

Jornada: Manejo de la Fertilización de Cultivos  
en Suelos Salinos

# La Salinidad en Suelos agrícolas irrigados y como manejarla

Dr. Ing. Agr. Daniel Prieto

La Banda, 12 de Junio 2014

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Centro Regional Tucumán Santiago del Estero  
Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero



# Contenido

1. Definiciones
2. Medición
3. Efectos
4. Causas
5. Respuesta de los cultivos
6. Manejo de suelos salinos
7. Recuperación de suelos salinos
8. El caso del PRD

# 1. DEFINICIONES

- Salinización de suelos: Concentración de sales solubles en la solución del suelo que afecta el crecimiento y rendimiento de los cultivos.
- Sodicidad aumento de la proporción de sodio en el complejo de intercambio de un suelo por encima de un valor límite.
- Toxicidad: Acumulación de un ion absorbido en el tejido vegetal hasta un nivel que daña las plantas.

# SUELOS SALINOS

$$CE_{ex} > 4 \text{ ds/m}$$

# SUELOS SODICOS

$$PSI > 15\%$$

# SUELOS SALINOS - SODICOS

$$CE_{ex} > 4 \text{ ds/m} \quad PSI > 15\%$$

# Extensión del problema

Argentina es el tercer país en extensión con suelos con estos problemas tanto en zonas de secano como de regadío

**30 % de la superficie mundial bajo riego tendría algún problema de salinidad y 20 a 25 % de la superficie nacional de riego.**

## 2.- COMO SE MIDE (Unidades)

La salinidad se miden en términos de:

Total de Sales Disueltas (TSD) gr/l, mg/l, ppm

Concentración: mg/ l meq/l o mmolc/l

Conductividad eléctrica (CE) a 25°C / Conductividad Aparente del suelo: dS/m

### Conversiones

STD ppm = mg/l	
STD (mg/l) = CE (ds/m) x 640	CE < 5,0 dS/m
STD (mg/l) = CE (dS/m) x 800	CE > 5,0 dS/m
EC (dS/m) = STD (g/l) x 1,563	STD <= 3,2 g/l
EC (dS/m) = STD (g/l) x 1,25	STD > 3,2 g/l
$\Sigma$ (cationes o aniones) meq/l = CE (dS/m) x 10	0,1 < CE <5,0 dS/m
$\Sigma$ (cationes o aniones) meq/l = CE (dS/m) x 12	CE > 10 dS/m

## 2.- COMO SE MIDE (Métodos)

- Observación visual de los cultivos
- La concentración de sales en solución de suelo
- La conductividad eléctrica del extracto de saturación
- Medición de la resistividad eléctrica in situ (ER)
- Mediciones no invasivas con inducción electromagnética (EM)
- TDR

# Indicadores de sodificación

Complejo de Intercambio

Solución del suelo

$$\frac{\gamma^+ \text{Na}}{\gamma^+ \text{Ca} + \gamma^+ \text{Mg}} = K_G \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$$

Ecuación de Gapón

$\gamma^+$  [ ] = fracción equivalente adsorbida de Na,Ca,Mg

Na, Ca, Mg en solución de suelo (mmol/l)

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\text{Ca}_x + \text{Mg}}$$

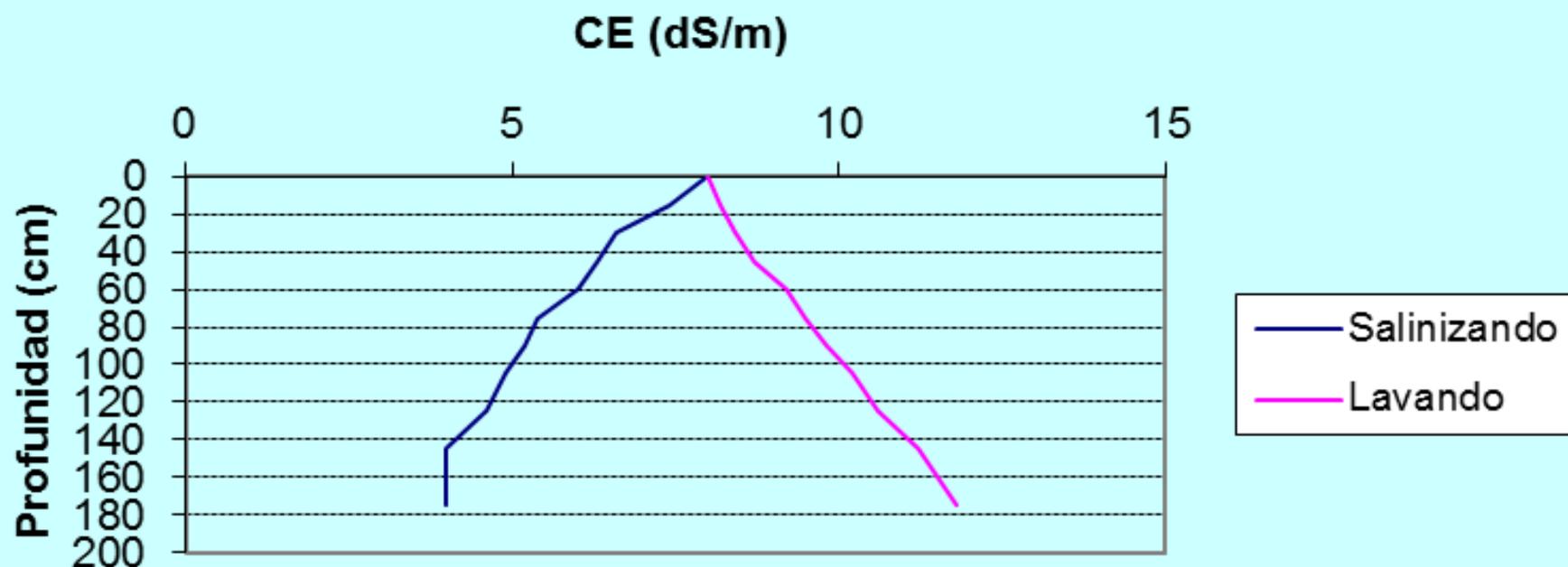
Relación de Absorción de Sodio Ajustada  
Suarez, 1981

$$\text{PSI} = \frac{100 (- 0,0126 + 0,01475\text{RAS})}{1 + (-0,0126+ 0,01475 \text{RAS})}$$

# Muestreo de Suelos Salinos

- Realizar muestras individuales – nunca muestras compuestas.
- Muestrear las situaciones que aparecen al “ojo” como máximas, medias y mínimas.
- Muestrear por lo menos 3 profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm).

## Variación de la salinidad en profundidad según dominio de flujos ascendente o descendente



# Electrodos – Veris

## Veris Technology ([www.veristech.com](http://www.veristech.com))



# EM 38

## Geonics Limited

([www.geonics.com](http://www.geonics.com))



Figure 1. The Geonics EM38-DD conductivity meter.

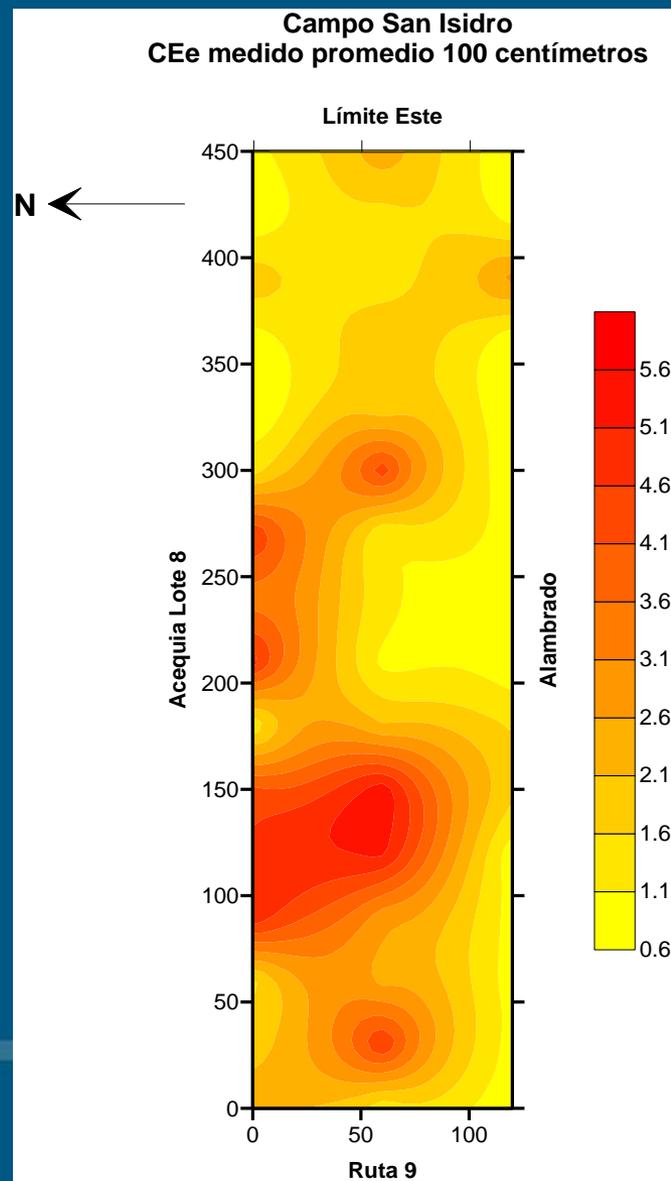
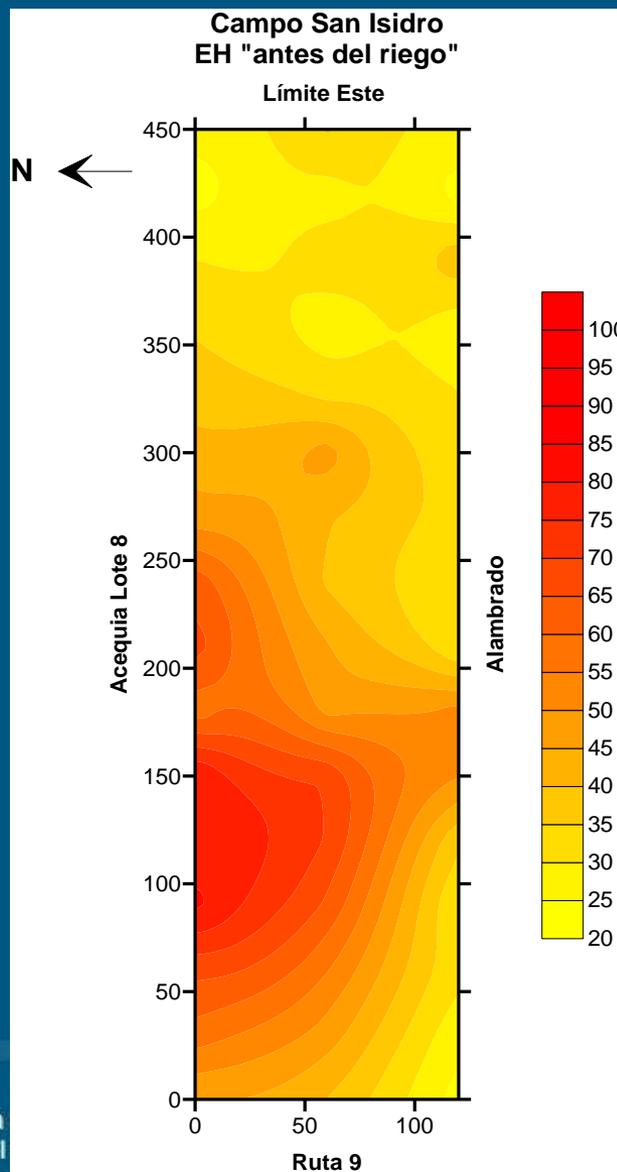
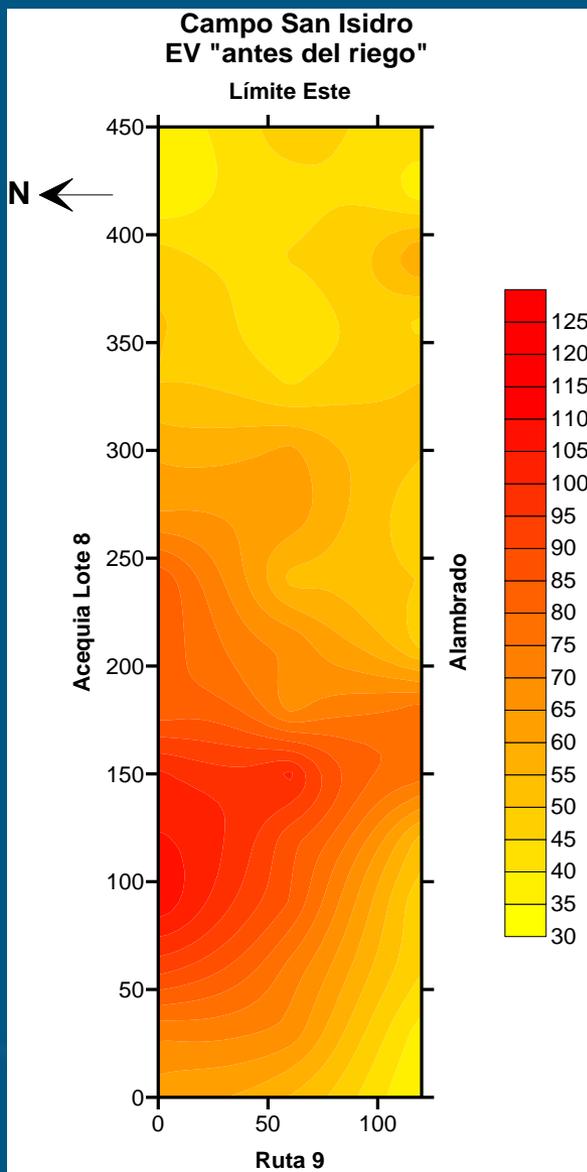


Figure 4. The CVRCD "Salt-Sniffer".



# La CEa V y H antes del riego

# EL Laboratorio



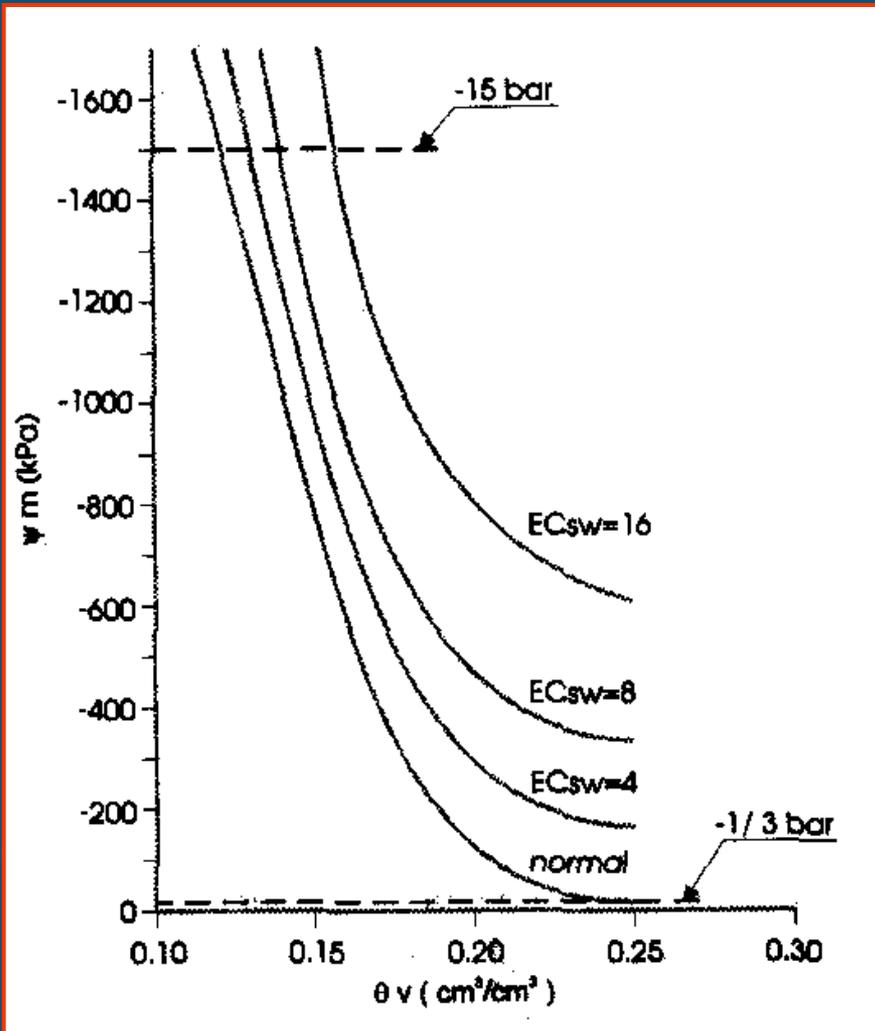
# 3. EFECTOS



Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Centro Regional Tucumán Santiago del Estero  
Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero

# Efecto de la salinidad

La salinidad causa un efecto osmótico, relacionado a la absorción de agua por las plantas.



$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_{\pi} + \Psi_g + \Psi_p$$

$$\pi = 36 * CE \text{ (ds/m)}$$

## Ejemplo

Contenido de humedad: 25%

Suelo normal:  $\Psi_t = \Psi_m = -33 \text{ kPa}$

Suelo salino:  $CE = 8 \text{ dS/m}$

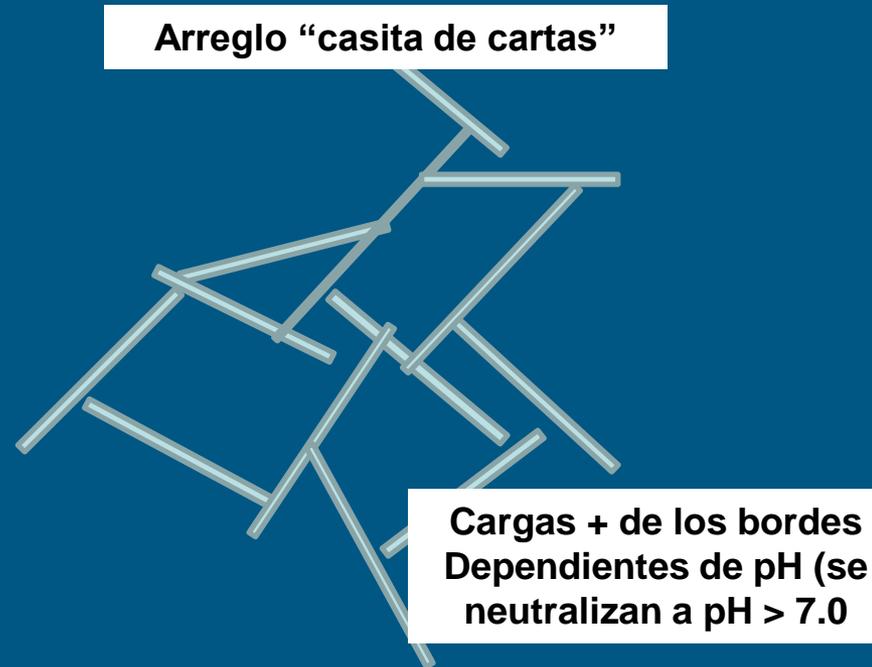
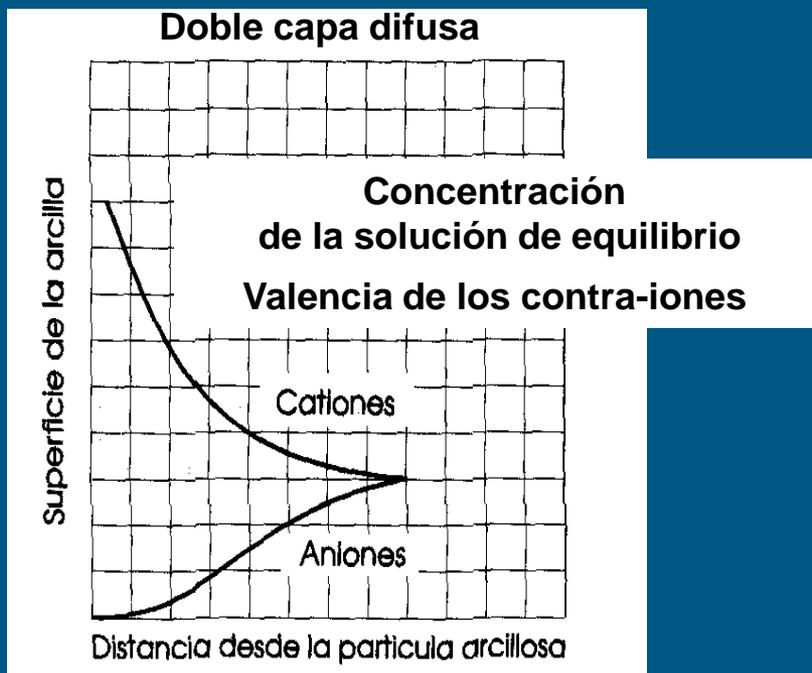
$\Psi_m = -33 \text{ kPa}$ ;  $\Psi_{\pi} = -300 \text{ kPa}$

$\Psi_t = -333 \text{ kPa}$

# Efectos de la Sodificación

Na en las posiciones intercambiables por encima del 15%

Efecto sobre las propiedades físicas – Reducción de la infiltración por dispersión de coloides



# 4. LAS CAUSAS

- Salinización desde capas freáticas salinas próximas a la superficie (salinización “secundaria”)
- Salinidad del Agua de Riego

# Salinización secundaria

- Origen de las sales en la capa freática.
- Causas de ascenso del nivel freático
  - Areas de riego
  - Areas sin riego
- Ascenso capilar

# SALINIZACIÓN SECUNDARIA

Profundidad      Textura del Suelo      Aporte medio



**Franco limoso**

**1,3**

# Calidadades de Agua medidas

	<b>Riego</b>	<b>Drenaje</b>
EC (ds/m)	0,75	9,4
Ca (meq/l)	3,2	12,7
Mg (meq/l)	0,8	6,0
Na (meq/l)	4,0	82,5
HCO <sub>3</sub> (meq/l)	4,9	2,87
Cl (meq/l)	1,8	37,2
SO <sub>4</sub> (meq/l)	1,3	62,4
RAS <sub>Na</sub>	3,7	31,1

# SALINIZACION POR AGUA SALINA

## Peligrosidad Salina

Clase de Agua	CE (dS/m)	Concentración mg/l	Tipo de Agua
No salina	< 0,7	< 500	Potable, riego
Poco salina	0,7 – 2,0	500 - 1500	Riego
Moderadamente Salina	2 - 10	1500 - 7000	1er Drenaje, Agua Subterránea
Salinidad alta	10 - 25	7000 – 15.000	2° Drenaje, Agua Subterránea
Altamente salina	25 – 45	15.000 – 35.000	Agua Subterránea

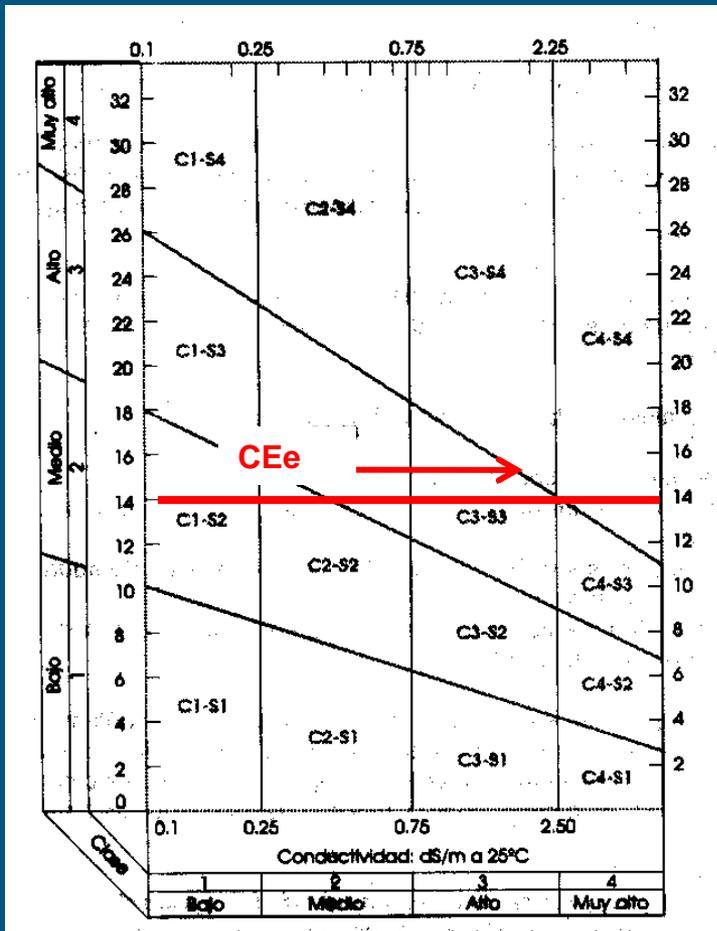
## Determinaciones de Laboratorio requeridas para evaluar aguas de riego normales

Parámetro a evaluar                      Símbolo                      Unidad                      Rango encontrado

Salinidad				
<b>Sales totales</b>				
Conductividad Eléctrica (*)	CE	dS/m		0 - 3
Sales Totales Disueltas	STD	mg/l		0- 2000
<b>Cationes y Aniones</b>				
Calcio (*)	Ca ++	mmolc/l		0 - 20
Magnesio(*)	Mg++	mmolc/l		0 - 5
Sodio(*)	Na+	mmolc/l		0 - 40
Carbonato(*)	CO3--	mmolc/l		0 - 0,1
Bicarbonatos(*)	HCO3-	mmolc/l		0 - 10
Cloro(*)	Cl-	mmolc/l		0 - 30
Sulfato(*)	SO4--	mmolc/l		0 - 20
<b>Nutrientes</b>				
Nitratos	NO3	mg/l		0 - 10
Amonio	NH4	mg/l		0 - 5
Fosfato	PO4	mg/l		0 - 2
Potasio	K+	mg/l		0 - 2
<b>Misceláneos</b>				
Boro	B	mg/l		0 - 2
Acido/Base	pH	mg/l		6,0 - 8,5
Relación de Adsorción de Sodio	SAR	mg/l		0 - 15

(\*) Mínimos necesarios

# Las clasificaciones propuestas



Richard (1954)

Se basa en salinidad (CEe) y sodicidad (RAS)

Clasifica 16 clases de aguas  
4 clases

4 clases por salinidad  
4 clases por peligro de sodificación

Interpreta las clases y aconseja su uso haciendo mención a prácticas de manejo particulares para cada una

# Las propuestas

Guía de Interpretación de la calidad de agua para riego (Ayers y Westcot, 1985)

		Grado de restricción en el uso		
		Ninguna	Moderada	Severa
<b>Salinidad</b>				
CEI	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltración</b>				
RAS = 0 - 3 CEI =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
RAS = 3 - 6 CEI =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
RAS = 6 - 12 CEI =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
RAS = 12 - 20 CEI =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,5
RAS = 20 - 40 CEI =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
<b>Toxicidad Especifica</b>				
<b>Sodio (Na)</b>				
Riego superficial	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Riego por aspersión	meq/l	< 3	3	
<b>Cloro (Cl)</b>				
Riego superficial	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
Riego por aspersión	meq/l	< 3	3	
Boro (B)	mg/l	< 0,7	0,7 - 3	> 3
<b>Efectos Misceláneos (solo afecta cultivos sensibles)</b>				
Nitrogeno (NO3)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO3)	meq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH			6,5 - 8,4	

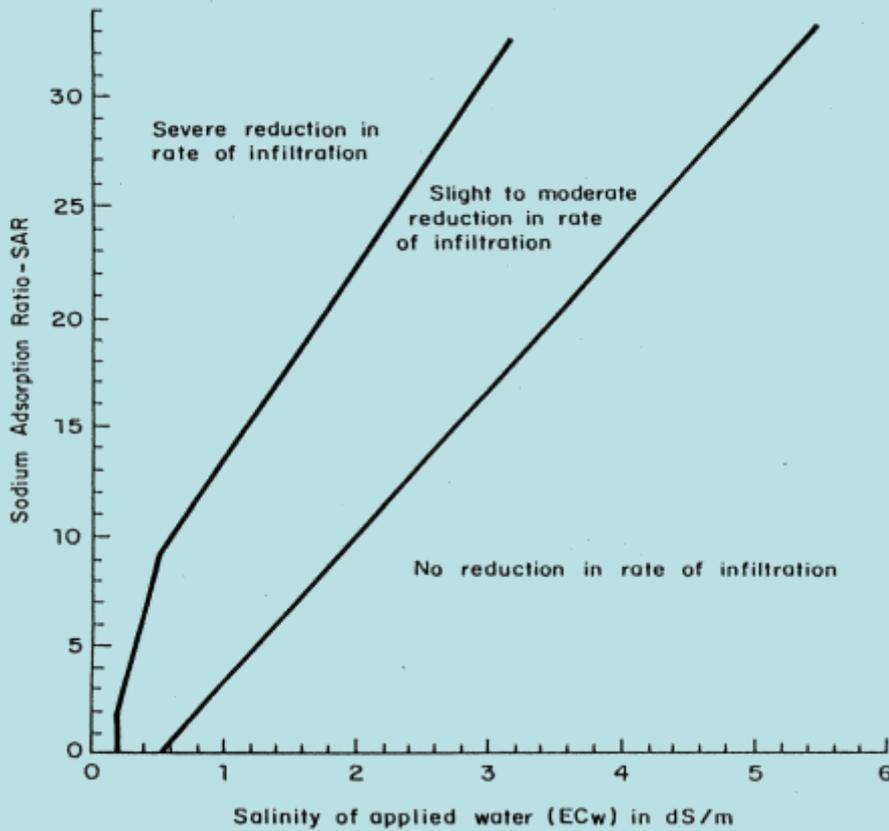
Ayers y Westcot, 1985  
FAO, 29 rev 1

No es una clasificación sino una  
guía de interpretación

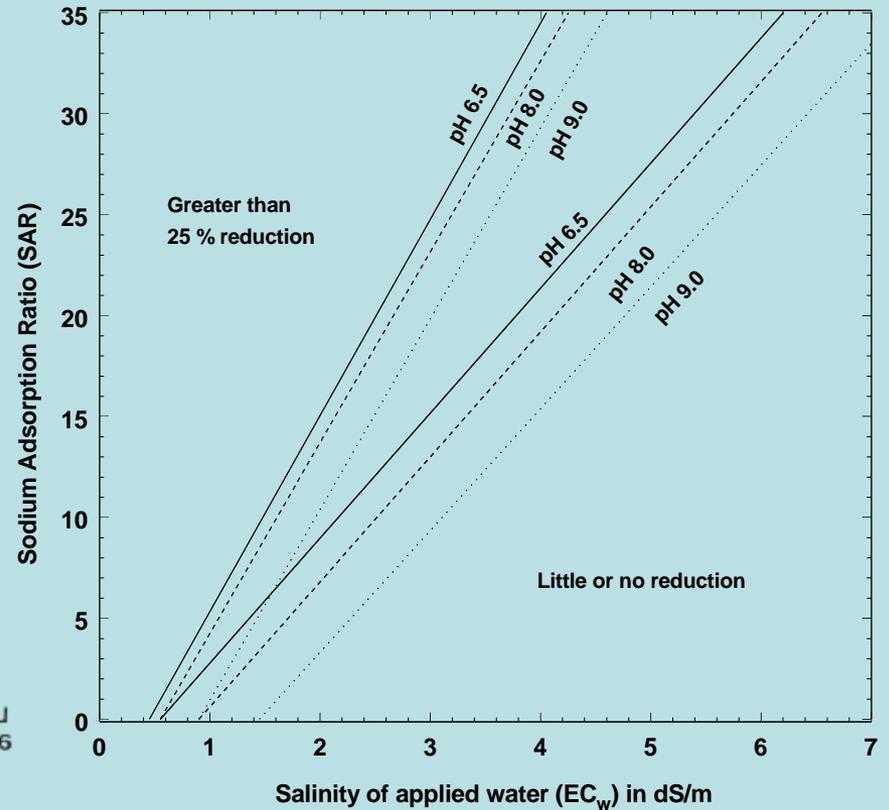
Se basa en 2 parámetros  
Salinidad (CEe)  
Sodicidad (RAS)

En la publicación enfatiza  
diferentes prácticas de manejo  
para el uso de las aguas

Considera alguna al tratar  
toxicidades específicas

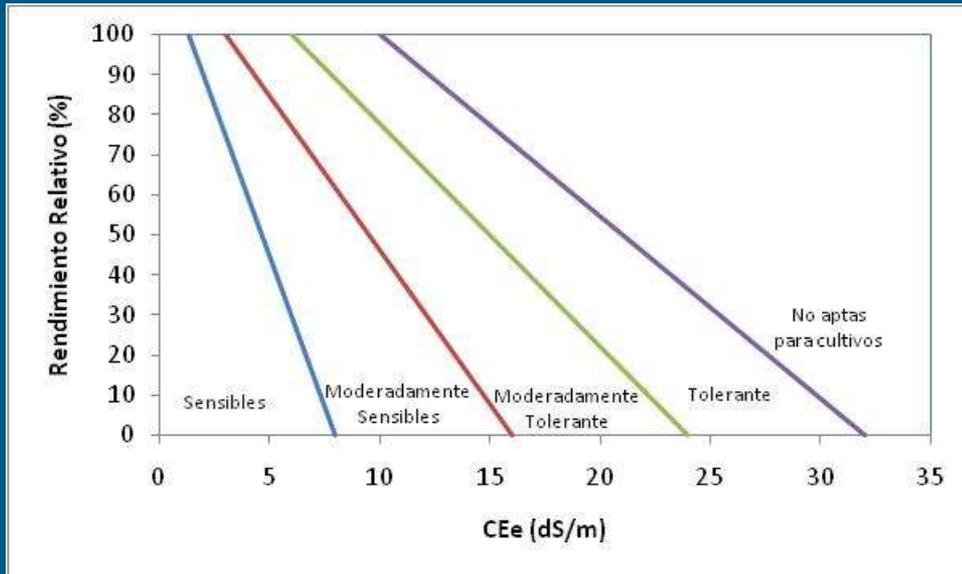


Ayers & Westcot (1985)



Suarez, 2011

# Respuesta de los cultivos



$$Y = 100 - b (ECe - a)$$

$b$  = Pérdida de rendimiento por unidad de incremento de salinidad

$a$  = Umbral de salinidad

De acuerdo al rendimiento aspirado se selecciona cual debe ser la  $CEe$  y se calcula los requerimientos de lavado.

CULTIVOS EXTENSIVOS	Porcentaje obtenible de rindes máximos potenciales											
	% 100		% 90		% 75		% 50		% 0 (1)		a	b
	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa		
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> )	8	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19	8	5
Algodón ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18	7.7	5.2
Remolacha Azucarera ( <i>Beta vulgaris</i> )	7	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16	7	5.9
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7	6.8	16
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	6	4	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	11.3	6	7.1
Trigo duro ( <i>Triticum turgidum</i> )	5.7	3.8	7.6	5	10	6.9	15	10	24	16	5.9	3.8
Soja ( <i>Glycine max</i> )	5	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5	10	6.7	5	20
Caupí ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4.9	3.3	5.7	3.8	7	4.7	9.1	6	13	8.8	4.9	12
Maní ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4	3.2	29
Arroz ( <i>Oriza sativa</i> )	3	2	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6	3	12

Los cultivos responden en forma diferente en función de su capacidad para regular su potencial agua interno.

$$Y = 100 - b(CE - a)$$

### Porcentaje obtenible de rendimientos máximos potenciales

Cultivo	100%		90%		75%		50%		0%		a	b
	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa		
Algodón	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18	7.7	5.2
Soja	5	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5	10	6.7	5	20
Poroto	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2	1	19
Cebada	6	4	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13	6	7.1
Alfalfa	2	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10	2	7.3
Citrus	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8	5.3	1.7	16

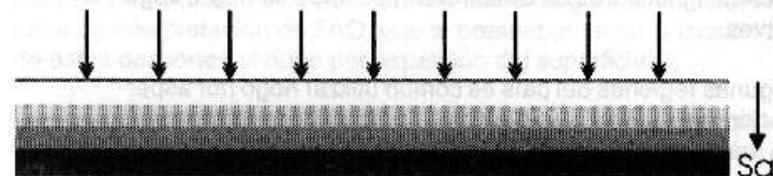
# Tolerancia a la emergencia

## Tolerancia relativa a la salinidad durante la emergencia

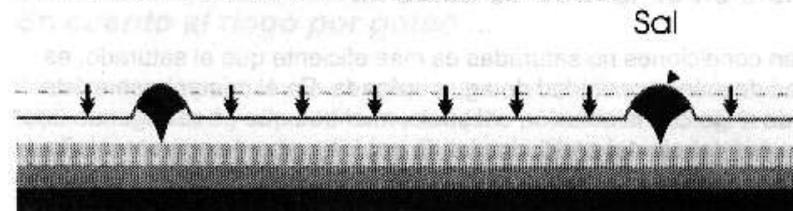
Cultivo		50% emergencia (dS/m)
Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	16 - 24
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	15
Remolacha Azucarera	<i>Beta vulgaris</i>	6 - 12
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	13
Cártamo	<i>Carthamus tinctorius</i>	12
Trigo	<i>Triticum vulgare</i>	14 - 16
Remolacha	<i>Beta vulgaris</i>	13,8
Caupí	<i>Vigna unguiculata</i>	18
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	8 - 13
Tomate	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>	7,6
Acelga	<i>Brassica oleracea capitata</i>	13
Maiz	<i>Zea mays</i>	21 - 24
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	11
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	5,6 - 7,5
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	18
Poroto	<i>Phaseolus vulgaris</i>	8,0

# TECNOLOGÍAS DE RIEGO Y SALINIDAD

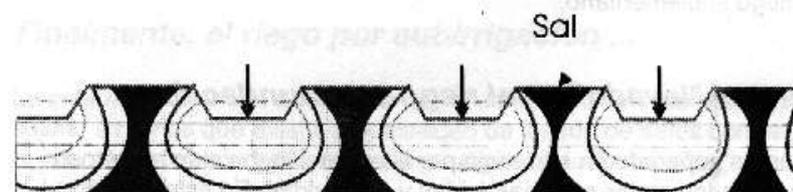
Riego por aspersión e inundación continua.  
No hay acumulación superficial de sales.



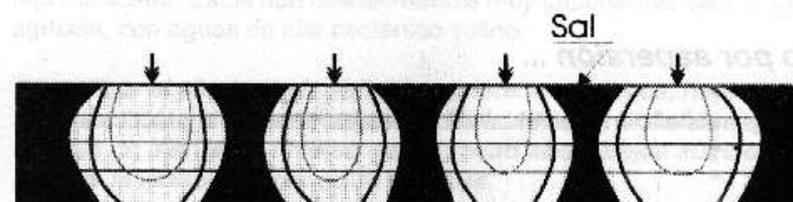
Riego por inundación con bordos y fajas.  
Acumulación de sales en la cresta de los bordos.



Riego por surcos  
Acumulación de sales en la cresta de los camellones



Riego por goteo.  
Acumulación de sales en la periferia del bulbo húmedo.



# Manejo y recuperación de suelos salinos.

## LAS GRANDES VERDADES

- Las sales se mueven en los suelos con el agua.
- La salinización de un suelo dependerá de la dirección neta del flujo de agua a lo largo del tiempo.
- Si predomina el ascendente habrá salinización
- Con el tiempo dominan las sales mas solubles

# Manejo de Suelos Salinos o con riesgo de salinización

- Realizar un buen diagnóstico del problema
  - Caracterización y Muestreo de suelo
  - Muestreo de profundidad del agua freática
- Formular un plan de manejo tendiente a la recuperación o mantenimiento de una situación favorable.
  - Consultar un profesional.

# Algunas preguntas iniciales

- Cual es el problema:
  - ¿Salinización? ¿Sodificación? ¿Ambos?
- Salinización
  - ¿Cual es su causa? ¿El agua de riego? ¿La capa freática?
- Sodificación
  - Se requiere la aplicación de enmiendas?
  - Que enmienda? ¿Enmienda cálcicas o solubilizadores de Ca natural? ¿Estan estas económicamente disponibles?

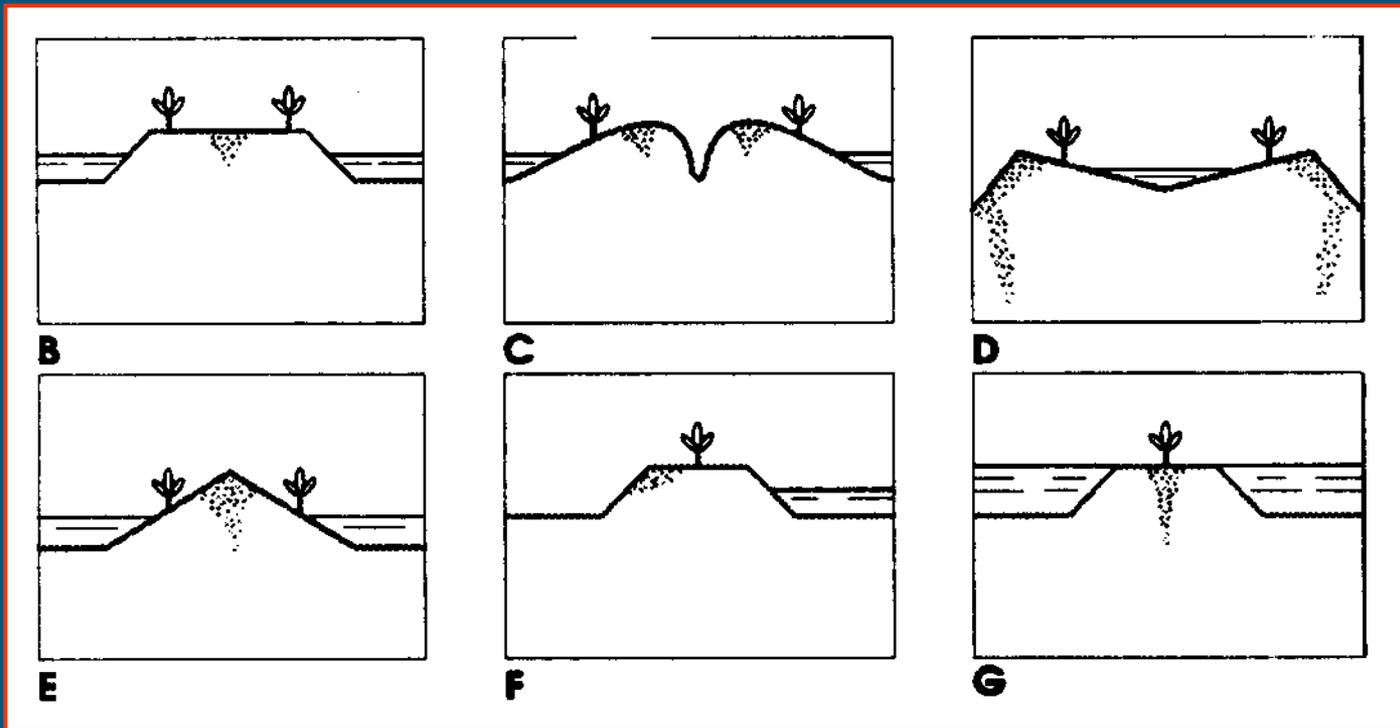
# Algunas preguntas iniciales

- ¿Es posible deprimir la freática con una mejora de la **eficiencia de aplicación** del riego?
- ¿Se requiere **drenaje**?
  - Cuales son las características físicas del suelo?
    - Textura
    - Conductividad hidráulica
- ¿Es posible el drenaje técnica y económicamente?
- ¿Se dispone de agua de riego para lavar el suelo?
- ¿Que cultivos pueden realizarse durante la recuperación?

# Manejo de suelos salinos en áreas de riego

- Objetivo contrarrestar el efecto de las sales
  - Cultivar especies tolerantes
  - Mantener los niveles de humedad altos
    - Regar con la mayor frecuencia posible
  - “Lavar” las sales del perfil del suelo.
    - Aplicar agua de riego

# Prácticas de manejo de cultivo para afrontar el problema de la salinidad



# Uso de aguas salinas

La tecnología recomendada para la **utilización de aguas salinas** es el cálculo y la aplicación de un volumen extra de agua para el lavado de las sales.

**Requerimiento de lavado (RL):** Cantidad de agua mínima requerida para garantizar con un agua de **calidad dada** el **rendimiento** deseado de determinado **cultivo**

**Fracción de lavado (FL):** Cantidad de agua que **percola** por debajo de la zona radical en relación al total de **agua aplicada**

# Métodos de Cálculo de FL y RL

$$FL = \frac{\text{Agua drenada } (A_d)}{\text{Agua aplicada } (A_a)} = \frac{EC_a}{2EC_e}$$

**CLIMA**      **CLASE DE AGUA**

$$RL \text{ (mm)} = (P - ETc) \frac{EC_a}{2EC_e - EC_a}$$

**CULTIVO**

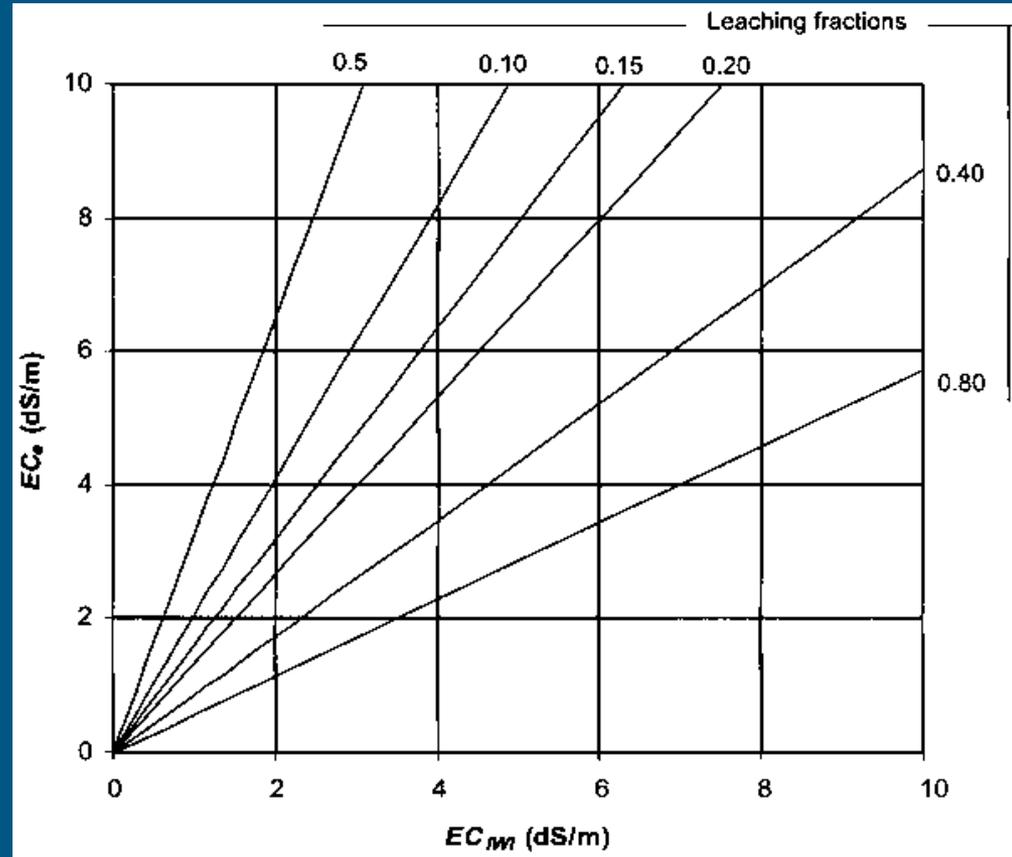
$$RL = \frac{EC_a}{2EC_e - EC_a}$$
$$RL = \frac{EC_a}{5EC_e - EC_a}$$

# Fracción de lavado

$$FL = \left( \frac{R^*}{I} \right) = \left( \frac{CEa}{CEr} \right) = \left( \frac{CEa}{2CEe} \right)$$

## Factor de Concentración

$$n = \frac{1}{LF} = \frac{2CEe}{Ca}$$



# 8. RECUPERACION DE SUELOS SALINOS

- Problema con Historia
  - Manual 60 (1954), Nijhenson (1973); van Alphen et al. en Perú (1979); Hulbols et al en Iraq (1959), etc
- Basado en principios simples
  - Las sales se mueven con el agua
  - La salinización secundaria de los suelos indica un flujo neto de agua ascendente
  - Las sales mas solubles dominan

# Técnicas de lavado

- Inundación del suelo por períodos largos.
  - La recuperación se realiza en condiciones saturadas.
  - Existe mas “by pass” de agua hacia los drenes
- Aplicaciones “intermitente” (2 a 4 semanas)
  - Mejora el contacto con la solución del suelo de cada aplicación individual.
  - Las sales internas de los agregados migran por capilaridad a los poros (importante en suelos pesados)
  - Requiere menos agua para remover = cantidad de sales que el continuo.
  - Requiere mas tiempo que el continuo.

# Opciones para el “lavado” del suelo

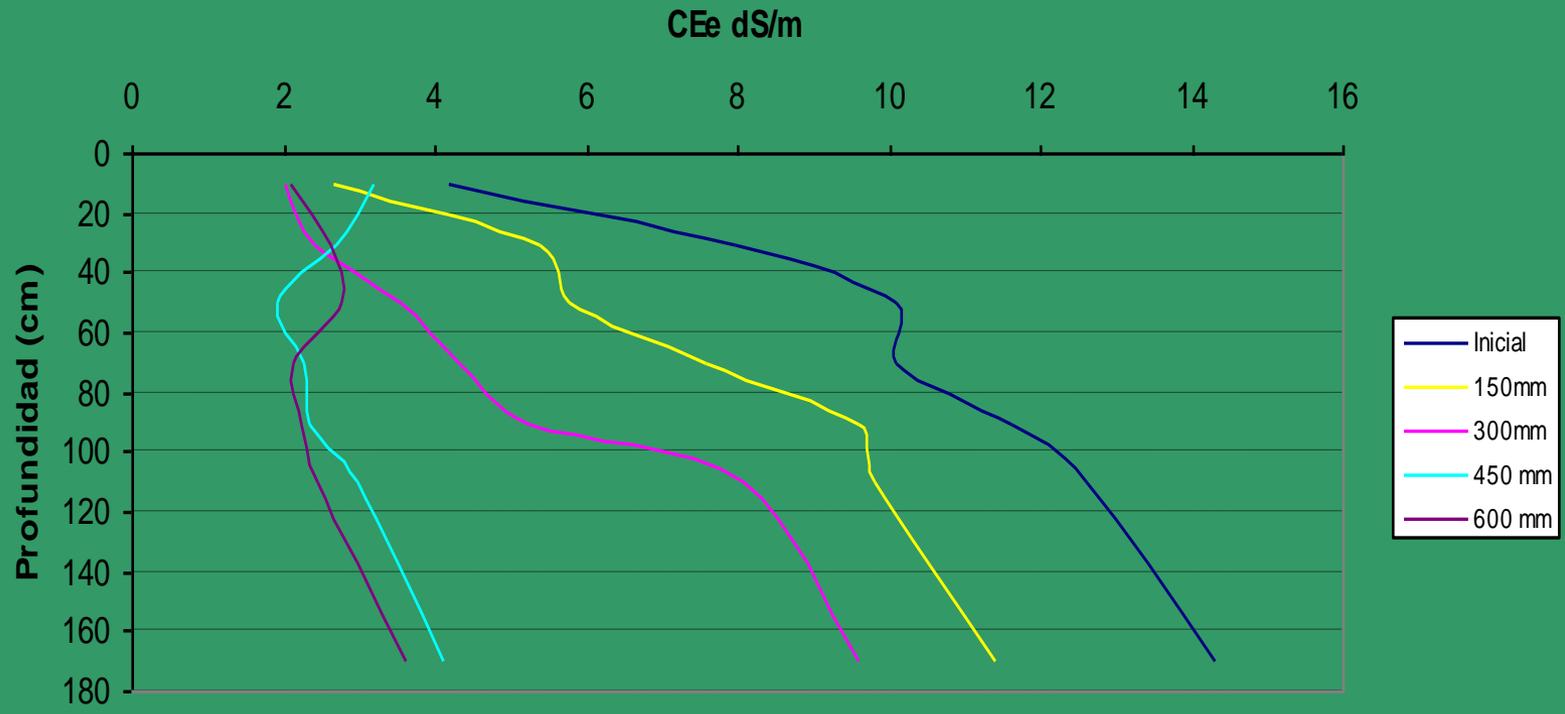
- Etapa de Recuperación
  - Realizar los lavados en los períodos sin cultivo.
  - Realizar los lavados durante con el riego de los cultivos
  - Combinar ambas opciones
- Etapa de mantenimiento
  - Agregar una cantidad adicional de agua a las necesarias por el cultivo – (Fracción de lavado)
    - Fracción de lavado depende de la calidad del agua de riego, y de la tolerancia del cultivo.
    - Para el caso del PRD es del 10%, cantidad totalmente cubierta por la ineficiencia de riego normales.

# PRACTICAS EN SITUACIONES DE SALINIZACION SECUNDARIA

Causa de alta capa freática	Riego ineficiente Alta Recarga	Mejore el Riego
	Deficiente Drenaje	Mejore el Drenaje

HAGA PREDOMINAR EL FLUJO DE AGUA DESCENDENTE EN EL PERFIL DE SUELO

INTA-SANTIAGO DEL ESTERO  
AREA PILOTO SAN ISIDRO  
Desalinización Lote 6-Parcela A1 - 1996



# El Proyecto del Río Dulce (PRD)

- **Area de riego mas importante de la provincia de Santiago del Estero.**
- **Concebido como un Proyecto de Desarrollo ligado al riego que como tantos otros no ha alcanzado totalmente sus objetivos.**
- **Sinónimo de Salinización y Sodificación desde sus inicios**

# La salinización como idea fuerza

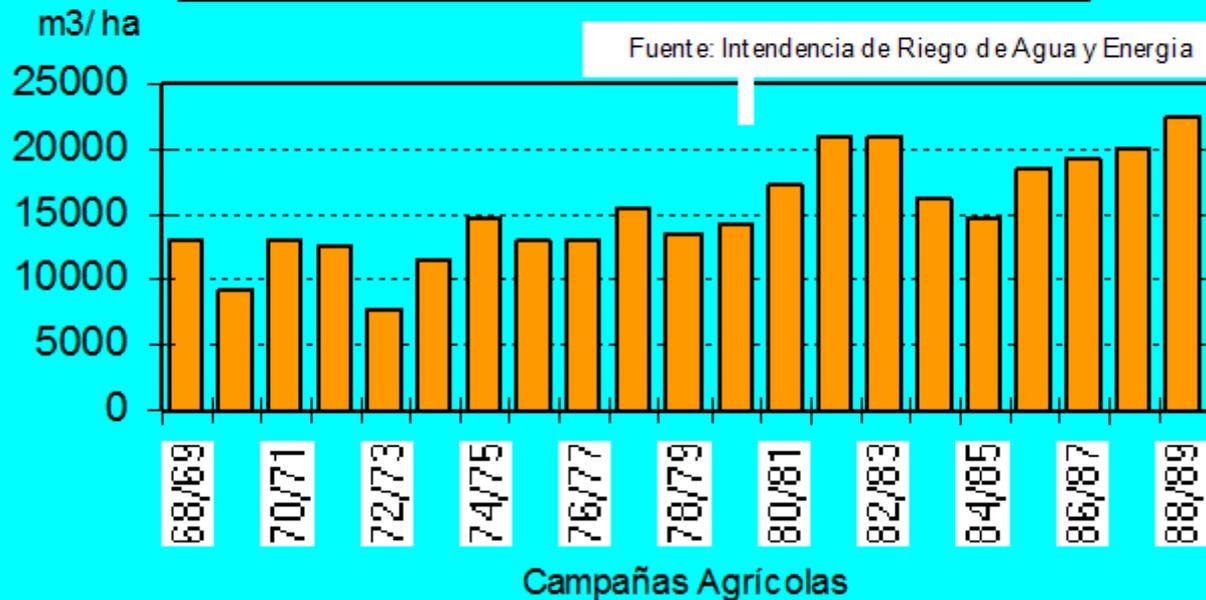
- Motor de los esfuerzos profesionales antes y durante la implementación del PRD
- Fue y es el fundamento de nuevas obras
- Se la esgrime todavía como justificativo de:
  - Bajos rendimientos
  - Abandono de tierras
  - Movilidad de grandes productores hacia tierras periferias del área del Proyecto.

# Desmitificar la salinidad en el área

- Existen SALINIZACION pero no es la causa, sino una de las consecuencias, de la baja inversión en los sistemas productivos del área
- Los suelos actualmente bajo riego no presentan problemas serios de sales, pero hay una fuerte acumulación de sales en las extensas superficies sin riego presentes en el área.

# APORTES DE SALES

EVOLUCION DEL CONSUMO MEDIO DE AGUA  
POR HA CULTIVADA EN EL PRD.



Contenido de  
Sales: 0,414  
kg/m<sup>3</sup>

Incorporación de  
sales: 6 ton/ha x  
año

	<b>N° Fincas</b>	<b>Sup Bruta (has)</b>	<b>Sup. con riego (has)</b>	<b>Sup. Con riego %</b>	<b>Area Media Finca (has)</b>
<b>0-5</b>	2745	7.314	4518	61,8	1,6
<b>5-10</b>	2172	14.466	9154	63,3	4,2
<b>10-25</b>	2548	39.583	23.613	59,7	9,3
<b>25-50</b>	804	26.513	15.387	58,0	19,1
<b>50-100</b>	354	23.844	11038	46,3	31,2
<b>100-500</b>	334	63.732	18491	29,0	55,4
<b>500-1000</b>	43	28.546	2853	10,0	66,3
<b>1000</b>	35	81.656	4496	5,5	128,5
<b>Tot/Med</b>	<b>9035</b>	<b>285.655</b>	<b>89.549</b>	<b>31,3</b>	<b>9,9</b>



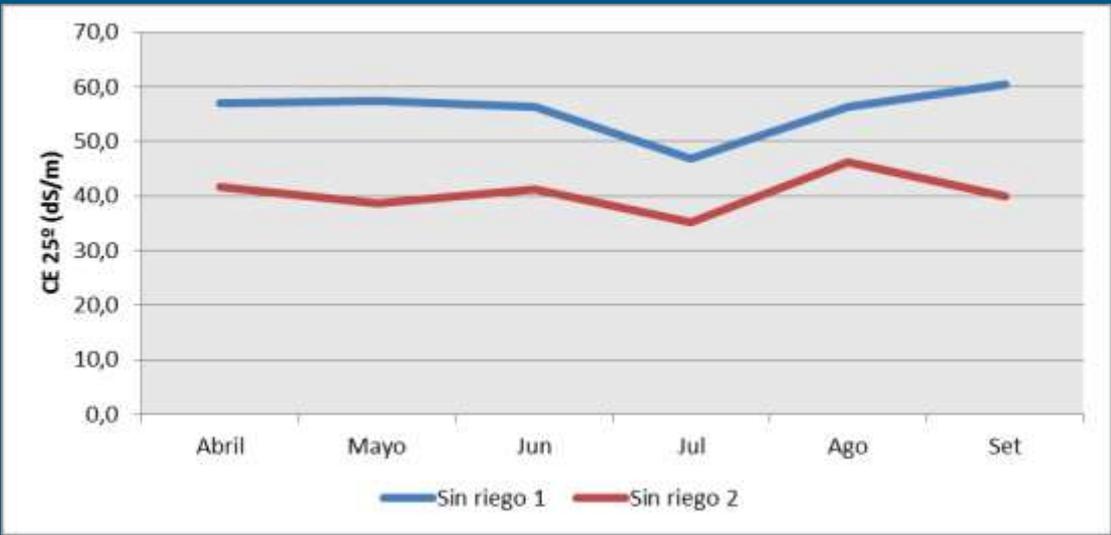
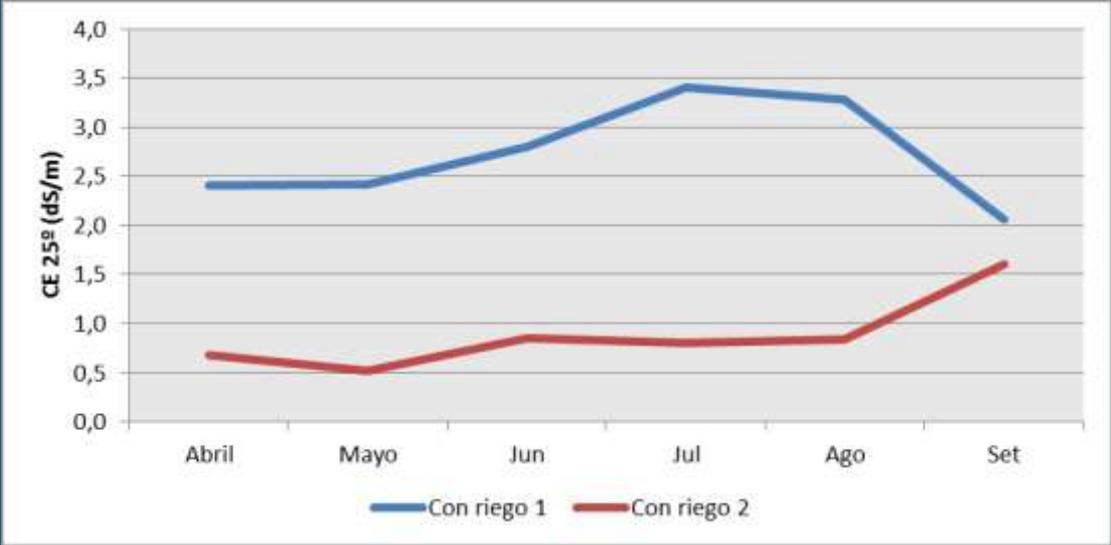
## CON RIEGO

pH	CE (dS/m)	PSI
8.0	1.3	6.2
8.2	1.2	6.4
8.3	1.1	7.7

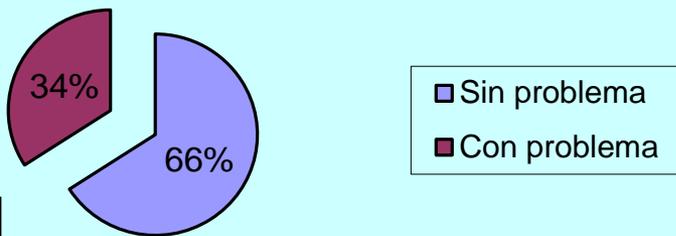
## SIN RIEGO

pH	CE (dS/m)	PSI
7.7	14.0	19.0
7.9	17.0	23.4
8.0	19.4	26.5

# Evolución mensual de la salinidad con y sin riego



# La Visión de los Usuarios

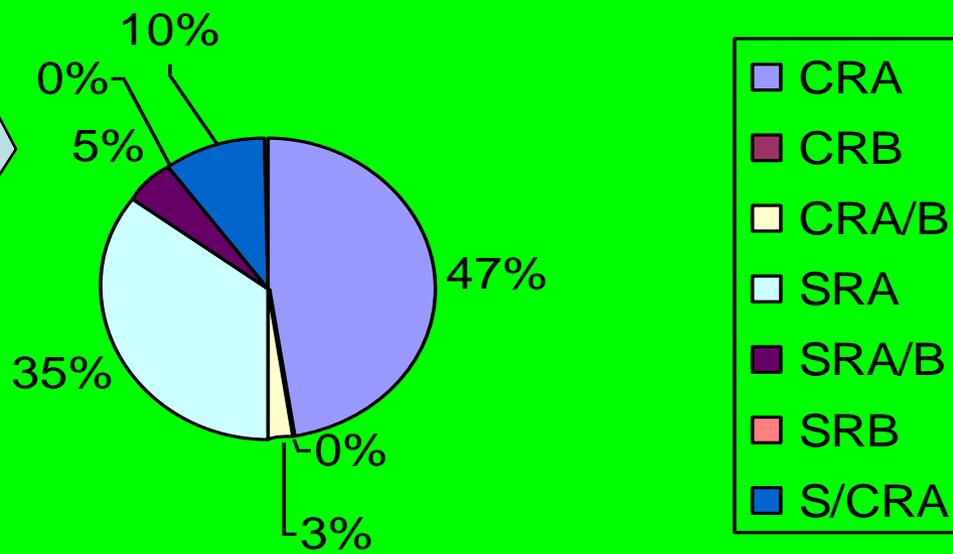


45% Sin Riego

55 % Con riego

94% Altos

6% en Bajos



# Conclusiones

- El nivel de salinidad es bajo en las áreas regadas y las sales se acumulan en las no regadas.
- Eso es corroborado por los usuarios que manifiestan tener problemas muy localizados de salinidad.
- Aún en el escenario de máxima el área cultivada no superaría el 31% de la superficie dominada por la infraestructura
- De mantenerse el actual escenario, el área evolucionará hacia un patrón “micro-oasis”-desierto

# CONCLUSIONES

- I. **La distribución de los “depósitos” de sales (areas sin riego), efecto de los derechos de riego.**
- **Decisiones políticas iniciales**
  - Reconocimiento de derechos anteriores al PRD
  - Area máxima de los nuevos derechos permanentes de riego: 50 has
- **Agua para 120.000 has.**

# MUCHAS GRACIAS

Dr. Ing. Agr. Daniel Prieto  
prietogarra.daniel@inta.gob.ar

# RECOMENDACIONES

- Monitorear el agua de riego como mínimo un año completo.
- Monitorear el nivel freático como mínimo un año completo.
- Si el nivel freático fuera igual o menor a 2 metros hacer muestra de suelo.

# Salinización en áreas de riego

30 % de la superficie mundial bajo riego tendría algún problema de salinidad  
20 a 25 % de la superficie nacional de riego tendría algún problema de salinidad.

La mayor causa de esta salinización es la **elevación de la capa freática** por excesos de aplicación de riego (**baja eficiencia**) y/o **deficiente drenaje**.

Las tecnologías recomendadas para controlar este tipo de salinización incluyen:

- La mejora de la eficiencia de uso del agua de riego
- La mejora del drenaje de los suelos.

No se conoce una cuantificación específica de **salinización de suelos** por el **uso de aguas de alto contenido salino**

# Uso de aguas salinas

La tecnología recomendada para la **utilización de aguas salinas** es el cálculo y la aplicación de un volumen extra de agua para el lavado de las sales.

**Fracción de lavado (FL):** Cantidad de agua que **percola** por debajo de la zona radical en relación al total de **agua aplicada**

**Requerimiento de lavado (RL):** Fracción de Lavado mínima requerida para garantizar con un agua de **calidad dada** el **rendimiento** deseado de determinado **cultivo**

# Métodos de Cálculo de FL y RL

$$FL = \frac{\text{Agua drenada } (A_d)}{\text{Agua aplicada } (A_a)} = \frac{EC_a}{2EC_e}$$

**CLIMA**      **CLASE DE AGUA**

$$RL \text{ (mm)} = (P - ET_c) \frac{EC_a}{2EC_e - EC_a}$$

**CULTIVO**

$$RL = \frac{EC_a}{2EC_e - EC_a}$$
$$RL = \frac{EC_a}{5EC_e - EC_a}$$

# Indicadores de sodificación

Complejo de Intercambio

Solución del suelo

$$\frac{\gamma^+ \text{Na}}{\gamma^+ \text{Ca} + \gamma^+ \text{Mg}} = K_G \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$$

Ecuación de Gapón

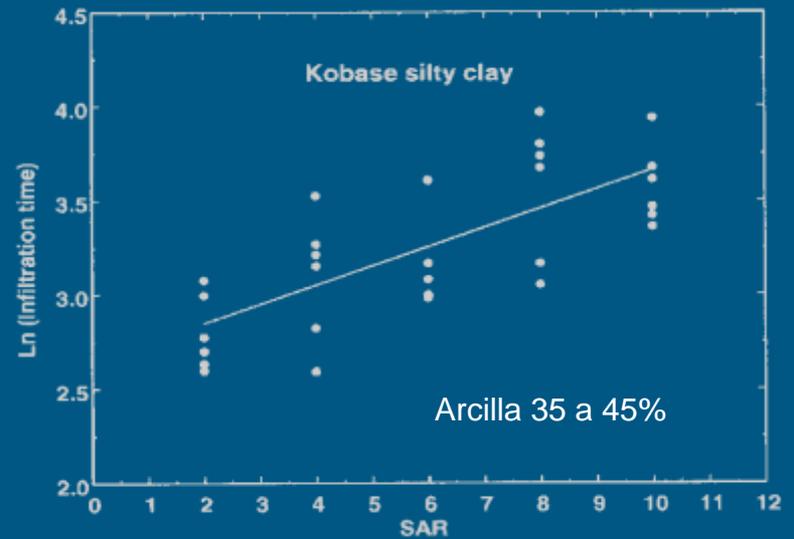
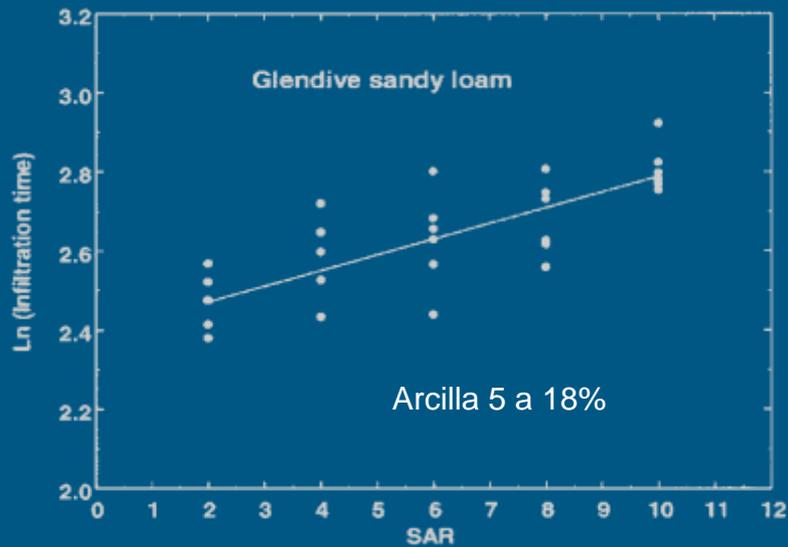
$\gamma^+$  [ ] = fracción equivalente adsorbida de Na,Ca,Mg

Na, Ca, Mg en solución de suelo (mmol/l)

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\text{Ca}_x + \text{Mg}}$$

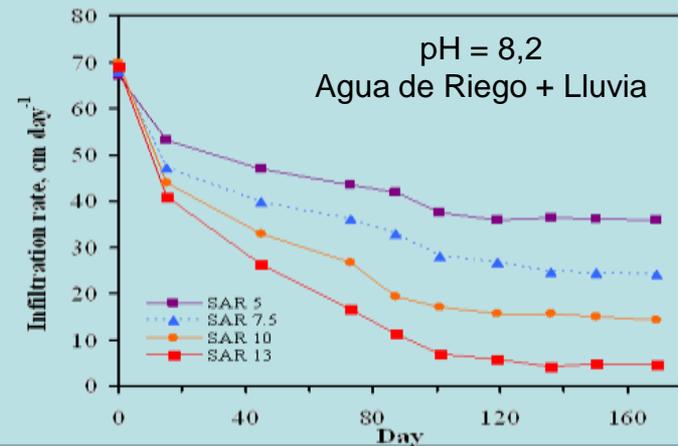
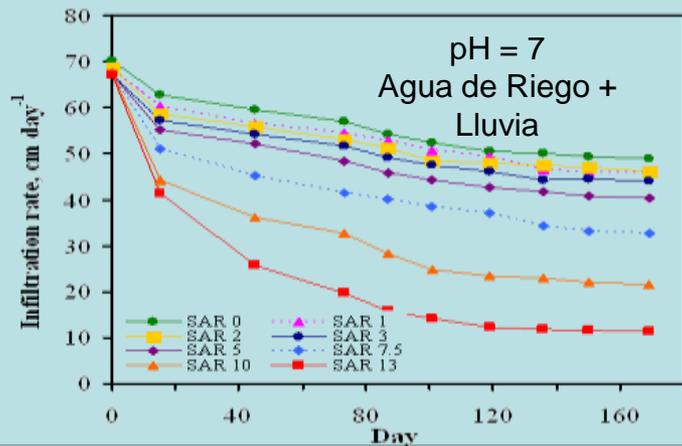
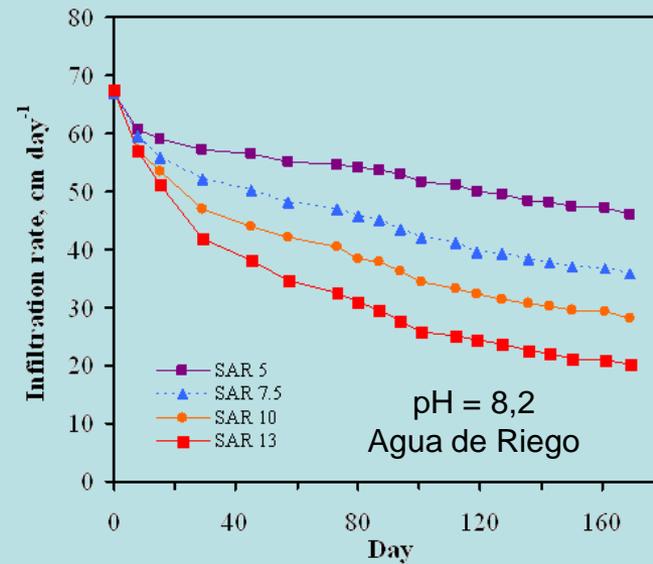
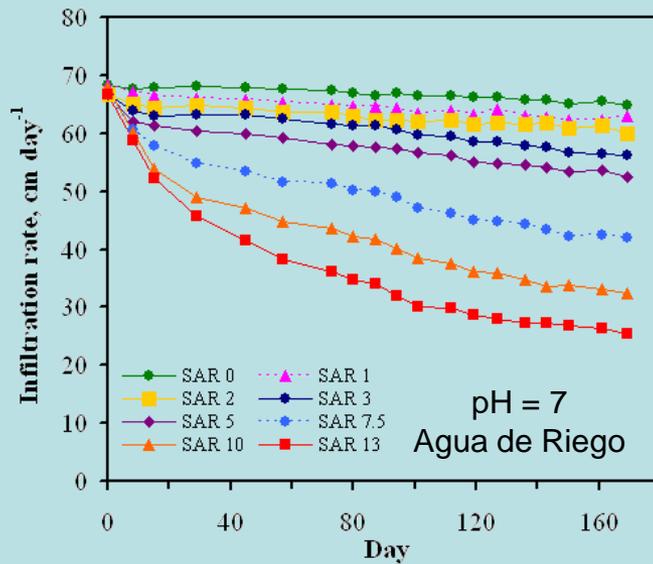
Relación de Absorción de Sodio  
Relación de Absorción de Sodio Ajustada  
Suarez, 1981

$$\text{PSI} = \frac{100 (- 0,0126 + 0,01475\text{RAS})}{1 + (-0,0126+ 0,01475 \text{RAS})}$$



Relación entre RAS e infiltración; tiempo promediado entre muestreos (Suarez et al., 2008)

# Interacción RAS - Lluvia



Suarez, 2010

# Consideraciones Iniciales

- La evaluación un agua de riego tiene en cuenta particularmente sus cualidades (químicas) para el uso específico que quiere dársele.
- La aptitud de un agua para riego depende también de:
  - el suelo,
  - el cultivo
  - el clima
  - del manejo tecnológico del riego, el suelo y el cultivo
- La tendencia actual es no presentar un marco estricto de clasificación sino lineamientos para evaluar las aguas en función de usos y situaciones específicas.