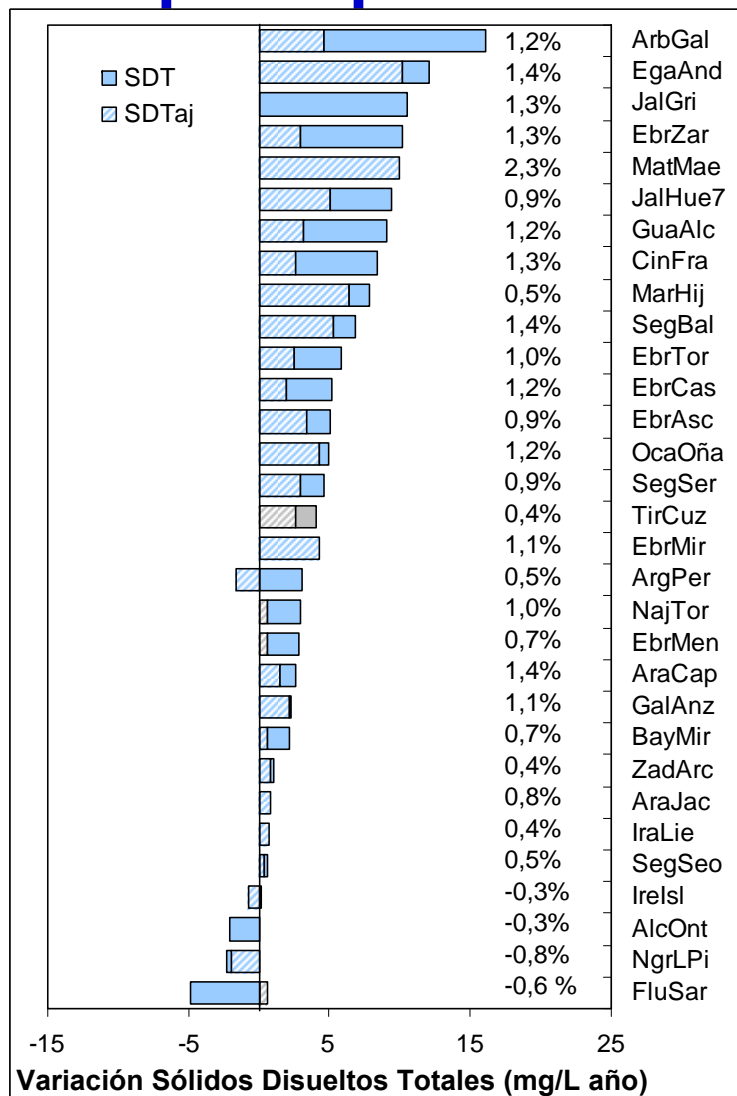
Calidad de las aguas superficiales en la cuenca del Ebro: efectos sobre los cultivos y sobre los suelos



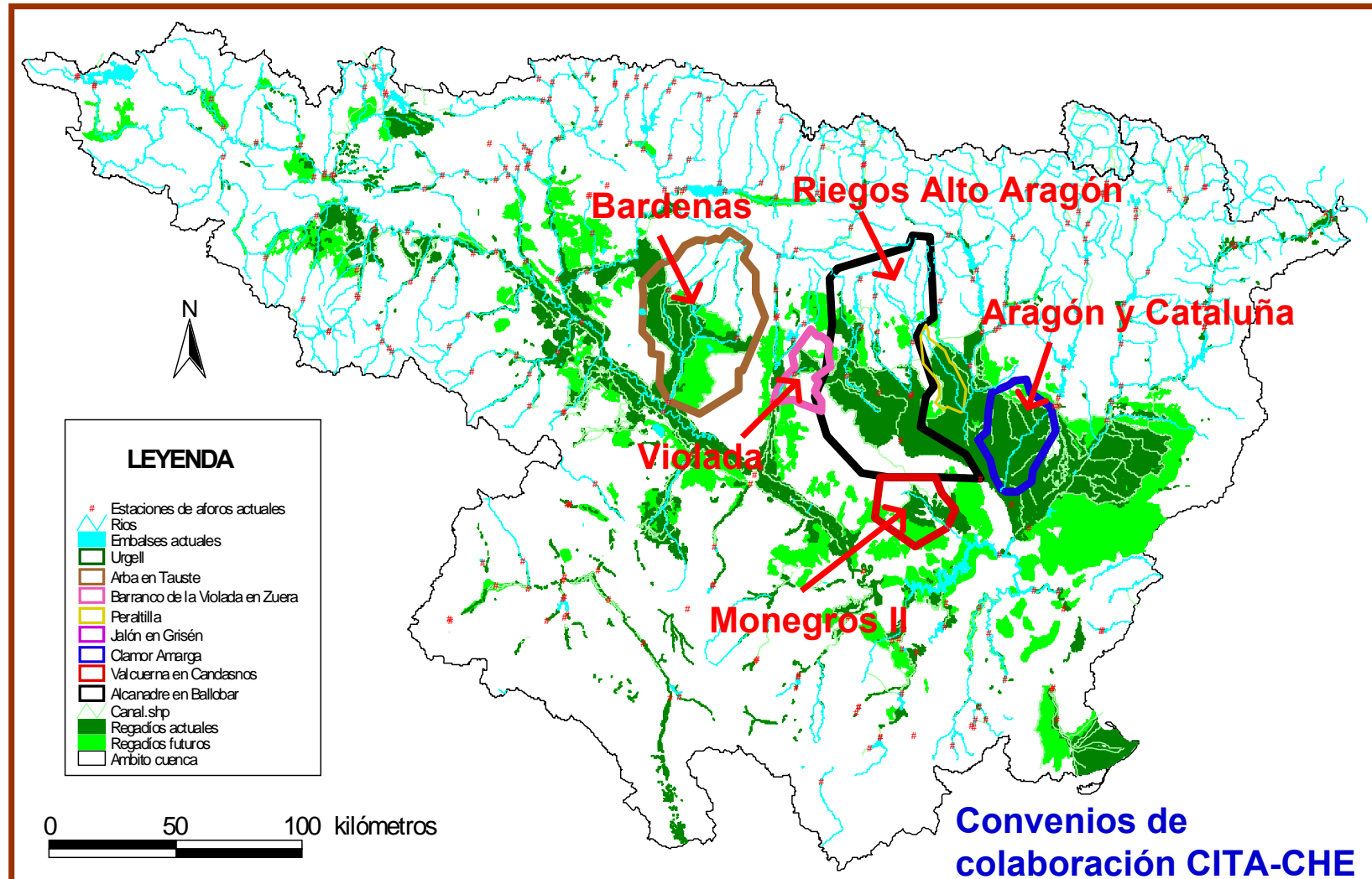
Salinidad media (SDT) del período 1975-2008 en 28 ríos de la cuenca del Ebro. La línea roja de 450 mg/L indica el umbral FAO for encima del cual existen restricciones moderadas de riego en cultivos sensibles a salinidad



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



Red de Control de Regadíos en la Cuenca del Ebro





4

Riego deficitario controlado y salinización de suelos: melocotonero (2008-2012)

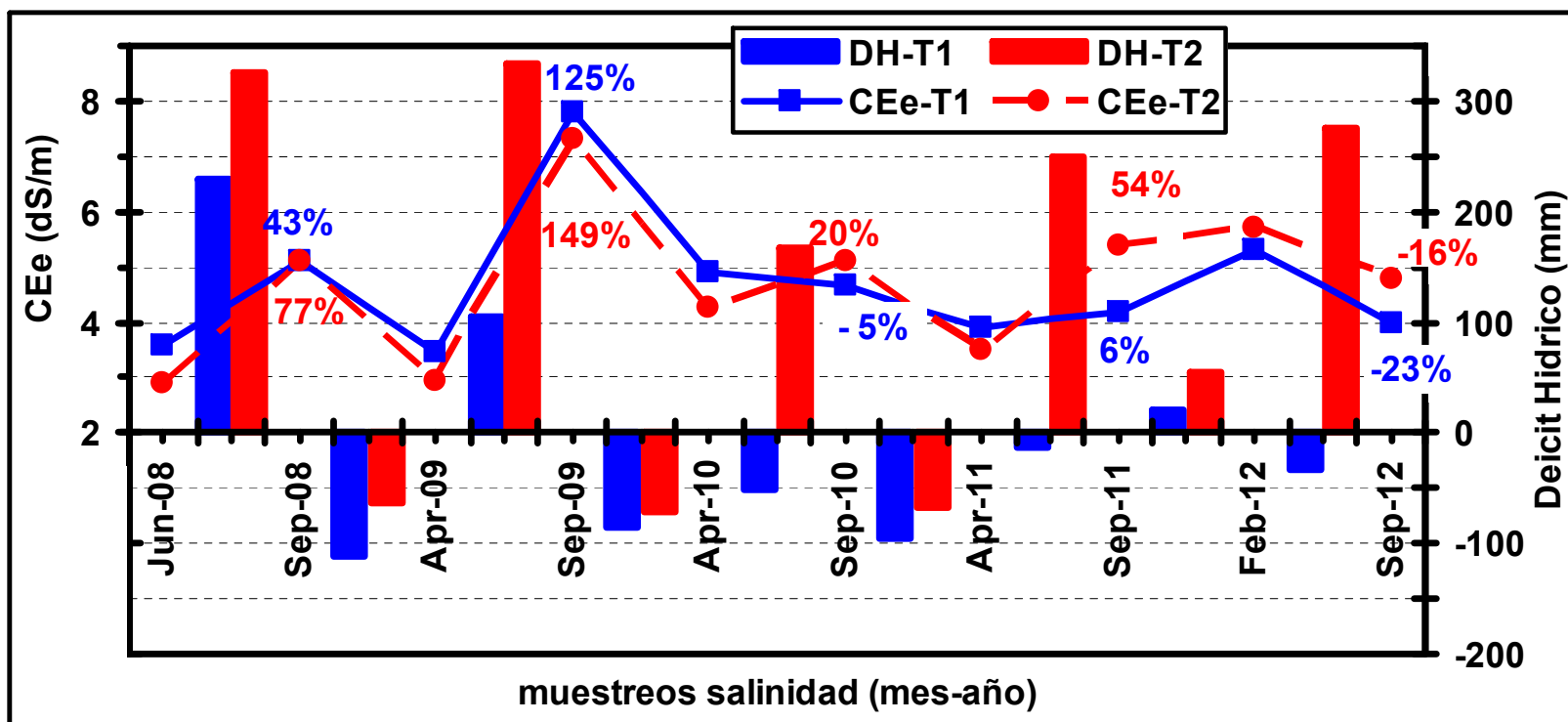
Ce agua riego = 1.2 dS/m

**Finca Affrucas
(Caspe, Zaragoza)**

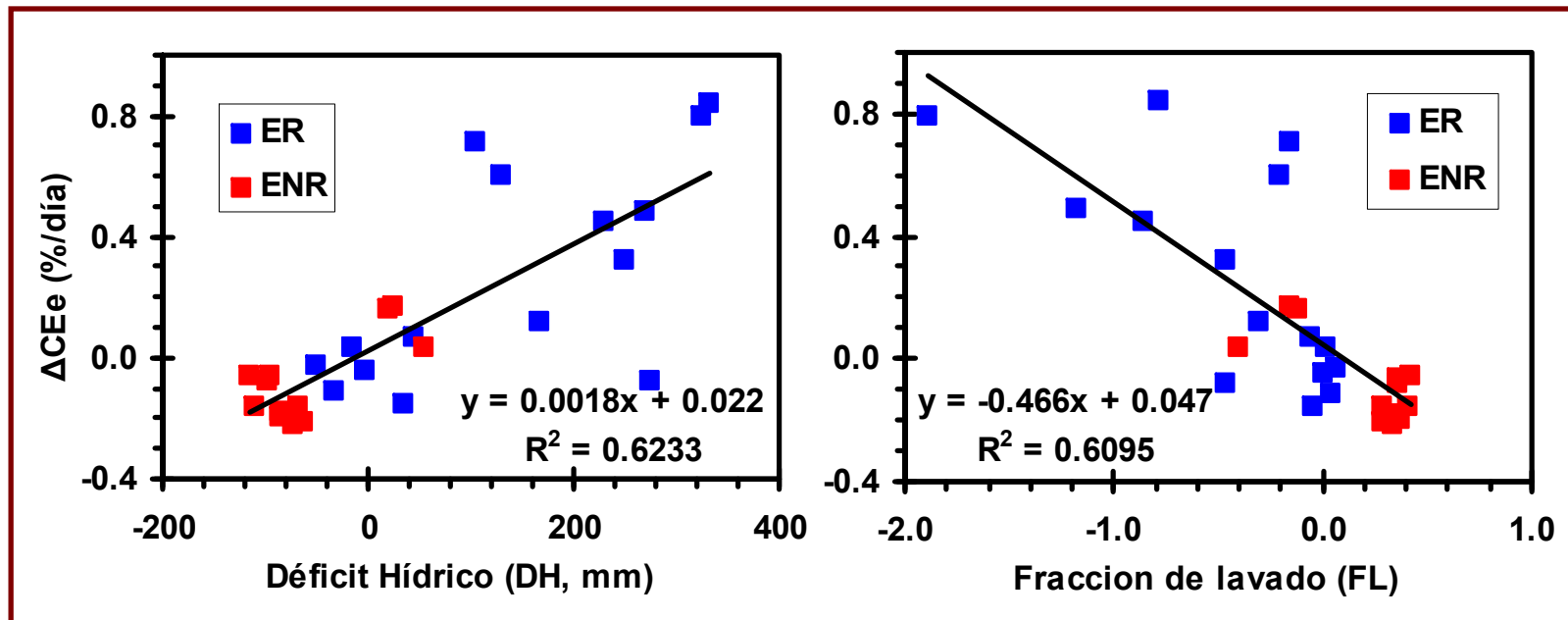


Evolución de la salinidad media (CEe) de la zona de raíces del melocotonero en las estaciones de riego (abril-septiembre) y no riego (octubre-marzo) de los años 2008 a 2012 en riego sostenido (T1) y riego deficitario controlado (T2).

$$\text{DH} = \text{Déficit Hídrico} = \text{ETc} - \text{Riego} - \text{Lluvia}$$



Relaciones entre la variación diaria porcentual de la salinidad ($\Delta C E e$) calculada para cada estación de riego y no riego de los años 2008-2012 y los valores correspondientes de DH y fracción de lavado ($FL = (Riego + Lluvia - ET_c) / (Riego + Lluvia)$)



$\downarrow DH (ET_c - R - LI) \Rightarrow \downarrow \Delta C E e$; manejo: incrementar R en las estaciones de no riego y/o disminuir E mediante acolchado



4

Riego deficitario controlado y salinización de suelos: acolchado del suelo en nectarina (2010-2012)

CE agua riego = 1.2 dS/m



Geotextil



Plastico



Corteza de pino

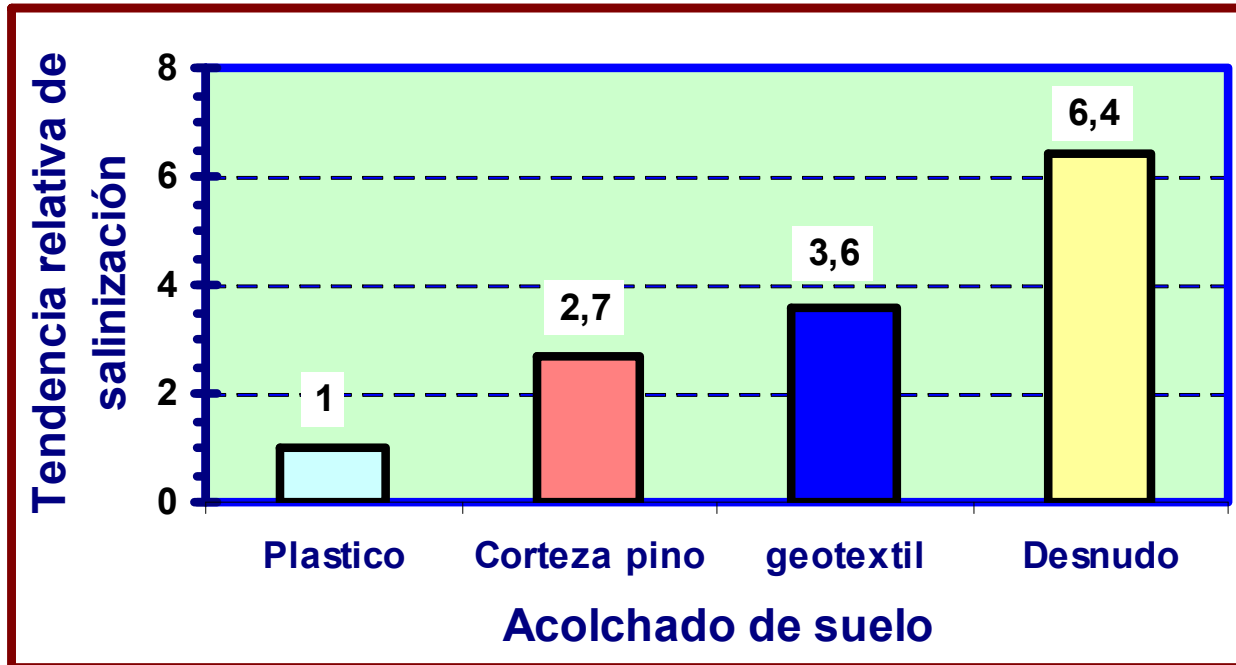


Suelo desnudo



Finca Affrucas
(Caspe, Zaragoza)

Efecto del acolchado en nectarina (año 2010)



Tendencias relativas de salinización en suelo desnudo y acolchados de corteza de pino y geotextil respecto a la del acolchado plástico.

El acolchado (plástico y orgánico) del suelo es una práctica agronómica muy eficaz para el control de la salinidad edáfica en riego por goteo de alta frecuencia

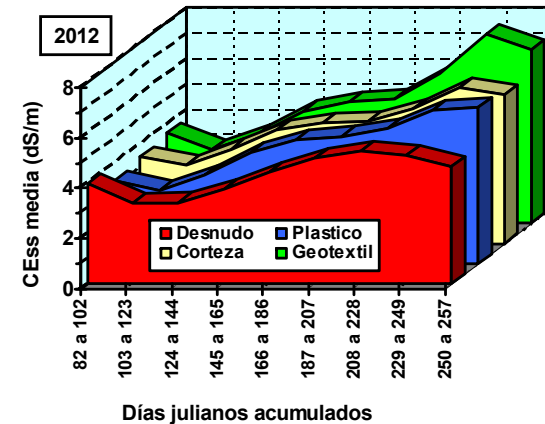
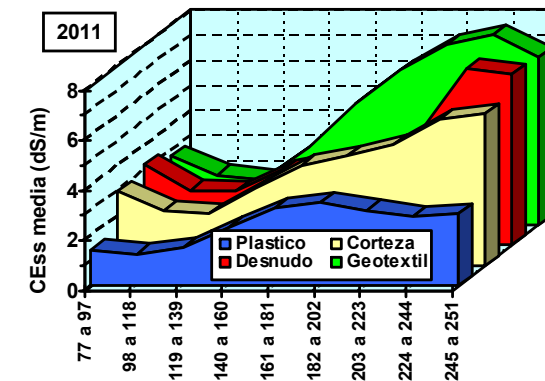
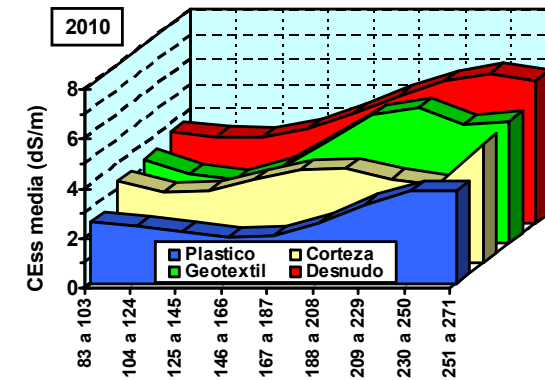
Evolución de la salinidad media de la solución del suelo extraída con sondas de succión en cuatro tratamientos de acolchado del suelo en nectarina en los años 2010 a 2012.

Eficiencia del acolchado para el control de la salinidad:

Plast > Corte > Geotex = Desnu

Excepto en 2012, donde el suelo desnudo fue el más eficiente debido a lluvias intensas

La eficiencia de los acolchados es ambiente-dependiente...



A modo de síntesis...

- **Esfuerzo amplio y sostenido en salinidad de suelos y aguas en los últimos 30 años.**
- **Futuro incierto debido al apoyo insuficiente de la DGA y al descenso de investigadores en el tema (la USyR ya no tiene la S y no tendrá pronto la R)**

A modo de síntesis...

- **... a pesar de que la calidad de las aguas (y suelos) es un tema relevante por:**
 - **Las exigencias derivadas de la Directiva Marco Europea del Agua.**
 - **Las tendencias de degradación establecidas en la Cuenca del Ebro.**
 - **El creciente uso para el riego de aguas recicladas de baja calidad.**

A modo de síntesis...

- Las mayores eficiencias de riego que pueden incrementar la salinidad de los suelos y flujos de retorno de riego.
- El cambio climático que sugiere **menores precipitaciones y caudales**, y **mayores temperaturas y evapo-concentración de las aguas** (es decir, un potencial creciente de degradación de calidad).