

Jornada Técnica del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Lérida “Fertilización y Riego: Aplicaciones en Fruticultura”

**Manejo de los suelos. Interpretación.
Caso particular de salinización y
sodificación. Correcciones.**

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

ETSIA-Lérida, 18 noviembre 2011

ÍNDICE DE LA PRESENTACIÓN

1- Suelos afectados por sales

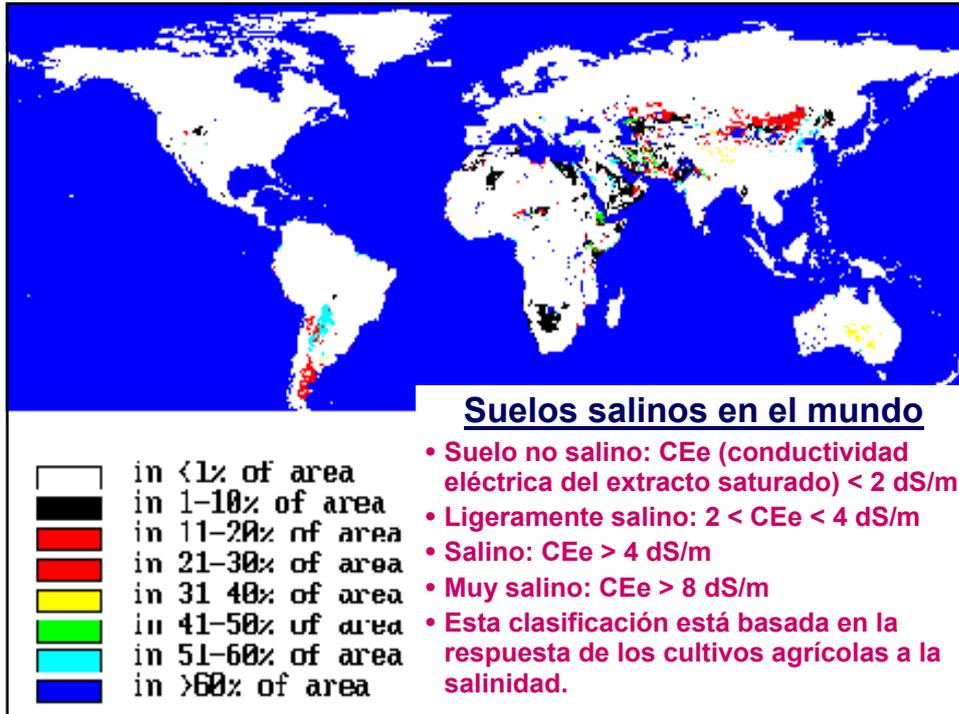
- **Salinidad: suelos salinos**
- **Sodicidad: suelos sódicos**
- **Sensibilidad de los frutales a salinidad y sodicidad**

2- Variables que definen la calidad del agua para riego. Sistemas de riego y salinidad

- **Frutales y riego por aspersión**
- **Frutales y riego por goteo. Riego Deficitario Controlado**

4- Correcciones

- **¿Fertilización?**
- **Necesidades de lavado de los frutales**
- **Enmiendas químicas: necesidades de yeso**
- **Acolchado de suelos**

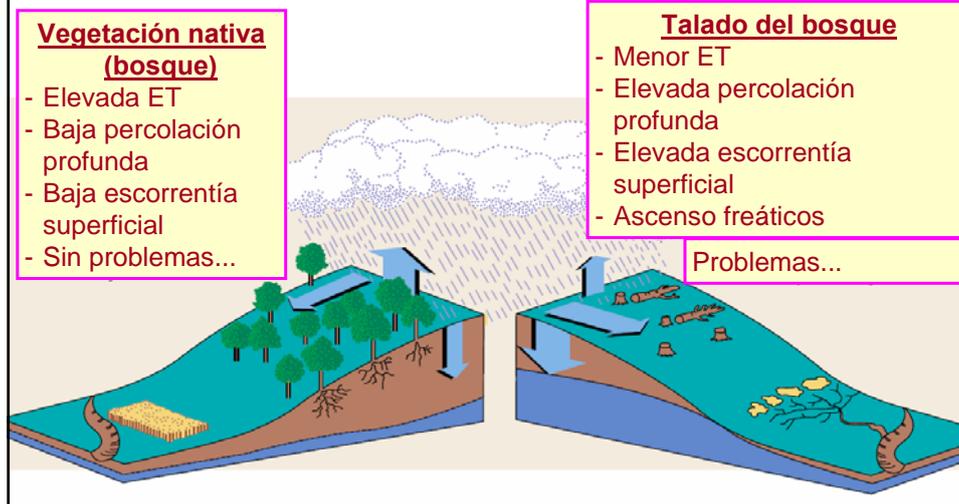


Extensión de suelos salinos

- La salinidad de los suelos es uno de los estreses agrícolas mas importantes.
- FAO (2002): entre un 8 y un 12% del regadío mundial (es decir, unos 25 m de ha del total de 230 m ha de regadío) está seriamente afectado por salinidad.
- FAO (2002): Un 30% (es decir, unos 70 m ha) del regadío mundial está moderadamente afectado por salinidad.
- FAO (2002): en torno a 0.5 millones de hectáreas se salinizan anualmente
- Regadíos afectado por salinidad: EE. UU. (28%), China (23%), Pakistan (21%), India (11%), Mexico (10%), Cuenca Media del Ebro (25%)...

LA SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS DE SECANO

Diagrama esquemático de procesos de salinización en una cuenca de secano



LA SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS DE REGADÍO

“Acumulación de sales solubles en la zona de raíces de los cultivos que producen un descenso de su rendimiento”

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



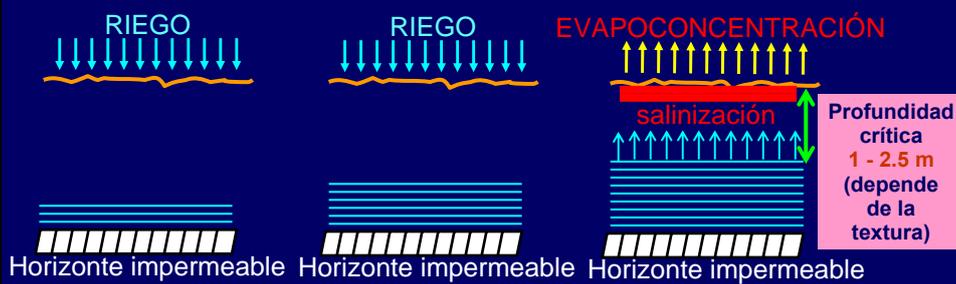
SALINIZACIÓN DEL SUELO EN LA ZONA DE RAÍCES

LA SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS DE REGADÍO

● La causa principal de salinización de los suelos en la agricultura de regadío es la aplicación excesiva de agua de riego en suelos con drenaje limitado.

● Esta situación conduce a la creación de capas freáticas superficiales que

- (1) impiden el lavado de las sales del suelo
- (2) inducen el ascenso capilar de agua y sales y subsiguiente evapo-concentración



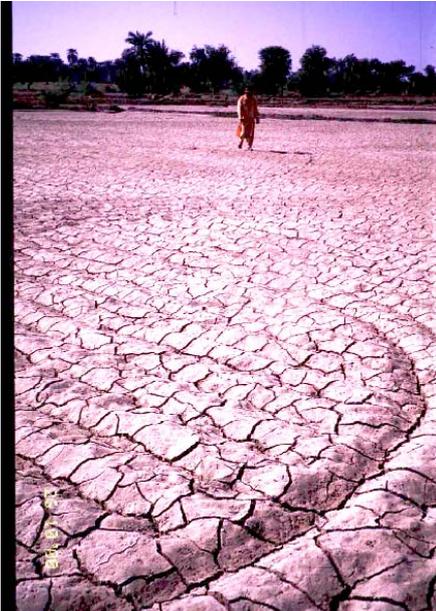
PAKISTAN
Suelo salino-sódico,
muy alcalino
("black alkali")



- 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**



**Valle de la Muerte (California, Estados Unidos):
espesor de sal de cientos de metros en una
zona endorréica situada por debajo del mar.**



ARAGÓN: Suelo salino sembrado con cebada



- **Suelos afectados por sales: salinidad**
 - **Medida tradicional: Conductividad Eléctrica del extracto saturado del suelo (CE_e)**
Suelo salino: $CE_e > 4$ dS/m
 - **Otras medidas:**
 - **CE del extracto 1:5 del suelo (CE_5)**
Suelo salino: $CE_5 > 0.5$ dS/m. ¡Cuidado si hay yeso!
 - **CE de la solución del suelo extraída con sondas de succión (CE_{ss})**
Suelo salino: $CE_{ss} > 2$ dS/m ¡Cuidado si hay yeso!
 - **CE aparente del suelo medida con sensor electromagnético (CE_a)**
Suelo salino: $CE_a > 0.4$ dS/m

EXTRACTO SATURADO DEL SUELO



1. Muestreo del suelo



2. Secado



3. Molienda y tamizado < 2mm



4. Suelo tamizado (200 g)

EXTRACTO SATURADO DEL SUELO



Adición de agua destilada



5. Preparación de la pasta saturada

6. Punto final de la pasta saturada

EXTRACTO SATURADO DEL SUELO



7. Adición de la pasta al embudo filtrante de vacío. Reposo 24 h.



8. Filtrado del extracto saturado

EXTRACTO 1:5 DEL SUELO

1. Muestreo del suelo

2. Secado, molienda y tamizado < 2mm



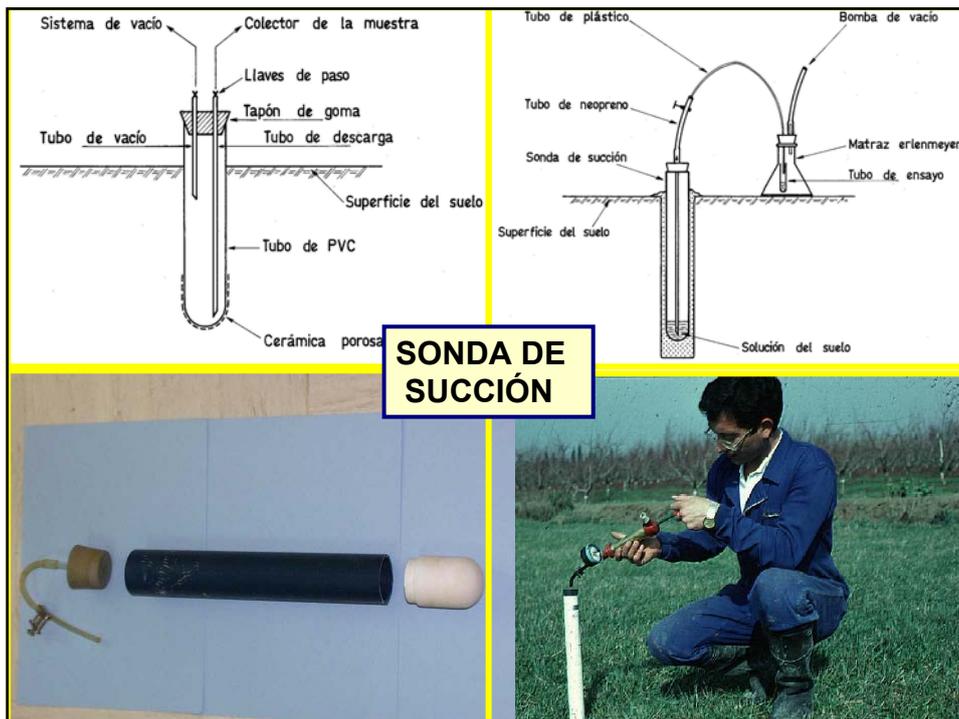
4. Agitación de la mezcla (1 h)



3. Adición de 50 mL de agua destilada a 10 g de suelo

5. Extracción en embudo filtrante de gravedad





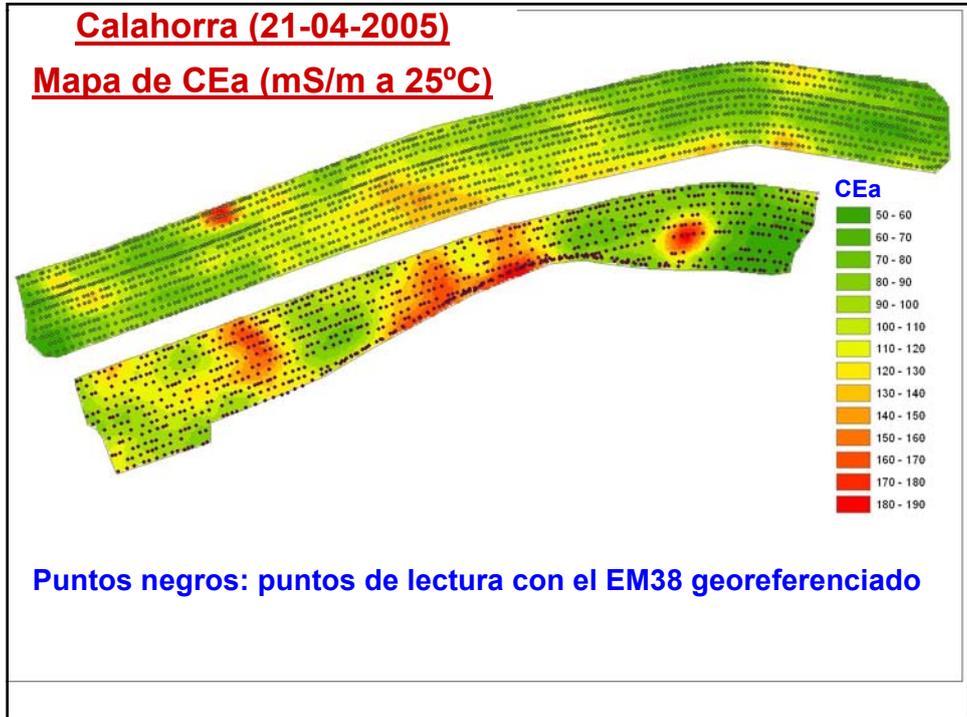
SENSOR ELECTROMAGNÉTICO GEONICS EM-38

Posición horizontal

Posición vertical

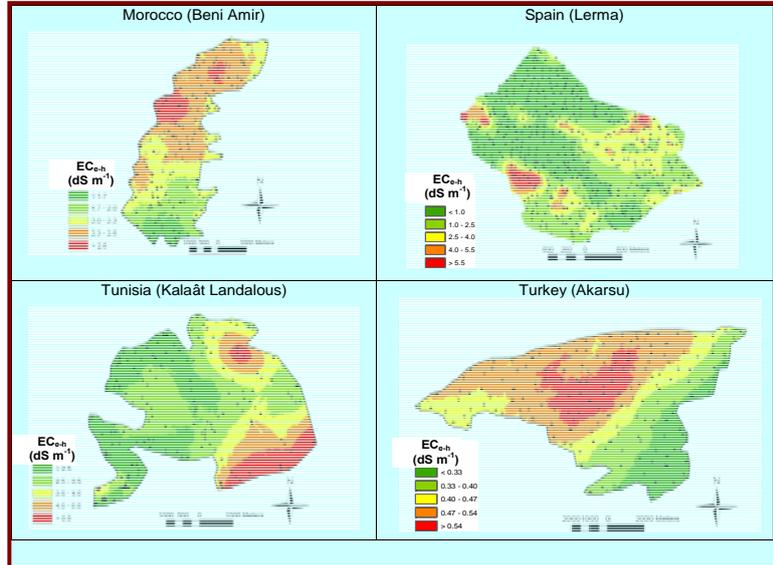
PROFUNDIDAD Z (metros)	R(Z) - Posición vertical	R(Z) - Posición horizontal
0.2	1.0	1.0
0.6	0.8	0.6
1.0	0.6	0.4
1.4	0.45	0.3
1.8	0.35	0.25
2.2	0.3	0.22
2.6	0.28	0.21
3.0	0.26	0.2

- CEa-horizontal: concentra la lectura cerca de la superficie del suelo y penetra hasta aprox. 1 m. de profundidad.
- CEa-vertical: es menos sensible a cambios de CEa cerca de la superficie del suelo y penetra hasta 1.5-2 m. de profundidad.

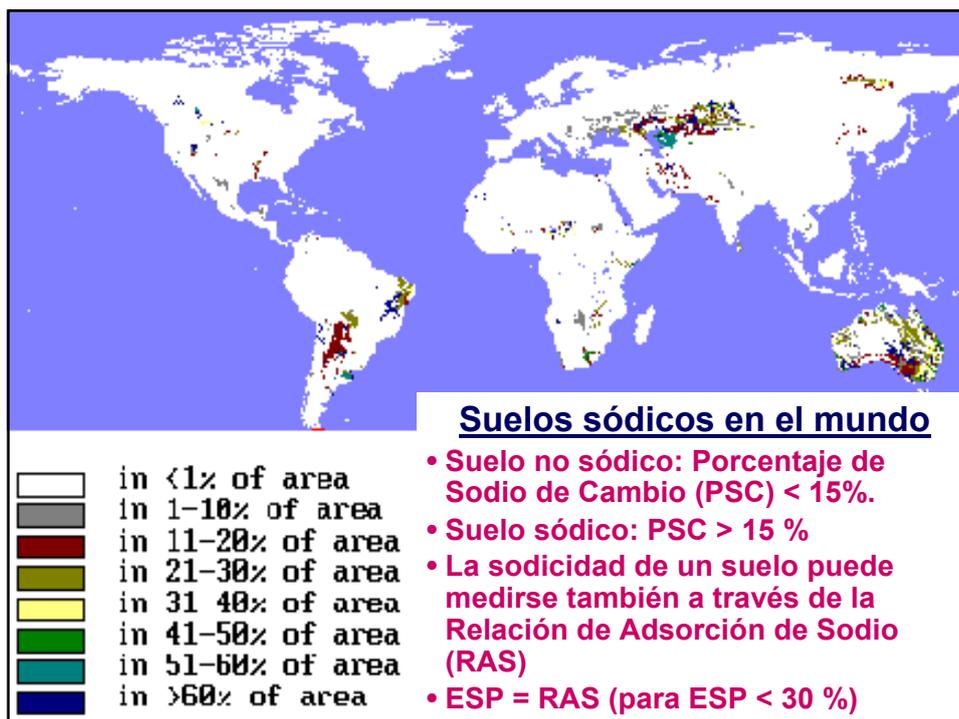


Mapas de salinidad del suelo (EC_e del extracto saturado) en base a lecturas del sensor (CE_a) y calibraciones CE_a-CE_e

- Proyecto Qualiwater: mapas de CE_e obtenidos en cuatro zonas regables de España, Marruecos, Tunes y Turquía. Puntos negros: lecturas CE_a .



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



MEDIDA DE LA SODICIDAD

- Capacidad intercambio catiónico (CIC): capacidad de un suelo para adsorber los cationes de cambio (Na, Ca y Mg).

- Porcentaje de sodio de cambio (PSC):

$$PSC = 100 (Na_{\text{cambio}}/CIC)$$

- Puesto que el PSC es difícil de medir, se utiliza en su lugar la Relación de Adsorción de Sodio (RAS):

$$RAS = Na/[(Ca + Mg)]^{1/2}$$

donde Na, Ca, Mg son concentraciones (mmol/L) medidas en la solución del suelo o en un extracto del mismo.

- Aproximadamente, PSC = RAS (para PSC < 30); Ecuación (USSL, 1954):

$$PSC = 1.475 RAS / (1+0.0147 RAS)$$

ESTIMACIÓN DE LA SODICIDAD DEL SUELO A PARTIR DE LA SODICIDAD DEL AGUA DE RIEGO

- ✓ Sería deseable estimar la RAS_{suelo} a partir de la $RAS_{\text{agua de riego}} (RAS_{\text{ar}})$, pues se ahorrarían tiempo y esfuerzos.
- ✓ Asumiendo régimen permanente, $RAS_{\text{ar}} = RAS_{\text{suelo}}$ si:
 1. El suelo está en la parte superior de la zona de raíces de los cultivos.
 2. $CE_{\text{ar}} < 1 \text{ dS/m}$
 3. Fracción de Lavado ($FL = V_d/V_r$) ≥ 0.2pues entonces $Ca_{\text{solución suelo}} = Ca_{\text{agua riego}}$
- ✓ En caso contrario, el factor de concentración del agua en el suelo ($F_c = 1/FL$) puede ser importante y el Ca puede precipitar en el suelo, por lo que es preciso utilizar la ecuación de RAS ajustado:

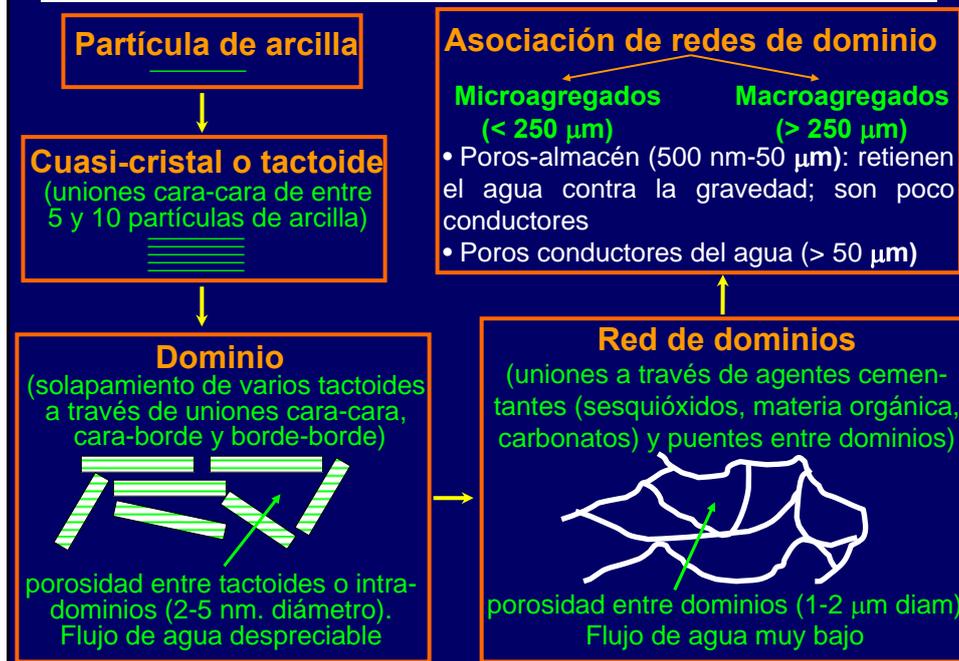
$$RAS_{\text{aj}} = Na (F_c) / [Mg (F_c) + 0.215 X (PCO_2)^{1/3}]^{1/2}$$

Ca solución suelo

donde:

- Na, Mg = concentraciones en el agua de riego (mmol/L).
- $F_c = 1/FL$
- PCO_2 = presión parcial de CO_2 (kPa) en la rizosfera (0.1 para suelos superficiales, 1 para suelos profundos arenosos y 5 para suelos profundos arcillosos).
- $X (PCO_2)^{1/3}$ = concentración de Ca en la rizosfera en equilibrio con calcita (ver Tabla siguiente para obtener X a partir de la fuerza iónica (I) y de la relación HCO_3^-/Ca en mmol/L)

ESQUEMA DE AGREGACIÓN DE LOS SUELOS



¿Porqué se desestabilizan los suelos?



Efectos de la calidad del agua en los suelos:

1- ¿cuándo son relevantes?

2- ¿qué opciones de manejo existen?

1. La inestabilidad estructural de los suelos es relevante en:

- Aguas de muy baja salinidad.
- Suelos / aguas de elevada sodicidad.
- Suelos / aguas de elevado pH.
- Suelos con baja materia orgánica y elevado limo.
- Aplicaciones de agua de elevada intensidad.

2. Opciones de manejo químicas, físicas y biológicas:

- Yeso, fosfoyeso, carboyeso, polímeros (PAM)...
- Laboreo superficial para romper la costra.
- Adición de residuos de cultivos (aumento de la MO).
- Uso de cultivos de cubierta temprana y acolchado superficial (intercepción del impacto cinético de las gotas de lluvia y aspersión).

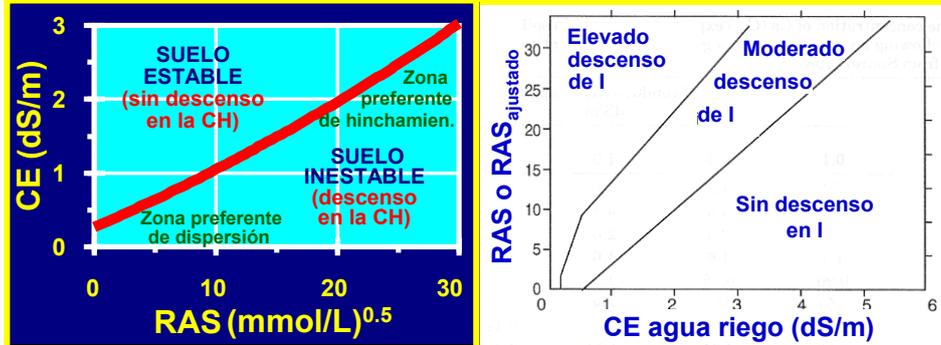
Manejo de los suelos con tendencia al encarado

- (1) Ruptura mecánica de la costra.
- (2) Añadir enmiendas químicas (yeso, polímeros...).
- (3) Añadir residuos de cultivos (aumento de la materia orgánica).
- (4) Acolchar el suelo o utilizar cultivos que cubran el suelo rápida y totalmente (alfalfa...).
- (5) Mojar la costra (riegos frecuentes y ligeros: aspersión).



ENSAYO DE EMERGENCIA DEL MAIZ EN UN SUELO CON TENDENCIA AL ENCARADO: EFECTO BENEFICIOSO DE LA APLICACIÓN DE 5 T/HA DE YESO EN SUPERFICIE

Curvas de estabilidad para la Conductividad Hidráulica (CH) y para la tasa de infiltración (I)

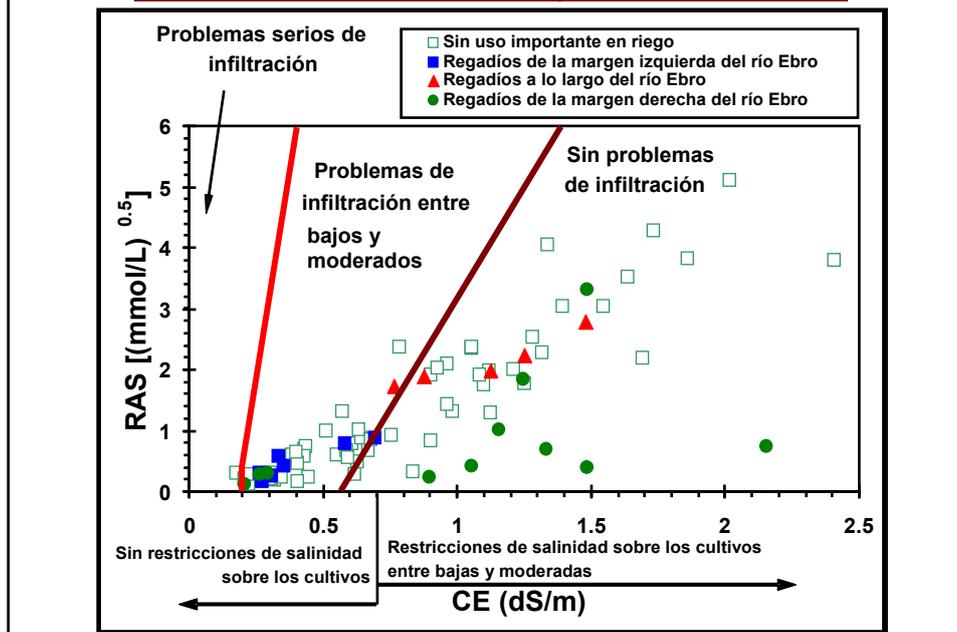


CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA

INFILTRACIÓN

- La combinación de la salinidad (CE) y sodicidad (RAS) del agua de riego determina la estabilidad estructural de los suelos
- Cada suelo tiene distintas curvas de estabilidad
- La lluvia tiene un efecto muy negativo sobre la estabilidad

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



En síntesis, la Estabilidad Estructural de los suelos **aumenta conforme:**

- ✓ **MAYOR** es la salinidad (CE)
- ✓ **MENOR** es la sodicidad (RAS)
- ✓ **MENOR** es la alcalinidad (pH)
- ✓ **MENOR** es la velocidad de humectación del suelo
- ✓ **MAYOR** es el contenido de MO/biomasa microbiana
- ✓ **MENOR** es la energía cinética del agua de riego:
 - goteo < inundación < surcos < aspersión
 - suelo cubierto (acolchado) < suelo desnudo



Colmatación de drenes
En suelos sódicos: dispersión de arcillas y limos finos transportados por el agua al interior del dren, rellenándolo y taponándolo mas o menos parcialmente

(Fotos: *Herrero et al., 1989*)

Corte transversal en un dren →



“Trocós” causados por sufosión (piping): erosión por flujo subsuperficial o túnel

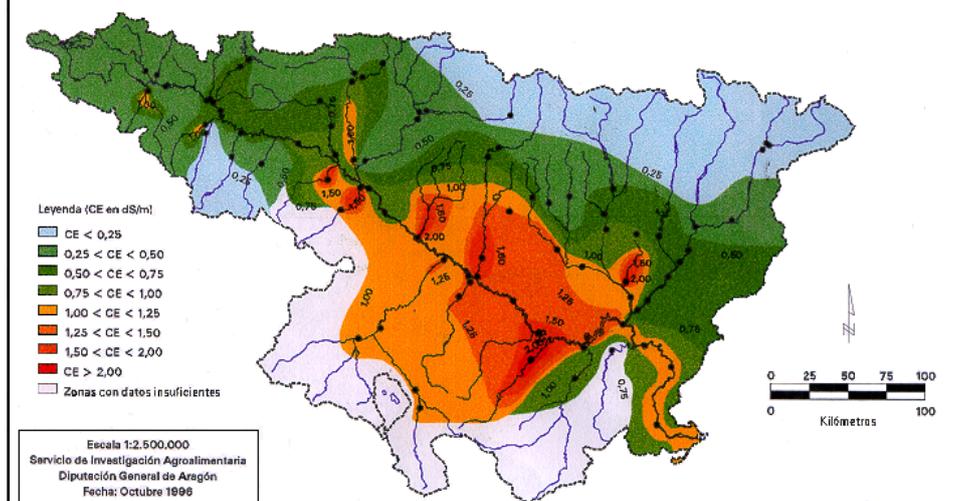
La iniciación se puede producir por presencia de elevados contenidos de Na^+ en el suelo. Dispersión química de arcillas



“Troco”: agujero que se desarrolla en suelos no consolidados: se originan al concentrarse el flujo de agua por discontinuidades naturales (galerías, fauna, etc.) o artificiales (tubos enterrados, etc.). Originan cárcavas (regueros) y producen la erosión de suelo

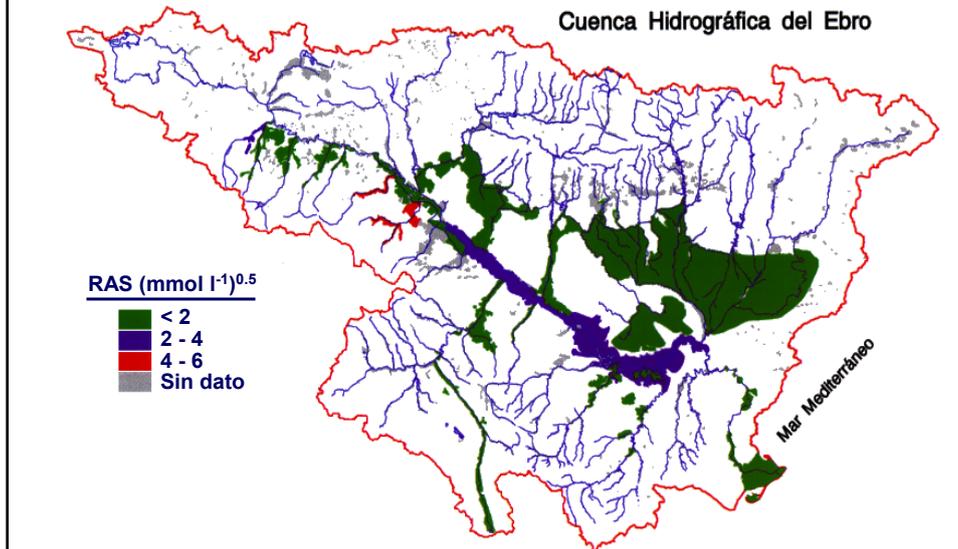
● Salinidad de las aguas superficiales

La CE (conductividad eléctrica) de las aguas en la cuenca del Ebro es en general baja y de buena calidad para el riego de los cultivos (pero puede desestabilizar los suelos).



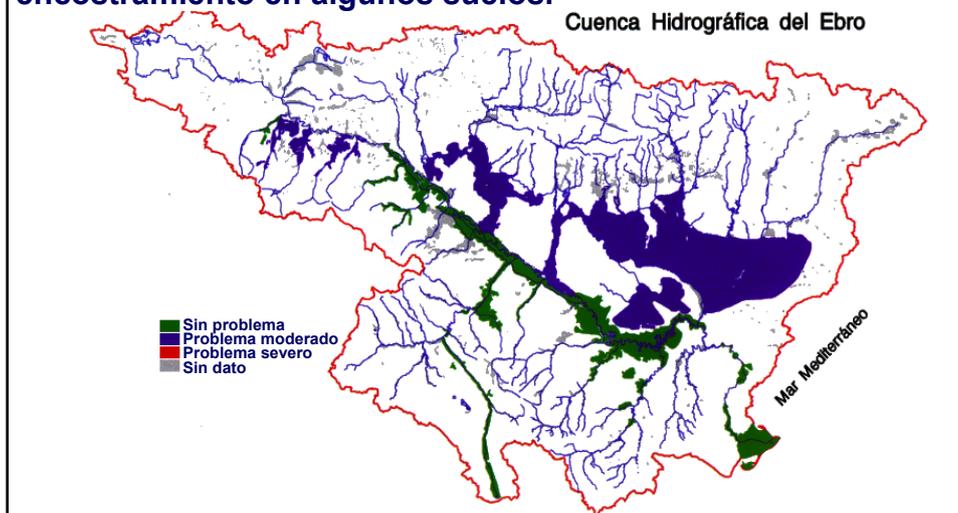
● Sodicidad de las aguas superficiales

La sodicidad (RAS) de las aguas en la cuenca del Ebro es en general baja y de buena calidad para el riego.

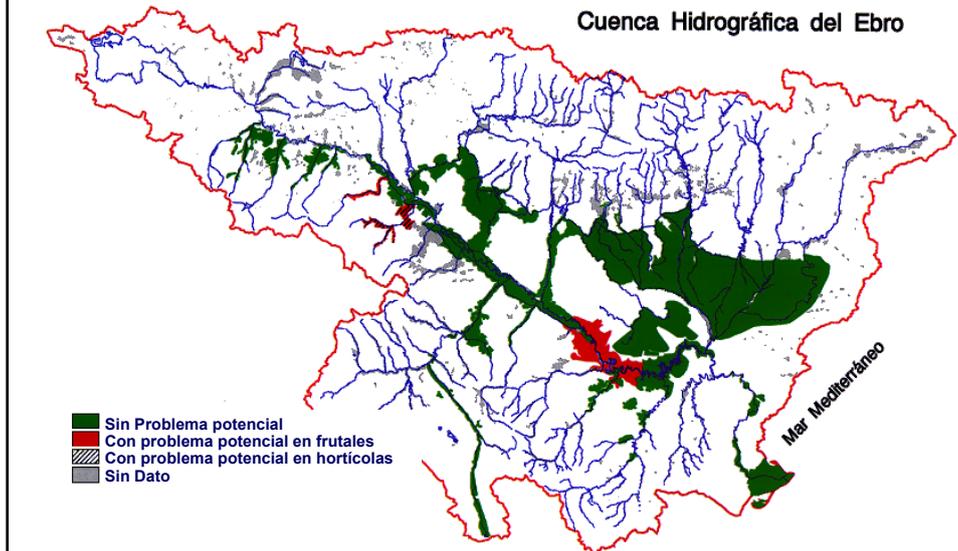


● Problemas de degradación estructural del suelo

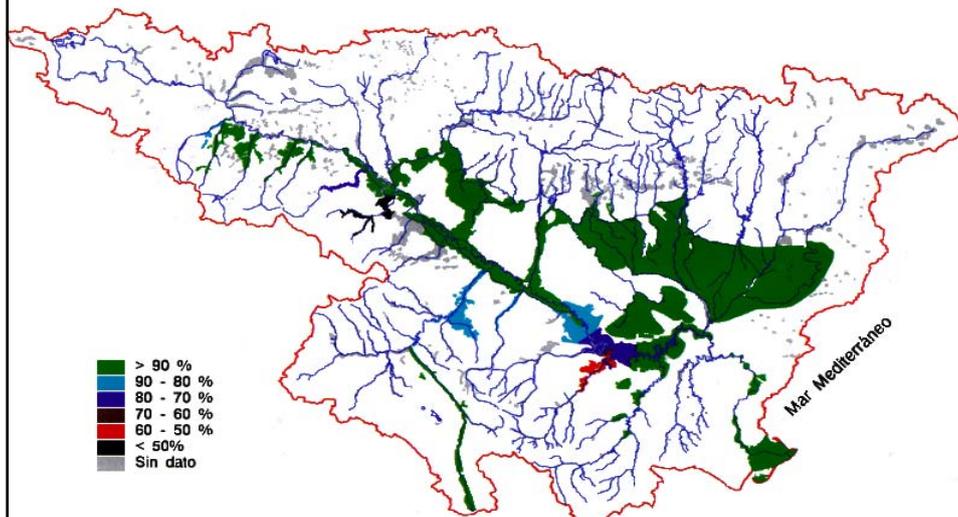
Medido mediante la combinación de CE y RAS. La baja CE de las aguas de la margen izquierda del Ebro puede crear problemas moderados-serios de dispersión de arcillas y encostramiento en algunos suelos.



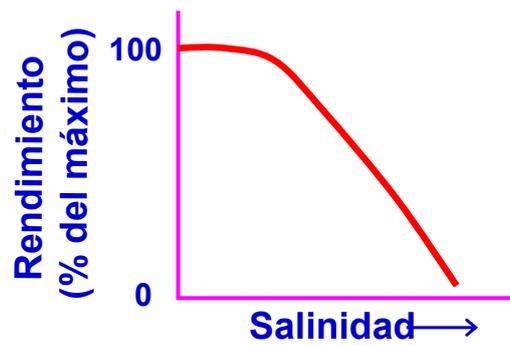
● **Problemas de toxicidad iónica específica del agua de riego por Na⁺ y/o Cl⁻ en frutales y hortícolas regados por aspersión**



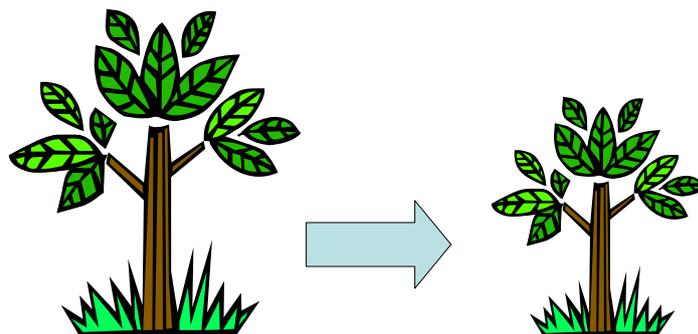
● **Máximas eficiencias del riego compatibles con un rendimiento del 100% en cultivos sensibles a salinidad (esto es, la salinización del suelo debida a Fc (1/FL) no reduce su rendimiento)**



Tolerancia de los cultivos a la salinidad (estrés salino o efecto osmótico)



El efecto osmótico neto es la reducción del crecimiento de las plantas

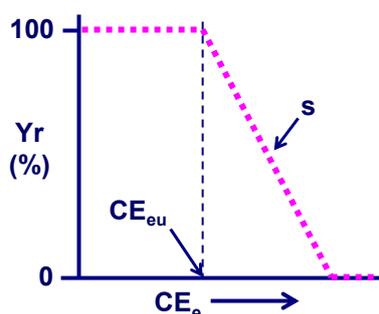


**Planta sin
estrés salino**

**Planta con
estrés salino**

Con frecuencia, no existen otros síntomas visuales si solo existe el estrés osmótico...

- El modelo de Maas y Hoffman asume que el descenso del rendimiento con la salinidad es lineal entre CE_u y CE_o .
- Este modelo es el comúnmente utilizado. Las Tablas de tolerancia a salinidad de los cultivos están basadas en el mismo.
- En términos de rendimiento relativo (Y_r) y expresando la salinidad del suelo en base a la CE del extracto saturado (CE_e), la ecuación que describe el modelo es: $Y_r = 100 - s (CE_e - CE_{eu})$ donde Y_r (%) = $100 Y/Y_m$, s es la pendiente en % por dS/m, y CE_e y CE_{eu} se expresan en dS/m.

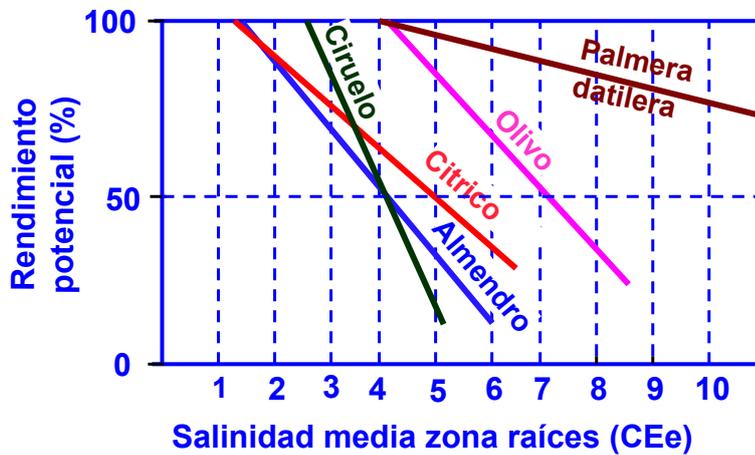


Tablas de tolerancia de los cultivos a la salinidad

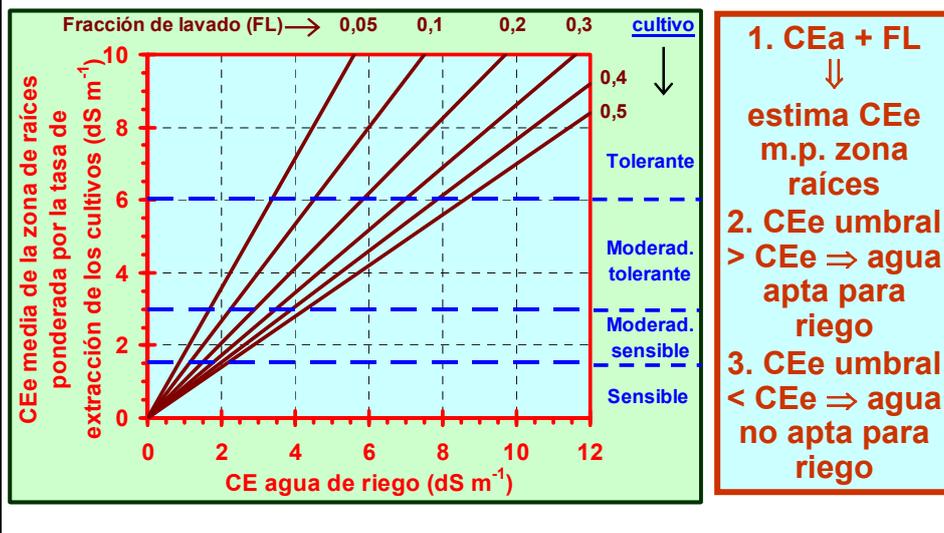
Cultivos ordenados alfabéticamente con sus valores de CE_{eu} (umbral en base a la CE_e en dS/m), s (pendiente negativa en % por dS/m) y clase (Tolerante, Moderadamente Tolerante, Moderadamente Sensible y Sensible)

Cultivo	CE_{eu}	s	Clase	Cultivo	CE_{eu}	s	Clase
Albaricoquero	1,6	24,0	S	Judía	1,0	19,0	S
Alfalfa	2,0	7,3	MS	Lechuga	1,3	13,0	MS
Algodón	7,7	5,2	T	Maiz grano	1,7	12,0	MS
Almendro	1,5	19,0	S	Melocotonero	1,7	21,0	S
Apio	1,8	6,2	MS	Naranja	1,7	16,0	S
Arroz	3,0	12,0	MS	Patata	1,7	12,0	MS
Brócoli	2,8	9,2	MS	Pepino	2,5	13,0	MS
Cebada grano	8,0	5,0	T	Pimiento	1,5	14,0	MS
Cebolla	1,2	16,0	S	Remolacha	7,0	5,9	T
Ciruelo	1,5	18,0	S	Soja	5,0	20,0	MT
Coliflor	1,8	9,7	MS	Sorgo	6,8	16,0	MT
Espárrago	4,1	2,0	T	Tomate	2,5	9,9	MS
Espinaca	2,0	7,6	MS	Trigo	6,0	7,1	MT
Festuca	3,9	5,3	MT	Vid	1,5	9,6	MS
Fresa	1,0	33,0	S	Zanahoria	1,0	14,0	S

Tolerancia de algunos frutales a salinidad

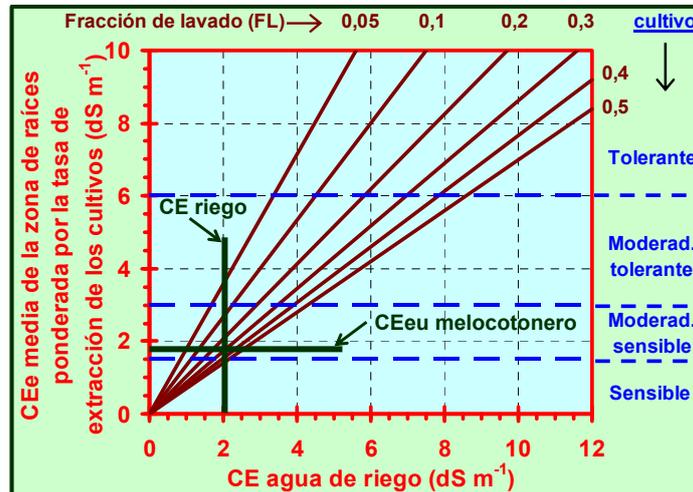


Nomograma para establecer la aptitud del agua de riego en función de la CE del agua, la Fracción de lavado (FL) y la tolerancia del cultivo a la salinidad

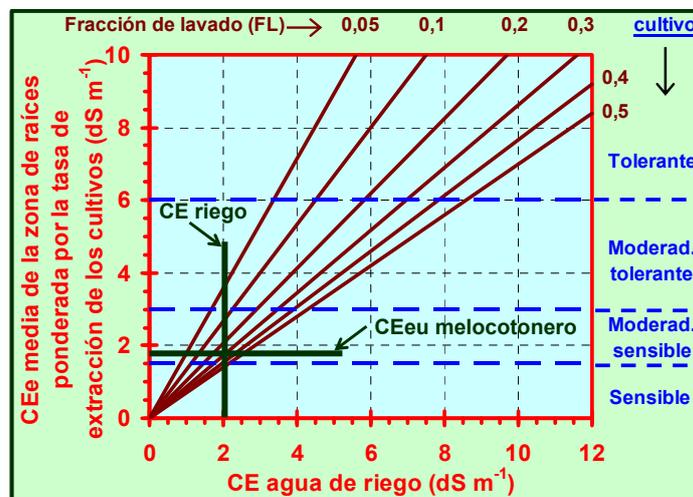


Ejemplo: puede regarse el melocotonero con un agua de riego de CE = 2 dS/m?

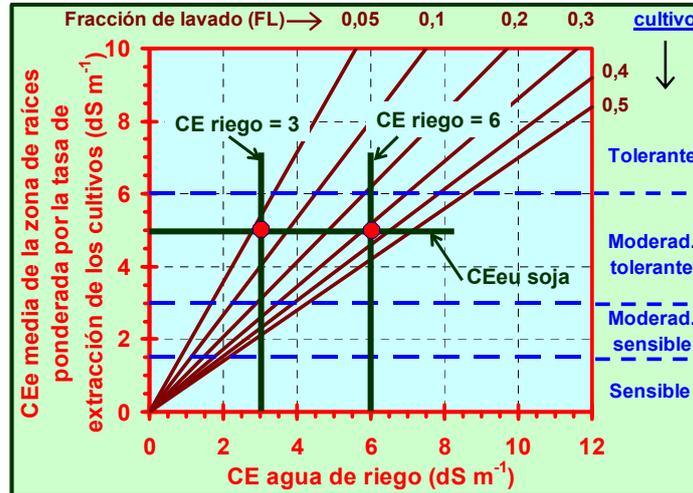
- CEe umbral melocotonero = 1,7 dS/m
- SI, si FL > 0,3 porque entonces CEe suelo < 1,7 dS/m
- NO, si FL < 0,3 porque entonces CEe suelo > 1,7 dS/m



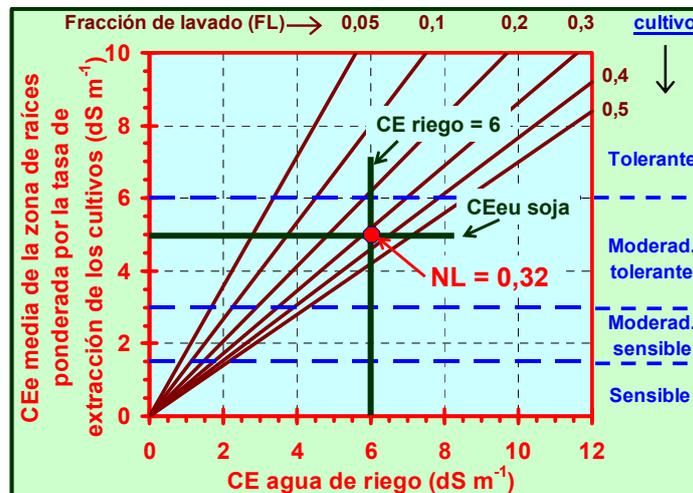
- **Conclusión:** es necesario conocer la FL para saber si un agua es apta o no para regar un determinado cultivo.
- **Necesidad de Lavado (NL)** de un cultivo: mínima FL compatible con el máximo rendimiento del cultivo
- **Ejemplo anterior:** NL = 0,3



- Ejemplo de cálculo de NL: cual es la NL de la soja regada con aguas de 3 dS/m y 6 dS/m?
- CEeu soja = 5 dS/m
- Para CE riego = 3 dS/m, mínima FL que da CEe < 5 = 0,06
- Para CE riego = 6 dS/m, mínima FL que da CEe < 5 = 0,32



- Una vez calculada la NL, la cantidad de agua de riego a aplicar (Va) para satisfacer la ET y la NL se obtiene de:
- $$Va = ET / (1 - NL)$$
- Por ejemplo, si la ETsoja = 600 mm y se riega con CEa = 6 dS/m (esto es, NL = 0,32): $Va = 600 / (1 - 0,32) = 600 / 0,68 = 882$ mm



Tolerancia de los cultivos a la sodicidad

- ✓ La tolerancia a sodicidad es más difícil de definir que la tolerancia a salinidad, ya que existen efectos directos e indirectos:
- ✓ Efectos directos: acumulación de niveles tóxicos de Na^+ en la planta, generalmente limitada a especies leñosas.
Depende de la especie y del patrón.
- ✓ Efectos indirectos:
 1. Desbalances nutricionales.
 - En suelos sódicos pero no salinos, el Ca^{2+} y/o el Mg^{2+} son nutricionalmente bajos y producen deficiencias, particularmente de Ca^{2+} .
 2. Deterioro del estado físico del suelo. El descenso de la permeabilidad al agua y al aire y las condiciones saturadas (hipoxia) afectan al crecimiento de la mayoría de los cultivos.

Tolerancia de los cultivos a la toxicidad iónica específica

- ✓ Muchas especies leñosas son susceptibles a toxicidades iónicas específicas o a desbalances nutricionales provocados por dichos iones.
- ✓ Los iones más importantes desde el punto de vista de la toxicidad iónica específica son el sodio, el cloruro y el boro.
 1. Sodio (Na)
 - Muchas especies leñosas son sensibles a la acumulación de Na en hoja. Así, el aguacate, los cítricos y los frutales de hueso pueden sufrir toxicidad para valores de Na^+ en la solución del suelo de 5 meq/l.
 2. Cloruro (Cl)
 - Muchas especies leñosas son sensibles a la acumulación de Cl en hoja. Así, el umbral de Cl en la solución del suelo para muchos frutales varía entre 10 y 50 meq/l dependiendo del patrón o el cultivar.
 3. Boro (B)
 - El umbral de B en la solución del suelo varía entre <0.5 mg/l (limonero) y 2 mg/l (la mayoría de las especies), aunque las especies más tolerantes (alfalfa, tomate, sorgo, algodón, espárrago) tienen umbrales entre 4 y 10 mg/l.

Toxicidad iónica específica: sensibilidad de los frutales al Cl

- La acumulación excesiva de Cl (y Na) en las hojas produce quemaduras en las hojas. Los frutales se vuelven más sensibles después de 2-3 años.
- La tolerancia de los frutales a la salinidad depende mucho de la variedad y del patrón.
- El tamaño de los frutos disminuye con la salinidad. Además, al disminuir el área foliar, los frutos pueden tener quemaduras por su exposición directa al sol, disminuyendo su valor en el mercado. Sin embargo, la salinidad puede incrementar el contenido en azúcares y mejorar el sabor de los frutos.
- En general, valores en hoja (peso seco) superiores al 0,2% de Na y 0,5% de Cl producen necrosis.



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)

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
Conseller
 (CSD2006 – 00067)

Riego deficitario controlado en cultivos leñosos

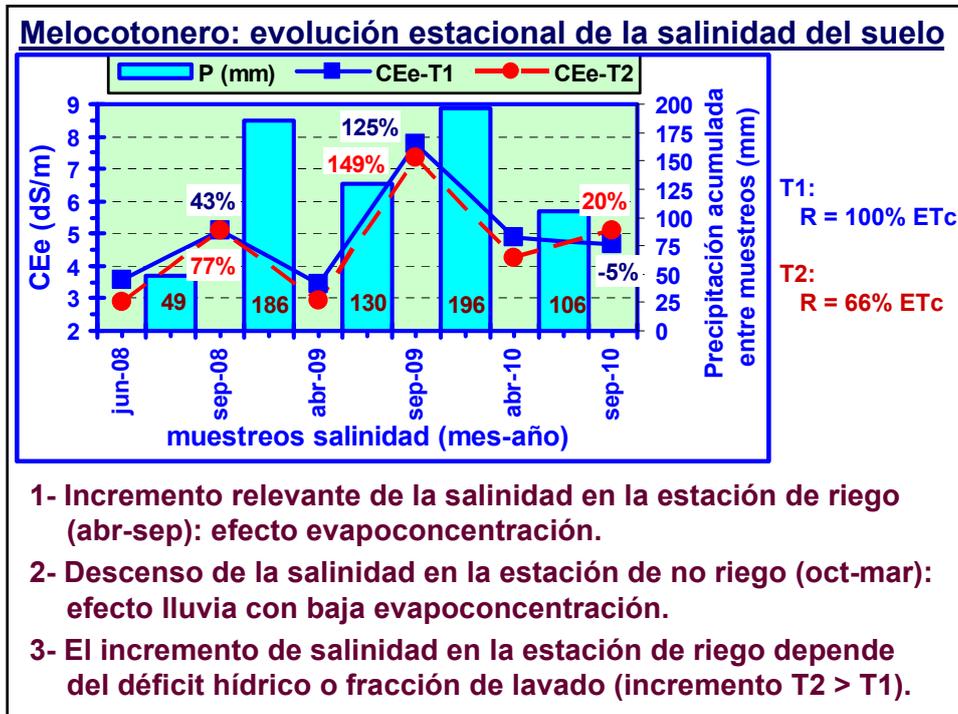


Finca santa Bárbara, Grupo ALM

Riego deficitario controlado (RDC)

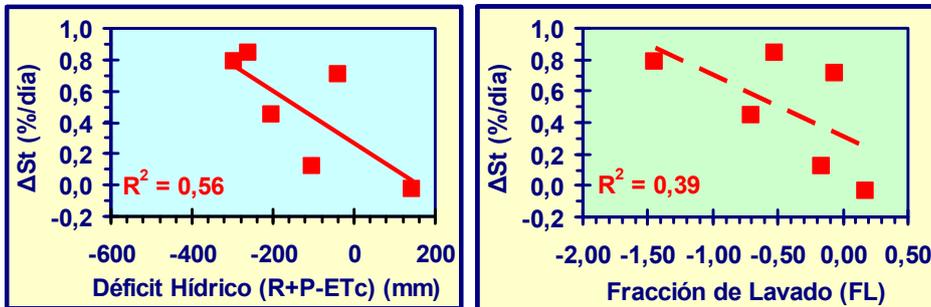
- Imposición de estrés hídrico en períodos que no afectan a la cosecha.
- Estrategia no aplicable a todos los cultivos.
- El riego deficitario puede aumentar la productividad del agua en más del 200%...
- Pero puede aumentar la salinidad/sodicidad del suelo.

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”).



Estrategias de control de salinización edáfica:

I- Reducción del déficit hídrico incrementando el riego



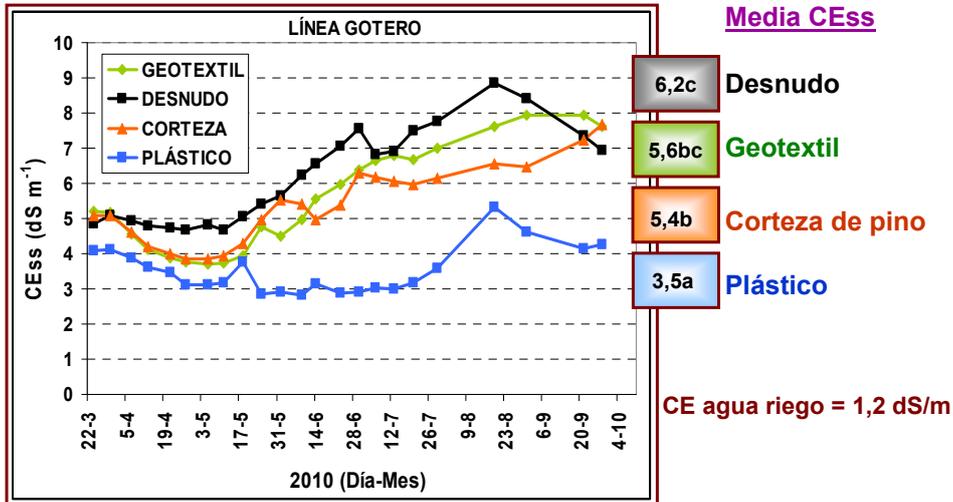
- 1- La reducción del déficit hídrico (o aumento de la fracción de lavado) a través de un incremento en el riego disminuye la salinización edáfica (ΔSt = porcentaje diario relativo de incremento de la salinidad).
- 2- El RDC es compatible con este incremento de riego si el mismo se efectúa en la estación de no riego, periodo más eficiente para el lavado de sales.

Estrategias de control de salinización edáfica:

II- Reducción del déficit hídrico disminuyendo la evaporación: acolchado del suelo

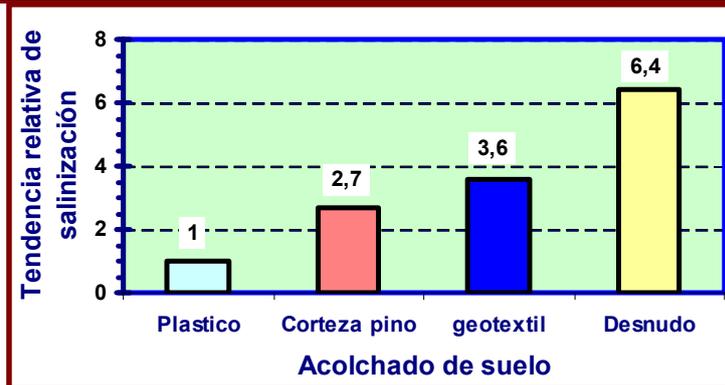


Efecto del acolchado en nectarina (año 2010)



Evolución de la CE de la solución del suelo (CEss) extraída con sondas de succión (media de los valores a 20 y 40 cm de profundidad) en la línea de goteros para los diferentes tratamientos de acolchado.

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.

- 1- El acolchado del suelo es una práctica agronómica muy eficaz para el control de la salinidad edáfica.
- 2- La eficiencia del acolchado es ambiente-dependiente.

¿Depende la tolerancia a la salinidad de la fertilización?

- ✓ **Interacciones salinidad-nutrientes. Dos posibles factores limitantes del crecimiento de los cultivos:**
 - Estrés salino.
 - Estrés nutricional (deficiencia en nutrientes).
- ✓ **El crecimiento aumenta proporcionalmente más cuando se mitiga el principal factor limitante...**

“...la salinidad reduce la absorción de nutrientes, pero hay pocas evidencias de que se incremente la producción de los cultivos añadiendo nutrientes a niveles por encima de los considerados óptimos para ambientes no salinos”. (Grattan, Grieve, 1999)

Recuperación de suelos sódicos

- ✓ **La sodicidad implica condiciones físicas adversas del suelo (encostramiento, menor permeabilidad al agua y al aire, resistencia mecánica al crecimiento de raíces, anoxia/hipoxia...).**
- ✓ **El requisito principal para la recuperación de los suelos sódicos es alcanzar una estructura estable que permita el paso del agua de lavado a través de la zona de raíces de los cultivos.**
- ✓ **Ello implica generalmente aumentar la CE y/o el Ca soluble en la solución del suelo.**

Métodos de recuperación para diferentes condiciones de sodicidad del suelo

Condición del suelo	Método
Salino-sódico, con Ca soluble en el horizonte A	Lavado
Sódico en el horizonte B, CaCO ₃ o CaSO ₄ en horizonte B/C	Mezcla del perfil + lavado
Sódico calcáreo	Acidos o formadores de ácido (como S)
Moderadamente sódico (PSC < 25%)	Yeso
Fuertemente sódico (PSC > 25%)	CaCl ₂ , H ₂ SO ₄ , dilución aguas muy salinas

Necesidad de yeso (NY)

$$\text{Kg yeso/ha} = 8.5 \cdot d \cdot \rho_b \cdot E_c \cdot (\text{RAS}_{\text{inicial}} - \text{RAS}_{\text{final}})$$

d = profundidad de suelo a recuperar (m)

ρ_b = densidad aparente del suelo (g/cm³)

E_c = capacidad de intercambio catiónico (meq/kg)

RAS_{inicial}, RAS_{final} = Relación de adsorción de sodio inicial y la deseada al final de la recuperación

La cantidad de yeso calculada con esta ecuación se multiplica generalmente por 1.25 para tener en cuenta la ineficiencia del proceso de intercambio catiónico.

Necesidad de yeso (NY): ejemplo

$$\text{Kg yeso/ha} = 8.5 \cdot d \cdot \rho_b \cdot E_c \cdot (\text{RAS}_{\text{inicial}} - \text{RAS}_{\text{final}})$$

$$d = 1 \text{ m}$$

$$\rho_b = 1.4 \text{ g/cm}^3$$

$$E_c = 30 \text{ meq/100 g} = 300 \text{ meq/kg}$$

$$\text{RAS}_{\text{inicial}} = 20$$

$$\text{RAS}_{\text{final}} \text{ deseado} = 10$$

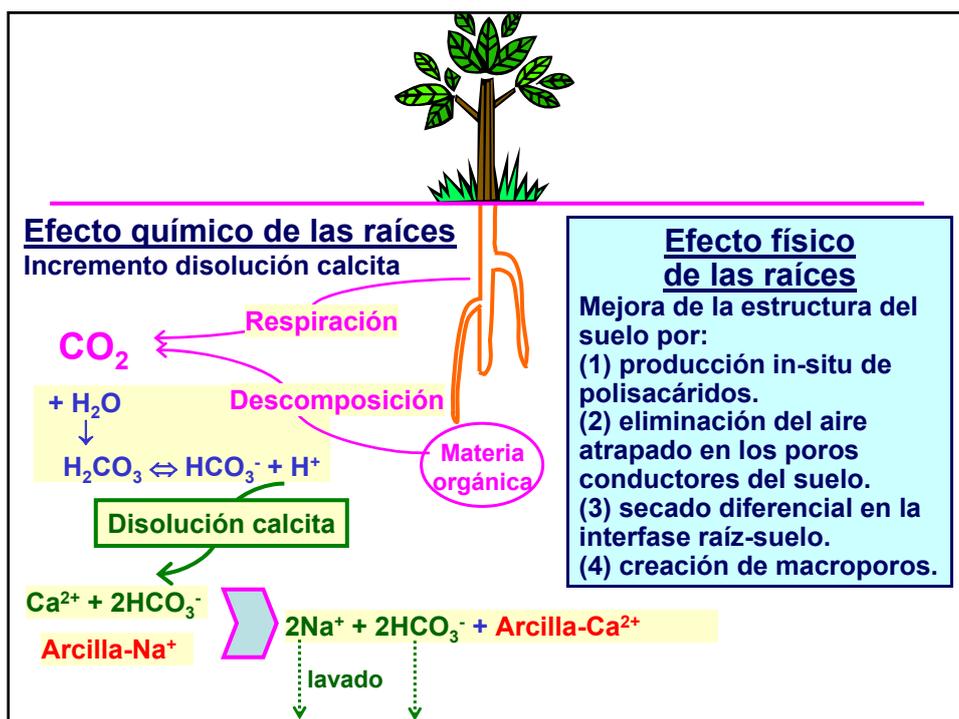
$$\begin{aligned} \text{Kg yeso/ha} &= 8.5 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 300 \cdot (20 - 10) = 35.700 \text{ Kg} = 35.7 \text{ t/ha} \\ &= 35.7 \cdot 1.25 \text{ (ineficiencia en el proceso de intercambio catiónico)} = \\ &= 44.6 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

✓ Generalmente, las NY se aplican en varios años para reducir el coste anual, la cantidad de agua de lavado por año y la solubilidad limitada del yeso (2.6 g/l).

✓ Una práctica común es aplicar 10 t/ha + 1.5 m de agua en el primer año y 4 t/ha en los años siguientes hasta completar la recuperación.

Biorecuperación / Bioremediación / Fitoremediación / Recuperación biológica

- ✓ Cultivo de ciertas plantas tolerantes a salinidad-sodicidad para la recuperación de suelos **calcáreos** sódicos o salino-sódicos sin aplicación de enmiendas químicas... siempre que exista drenaje y lavado de sales.
- ✓ Mecanismos de la biorecuperación:
 1. Efecto químico de las raíces: incremento de la presión parcial de CO_2 en la zona de raíces que aumenta la solubilidad de la calcita.
 2. Efecto físico de las raíces: incremento de la estructura del suelo como resultado del crecimiento de las raíces.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN

Jornada Técnica del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Lérida
“Fertilización y Riego: Aplicaciones en Fruticultura”

Manejo de los suelos. Interpretación. Caso particular de salinización y sodificación. Correcciones.

CONCLUSIONES...

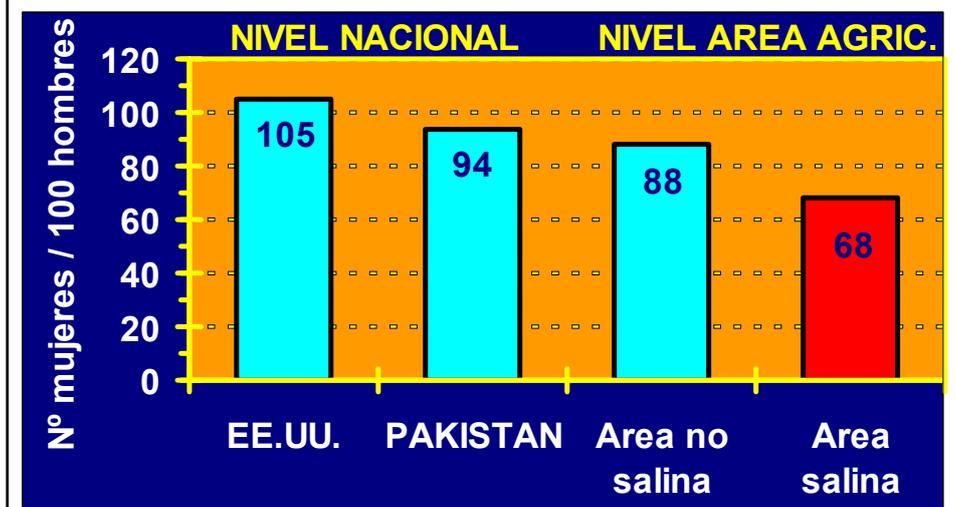
- 1. La salinidad y sodicidad del agua y del suelo es un problema creciente en la agricultura de regadío: afecta negativamente a la producción de los cultivos y a la estabilidad estructural de los suelos.**
- 2. La razón principal de salinización/sodificación del suelo es la ausencia de drenaje (presencia de capas freáticas superficiales y evapo-concentración).**
- 3. La salinidad del suelo se mide mediante la CE_e (extracto saturado del suelo), la CE_{ss} (sonda de succión) y la CE_a (sensor electromagnético). Cada método tiene sus ventajas y limitaciones.**
- 4. La sodicidad del suelo se mide mediante el PSC (Porcentaje de Sodio de Cambio) o la RAS (relación de adsorción de sodio del extracto saturado del suelo). La sodicidad del suelo puede estimarse a partir de la del agua de riego midiendo su RAS o, en casos especiales, su RAS ajustado.**

- 5. Un suelo es tanto más estable conforme mayor es la salinidad (CE) y menor es la sodicidad (RAS) y alcalinidad (pH).**
- 6. Las aguas superficiales de la cuenca del Ebro son en general de muy buena calidad, y pueden utilizarse riegos con altas eficiencias sin conducir a la salinización de los suelos.**
- 7. La calidad del agua para riego se define mediante 8 variables (4 directas y 4 indirectas). La FL determina en gran medida la aptitud para riego.**
- 8. Los frutales son muy sensibles a la salinidad, sodicidad (encharcamiento e hipoxia) y toxicidad iónica específica (Na, Cl, B).**
- 9. El riego por aspersión con aguas salinas no es recomendable en frutales.**

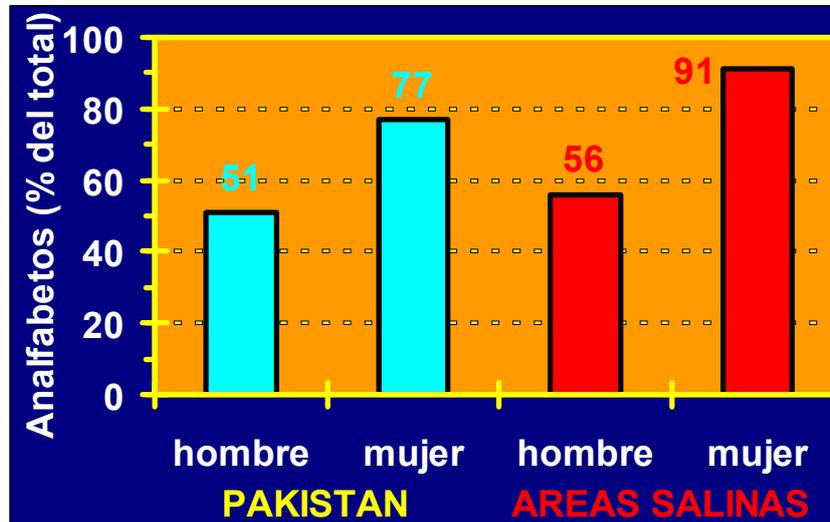
10. El riego por goteo con aguas salinas es el más recomendable en frutales. Importancia de la posición del gotero.
11. Las necesidades de lavado deben satisfacerse también en riego por goteo. El riego deficitario controlado con aguas salinas no es recomendable. Importancia de la lluvia.
12. La fertilización no incrementa la tolerancia de los frutales a la salinidad/sodicidad.
13. La adición de yeso según la “necesidad de yeso” es recomendable en los suelos sódicos.
14. El acolchado de suelos es una estrategia excelente para reducir la salinización de los suelos regados con aguas salinas... pero es ambiente-dependiente.

IMPACTO SOCIAL DE LA SALINIDAD

1. Relación mujeres/hombres



2. Grado de alfabetización



3. Servicio médicos. Pueblos (% total) con clínica:

Áreas no salinas: 38%

Áreas salinas: 12%

4. Electrodomésticos

