

La Salinidad y su Influencia en Suelos y Plantas

Ing. Agr. Oscar Lutenberg

Mashav - Israel



Introducción

- El exceso de salinidad en suelos fue bien documentado desde hace milenios.
- Ejemplo: Alrededor de 4000 años atrás en la Mesopotamia (Irak de hoy) un nivel alto de agua subterránea se creó como un resultado de un mal manejo del riego.
- Esta situación trajo aparejada la concentración excesiva de sales y provocó salinidad de suelos.

Definiciones

- La salinidad es la consecuencia de la presencia en el suelo de sales solubles en altas concentraciones.
- Por sus propias características las sales se pueden encontrar tanto en la fase sólida como en la fase líquida.
- Por esta razón tiene una extraordinaria movilidad en el suelo.

FASES DEL SUELO

SÓLIDA

**Arcilla $<2\mu$
 $<0.002\text{mm}$**

**Limo $20-50\mu$
 $0.002-0.02/0.05\text{ mm}$**

**Arena $500-2000\mu$
 $0.002/0.05-2.0\text{mm}$**

LÍQUIDA

SALES



GASEOSA

**FASE
SÓLIDA**

ORGÁNICA

**INORGÁNICA
95%**

**MINERALES
PRIMARIOS**

**MINERALES
SECUNDARIOS**

**ÓXIDOS
LIBRES**



SALES

Suelos afectados por la salinidad en el mundo

(según SZABOLCS)

Región	Número de países afectados	Suelo afectado por la salinidad (Ha)
América del Norte	2	15.700.000
México y C. América	2	2.000.000
América del Sur	9	129.000.000
África	31	80.600.000
Sur de Asia	18	87.400.000
Asia Norte y Central	4	211.700.000
Sureste Asiático	5	20.000.000
Oceanía	2	357.300.000
Total mundial	73	903.700.000

Historia

- En la historia se registraron problemas de acumulación de sales en América del Sur y en América del Norte.
- Problemas similares existieron también en Asia.
- En todos esos lugares la salinización de los suelos produjo:
 - Un deterioro en la producción de alimentos.
 - Y, como consecuencia – una disminución en la población que vivía en esos lugares.

Salinidad Natural y Adquirida

- La salinidad **natural** del suelo > fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez > presencia de materiales originales ricos en sales, como sucede con ciertas rocas.
- No obstante, existe una salinidad **adquirida** > riego prolongado con aguas de elevado contenido de sales, así como también > riego con agua de buena calidad pero mal manejada bajo climas secos, semi-húmedos o semi-secos.

La Salinidad – Un problema mundial

- La salinidad es el mas prevaleciente y extendido problema que **limita la producción de cultivos en la agricultura regada, así como en la no regada.**
- Los suelos afectados por las sales se desarrollan generalmente en zonas que reciben y acumulan sales que son transportadas de otros lugares con el agua.

Medios Salinos

- Agua de mar:
- Contenido de aproximadamente 0.5 Mol NaCl.
- Contiene niveles tóxicos de Mg y SO_4 .
- Suelo salino:
- se considera suelo salino a aquel cuya conductibilidad eléctrica
- (CE) en extracto saturado excede los 4 dS/m
($\text{CE} > 4 \text{ dS/m}$) $4 \text{ dS/m} = 40 \text{ mMol NaCl}$.
- La salinidad es un factor de suelo.

Salinidad



Efectos ambientales

Las plantas se ven afectadas adversamente cuando el contenido en sales solubles excede el 1%.

Los principales efectos de la salinidad son:

Relaciones hídricas

Balance de energía



Otras razones de la acumulación de sales

- ✓ Depósitos atmosféricos de sales oceánicas a lo largo de zonas costeras (aerosoles).
- ✓ Penetración por subsuelo, de agua marina al agua subterránea del acuífero costero.
- ✓ Movimiento de agua salina de la profundidad hacia arriba, llegando al agua dulce que se encuentra en la capa freática.

Manejo Incorrecto

- Muchos problemas de salinidad en la agricultura son el resultado del manejo incorrecto del riego y de la falta de drenaje apropiado en el suelo.
- Suelos afectados por sales, las reciben generalmente de:
 - Agua de riego.
 - Agua de drenaje.
 - Estiércol y otros residuos animales.
 - Fertilizantes y nutrientes.
 - Aguas residuales / municipales.

Proceso de acumulación de sales en suelo

- El proceso de acumulación de sales en suelo esta relacionado con el proceso de evaporación.
- El nivel máximo posible de acumulación de sales depende del constante de solubilidad de las sales.
- La historia ha mostrado que la agricultura regada no puede sobrevivir sin un manejo apropiado de la sal (“El Balance de Sales en el Suelo”).

Conductibilidad Eléctrica

- El contenido de sales en el suelo, suele medirse de forma indirecta dado que la presencia de iones en el agua la hace conductora de la electricidad.
- Se utiliza la conductibilidad del agua para estimar su contenido en sales solubles.
- La conductibilidad eléctrica varía con la movilidad de los iones y por lo tanto con la temperatura. Para obtener valores comparables siempre se mide a una temperatura fija de 25°C.

Medición de la Salinidad por conductibilidad

- La conductibilidad eléctrica (CE) se mide en dS/m = la suma total de cationes/10 = la suma total de aniones/10
- Las concentraciones en mili-equivalentes (meq/l) $10 \text{ meq/l} = 1 \text{ ds/m}$.

Medición de salinidad en suelo

- Para medir el contenido de sales en suelo se utiliza la conductibilidad eléctrica de la solución extraída del mismo después de saturarlo con agua (laboratorio).
- Una hora luego de finalizado el riego el agua drena: tratamos de crear en el suelo condiciones cercanas a un punto llamado capacidad de campo.
- Logrado este efecto, se puede tomar una muestra de agua con la ayuda de extractores de solución previamente instalados.
- Se puede medir la muestra en el lugar o enviarla a laboratorio para un examen de sales más amplio.

Extractores



de



S o l u c i ó n

Importancia de la padronización: normas de ubicación de los extractores de solución.

Tipo suelo.... Distancia del gotero

Arena..... 5 - 10 cm.

Franco.....15 - 20 cm.

Arcilla.....20 cm.

Tiempo para hacer el vacío.

Horas después de terminar el riego.

Arena.....1 - 2 horas

Franco.....3 horas

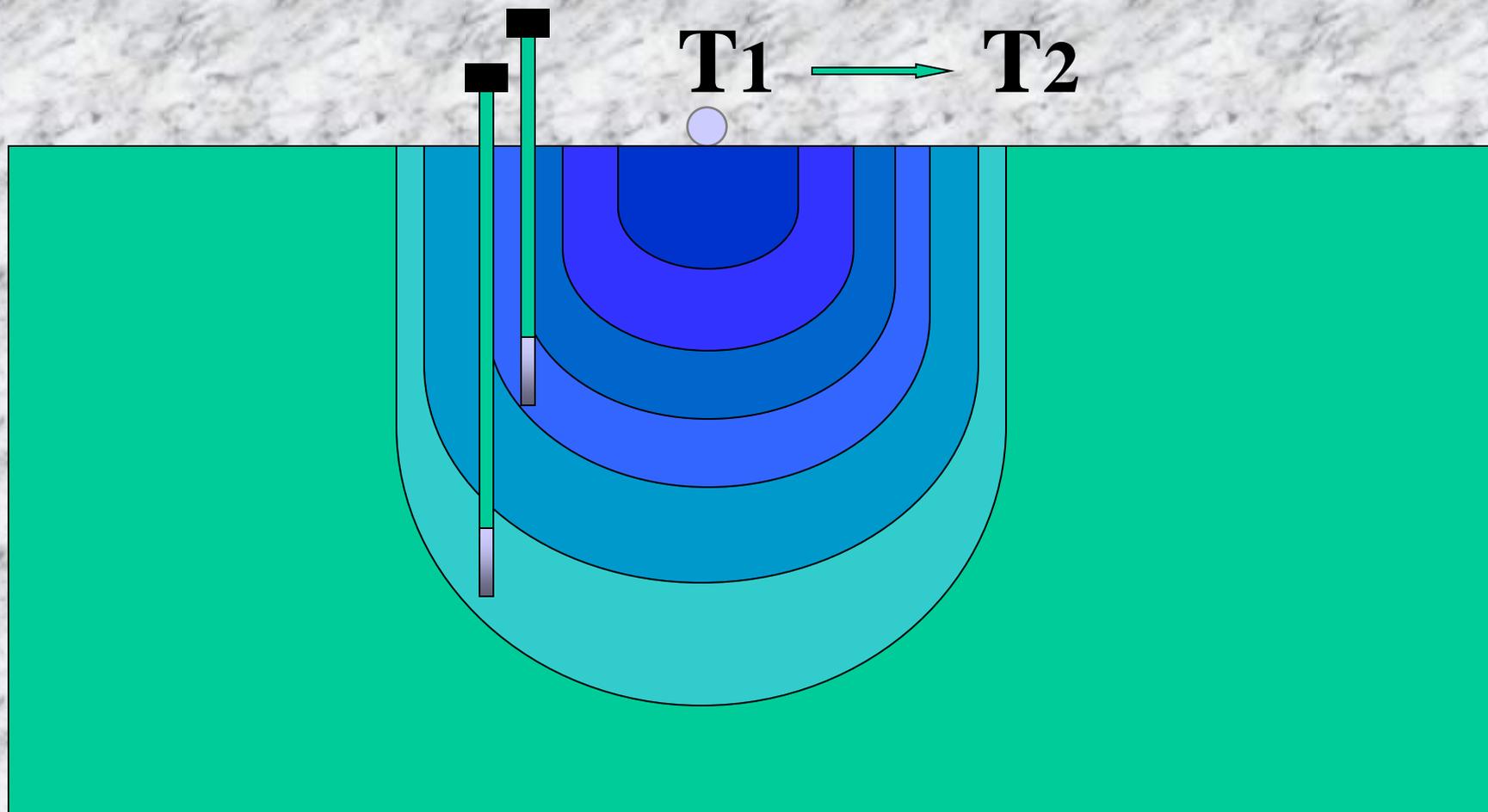
Arcilloso.....4 horas

Tiempo para extraer la muestra. Horas después de hacer el vacío

Arena.....1 a 2 horas (90 % arena).

Franco.....3 - 4 horas.

Arcilloso.....6 horas.

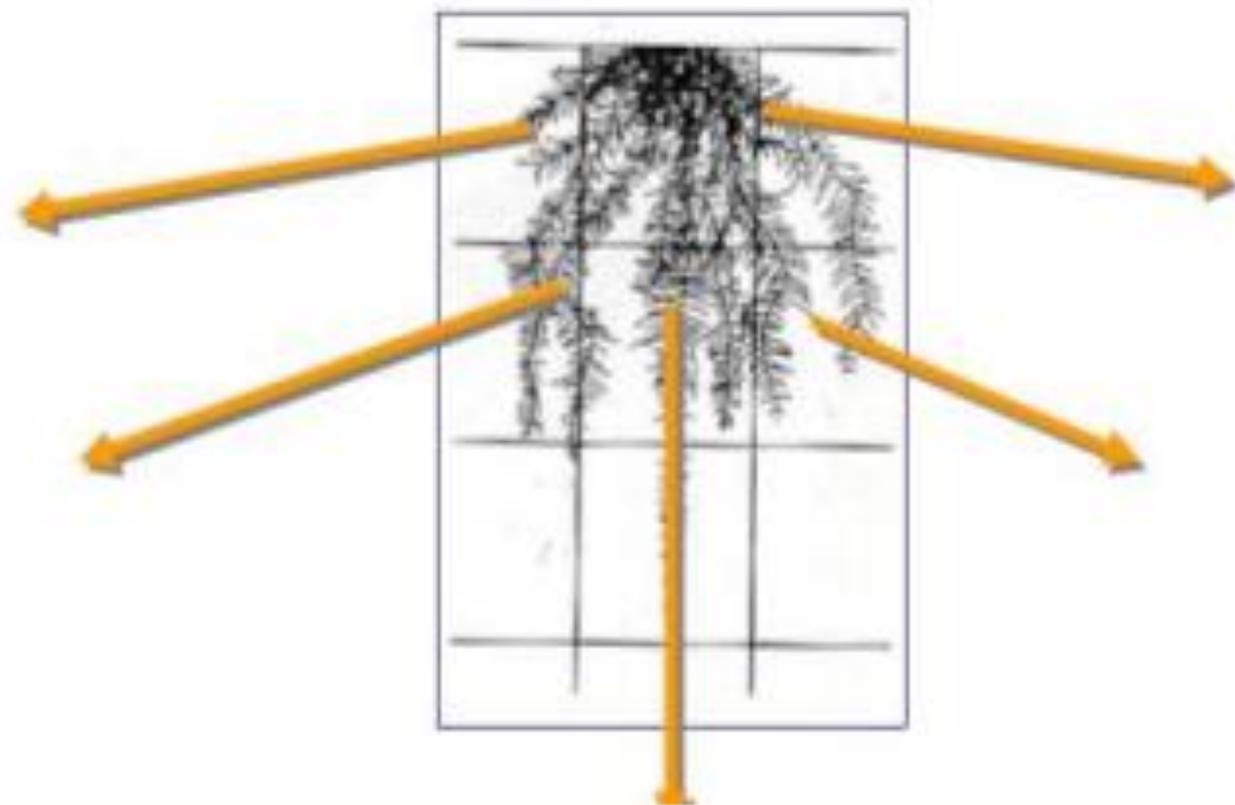


Tolerancia de cultivos a la salinidad	CE en la cual la pérdida de la producción comienza(dS/m)
Sensible	< 1.3
Moderadamente Sensible	1.3 – 3.0
Moderadamente Tolerante	3.0 – 6.0
Tolerante	6.0 – 10
Inadecuado para la mayoría de los cultivos (a menos que la reducción de producción sea aceptable)	> 10.0

Tolerancia de sales en la planta

- El nivel posible máximo tolerable de acumulación de sal en el suelo es el nivel en el que las raíces pueden todavía absorber agua.
- Esto depende de la tolerancia natural de la planta en cuestión.

Cuando la presión osmótica dentro del sistema radicular es menor que la presión osmótica en el suelo (suelos salinos), el agua fluye hacia el suelo



Tolerancia de los cultivos a la salinidad

Cultivos sensibles

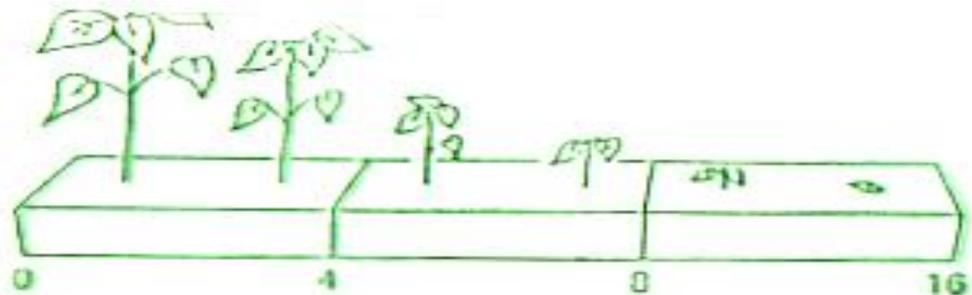
- Frijoles/ porotos
- Cebolla
- Zanahoria
- Fresa

Caracterizados por un umbral bajo de tolerancia a la sal y una fuerte disminución en el desarrollo vegetativo.

¿Como afecta la salinidad sobre los diferentes cultivos?

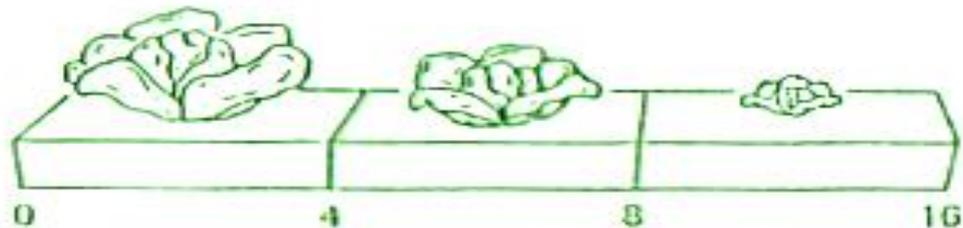
Cultivo Sensible

Frijoles



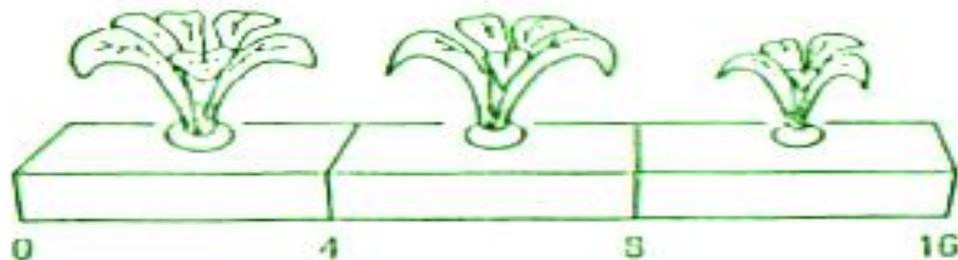
Cultivo Moderadamente Tolerante

Lechuga



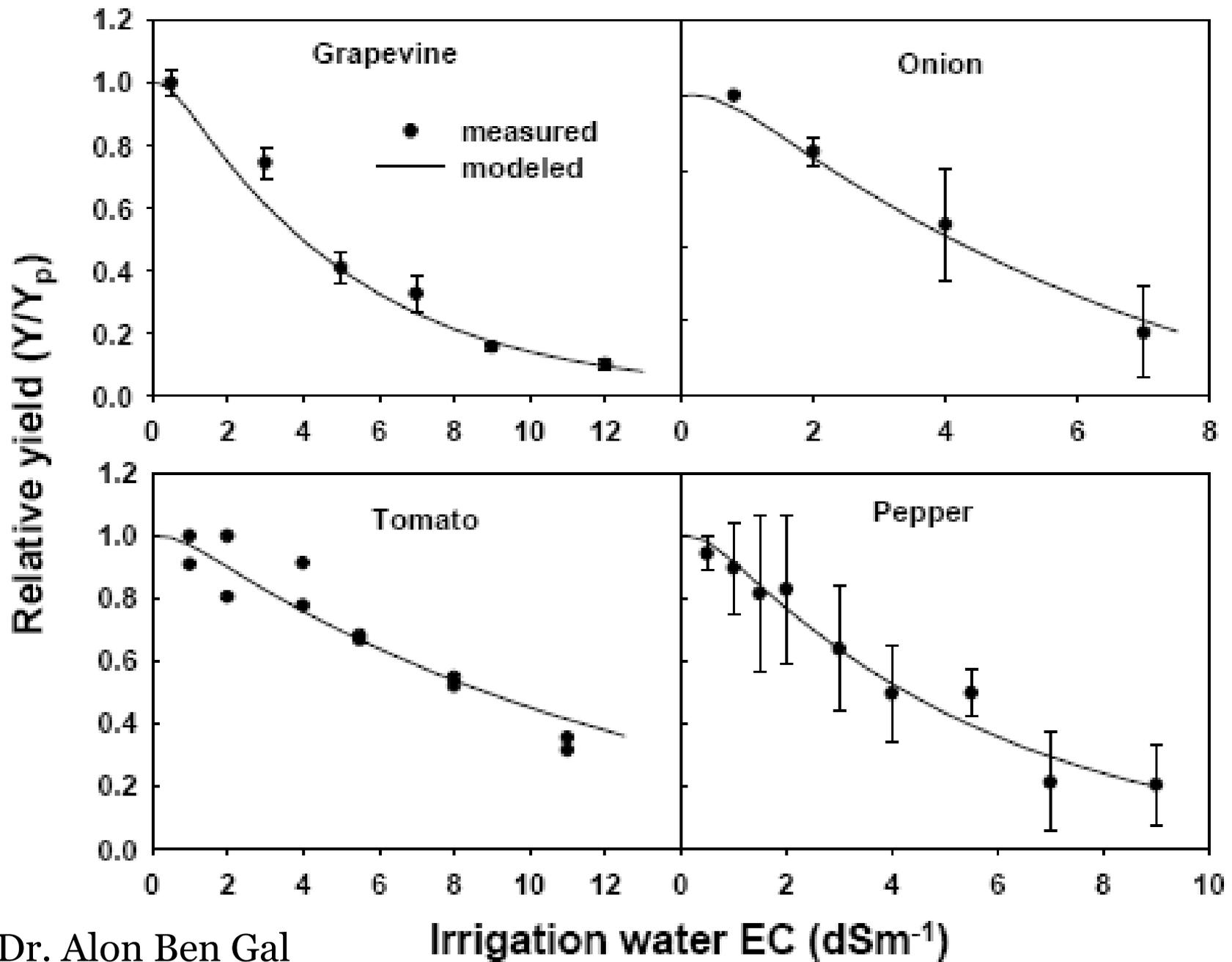
Cultivo Tolerante

Remolacha



Soil salinity (millimhos)

Fig. 9-6. How does salinity affect different crops? Some are affected much more than others. (Courtesy USDA-SEA-AR.)



Quemadura de la hoja en la vid debido a la salinidad del suelo





Control

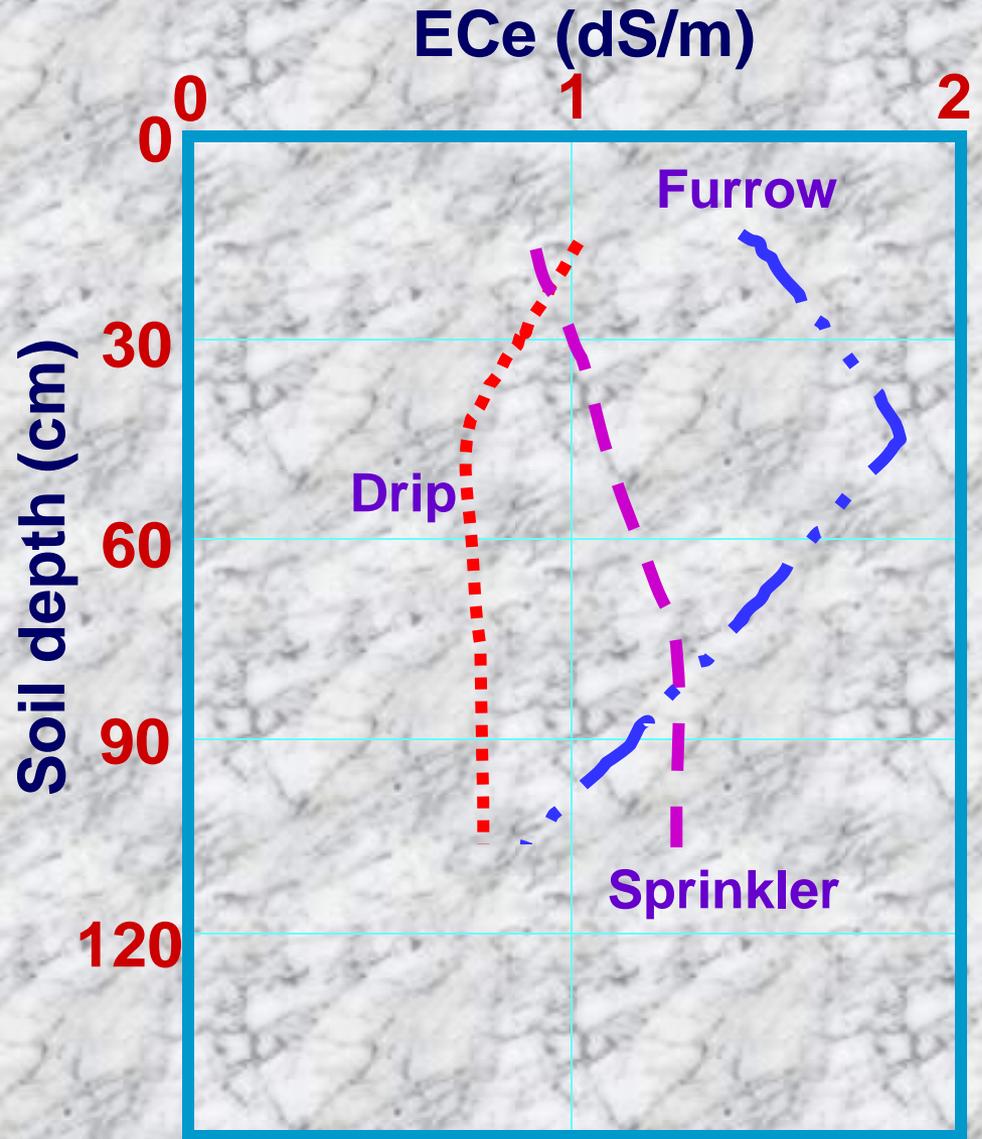
73 g/vine NaCl

146 g/vine NaCl

216 g/vine NaCl

**Desarrollo progresivo del daño a la vid
debido al uso de niveles de cloruro de sodio**

Salinity profiles in sweet corn under drip, sprinkler and furrow irrigation methods



Tolerancia de los cultivos a la salinidad

Cultivos tolerantes

- Algodón
- Cebada
- Remolacha azucarera
- Espárragos

Están caracterizados por una curva leve de disminución del desarrollo de la planta y el rendimiento y tienen un valor de tolerancia alto.

Tolerancia de los cultivos a la salinidad

Cuando los cultivos sufren por salinidad, se manifiestan una variedad de deficiencias nutricionales debido a la competencia entre los iones.



Deficiencia de fósforo en suelos salinos de Cañete, Perú

*Palto - alta susceptibilidad a la
concentración de cloruros*



Reacción de la planta a la sal durante su desarrollo

- La sensibilidad de la planta a la sal, cambia durante el desarrollo de la misma.
- Existen 3 estados fenológicos diferentes en la planta referentes a la sensibilidad a la sal:
 - Germinación
 - Crecimiento vegetativo
 - Crecimiento reproductivo

Reacción de la planta a la sal durante su desarrollo

- La fase temprana del crecimiento vegetativo de plántulas es generalmente mas sensible a la salinidad que las fases mas tardías.
- Durante la fase de crecimiento del tallo la planta es mas sensible al estrés salino que durante la fase del desarrollo de las raíces.
- La relación raíz/tallo en la planta, aumenta bajo condiciones de salinidad.

Efectos de iones específicos sobre el desarrollo de la planta

- La salinidad afecta al ritmo de la absorción de los minerales nutritivos:
- Potasio (K^+), Nitrato (NO_3^-), Fósforo ($PO_4^{=}$), Calcio (Ca^{2+}).
- La salinidad afecta la translocación y el reciclado de iones en la planta.

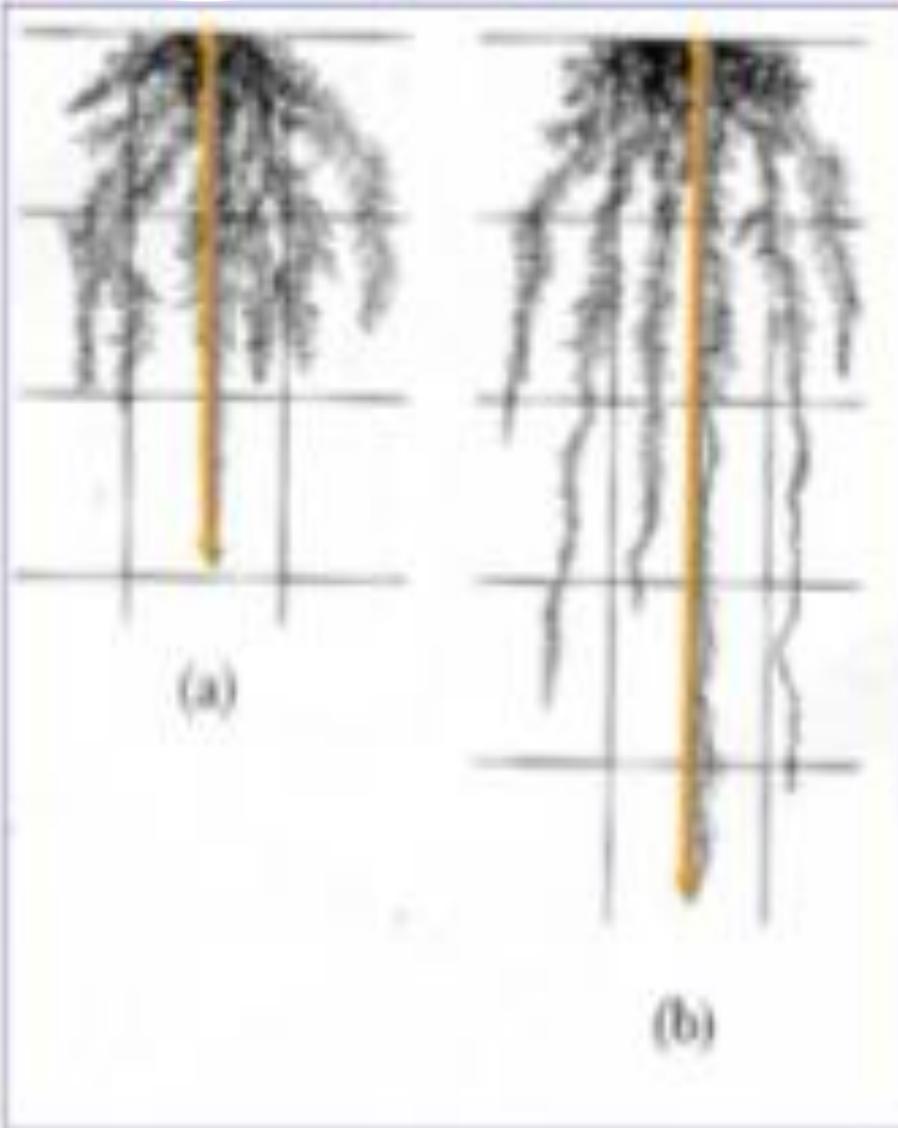
- La salinidad afecta la concentración de iones dentro del tejido de la planta. Esto puede provocar:
- Toxicidad
- Deficiencia
- Para influir en el crecimiento, los cambios tienen que ocurrir dentro de los tejidos/células de crecimiento.

Exceso de iones y toxicidad

- Igualmente, la presencia en exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad.
- Acumulación en distintas partes de las plantas, como las semillas, los tallos y las hojas.
- Los mas significativos en este aspecto son los cloruros, el sodio y el boro.

Con salinidad

Sin salinidad



Los sistemas radicales afectados por la salinidad no se desarrollan en forma óptima

Un sistema radical afectado por la salinidad es menos profundo

Tiene menos ramificaciones

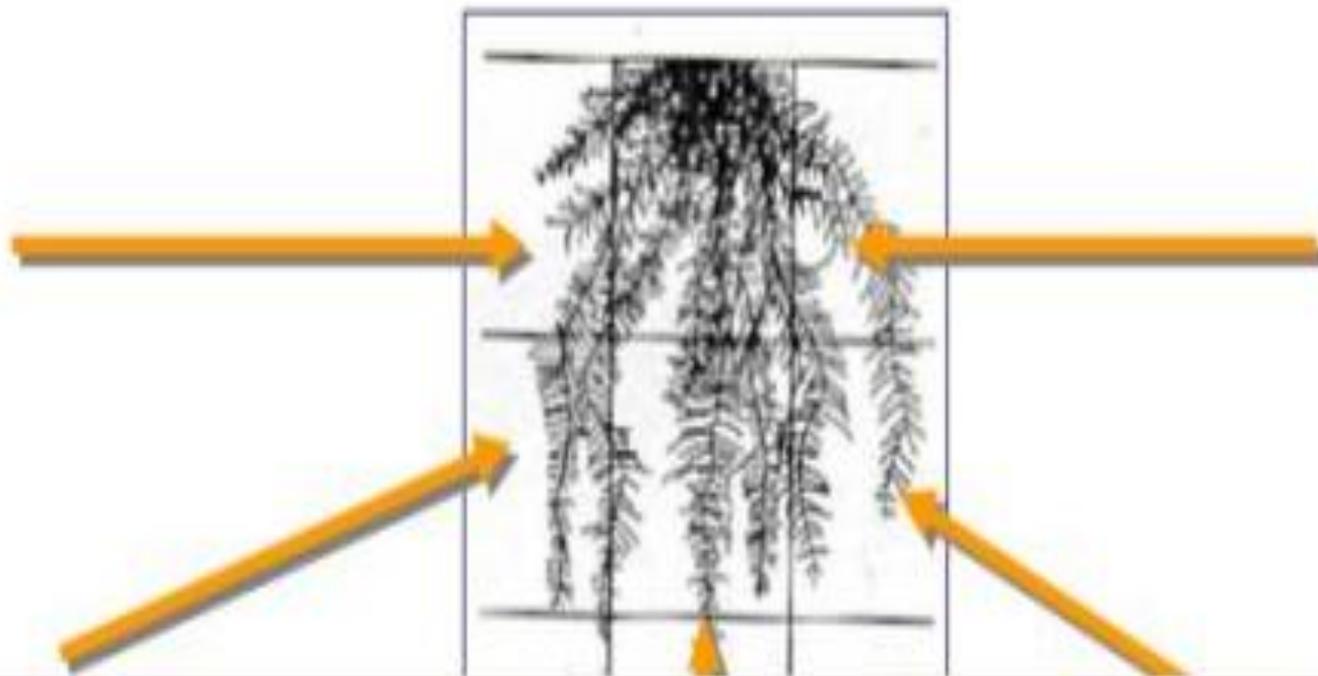
Pesa menos

Es menos eficiente en la absorción de agua y nutrientes

Efecto de la salinidad en el sistema radical



Cuando la presión osmótica dentro del sistema radicular es mayor que la presión osmótica en el suelo (suelos normales), el agua fluye hacia el sistema radicular



La influencia de la presión osmótica de la solución del suelo sobre el desarrollo de las plantas

EC dS/m	Presión osmótica en milibar (*-0.36)	Desarrollo de las plantas
2	-0.72	Los sales casi no tienen influencia
4	-1.44	Descenso en rendimientos en plantas muy sensibles
8	-2.88	Descenso en rendimientos en muchas plantas
16	-5.76	Solamente plantas resistentes producen rendimientos razonable
>16	>-5.76	Solamente plantas muy resistentes producen rendimiento

APRECIACIONES GENERALES DE CALIDAD DE AGUA

- Con relación al:
 - Cultivo
 - Tipo de suelo
 - Precipitación
 - Temperatura
 - Variaciones estacionales
 - Cantidades de agua
 - Drenaje

FACTORES IMPORTANTES DE CALIDAD DE AGUA

- Total de Sales Solubles (TSS) de agua de riego tiene que estar en nivel bajo.
- RAS - Relación favorable entre calcio (Ca^{+2}) + magnesio (Mg^{+2}) versus sodio (Na^{+2}).
- Elementos tóxicos como boro (B) y bicarbonato (HCO_2) tienen que estar por debajo de los niveles críticos.

Cloruro

- El nivel de cloruro es usado como un método común para definir la salinidad del agua.
- Las sales mas comunes presentes en el agua son sales de cloruro (Cl^-) : NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2
- El contenido de Cloro esta expresado en:
- Partes por millón (ppm)
- Miligramos por litro (mg/l)
- Un nivel de hasta 250-300 unidades de ppm no causa daño a la mayoría de los cultivos.

Nutrición y salinidad

- El nivel de la fertilidad del suelo no tiene ningún efecto sobre la tolerancia de sal de las plantas.
- Pero se producen una serie de modificaciones debido a las variaciones de pH, que afectan a la disponibilidad de los nutrientes.
- Por otro lado, la presencia en exceso de determinados elementos, provoca antagonismos:
 - Entre nitratos y cloruro.
 - Entre sodio y potasio.
 - La superioridad iónica del calcio como antagonista sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc.

Nutrición y salinidad

- Por otro lado, la presencia en exceso de determinados elementos, provoca antagonismos:
- Entre nitratos y cloruro.
- Entre sodio y potasio.
- La superioridad iónica del calcio como antagonista sobre el potasio, magnesio, hierro, boro y zinc.

TOTAL DE SALES SOLUBLES (TSS)

- Medido como conductibilidad eléctrica del agua expresado en:
 - Mmhos/cm. (en 25°C)
 - dS/m o $\mu\text{S/cm}$ (la nomenclatura actual)

RELACION DE ADSORSION DE SODIO (RAS)

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}] + [\text{Mg}]}{2}}}$$

RAS alto = baja calidad del agua

Si el RAS esta por encima de 4:
la calidad de agua es baja?

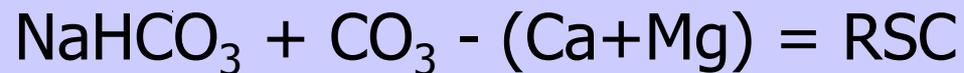
BORO (B)

El boro es un elemento esencial para las plantas en nivel de hasta 1-2 ppm pero daña a la planta cuando esta por encima de 3 ppm.

En el caso de los cítricos más de 0.4 ppm de Boro puede ser tóxico y dañino.

CARBONATO DE SODIO RESIDUAL (RSC)

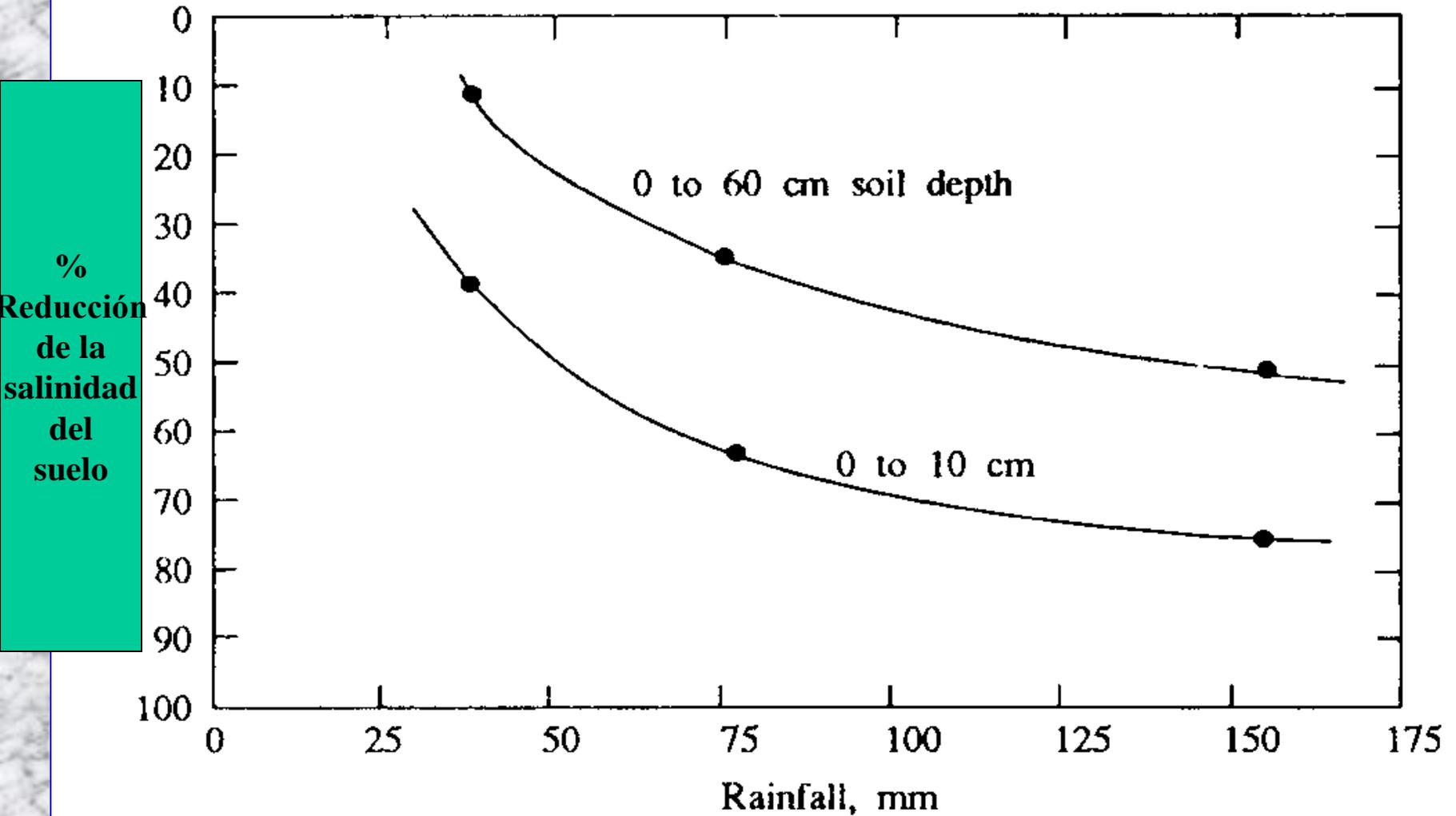
debe estar en menos de 1 equivalente por millón (EPM)?



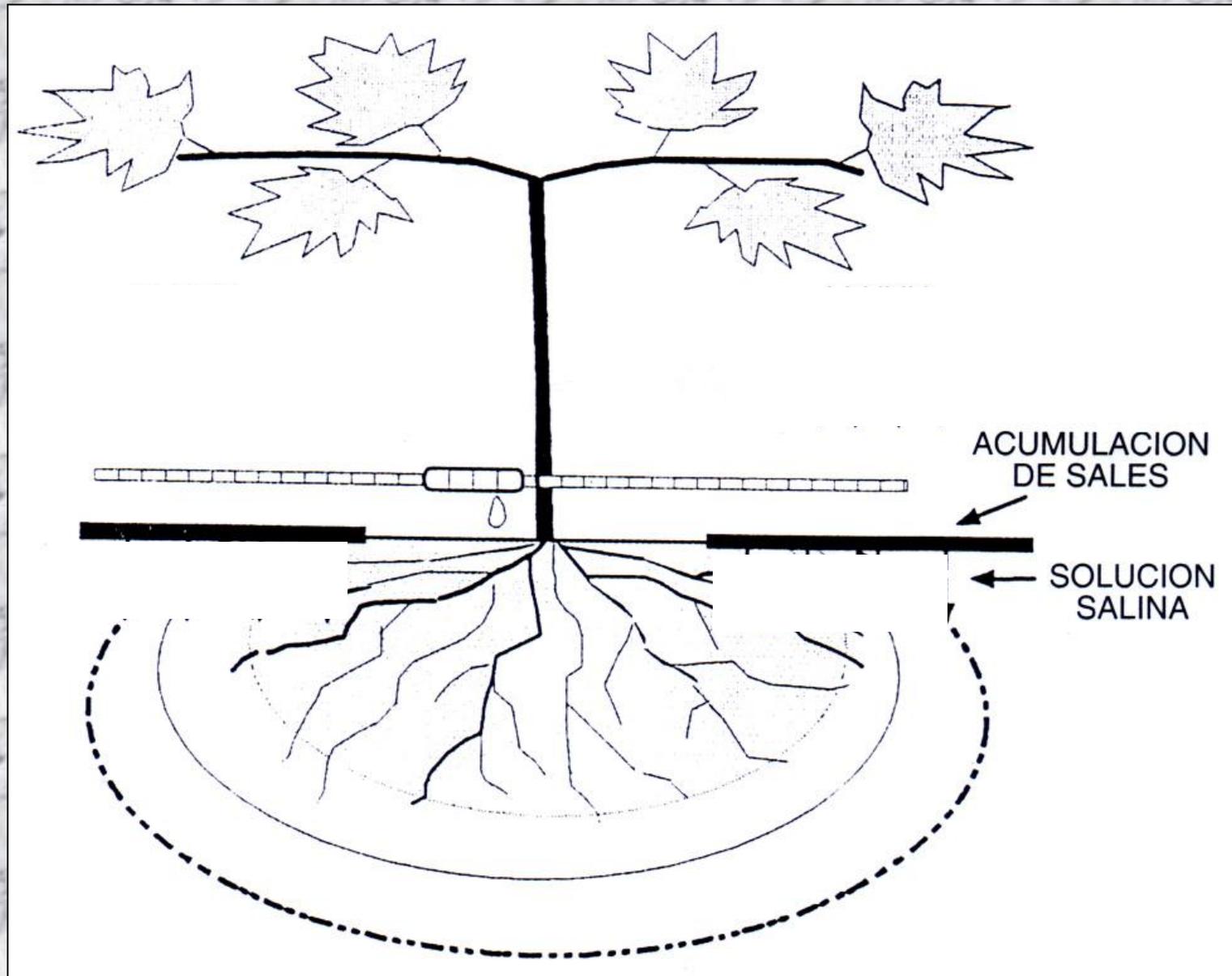
UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSION PARA DISTINTAS MEDICIONES DE SALINIDAD

MEDICION	SIMBOLO	UNIDAD	ABREVIACION POR UNIDAD	Factor de conversión
conductibilidad Eléctrica	EC	DECISIMENS PER METER/	dS/m	dS/m=mmho/cm
		MILIMOHS PER CENTIM.	mmho/cm	
Concentración	C	Gr. PER CUBIC METER.	gr/M ³	ppm=mg/L=G/L
		MILLIGRAM/LIT.	mg/L	mol/m=meq/l= ion valence
		PARTS PER MILLIONS.	PPM	
		MOLS PER CUBIC METER.	mol/M ³	g/m ³ =mol/m ³ x atomic weight
		MILIEQUIVALENT PER LITER	meq/L	

REDUCCION DE LA SALINIDAD DEL PERFIL DEL SUELO POR EL EFECTO DE LA LLUVIA



INTRODUCCION DE SALES POR LA LLUVIA



Factores que afectan la selección del método de riego bajo condiciones de salinidad

- RIEGO EN SURCOS
- Cultivos de fila, infiltración baja a mediana.
- La acumulación de sales es alta entre los surcos y puede aumentar a lo largo del surco si la irrigación no es uniforme.
- La lixiviación es eficiente por debajo de los surcos. Pero, la sal que queda **entre** los surcos requiere mas agua que en métodos con aplicación mas suave.

Inundación

Patrón de acumulación de sales

Acumulación de sales



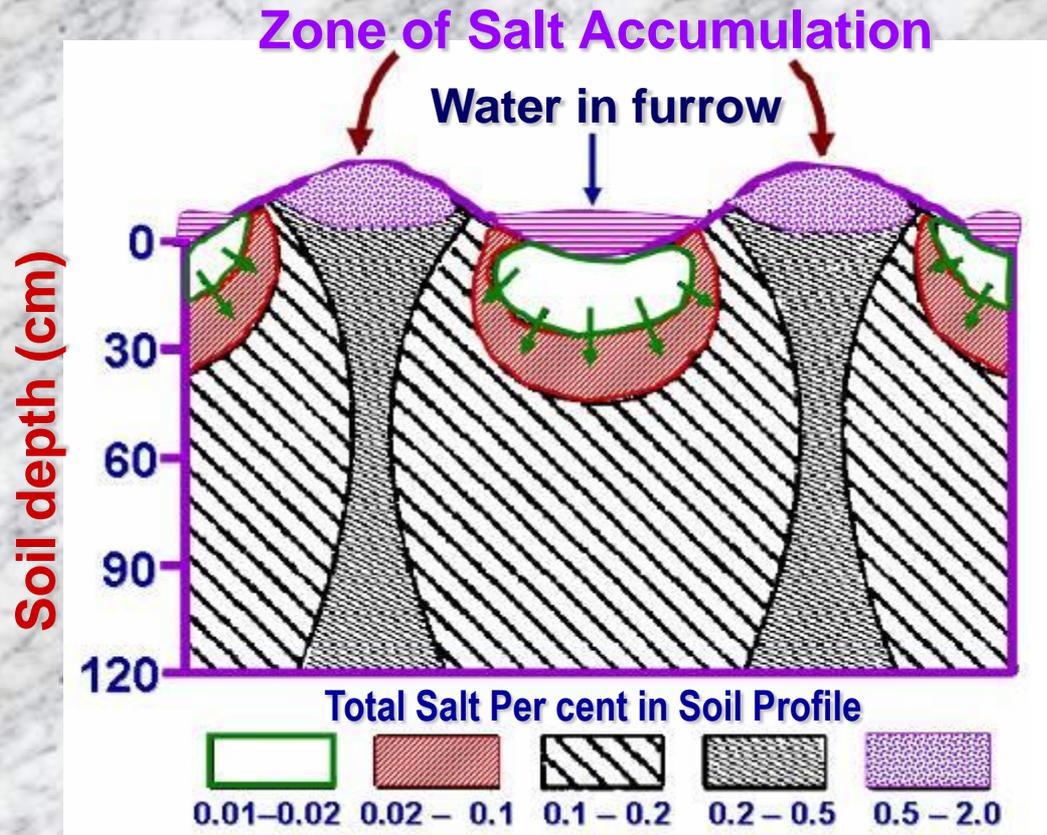
Riego en cada surco



Riego en surcos alternativos



Borde de campo y bordura de control

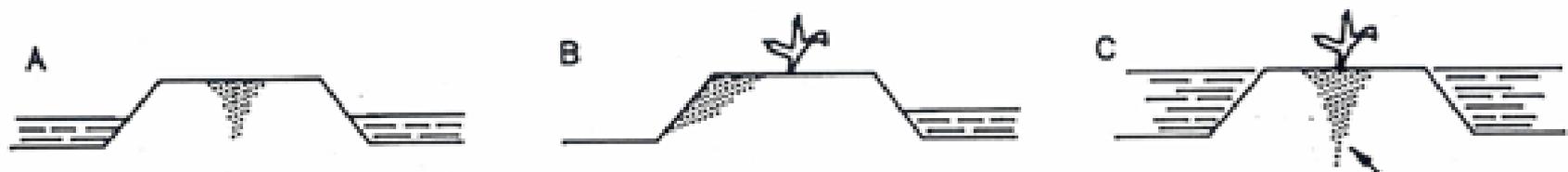


Zone of maximum salt accumulation is in the top of the ridges

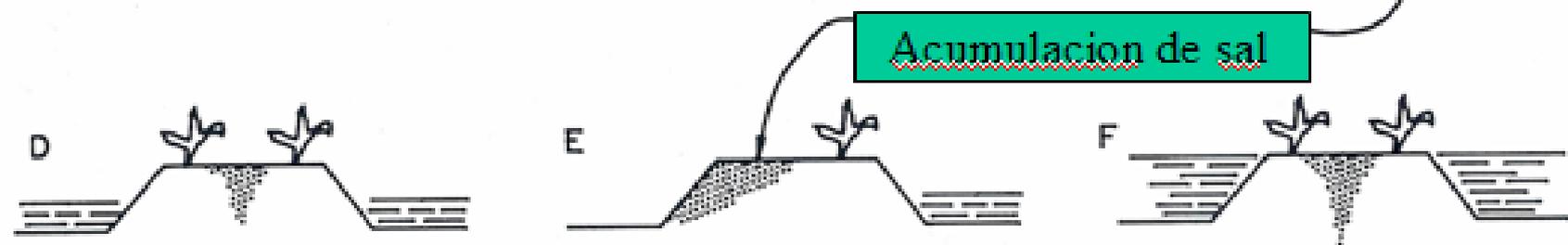
Salt Movement & Accumulation in Furrow irrigation

FLAT TOP BEDS AND IRRIGATION PRACTICE

Single Row Bed



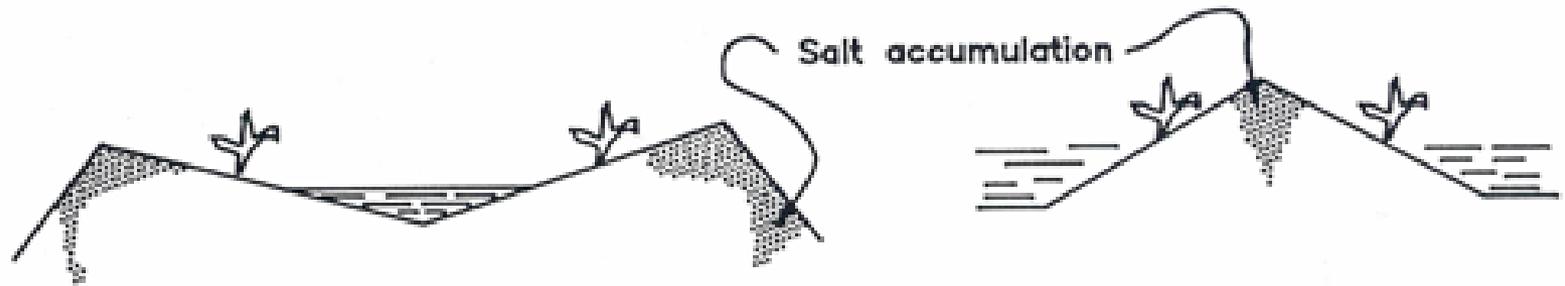
Double Row Bed



Acumulacion de sal

(Bernstein, Fireman and Reeve 1955)

SALINITY WITH SLOPING BEDS



Single Row Sloping Bed

Double Row Sloping Bed

(Bernstein, Fireman 1957)

Métodos de riego y acumulación de sales



Surco



Aspersión



Goteo

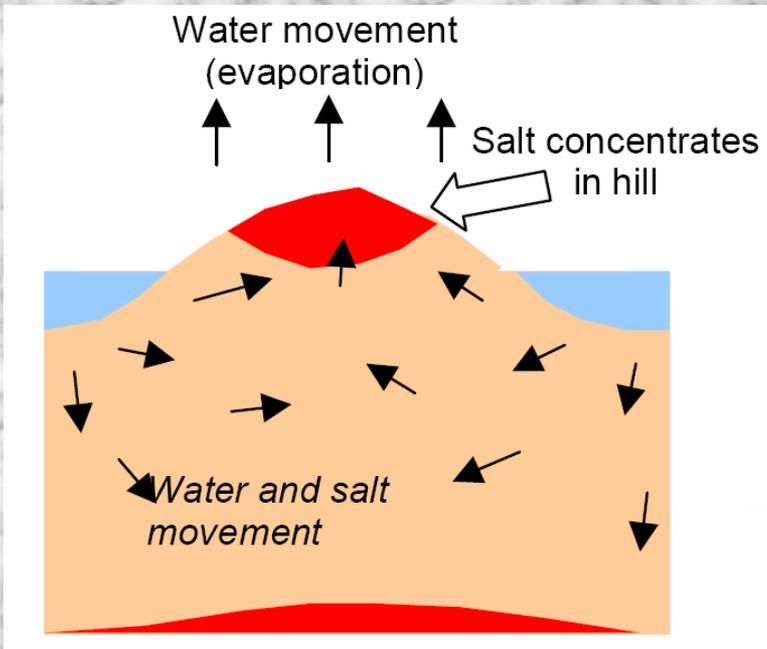


Riego enterrado

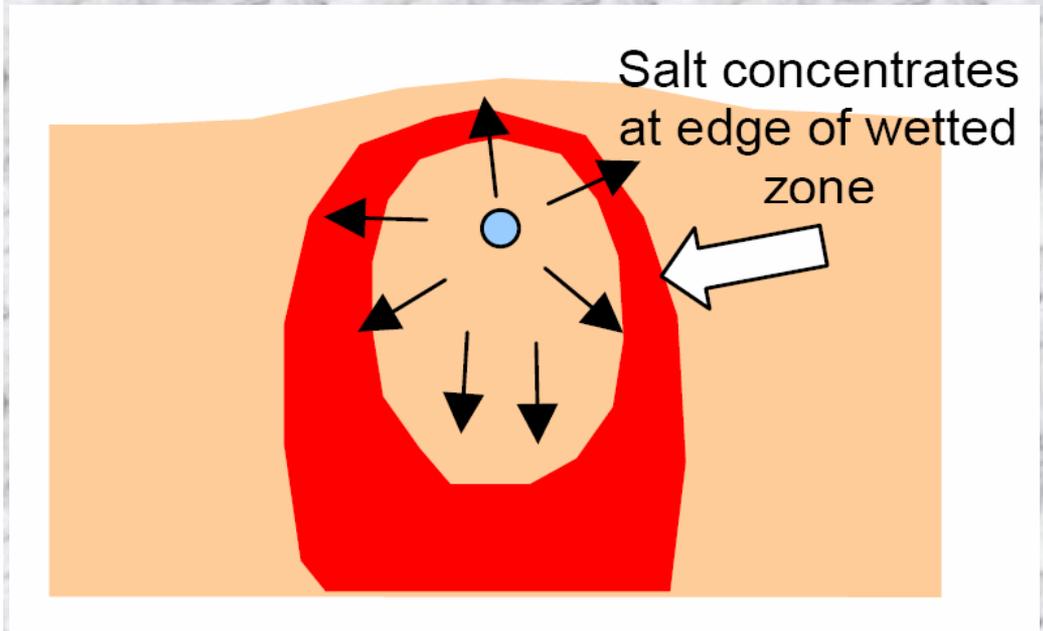


Salinidad, dS/m

Movimiento de la sal por los sistemas de irrigación

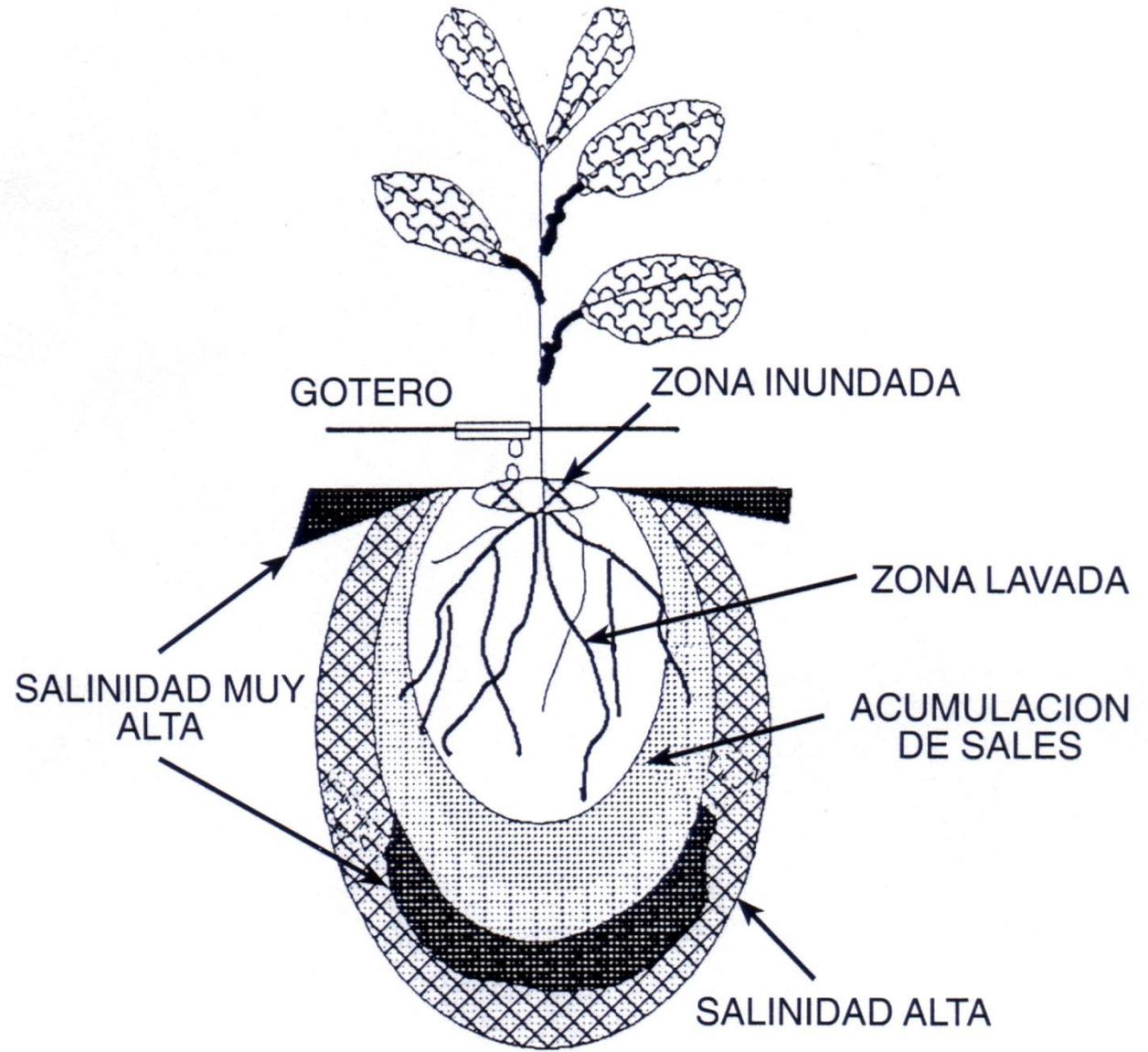


Riego por Gravedad

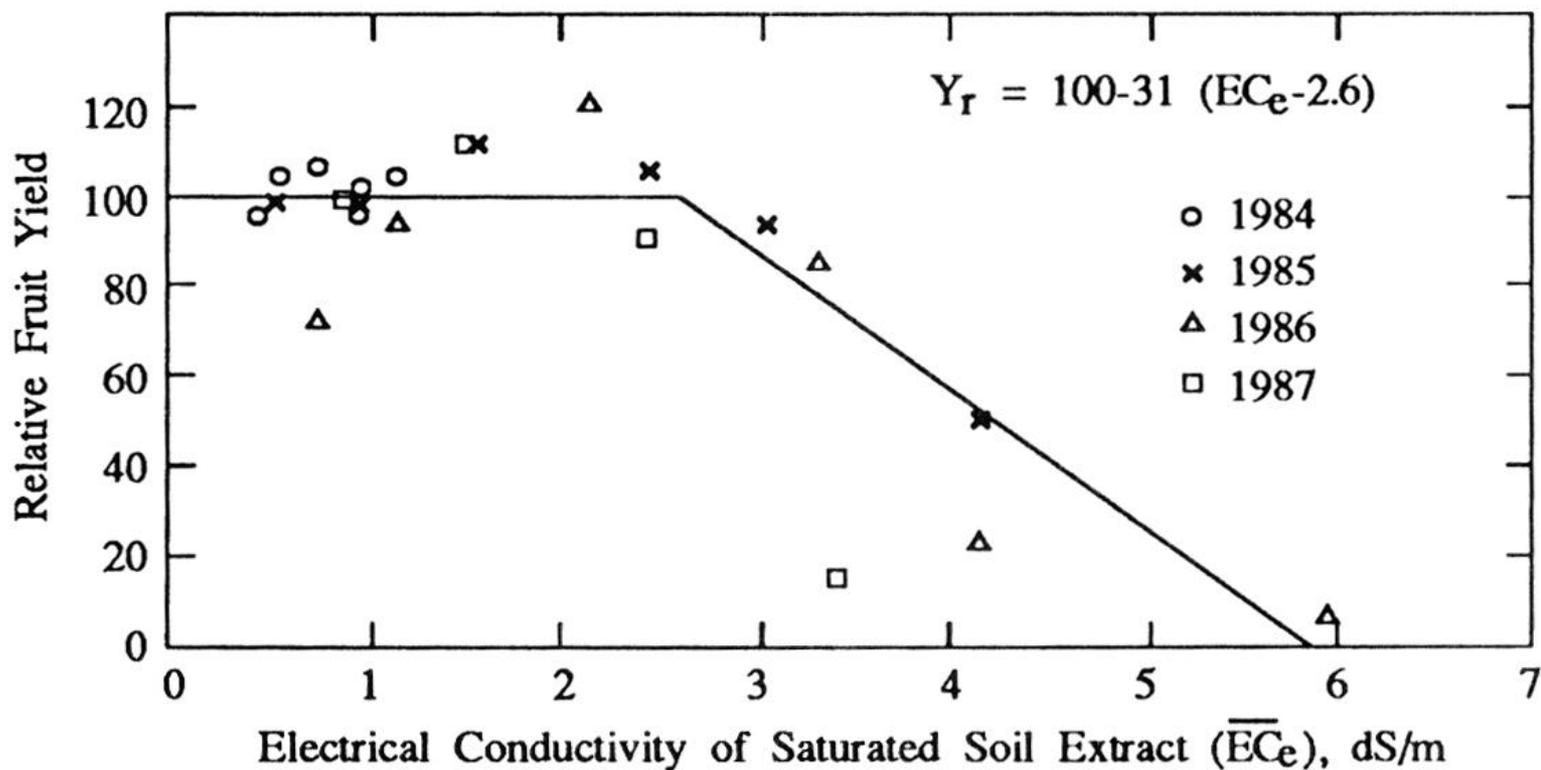


Riego por Goteo Subterráneo

DISTRIBUCION DE SALES EN LA ZONA HUMEDECIDA



Producción relativa de frutos en Ciruelos “SANTA ROSA” en función de la salinidad del suelo



SALINIDAD Y MANEJO DE PRACTICAS DE RIEGO

- Utilizar agua de la mejor calidad posible.
- Seleccionar el método de riego más apropiado.
- Efectuar un control y manejo de riego correcto.

LIXIVIACION

- Riego con exceso, para remover sales de la zona radicular.

El flujo del exceso de agua lava las sales por debajo de la capa superior.

El volumen de agua necesaria para lixiviar (agua en exceso) es la cantidad necesaria para mantener la zona radical dentro de los niveles tolerables por el cultivo.

LIXIVIACION



Esta necesidad esta determinada por la tolerancia del cultivo a la salinidad y por la salinidad del agua de riego.

La fracción de lixiviación es el exceso de agua y esta expresado como el porcentaje de la cantidad aplicada de agua de riego para lograr el efecto deseado.

Aumento del volumen de agua de riego en función de la necesidad del lavado de sales

Caso de tener que considerar el lavado de sales, el aumento de la cantidad de agua se calculará de la siguiente forma

$$\text{Aumento por CE (\%)} = \frac{\text{Conductividad Eléctrica agua riego}}{16} \times 100$$

Ejemplo práctico tomando como base agua de riego CE 4 dS/m

$$(4/16) \times 100 = 0.25 \times 100 = 25\%$$

Esto implica un aumento constante de 25% del agua de riego para poder efectuar un lavado de sales continuo y efectivo.

Otros métodos eficientes para mitigar la salinidad y proteger al cultivo

- Aplicación de materia orgánica al suelo.
- Esparcir yeso durante la preparación del suelo.
- Mantener una buena estructura del suelo.
- Drenaje apropiado que permita lixiviación.
- Programar el riego tomando en cuenta una fracción de lavado de sales por debajo del sistema radical.
- Control y monitoreo de fuentes de agua para asegurar y prevenir salinidad de suelos.

Gracias por su atención!!

