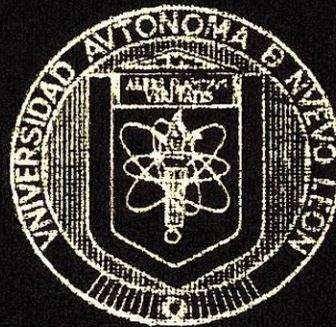


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO DE LA SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO  
DE PLANTAS

SEMINARIO

(OPCION II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

ISRAEL DE LA SERNA MELENDEZ

MARIN, N. L.,

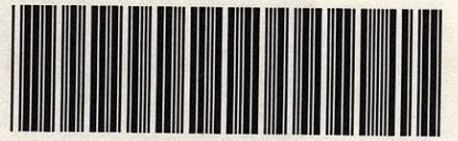
FEBRERO DE 1987

T

S595

S4

C.1



1080063125

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



EFEECTO DE LA SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO  
DE PLANTAS

SEMINARIO

(OPCION II-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

ISRAEL DE LA SERNA MELENDEZ

MARIN, N. L.,

FEBRERO DE 1937

007159 *JM*

Clas. F.  
T/5595  
54

090.631  
FA5  
1987  
C.4



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F tesis



UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES:

Sr. Israel De la Serna Mata  
Sra. Elvia Meléndez de De la Serna  
Por haber hecho posible cumplir uno  
de los principales anhelos de mi vi  
da, mi carrera profesional.

Por el amor y el cariño con que siem  
pre me han tratado y por todos sus  
sacrificios sin límites.

### A MIS HERMANOS:

Amparo

Fidela

Flora

María

Matias

Por el cariño y confianza que me han brindado  
siempre.

### A MI AMIGA:

Claudia Montalvo S.

Con respeto y admiración por su ayuda  
y amistad que me ha brindado siempre.



## INDICE

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
QUE ES SALINIDAD.....	3
ORIGEN DE LAS SALES.....	3
SUELOS SALINOS Y SUELOS ALCALINOS.....	8
A) Suelos salinos.....	8
B) Suelos sódicos.....	9
C) Suelos salino-sódicos.....	10
LAS CONDICIONES FAVORABLES PARA LA FORMACION DE SUELOS - SALINOS.....	11
IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE SALINIDAD.....	12
SALINIDAD.....	12
SODICIDAD.....	14
COMPOSICION DE LAS SALES SOLUBLES.....	16
ACUMULACION DE SALES EN LA SUPERFICIE DEL SUELO.....	16
SOLUBILIDAD DE LAS SALES.....	17
EFFECTOS DE LAS SALES SOLUBLES DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LAS PLANTAS.....	18
TEORIAS PARA EXPLICAR LOS EFECTOS NOCIVOS DE LA SALINI- DAD.....	20
A) Teoría de la disponibilidad de agua.....	20
B) Teoría de la inhibición osmótica.....	22
C) Teoría de la toxicidad específica.....	23
EFFECTOS DE LAS SALES SOBRE LA NUTRICION.....	25
TOXICIDADES DE LOS MICROELEMENTOS.....	26
a) Toxicidad por boro.....	26

INDICE

Pág.

b) Toxicidad por litio.....	27
PLANTAS HALOFITAS.....	28
TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LAS SALES.....	30
CRITERIO DE TOLERANCIA A LAS SALES.....	33
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TOLERANCIA A LAS SALES.....	34
1) Factor planta.....	34
2) Factor suelo.....	35
3) Factor agua.....	36
4) Otros factores ambientales.....	36
EVALUACIONES DE TOLERANCIA A LAS SALES.....	36
MANEJO DE LOS SUELOS CON PROBLEMAS DE SALINIDAD y/o SODI CIDAD.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	47

## INDICE DE TABLAS

TABLA	Contenido	Pág.
1	Relación entre salinidad y respuesta de los cultivos.....	14
2	Tolerancia de ciertos cultivos al porcentaje de sodio intercambiable.....	15
3	Tolerancia de algunos cultivos al boro.....	27
4	Cultivos afectados por iones específicos.....	28
5	Tolerancia relativa de los cultivos a la sal....	32
6	Rendimiento relativo (%) a una salinidad dada del suelo.....	39

## INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA	Contenido	Pág.
	Tolerancia de los cereales a las sales.....	40
	Tolerancia de la caña de azúcar, fibras y oleaginosas a las sales.....	40
	Tolerancia de las forrajeras (Leguminosas) a las sa-- les.....	41
	Tolerancia de las forrajeras (Pastos) a las sales....	41
	Tolerancia de los forrajes (Pastos).....	42
	Tolerancia de las verduras a las sales.....	42
	Tolerancia de los cultivos subterráneos a las sales..	43
	Tolerancia de frutales a las sales.....	43

## INTRODUCCION

Es innegable la importancia que tiene el conocer el efecto de las sales del suelo sobre las plantas, ya que en algunas regiones la producción agrícola se vé seriamente restringida debido a los efectos perjudiciales que se derivan cuando los contenidos de sales en el suelo rebasan ciertos límites.

Dada la magnitud e importancia que ha alcanzado en la actualidad este problema, se han desarrollado numerosos trabajos de investigación en diferentes lugares del mundo, fundamentalmente en áreas donde se presentan con mayor frecuencia, como son en los terrenos de las zonas áridas y semiáridas del mundo que han sido incorporadas a la agricultura bajo riego. Algunos de estos trabajos se han enfocado ha analizar la tolerancia a las sales de diferentes cultivos, encontrándose que efectivamente, las sales afectan en el desarrollo y rendimiento de los cultivos en forma variable, dependiendo de la especie y variedad.

Los campos de suelos salinos y sódicos, cuyo márgen de salinidad y contenido de sodio permite el crecimiento de cultivos bajo riego, tienen generalmente manchas diseminadas donde las plantas se ven marchitas en estas áreas consisten de especies resistentes a la salinidad. Los sitios pelados impiden la germinación de semillas debido a concentraciones de sales depositadas por nivelación, por riego, o drenaje inadecuados. Frecuentemente se observa que las plantas que se siembran en terrenos adyacentes a áreas peladas, crecen con vigor y care-

cen de síntomas de deficiencias. Esto ocurre generalmente en los sitios altos del microrelieve del terreno donde hay mejor drenaje y las sales han sido lixiviadas. Los sitios bajos del campo con desague restringido son generalmente improductivos debido a la acumulación de sales.

En los campos de suelos que tienen un contenido relativamente bajo o moderado de salinidad, se observa que las plantas tienen un crecimiento desproporcionado. Estas observaciones se han comprobado en muchos suelos salinos o salino sódicos sembrados con caña de azúcar. El efecto de la sal hace que las puntas de las hojas tiernas de la caña de azúcar sequen primero; luego los bordes de las hojas viejas también se secan; las hojas generalmente están marchitas o enrosacadas y los canutillos de caña son muy cortos y juntos, casi unidos. Se han observado plantas que nacen normales, pero al echar el primer canuto de caña se retarda el crecimiento, se secan todas las hojas, empezando por las más viejas, de abajo hacia arriba, hasta que se secan las hojas nuevas del cogollo; finalmente muere la planta.

Los efectos causados en la planta por la fertilidad baja del suelo no deben confundirse con los causados por salinidad. Las plantas que no pueden crecer normalmente, debido a salinidad alta del suelo tienen, por lo general, hojas de color verde azul oscuro. El color azul se debe a una capa cerosa, gruesa, que se deposita sobre la superficie de las hojas, debido a la salinidad y el color oscuro a un aumento del contenido de clorofila sobre el área superficial de las hojas.

En las áreas áridas de suelos salinos calcáreos hay muchos sitios donde las plantas desarrollan síntomas de clorosis en sus hojas que no son producidas por las sales solubles sino que ello se debe a deficiencia de hierro causada por carbonato calizo excedente (7) (15).

### QUE ES SALINIDAD

El término "sal" utilizado por los químicos se aplica a una larga lista de sustancias de las cuales el cloruro de sodio (sal de comer) es la más conocida. La mayoría de los fertilizantes químicos suplen nutrientes esenciales en forma de sales.

Los nutrientes están normalmente disponibles en la forma de sales solubles en el suelo. Sin embargo, una dotación muy grande de sales puede ser perjudicial a las plantas. Cuando las sales solubles están presentes en exceso de tal forma que dañan a las plantas se dice que el suelo es "salino".

La mayoría de las sales inorgánicas en solución se disocian en partículas cargadas eléctricamente llamadas iones (26).

### ORIGEN DE LAS SALES

Los suelos tanto en zonas húmedas, como en zonas áridas contienen sales solubles. En las zonas húmedas la concentración de sales normalmente es por debajo de 0.4 gr de sal por

litro; predominando las sales de calcio.

Inicialmente, las sales proceden de las rocas que se edafizan en minerales primarios y secundarios. El agua carbonatada es el agente principal que disuelve las sales que se originan de los minerales primarios del suelo. La lluvia o los deshielos las transportan de los suelos a los ríos y cuencas fluviales, y finalmente al mar. Las aguas de riego llevan las sales solubles a los terrenos bajos cultivados, cuando éstos se riegan o se inundan. El riego por survos no logra mojar la parte superior del camellón, por eso las sales solubles suben por capilaridad y se depositan sobre el camellón al evaporarse el agua. En períodos de lluvia y de riego excesivos, las aguas freáticas suben y saturan las capas superiores del suelo; pero al cesar las lluvias y suspenderse el riego, las sales solubles suben por capilaridad, se depositan sobre la superficie y florecen cuando la evaporación es excesiva. Hay también aguas artesianas a distintas profundidades en el subsuelo que por presión ascendente llevan sales solubles a la superficie.

Las sales que del mar retornan a la tierra se denominan cíclicas. Las partículas finas de polvo de minerales que se encuentran en la atmósfera y la espuma del mar sirven de núcleos para las sales que el viento transporta, lo cual ocurre con mayor intensidad durante la temporada de ciclones y monzones. El follaje de los árboles en los bosques ofrece interferencia a las corrientes de aire y las sales interceptadas, al ser lavadas por las lluvias caen al suelo.

El bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), de origen atmosférico o bio-

lógico, sirven de base para la formación de carbonatos. Las cantidades relativas presentes de ambos iones determinan en parte el valor pH de la solución. Cuando hay cantidades apreciables de carbonatos, el pH es 9.5 ó más.

El bióxido y azufre ( $SO_2$ ), que se encuentra en la atmósfera tiene origen volcánico, industrial, doméstico y/o bacteriano y sirve de base para la formación de los sulfatos.

Las bacterias específicas nitrosomonas o nitrosococcus oxidan el ión amonio presente en los suelos a nitritos y las nitróbacterias oxidan los nitritos a nitratos.

La meteorización de las rocas por sí sola rara vez ha ocasionado que se acumulen grandes cantidades de sal en un lugar. Lo normal es que las sales, una vez formadas, sean transportadas por el agua que las conduce al mar o a depósitos continentales, que de esa manera se salinizan.

Los que forman parte de las sales que salinizan el suelo:  $ClNa$ ,  $SO_4Na_2$ ,  $Cl_2Mg$ ,  $SO_4Mg$ ,  $SO_4Ca$ ,  $CO_3Na_2$ ,  $CO_3HNa$ ,  $CO_3Mg$ . Estas sales se acumulan en las depresiones o son conducidas al mar.

La salinización tiene lugar primordialmente en regiones subhúmedas, áridas y semiáridas, y en algunas regiones costeras húmedas, donde las depresiones se enriquecen con sales a una rapidez mayor que la de su lixiviación. La acumulación de sales es preferencial en los suelos de depresiones con un contenido elevado de arcilla y baja permeabilidad, con lixiviación reducida. Los sulfatos y los cloratos son las sales pre-

dominantes. Por su parte, los nitratos y los boratos se presentan raramente.

En zonas húmedas normalmente las sales formadas durante el proceso de descomposición de la roca son lixiviadas del suelo y con el agua subterránea y de los ríos son transportados hacia el mar. En zonas áridas y semiáridas, sin embargo, el agua subterránea es una fuente muy importante de acumulación de sales. Cuando el agua subterránea está a pocos metros de la superficie del suelo, el agua en mayor o menor grado cargada de sales asciende a la superficie del suelo por acción capilar. Por la fuerte evaporación en las zonas áridas y semiáridas el agua se evaporará y gradualmente las sales se acumulan en las capas superficiales.

La dolomita, la olivina, la hornablenda y muchas otras rocas igneas pueden originar sales magnésicas.

En los suelos jóvenes normales, estos productos solubles provenientes de la meteorización se van moviendo continuamente hacia abajo a medida que se forman, y eventualmente encuentran su destino en el mar.

Por el contrario, en los suelos salinos, estas sales tienden a permanecer en el agua del suelo, por medio de lo cual se pueden mover lateralmente y reaparecer en otras áreas o también subir por el perfil del suelo, por el proceso de capilaridad. El movimiento capilar ascendente es la causa fundamental de la salinidad de los suelos. La causa de este movimiento ascendente es la tensión superficial del agua. En un tubo capilar el

agua sube a una altura considerable.

La altura de la ascensión depende del diámetro de los poros del suelo, y generalmente alcanza la mayor altura en suelos limo arenosos finos. Si los poros son mucho más finos, el movimiento se hace muy lento para ser de importancia.

Trabajando en América y zona tropical hemos encontrado una oscilación de sales bien definida entre la estación seca y la lluviosa. De esta manera, en enero los suelos resultaban, por lo general más salinos que en agosto cuando por efecto de la estación lluviosa había un considerable lavaje.

Esta oscilación es responsable de la formación de álcali, ya que la tendencia general es de que el calcio cambiante sea eliminado y reemplazado por el sodio.

A medida que las sales se lavan durante el invierno, el pH sube, debido a la disociación de las arcillas sódicas, y en casos extremos se pueden formar pequeñas cantidades de carbonato sódico, lo cual da lugar a la alcalinidad elevada.

El efecto de la alta alcalinidad y alto sodio cambiante es producir un alto grado de dispersión de las partículas de arcilla y deteriorar la estructura del suelo de tal manera que la permeabilidad del suelo al agua es muy pequeña, incluso de una fracción de mm por hora (1) (3) (9) (19) (20).

## SUELOS SALINOS Y SUELOS ALCALINOS

## A) Suelos salinos

Un suelo salino es aquel que contiene sales solubles en cantidades suficientes para limitar la productividad. Generalmente con buenas condiciones de aereación y drenaje. Sus características:

- a) pH menor de 8.5
- b) Conductividad eléctrica mayor de 4 mmhos/cm a 25°C
- c) Contenido de sodio adsorbido con relación al calcio, manganeso, potasio, etc., menor de 15%.

Los suelos salinos contienen exceso de sales solubles, principalmente cloruros y sulfatos. Generalmente tienen una costra blanca superficial de sales y por eso se les denomina suelos alcalinos blancos.

Muchos cultivos que sufren un exceso de sales parece como si sufrieran de falta de agua.

El marchitamiento causado por salinidad no es tan definitivo como el producido por la sequía. Frecuentemente, las plantas quedan túrgidas, pero simplemente cesan de crecer.

Las gramíneas de los géneros *Distichtis* y *Spartina*, indican en el suelo en que crecen una condición de salinidad. Las mayores extensiones de suelos se hallan en las partes llanas de los valles desiertos o semidesiertos y en las marismas.

En la mayoría de los mapas de suelos, la salinidad se muestra como sigue:

- f = ningún efecto en las plantas de cultivo (generalmente menos de 0.1%).
- SW = efecto ligero en las plantas de cultivo (generalmente de 0.1 a 0.4%).
- Mw = moderada (generalmente de 0.4 a 1.0%).
- Aw = fuerte (excesivo contenido de sal para las plantas cultivadas; de 1.0% para arriba). (8) (19) (22).

## B) Suelos sódicos

Un suelo sódico es aquel que contiene sodio adsorbido con relación al calcio, magnesio, potasio (bajo las mismas condiciones), en cantidad suficiente para limitar la productividad. Generalmente con baja permeabilidad y baja aereación. Sus características:

- a) pH mayor de 8.5
- b) Conductividad eléctrica menor de 4 mmhos/cm a 25°C
- c) Contenido de sodio adsorbido con relación al calcio, manganesio, potasio, etc., (bajo las mismas condiciones) mayor de 15%.

Muchas de las zonas se conocen como "manchas peladas", por que cuando se ara el suelo ligeramente mojado se convierte en rebanadas de surco correosas y lisas.

Son suelos que tienen un subsuelo de arcilla defloculada, son suelos tan dispersos que no absorben agua fácilmente. Estos suelos tienen una alcalinidad elevada (pH de 8.5 a 10.0).

Se trata de suelos bajo el predominio del ion sodio, ya sea

en forma de cloruro sódico en las soluciones del suelo, o del ion sodio de cambio. Este sodio puede tener un origen doble:  $ClNa$ , que existe en una capa de agua salada, o sodio liberado por alteración de una roca sódica (por ejemplo, traquita).

(5)(14)(22)(24).

### C) Suelos salino-sódicos

Un suelo salino sódico tiene dos factores limitantes de la productivid $\ddot{a}$ d, sales solubles y sodio adsorbido.

Generalmente las condiciones f $\ddot{i}$ sicas de estos suelos son semejantes a los de los suelos salinos. Cuando las sales solubles se desalojan del perfil del suelo, entonces las condiciones f $\ddot{i}$ sicas cambian radicalmente y se asemejan a las condiciones de los suelos s $\ddot{o}$ dicos. Se forman como resultado de los procesos de salinizaci $\ddot{o}$ n y sodificaci $\ddot{o}$ n.

Sus caracter $\ddot{i}$ sticas:

- a) pH menor de 8.5
- b) Conductivid $\ddot{a}$ d el $\ddot{e}$ ctrica mayor de 4 mmhos/cm a 25°C
- c) Contenido de sodio con relaci $\ddot{o}$ n al calcio, magnesio, potasio, etc., (bajo las mismas condiciones) mayor de 15%.

La disoluci $\ddot{o}$ n de la materia org $\ddot{a}$ nica por el  $\ddot{a}$ lcali de color oscuro a la costra salina que se forma en el suelo, a la que se ha dado el nombre de "alcali negro". La alcalinidad se mide por el valor alto del pH y las pruebas de intercambio de sodio.

La condición salina sódica es indicada por manchones de aspecto lustroso desprovistos de vegetación, manchones negros y el desarrollo de ciertas plantas indicadoras de alcalinidad, tales como las espartinas, el camalote y algunas quenopodiáceas.

En la mayoría de los mapas de suelos, la condición salina sódica ("alcali negro") se muestra como sigue:

Fb = sin efecto en las plantas de cultivo.

Sb = ligera; efecto ligero en las plantas de cultivo.

Mb = moderadamente fuerte: la mayoría de las plantas de cultivo no medran.

Ab = fuerte: generalmente con un contenido de álcali demasiado elevado para el desarrollo de las plantas de cultivo (12) (22).

#### LAS CONDICIONES FAVORÁBLES PARA LA FORMACION DE SUELOS SALINOS

- 1) Un nivel alto de agua freática con una concentración de sal bastante elevada.
- 2) Una temperatura alta.
- 3) Una lluvia escasa.

Bajo riego, los suelos salinos y sódicos (alcalinos) se han desarrollado por uno ó más de los diversos medios y se ha hecho así:

- 1) Cuando la aplicación excesiva del agua ha elevado el nivel del agua subterránea lo suficiente para permitir la concentración de sales del agua freática salina a través de la evaporación.

- 2) Cuando la filtración de canales, con escapes ó canales laterales que corren a un nivel más alto, se ha convertido en un nivel elevado de agua freática y suelos salinos y alcalinos.
- 3) Cuando el agua de riego tiene un alto contenido de sal.
- 4) Cuando un mal desague conserva las sales en el suelo superficial e impide la lixiviación de las sales.
- 5) Cuando el empleo del agua de riego es irregular, es decir, cuando produce inundaciones repentinas seguidas de sequía intensa. Cuando es limitado el suministro total de agua; esto dejaría también las sales en la zona de raíces.

#### IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE SALINIDAD

Si se sospecha por daños de salinidad, ésta debe ser determinada muestreando cuidadosamente el suelo explorado por las raíces de las plantas afectadas y determinar la conductividad eléctrica del extracto de saturación.

Si la salinidad está en cantidades dañinas al cultivo (Tabla 1) deben iniciarse medidas remediabiles (26).

#### SALINIDAD

Este factor sirve para agrupar a los suelos en diferentes clases de acuerdo con su concentración salina en el perfil, ya que pueden inhibir el desarrollo normal de los cultivos. La

cantidad de sales se cuantifica por medio de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo y este valor se expresa en mmhos/cm. La determinación debe realizarse en el laboratorio y la clave para su identificación es  $S_4$ .

Para cuantificar el problema de salinidad, es necesario que las muestras sean obtenidas hasta la profundidad de 60 cm como mínimo, ya que las sales se desplazan en el perfil del suelo a través del tiempo.

- Clase 1 - terrenos con conductividades eléctricas menores de 2 mmhos/cm , que no afecta el desarrollo de los cultivos.
- Clase 2/ $S_4$  - los suelos presentan conductividades eléctricas que varían de 2 a 4 mmhos/cm y restringen el desarrollo de algunos cultivos sensibles.
- Clase 3/ $S_4$  - la conductividad eléctrica del extracto de saturación fluctúa de 4 a 8 mmhos/cm restringiendo el rendimiento de muchos cultivos.
- Clase 4/ $S_4$  - terrenos con conductividades eléctricas que fluctúan de 8 a 16 mmhos/cm y solo permiten el desarrollo de cultivos resistentes a la salinidad.
- Clase 5,6, 7 y 8/ $S_4$  - los suelos tienen conductividades eléctricas mayores de 16 mmhos/cm y sólo permiten el desarrollo de algunos pastos halófitos y algunos matorrales muy resistentes a la salinidad (13).

Tabla 1. Relación entre salinidad y respuesta de los cultivos

SALINIDAD DEL EXTRACTO  
SATURADO  
(milimhos / cm a 25°C)

	Respuesta del cultivo
0 - 2	Efectos de salinidad insignificantes
2 - 4	El rendimiento de plantas muy sensitivas se restringe.
4 - 8	El rendimiento de la mayoría de los <u>cul</u> tivos se restringe.
8- 16	Solo cultivos tolerantes a sales rinden satisfactoriamente.
Más de 16	Solo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente.

#### SODICIDAD

Este factor permite agrupar a los suelos en diferentes clases ya que las variaciones de concentración de sodio modifican sus características físicas. Para conocer la magnitud del problema, es necesario determinar en el laboratorio el porcentaje de sodio intercambiable y con este dato proceder a su clasificación. La clave usada para este factor ( $S_5$ ) y sus rangos de variación para cada clase aparecen a continuación:

Clase de terreno	Variaciones en el porcentaje de sodio intercambiable
1	Menos del 10%
2/ $S_5$	10-15%
3/ $S_5$	15-40%
4/ $S_5$	40-60%
5,6,7,8/ $S_5$	más del 60%

Para cuantificar este factor es conveniente muestrear el suelo hasta los 60 cm, que es la porción donde se desarrolla el mayor número de raíces de los principales cultivos.

Para detectar este factor se recomienda muestrear los suelos a la profundidad de 0-30 y 30-60 cm en diferentes sitios y posteriormente cuantificar en el laboratorio el porcentaje de sodio intercambiable. Con este valor y con los rangos antes señalados se clasifica a los suelos para conocer la magnitud del problema (13).

Tabla 2. TOLERANCIA DE CIERTOS CULTIVOS AL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE ( P S I )

Variación del PSI que afecta el desarrollo	P.S.I.	Cultivo	Respuesta en el crecimiento bajo cond. de campo
Extremadamente	2-10	frutales de Nogales Cítricos Aguacate	Síntomas de toxicidad de sodio a bajo P.S.I.
Sensibles	10-20	Frijoles	Desarrollo limitado a bajo PSI independientemente de una estructura del suelo favorable.
Moderadamente sensible	20-40	Trébol Avena Festuca alta Arroz Pasto dallis	Desarrollo limitado debido a factores de nutrición y estructura desfavorable.
Tolerantes	40-60	Trigo Algodón Alfalfa Cebada Tomate(jitomate) Remolacha	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable
Muy tolerantes	60	Agropiro de Oenacho. Agropiro trueno. Agropiro alto. Pasto rhodes.	Desarrollo limitado, generalmente debido a estructura desfavorable.

## COMPOSICION DE LAS SALES SOLUBLES

Los principales constituyentes catiónicos de las sales solubles en los suelos salinos son el sodio, el calcio y el magnesio y aniónicos más significativos son: el sulfato, el cloruro y el bicarbonato. Entre los iónicos menos importantes se incluyen el potasio, el carbonato, el nitrato y otros en pequeñas cantidades. Dos constituyentes secundarios, que en ocasiones adquieren gran importancia por su toxicidad para las plantas, son el litio y el borato (4).

### ACUMULACION DE SALES EN LA SUPERFICIE DEL SUELO

La evaporación y transpiración consumen grandes cantidades de agua, pero no afectan prácticamente a las sales disueltas, por lo que aumentan la concentración salina de las aguas. En áreas donde predominan los factores salinizantes (evaporación y transpiración) frente a los de lavado, las aguas freáticas irán paulatinamente mineralizándose. "Por esta razón la mayor parte de las áreas salinas están situadas en regiones de clima árido.

Cuando las aguas freáticas salinizadas se encuentran próximas a la superficie del terreno (menos de 3 m), éste puede salinizarse como consecuencia del aporte capilar de sales procedentes del agua freática, que se acumula en los horizontes superiores.

Las sales así acumuladas pueden permanecer en la solución del suelo, en cuyo caso su principal efecto es dificultar el desarrollo de los cultivos.

En las zonas áridas, es importante mantener el nivel del manto freático de agua subterránea bajo con el fin de prevenir la acumulación de sales en la parte superior del perfil del suelo.

La concentración de sales del agua de drenaje en áreas de riego, puede ser de 2 a 10 veces más alto que en la concentración del agua de riego (1) (20) (27).

### SOLUBILIDAD DE LAS SALES

La sal que primero se precipita es el que tiene un coeficiente de solubilidad más pequeño (Meq/L).

Esta propiedad es muy importante por que, cuanto mayor es la concentración salina de la solución del suelo, mayor es su efecto perjudicial sobre los cultivos. Las sales más nocivas son las que tienen elevada solubilidad, ya que dan lugar a soluciones salinas muy concentradas; en cambio, las poco solubles precipitan antes de alcanzar los niveles perjudiciales.

En general, la solubilidad disminuye cuando lo hace la temperatura. Es importante conocer este hecho pues afecta a los lavados, que pierden efectividad en las épocas frías.

En soluciones complejas, en general, la presencia de sales con iones comunes disminuye la solubilidad de las sales. En cambio, cuando los iones son diferentes, suele aumentar el nivel de solubilidad de la sal menos soluble. Por ejemplo, la solubilidad del yeso, que es de 2,04 gr/1 en ausencia de ClNa se eleva a 7,09 gr/1 cuando hay 358 gr/1 de ClNa (20).

## EFECTOS DE LAS SALES SOLUBLES DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LAS PLANTAS

Millar et al., señalan que las altas concentraciones de sales neutras tales como el NaCl y NaSO<sub>4</sub>, pueden interferir con la absorción del agua por las plantas, debido a que producen una presión osmótica más alta en la solución del suelo que la que existe en las células de la raíz.

Por otra parte, Kelley, menciona que el daño causado a los cultivos por empleo de aguas salinas se debe a causas muy complejas, entre las que destacan las siguientes: altas concentraciones de sales solubles, tipo de sales, valores altos de la relación de adsorción de sodio (RAS), lluvia, aplicación insuficiente de agua para efectuar el lavado de las sales. Reporta además, que como resultado de la acumulación de solutos en la superficie de la raíz y en el espacio libre de la misma, se vió afectada su permeabilidad al agua.

Nieman, en un experimento en invernadero con 12 especies de plantas irrigadas con soluciones nutritivas a las que se le adicionó NaCl para producir 1,2,3,4, atm. de presión osmótica, observó el efecto de los potenciales osmóticos generados en algunos factores del crecimiento. Dicho autor, reporta que las especies tolerantes presentaron una variación muy pequeña comparada con plantas desarrolladas en solución nutritiva de control, mientras que en especies sensibles observó una severa depresión y muerte. Así mismo, señala que el NaCl incrementó la suculencia de las hojas de las plantas, y que estas no presentaron indicios de que el NaCl causara una disminución considera-

ble de la actividad fotosintética por unidad de área. Finalmente, señala que la respiración de las hojas fue más sensible al NaCl y tuvo una tendencia a incrementarse en ambas especies, las tolerantes y las sensibles.

Por su parte, Meiri et al, experimentaron con plantas de frijol bajo varios regímenes fluctuantes de salinidad en un intento de simular las condiciones de campo prevalientes en áreas afectadas. Observaron en todos los experimentos, que el crecimiento se retardó dependiendo del porcentaje de salinización y la duración de sometimiento a las condiciones salinas. Al pasar las plantas de un medio salino a uno no salino, resultó en una detención pasajera del crecimiento y en un incremento en el rango de respiración, pero esto no ocurrió en las plantas desarrolladas en el medio de control no salinizado.

En otro experimento con trigo reportado por Aceves et al, se encontró que diferentes concentraciones de aireación y niveles altos de salinidad (-4 atm) en el medio radical, causaron una inhibición en la producción de retoños y una reducción en la producción de materia seca.

Gauch y Wadleigh, llevaron a cabo un experimento con cultivo de frijol en una solución nutritiva, habiendo agregado a ella sales de NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> y MgSO<sub>4</sub>. Estos investigadores obtuvieron diferentes rendimientos en materia seca y explicaron que el menor rendimiento se obtuvo en las plantas expuestas a exceso de cloruro de magnesio, y sulfato de magnesio, comparadas con las que habían sido tratadas con exceso de

cloruro de calcio, cloruro de sodio y sulfato de sodio, lo que indicaba que el magnesio tiene algún efecto perjudicial específico que ni el sodio ni el calcio comparten en igual medida. Este resultado se apoyó con el argumento de que había magnesio en las sales que produjeron menores rendimientos y no había en las que produjeron rendimientos superiores (15).

#### TEORIAS PARA EXPLICAR LOS EFECTOS NOCIVOS DE LA SALINIDAD

Se han adelantado tres teorías para explicar diversos aspectos de los efectos nocivos de la salinidad del suelo; la de la disponibilidad de agua, la de la inhibición osmótica y la de la toxicidad específica (4).

##### A) Teoría de la disponibilidad de agua

Según esta teoría, las sales solubles en los suelos salinos aumentan la succión de los solutos del agua del suelo. Por tanto, disminuye el agua disponible para las plantas y éstas, por ende, sufren una deficiencia.

Un experimento llevado a cabo por Eaton (1941) aporta una prueba para la teoría de la disponibilidad de agua. Este investigador dividió raíces de plantas de maíz en dos partes iguales y las colocó en dos soluciones nutritivas que tenían igual proporción de las distintas sales pero diferían en concentración total. La succión de los solutos en la solución más diluida era de 0,3 bares y la de la solución más concentrada de 1.8 bares. Para evitar cualquier efecto secundario que pudiera resultar de

un crecimiento desigual, las dos partes del sistema radicular se colocaban cada dos días en forma alternada en cada solución. Las plantas absorbieron 171 y 319 ml de las soluciones que tenían succiones de solutos de 1.8 y 0.3 bares, respectivamente, y así demostraron que cuando la succión de los solutos era mayor había una reducción marcada en la absorción de agua.

Hayward y Spurr (1944) efectuaron otro tipo de ensayo en relación con la teoría de la disponibilidad del agua: cultivaron plantas de maíz en una solución en los que la clase y concentración de solutos variaban. Luego midieron la velocidad con que las raíces absorbían el agua durante 5,5 ó 6 horas, comenzando 30 minutos después de transferir las plantas a las nuevas soluciones. Comprobaron que la velocidad de absorción del agua disminuía a medida que aumentaba la concentración de cada soluto y que era sustancialmente independiente de la naturaleza de los solutos cuando las concentraciones se expresaban como succión de solutos de la solución.

La validez de esta teoría de la disponibilidad de agua como explicación suficiente del efecto perjudicial no específico de la salinidad del suelo en el crecimiento vegetal se puede cuestionar sobre la base de dos tipos de observaciones experimentales. Primero, si la solubilidad inhibiese la absorción de agua por las plantas, éstas deberían perder turgencia y debería ser menor la pérdida del agua por transpiración, por unidades de superficie foliar (4).

## B) Teoría de la inhibición osmótica

Según esta teoría, el exceso de solutos absorbidos del medio salino es el responsable de la inhibición en el crecimiento vegetal. Se postula además que las sales actúan en el interior de las plantas, aunque sin especificar la forma en que se inhibe el crecimiento.

La fuerza que permite al agua atravesar la membrana semipermeable de las células vegetales contra un gradiente de concentración salina es la presión osmótica o el denominado fenómeno de la Osmosis. El paso del agua de soluciones más diluidas hacia las más concentradas se produce hasta que la presión en ambos lados quede estabilizada. Así la presión osmótica puede definirse como la atracción que ejerce una solución sobre la solución de menor concentración, cuando están separadas por una membrana semipermeable. Es evidente que la presión osmótica dentro de las células de las raíces debe ser mayor que la de la solución del suelo para que tenga lugar esta atracción. Sin embargo en suelos salinos, tal condición no se cumple debido a que la presión osmótica de la solución del suelo es mayor que las células vegetales. En consecuencia la planta pierde agua, el citoplasma de las células se contrae separándose de la pared celular. A su vez, esta pierde su rigidez tornándose flácida. Como resultado el crecimiento cesa, la planta se marchita y sucede pronto la muerte.

La reducción de la asimilabilidad del agua se debe al aumento de la presión osmótica en la solución del suelo. Mientras

que la presión osmótica de la savia celular es, generalmente, de 10 a 20 atmósferas, la de la solución del suelo en una tierra sana en su punto de marchitamiento pocas veces alcanza las dos atmósferas. Sin embargo, si esta presión osmótica sube, la planta intenta mantener una diferencia de 10 atmósferas entre su savia y la solución del suelo por subir su propia presión osmótica.

La forma como responden las plantas a los efectos osmóticos es muy variada. Sin embargo para propósitos didácticos pueden ser divididos de acuerdo a su tolerancia en a) glucocitas o plantas sensibles a la salinidad y b) halofitas o plantas con gran tolerancia a la salinidad (Crocomo et al., 1965)

Aparte de los efectos osmóticos, la naturaleza dispersa de los suelos es un factor perjudicial para las plantas. Los suelos se vuelven sumamente compactos y encharcados, su espacio poroso casi desaparece y las plantas sufren todas las consecuencias de las condiciones anaeróbicas. La respiración y penetración de las raíces queda muy restringida y aumentan las enfermedades radiculares (4) (15) (19) (20).

### C) Teoría de la toxicidad específica

Según esta teoría, el efecto perjudicial de la salinidad del suelo sobre las plantas se debe a la toxicidad de uno o más iones específicos de las sales que se hallan en exceso. El caso más claro que corrobora la toxicidad se da cuando un micro elemento de alta toxicidad se halla presente como tal y no en

forma de sal.

Está determinado por el efecto específico de ciertos iones sobre el metabolismo de la raíz, cuando se hallan en altas concentraciones en la solución del suelo. Estos iones son  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y proporcionan los elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Existen elementos como el B y Li que pueden ser sumamente tóxicos aún en bajas concentraciones (Allison, 1966).

Esta cuestión ha sido muy estudiada pero no suficientemente esclarecida. Parece que la toxicidad de las sales no es debida al efecto directo de sus iones, sino a que éstos inducen alteraciones en el metabolismo, ocasionando la acumulación de productos tóxicos. Por ejemplo, el algodón en suelos salinos experimenta un cambio en el metabolismo del nitrógeno, con acumulación de  $\text{NH}_4$ , que tiene un efecto tóxico.

Parece que el efecto tóxico es más importante que el de la dificultad de absorción de agua cuando la salinidad no es excesiva. En suelos salinos, en cambio, la elevada presión osmótica es el factor principal.

La distinción entre el efecto osmótico y el efecto tóxico es bastante difícil por cuanto las reacciones de las plantas a estos 2 efectos ocurre simultáneamente. Sin embargo, se puede considerar que el efecto tóxico se debe a la concentración de un ion.

Cloro. Se puede acumular en las hojas hasta 1 ó 2 % de su peso seco, cuando la concentración del suelo fluctúa entre 700

a 1500 ppm. A dichas concentraciones se presentan quemaduras marginales en las hojas, muerte de los brotes y aún muerte de la planta.

Na. La acumulación de sodio en las hojas en cantidades mayores de 0.05% del peso seco produce síntomas similares de quemaduras y fuertes saños (Allison, 1965) (4) (15) (20).

#### EFFECTOS DE LAS SALES SOBRE LA NUTRICION

La salinidad puede inhibir el desarrollo de las plantas debido a una alteración en la nutrición. Las necesidades de las plantas son muy variables en cuanto se refiere a sus requerimientos de nutrientes. Existe cierta selectividad específica en la absorción de iones; es por eso que el efecto de la salinidad sobre la nutrición difiere marcadamente de una especie a otra.

En general, los mayores efectos están relacionados con el antagonismo iónico.

Así el bajo contenido de  $CO_2$  en suelos alcalinos calcareos puede causar baja disponibilidad del P para las plantas.

El potasio, en particular, ejerce en determinadas circunstancias una acción antagonista marcada sobre la absorción de calcio.

Hay inversamente sustancias que actúan de manera favorable sobre la asimilación de otros elementos salinos.

Todo esto, que puede observarse con cierta facilidad en cultivos artificiales de laboratorio, es muy complejo en las

condiciones naturales. Su conocimiento reviste una gran importancia para la práctica puesto que, según el predominio o la ausencia de un elemento en el agua del suelo, la nutrición de la planta puede ser profundamente modificada (15) (25).

### TOXICIDADES DE LOS MICROELEMENTOS

Existen elementos como el boro y Li que pueden ser sumamente tóxicos aún en bajas concentraciones.

#### a) Toxicidad por Boro.

El boro se encuentra con frecuencia en cantidades excesivas con las sales. Por lo general, está en forma de borato sódico y como es soluble en agua, se acumula de manera parecida a cualquier otra sal soluble. Las cantidades excesivas son muy venenosas para las plantas y la toxicidad del boro con frecuencia se presenta al mismo tiempo que la salinidad. Aunque todas las plantas necesitan pequeñas cantidades de boro para su crecimiento normal, las concentraciones de boratos en la solución del suelo por encima de 1 ó 2 ppm pueden ser tóxicas y deben ser corregidas. Los síntomas de toxicidad del boro más frecuentes se manifiestan por un desarrollo de clorosis en los márgenes de las hojas que se va extendiendo hacia adentro a medida que aumenta la toxicidad. Donde quiera que ocurran estos síntomas, en una área suceptible a la salinidad, debe sospecharse la presencia de boro.

Hay una gran variación en la tolerancia de las plantas, tanto a la salinidad como al boro. Las plantas jóvenes son más sensibles que las adultas (19) (23).

Tabla 3. Tolerancia de algunos cultivos al boro

Tolerantes	Semitolerantes	Sensibles
Espárragos	Patata	Peral
Palma datilera	Tomate	Manzano
Remolacha azucarera	Olivo	Vid
Alfalfa	Maíz	Melocotón
Gladiolo	Batata	Albaricoque
Judías	Límero	Naranja
Cebollas	--	Aguacate
Nabos	--	Pomelo
Repollos	--	Limón
Lechuga	--	--
Zanahoria	--	--

## b) Toxicidad por litio.

Este elemento se ha descubierto en un número considerable de fuentes de agua de riego, en California, en cantidades suficientes como para resultar tóxico para plantas tales como las cítricas, aguacateros y frijoles. Por tanto los métodos para determinar su contenido en aguas, extractos de suelos y plantas han adquirido una importancia cada vez mayor.

El contenido total de litio en las hojas secas de las plantas cítricas va de una fracción a más de 10 ppm.

El contenido de litio en algunas aguas de riego de California va de menos de 0.1 a varias partes por millón (10).

Tabla 4. Cultivos afectados por iones específicos

Ión	Frutales	Hortalizas	Cultivos extens.
$\text{Na}^+$	Almendro Aguacate Cítricos Melocotón Vid	Judía Fresa	Maíz
$\text{Ca}^{++}$	Frutales de hueso	Hort. en verde	Lino
$\text{Cl}^-$	Aguacate Cítricos Frutales de hueso Vid	Patatas Fresa	Tabaco
$\text{SO}_4^{=}$	Plátano	Lechuga	
$\text{CO}_3\text{H}^-$		Judía	
$\text{NO}_3^-$			Remolacha azu <u>ca</u> rera Caña de azúcar

## PLANTAS HALOFITAS

A medida que aumenta la concentración salina de la solución del suelo, aumenta su presión osmótica y llega un momento en que las raíces de las plantas no tienen la fuerza de succión necesaria para contrarrestar esa presión osmótica y, en consecuencia, no absorben agua del suelo. Tanto es así que el carácter de halofitismo (tolerancia a habitat salinos) se debe a adaptaciones morfológicas o fisiológicas de las plantas que les permiten absorber agua de soluciones de elevada presión osmótica.

ciones de alta concentración salina. Aparentemente este hecho está relacionado con la regulación del mecanismo osmótico.

Algunas plantas halofitas pueden desarrollar presiones osmóticas de 50 atm o más por concentración de sales o azúcar en la vacuola.

Salicornia herbácea puede crecer en suelos muy salinos debido a que su plasma celular es muy permeable a las sales y al hecho de que acumula grandes cantidades de sales en sus órganos, con lo cual eleva la presión osmótica interior, que se aproxima a la de la solución del suelo, facilitando la absorción de agua (6) (15) (20) (21).

#### TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS A LAS SALES

En general, la tolerancia de las plantas a las sales varía en función de las especies y variedades, del tipo de suelo, del clima y de las condiciones de manejo.

Hayward y Wadleigh, señalan que la tolerancia de cada especie y variedad vegetal a la salinidad del suelo, aumenta con su capacidad de adaptación a una alta succión interna de solutos y disminuye con su sensibilidad a esta adaptación. Asimismo, reportan que las plantas originarias de ambientes salinos tienen al mismo tiempo una notable capacidad de adaptación y una sensibilidad restringida, que algunas de estas plantas, conocidas como halofitas, por lo general se desarrollan en potenciales de 30 a 40 bars y pueden crecer mejor en suelos salinos que en los que no lo son. Finalmente reportan, que las plantas cultivadas

también tienen bastante capacidad para adaptarse a las sales aunque en menor grado que las halofitas, pero son más sensibles durante el período de adaptación.

Muchas plantas son bastante insensibles a la salinidad durante sus últimas etapas de crecimiento; no obstante son muy sensibles durante la germinación (muchas de las plantas cultivadas son especialmente sensibles a la salinidad del suelo durante el período de germinación de las semillas. Esta sensibilidad se presenta incluso para plantas que son relativamente tolerantes frente a las sales durante períodos ulteriores de su crecimiento, pudiendo citarse como ejemplos la remolacha azucarera y la alfalfa).

Por consiguiente, mediante un primer riego bastante fuerte, para deslavar las sales de la superficie sembrando en zonas en las que el contenido de sales sea mínimo se pueden establecer muchos cultivos sensibles.

Aunque la composición del agua es el factor fundamental para su clasificación, las condiciones de empleo dependen en gran parte de las características de tolerancia de la propia planta.

Muchos autores incluyen en sus obras listas de plantas con su grado de resistencia a la salinidad (11) (15) (17) (18) (28).

Tabla 5. Tolerancia relativa de los cultivos a la sal

Mucha tolerancia a la sal	Tolerancia media a la sal	Poca tolerancia a la sal
	Cultivos extensos	
Cebada (grano)	Trigo (grano)	Frijol (de campo)
Remolacha azucarera	Arroz	
Algodón	Sorgo (grano)	
	Maíz	
	Lino	
	Girasol	
	Higuera	
	Cultivos para forraje	
Zacatón alcalino	Trébol dulce, blanco	Trébol blanco
	Alfalfa	
	Frutas	
Dátil	Granada	Pera
	Higo	Manzana
	Aceituna	Naranja
	Uva	Toronja
	Melón de cáscara rugosa	Ciruella
		Albaricoque
		Fresa
		Limón
		Aguacate
	Vegetales	
Acelga	Tomate	Rábano
Col	Brécol	Apio
Espárrago	Repollo	Judías verdes
Espinaca	Coliflor	
	Lechuga	
	Maíz tierno	
	Zanañoria, etc.	

NOTA: En cada grupo, las plantas nombradas primero son más tolerantes y las últimas son las más sensibles a la sal.

#### CRITERIO DE TOLERANCIA A LAS SALES

La tolerancia de los cultivos, se expresa típicamente como la disminución en la producción en un nivel dado de salinidad comparada con la producción bajo condiciones no salinas.

La obtención de los datos confiables de tolerancia a las sales, requiere de mediciones apropiadas de las respuestas del suelo salino y las plantas, de tal manera que la reducción en los rendimientos puedan correlacionarse con los aumentos en salinidad.

Los factores primarios de salinidad que influyen en el conocimiento de la planta son la clase y la concentración de sales presentes en la solución del suelo.

La mayoría de los cultivos responden a la salinidad como una función de la concentración total de sales o del potencial osmótico del agua del suelo, sin importar la clase de sales presentes. Sin embargo, algunas plantas herbáceas y la mayoría de las leñosas son susceptibles de toxicidad para un ión específico. Por ejemplo, muchas frutas y moras son susceptibles a daños por cloro y sodio.

El único criterio agronómico, importante para establecer tolerancia a las sales, es el rendimiento comercial de los cultivos. El crecimiento vegetativo, aunque a menudo se usa, no siempre es confiable para predecir rendimientos de semillas.

o frutos. El rendimiento en grano de arroz y maíz puede reducirse en forma considerable sin afectar apreciablemente el rendimiento de paja. Con otros cultivos, por ejemplo cebada, trigo, algodón y algunos pastos tolerantes, la producción de grano o fibra disminuye mucho menos que la del crecimiento vegetativo.

En cultivos subterráneos, los rendimientos de las raíces almacenadoras disminuyen mucho más que las de cultivos de raíces fibrosas (2).

#### FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TOLERANCIA A LAS SALES

La tolerancia a la sal es un valor relativo basado en las condiciones climáticas y culturales bajo las cuales el cultivo se desarrolló. Tolerancias absolutas que puedan predecir las respuestas fisiológicas inherentes de las plantas, no pueden determinarse por que hay muchas interacciones entre plantas, suelo, agua y factores que influyen en la habilidad de las plantas para tolerar sales (2).

1. Factor planta
2. Factor Suelo
3. Factor agua
4. Otros factores ambientales.

#### 1) Factor planta.

La sensibilidad de las plantas a la salinidad varía a medida de una etapa de crecimiento a otra. Por ejemplo, cebada, trigo, maíz y arroz son más sensibles durante la emergencia y

formación de grano, que durante la germinación y etapas posteriores al crecimiento y desarrollo de grano. En contraste, la remolacha y cártamo son más sensibles durante la germinación. Para evitar problemas en las etapas sensibles del crecimiento, es necesario conocer la tolerancia a las sales en estas etapas específicas de cada cultivo y usar las prácticas de manejo adecuadas para reducir la salinidad (2).

## 2) Factor suelo.

La fertilidad del suelo interacciona con la salinidad para afectar la tolerancia aparente de muchos cultivos. Los cultivos se han visto generalmente más tolerantes cuando se desarrollan en condiciones de poca fertilidad, cuando se comparan con los cultivos que crecen sobre suelos fértiles, pero únicamente porque los rendimientos disminuyen más por una nutrición inadecuada bajo suelos no salinos que bajo suelos salinos. Aunque la fertilización aumenta los rendimientos en suelos poco fértiles, usualmente no tiene efecto en la tolerancia relativa por que el rendimiento aumenta proporcionalmente más en suelos no salinos. A menos que la salinidad cause problemas nutricionales, la fertilización en exceso comparada con la requerida por suelos no salinos, usualmente tiene pocos efectos benéficos y puede de hecho, agravar los efectos de la salinidad. Otros factores del suelo que pueden influir en la tolerancia de los cultivos son: el potencial matricial del suelo, la lámina de lavado, aireación deficiente del suelo y mantos freáticos elevados (2) (15).

### 3) Factor agua.

Entre más salina sea el agua del suelo, más frecuente se debe hacer el riego con el objetivo de minimizar el efecto de las sales sobre la planta (15).

### 4) Otros factores ambientales.

El clima puede influir de una manera muy significativa sobre la respuesta de las plantas con respecto a la salinidad. Entre los factores climáticos de mayor importancia podemos mencionar la temperatura, H.R. pp y la evaporación.

Muchos cultivos parecen ser menos tolerantes cuando crecen en climas secos y calientes que en climas fríos y húmedos.

Estudios de ambiente controlado indican que la contaminación atmosférica puede aumentar la tolerancia de muchos cultivos (2).

## EVALUACIONES DE TOLERANCIA A LAS SALES

La tarea más difícil al evaluar datos de tolerancia de los cultivos a las sales, es tomar en cuenta los muchos factores que pueden influir en la respuesta de las plantas a la salinidad.

No obstante las dificultades al evaluar y unificar el gran número de datos publicados en el mundo entero, se han recopilado y revisado todos los datos disponibles de tolerancia a las sales desde los últimos 30 años para presentar una mejor contribución de la tolerancia relativa de cultivos agrícolas. En general, se consideraron únicamente datos que correlacionaron el

rendimiento con el total de sales solubles en el medio radical. No se evaluaron condiciones de suelos sódicos, toxicidades a iones específicos, ni efectos nutrimentales. Desafortunadamente el crecimiento vegetativo se tuvo que usar para algunos cultivos de frutales y enredadera (vid) debido a la falta de datos de rendimiento.

Se desecharon los experimentos que no tuvieron un control adecuado de los factores que influyeron en la tolerancia a las sales, tampoco se consideraron aquellos reportes que no mencionan los factores que no se tomaron en cuenta al hacer las evaluaciones de tolerancia. Para facilidad de interpretación, todos los valores de salinidad se transformaron a  $CE_3$  y todos los datos de rendimiento se convierten a porcentajes, asignándole al tratamiento testigo un valor de 100%.

Los datos de tolerancia a las sales para 61 cultivos se presentan en las figuras 1-8. En general, los rendimientos no disminuyeron significativamente hasta que un nivel límite de salinidad se excedió, y entonces los rendimientos comenzaron a disminuir aproximadamente en forma lineal a medida que la salinidad aumentaba después de dichos límites. La curva de tolerancia a las sales para cada cultivo, se obtuvo al calcular una ecuación de regresión lineal para los datos de rendimiento después del límite de salinidad para cada experimento individualmente. Cuando se tomó en consideración más de un experimento para determinar la tolerancia de un cultivo a las sales, los valores de la pendiente y la intersección de la recta, para varios experimentos, se promedió.

El rendimiento relativo (RR) a una salinidad dado del suelo ( $CE_s$ ) se puede calcular mediante la ecuación:

$$RR = \frac{100 (CE_0 - CE_s)}{CE_0 - CE_{100}}$$

donde  $CE_{100}$  es el valor del límite superior de salinidad ( $CE_s$  donde  $RR = 100\%$ ) y  $CE_0$  es la salinidad de rendimiento cero ( $CE_s$  donde  $RR = 0$ ). Los valores para  $CE_{100}$  y  $CE_0$  para un cultivo dado pueden tomarse de la figura adecuada. Usando a la alfalfa como ejemplo, se tiene que  $CE_{100} = 2$  mmhos/cm y  $CE_0 = 15.7$  mmho/cm (figura 3), entonces a una salinidad de 5.4 mmho/cm, el rendimiento relativo será:

$$RR = \frac{100 (15.7 - 5.4)}{(15.7 - 2.0)}$$

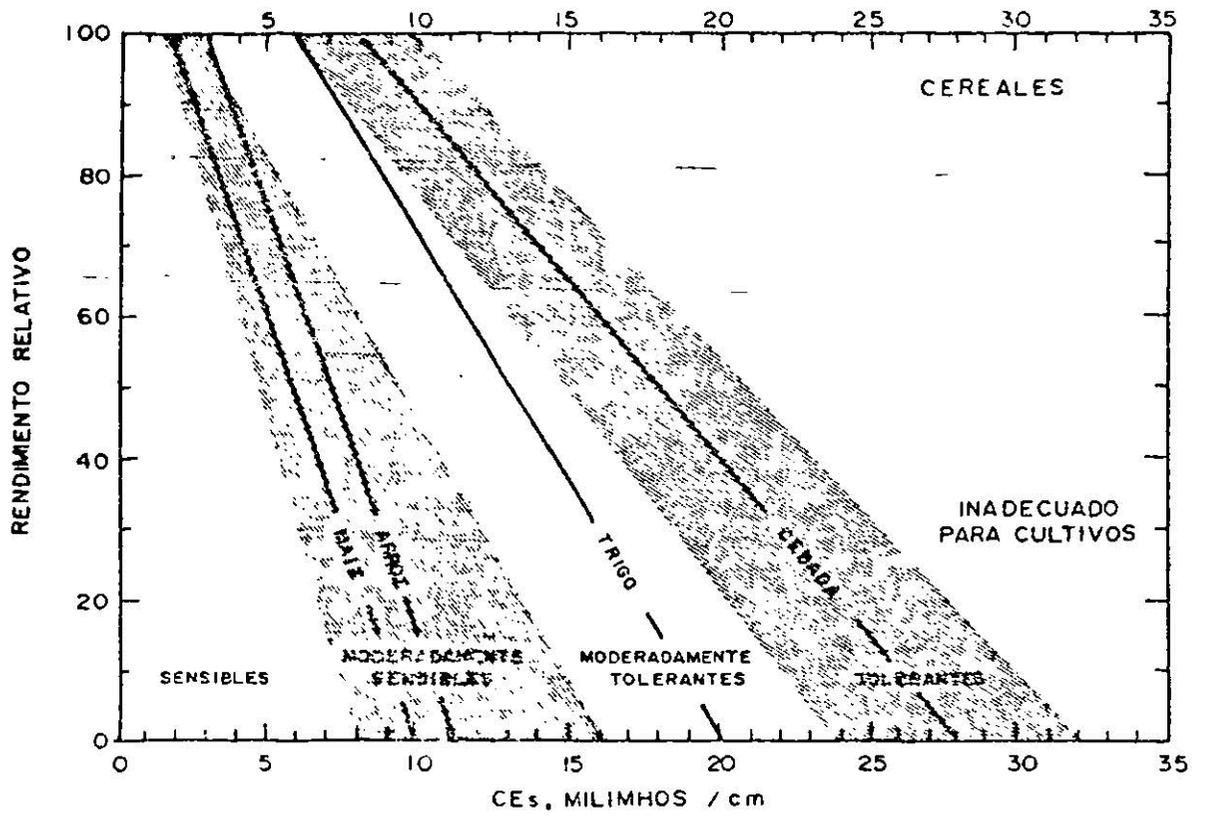
$$RR = 75\%$$

Resumiendo, se enfatiza que estos datos o información, no representan tolerancias absolutas a las sales e independientes de otros factores, sino que constituyen una guía para tolerancias relativas entre varios cultivos. Mientras que la tolerancia absoluta varía con el clima, prácticas culturales, y otras variables, la tolerancia relativa deberá aplicarse a la mayoría de las condiciones (2).

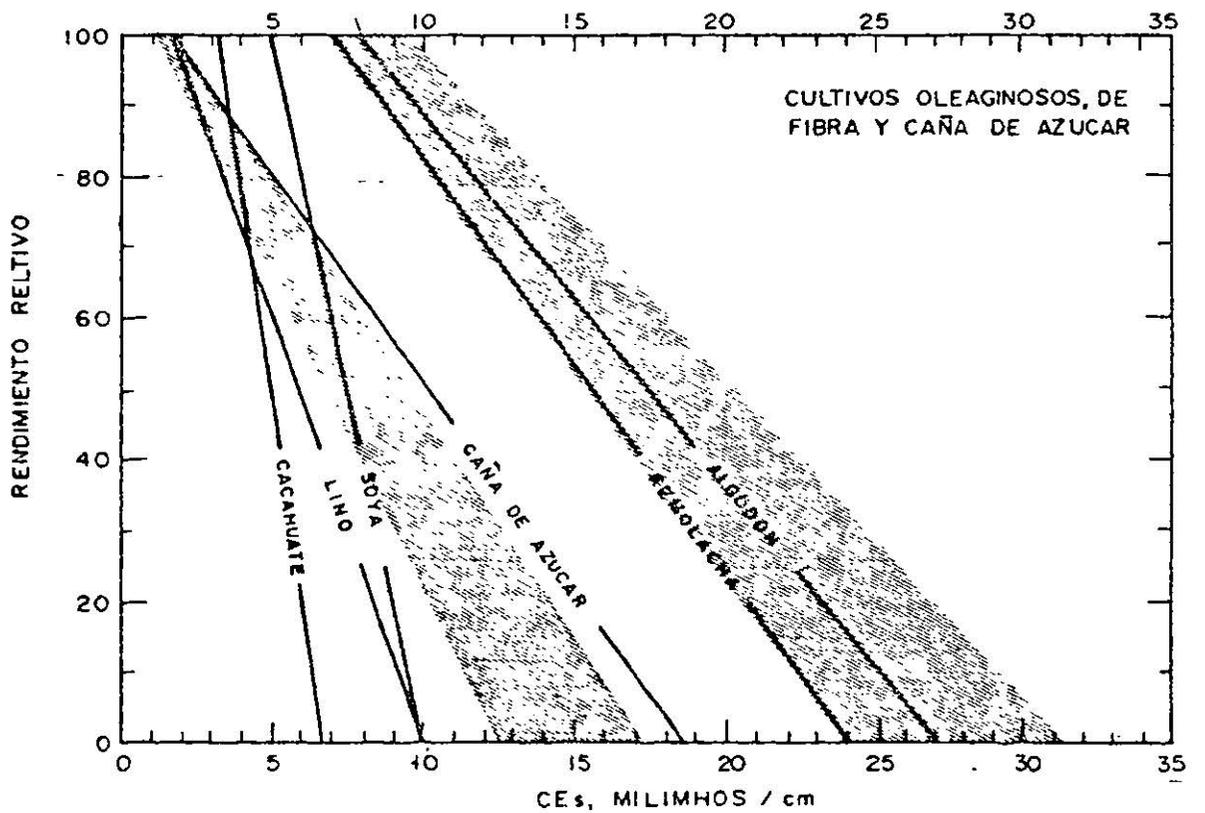
Tabla 6. RENDIMIENTOS RELATIVOS (%) A UNA SALINIDAD DADA DEL SUELO

CULTIVO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA MILLIMOS / CM.											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Maíz	100	75	50	25	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Soya	100	100	80	40	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Algodón	100	100	100	100	89	79	68	57	47	36	26	15
Frijol	80	40	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Tomate	100	85	65	45	25	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Caña de azúcar	100	83	71	60	48	37	20	14	-0-	-0-	-0-	-0-
Naranja y Toronja	100	66	33	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Maíz forrajero	100	85	69	54	38	23	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
Pasto bermuda	100	100	100	93	81	68	55	42	29	16	-0-	-0-
Sorgo	100	100	93	77	64	52	39	26	13	-0-	-0-	-0-
Cártamo	100	100	93	77	64	52	39	26	13	-0-	-0-	-0-

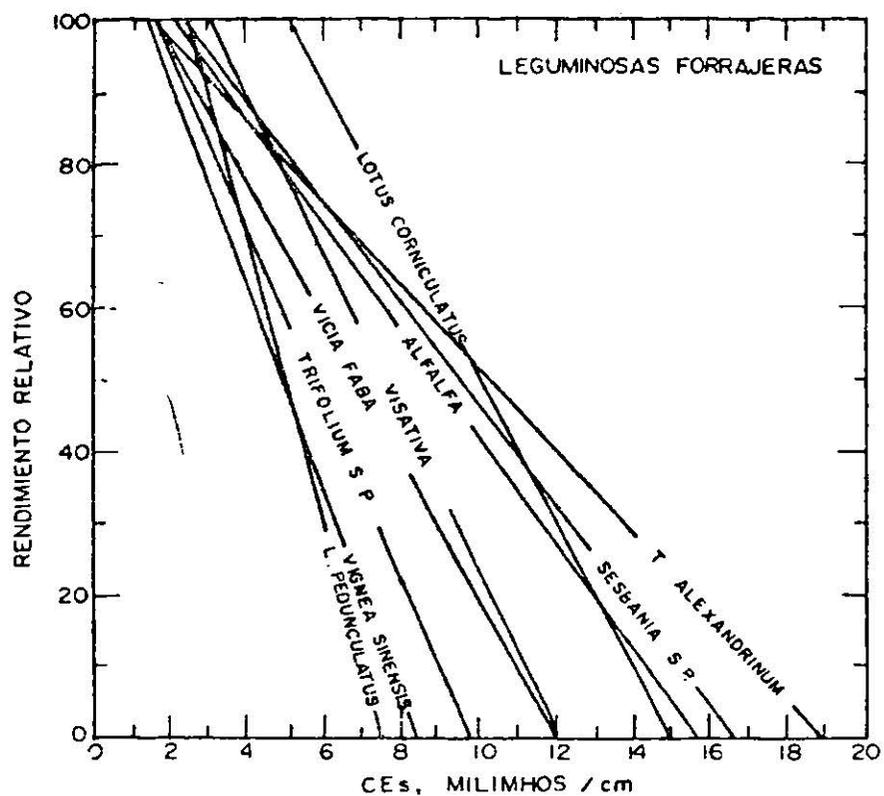
Nota: El sorgo y el cártamo son cultivos moderadamente tolerantes a las sales y tienen un rango de salinidad de 3 al 6 de C.E. en el cual se obtiene el 100% de su rendimiento y un rango de salinidad del 16 al 24 de C.E. en el cual se obtiene el 0% de cosecha.



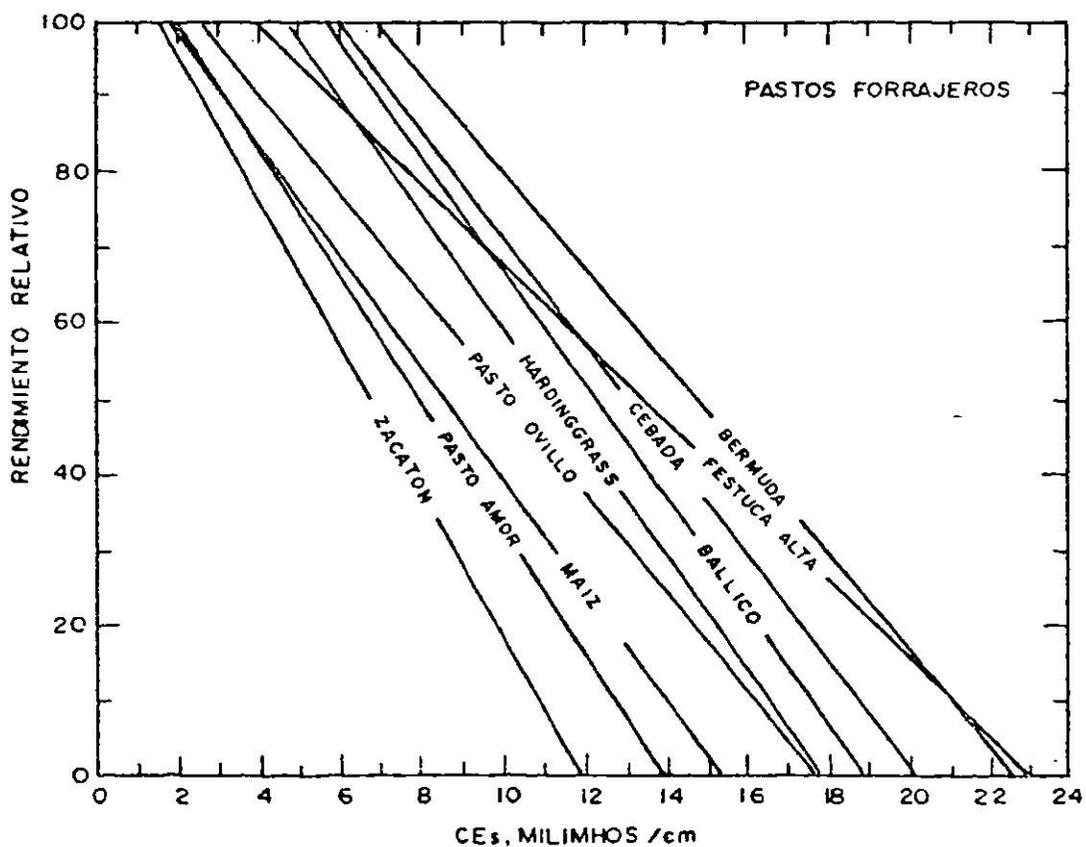
Tolerancia de los cereales a las sales



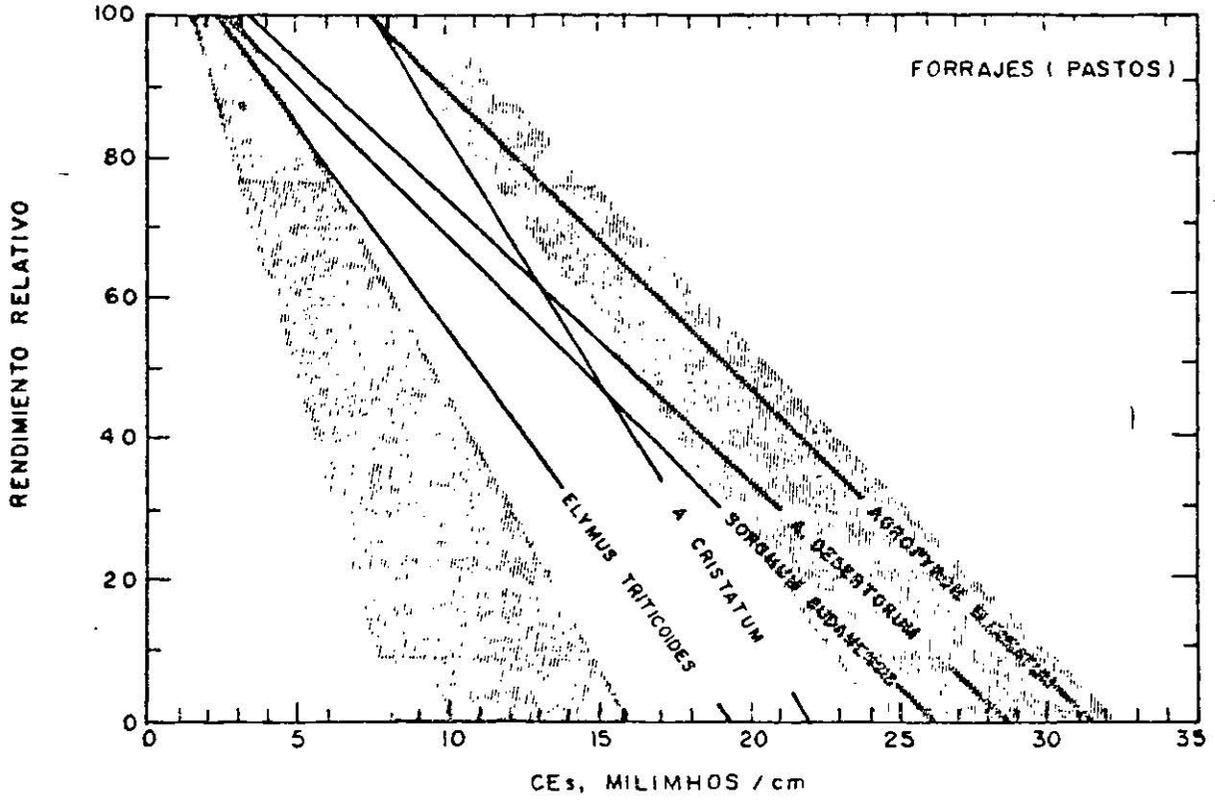
Tolerancia de la caña de azucar, fibras y oleaginosas a las sales



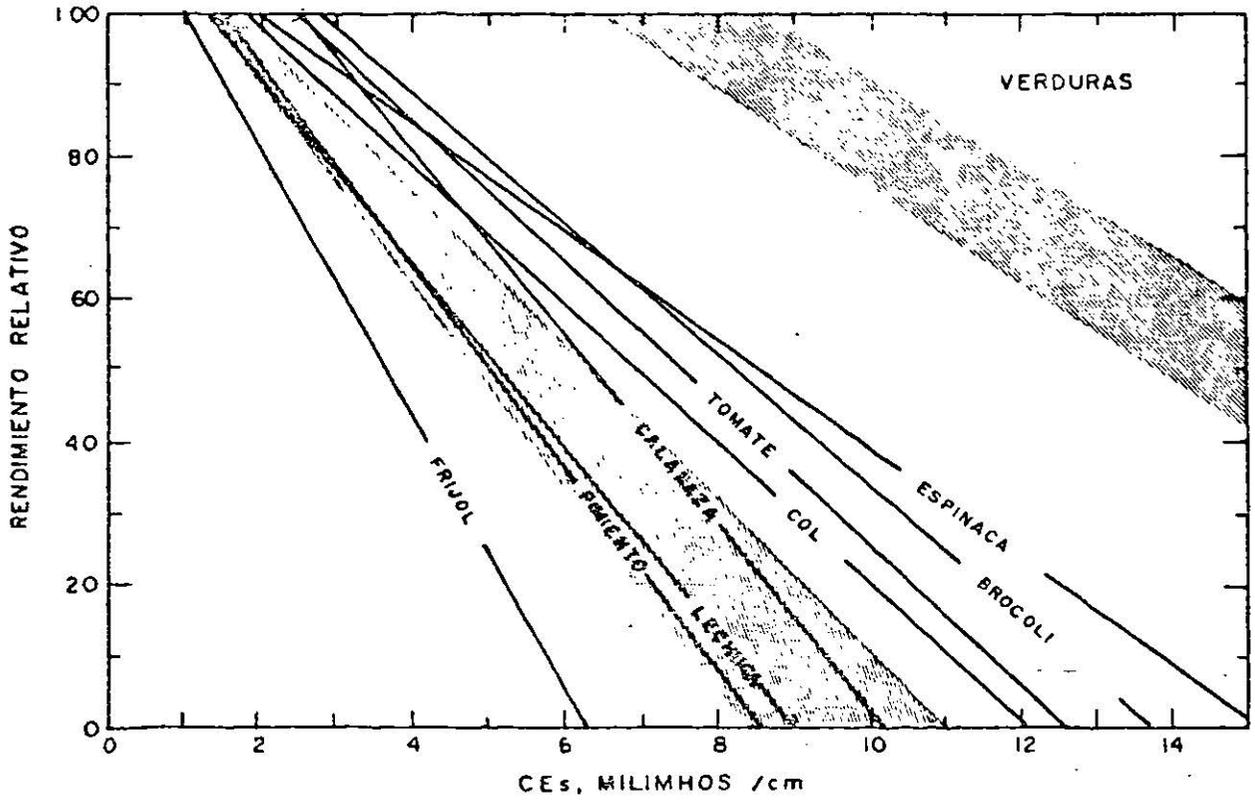
Tolerancia de las forrajeras (Leguminosas) a las sales



Tolerancia de las forrajeras (Pastos) a las sales



Tolerancia de los forrajes (Pastos)



Tolerancia de las verduras a las sales

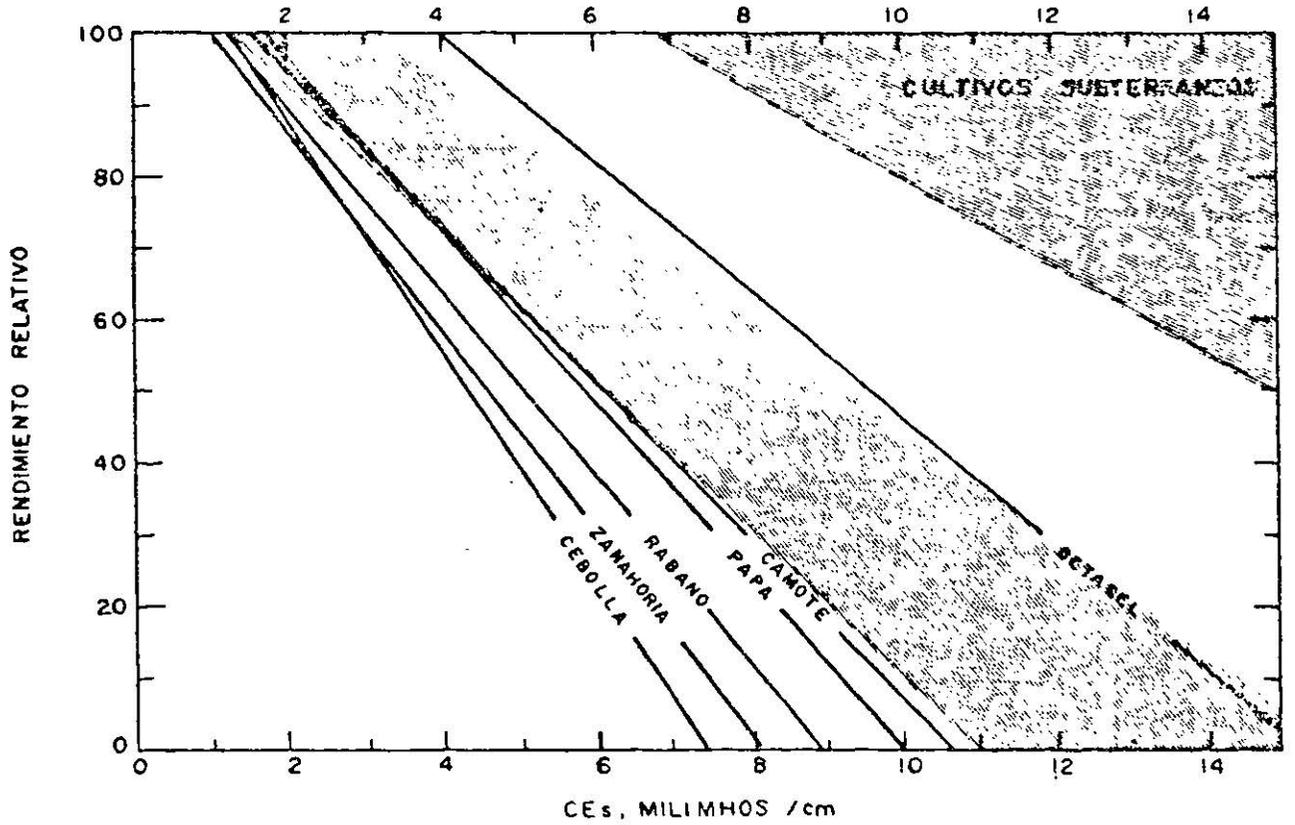


Figura 7. Tolerancia de los cultivos subterráneos a las sales

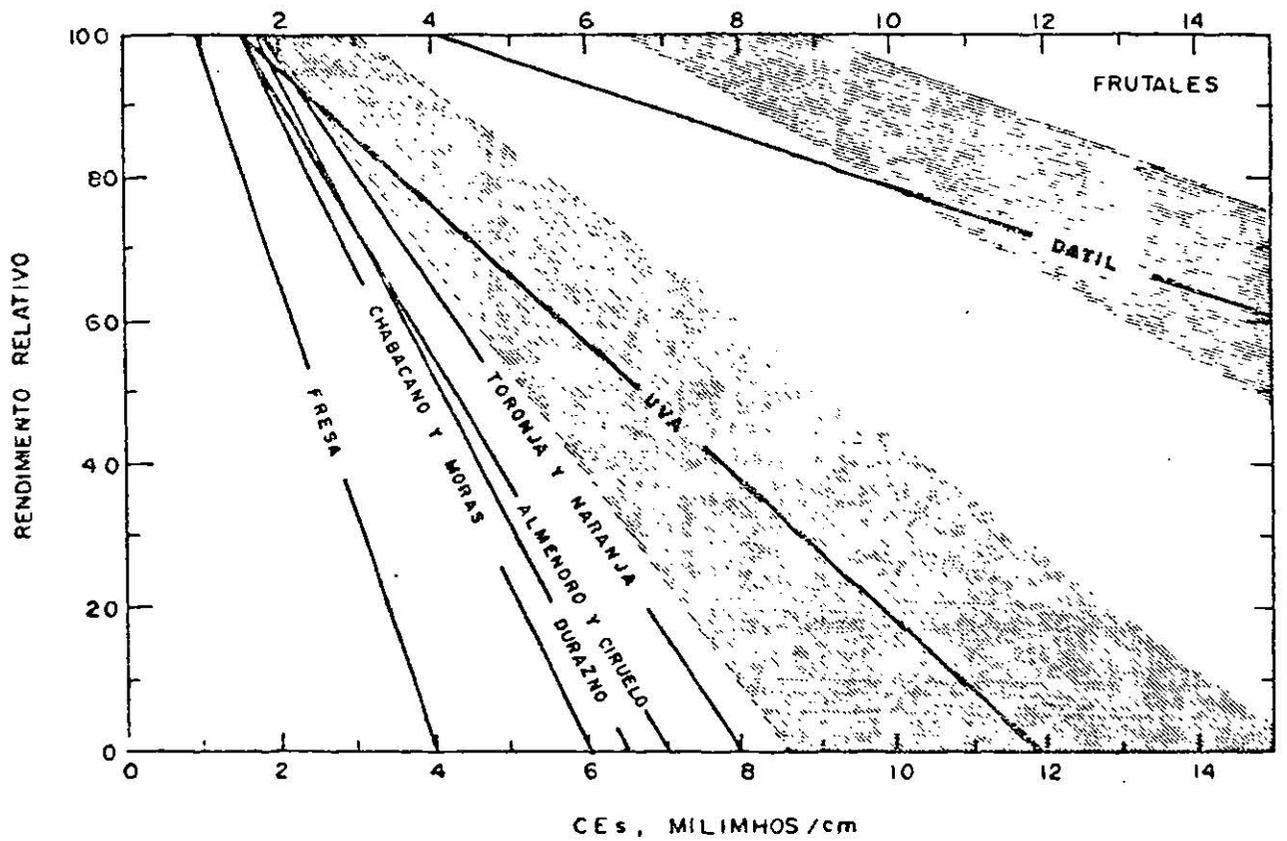


Figura 8. Tolerancia de frutales a las sales

## MANEJO DE LOS SUELOS CON PROBLEMAS DE SALINIDAD y/o SODICIDAD

Estos problemas pueden presentarse en forma aislada o conjunta, de tal manera que en el aspecto de manejo se tratará lo relativo a suelos salinos y suelos sódicos o salino-sódicos.

Cuando los suelos presentan conductividades eléctricas del orden de 2 a 16 mmhos/cm, y que se agrupan dentro de las clases segunda, tercera y cuarta, las prácticas de manejo que se recomiendan son:

- a) Desarrollar plantas tolerantes a diferentes concentraciones salinas; por ejemplo, entre los cultivos poco tolerantes que resisten hasta 4 mmhos/cm, se tienen el manzano, durazno, aguacates, ejotes, tréboles, rábanos; entre los medianamente tolerantes (que resisten hasta 12 mmhos/cm) se enlistan el melón, vid, jitomate, lechuga, trigo, avena, sorgo, maíz, chile; y entre los tolerantes (que resisten más de 16 mmhos/cm) están el algodón, zacate salado, palma datilera, etc.

Para los suelos de quinta a octava clases, que tienen un alto contenido de sales (conductividades superiores a 16 mmhos/cm) se recomiendan las prácticas que a continuación se mencionan:

- a) Establecer cultivos tolerantes que soportan concentraciones salinas mayores de 16 mmhos/cm.
- b) Realizar, de ser posible, los lavados del suelo con apoyo de un sistema de drenaje eficiente para desplazar las sales fuera del radio de acción de las raíces. Los riegos deben eliminar sal en la misma proporción en que se adiciona al suelo.

Para el manejo de los suelos sódicos, donde los porcentajes de sodio intercambiable fluctúan de 10 a más de 60, y que se agrupan en las clases segunda a octava, conviene aplicar mejoradores como: yeso, azufre, ácido sulfúrico, polisulfuro de calcio, sulfato de fierro, etc.

La cantidad de cada uno de estos materiales estará en función de las características del suelo y del porcentaje de sodio intercambiable por desplazar.

Una vez incorporados estos mejoradores en la capa arable del suelo, deben efectuarse los lavados con un previo apoyo del sistema de drenaje.

Esta práctica debe estar supervisada por técnicos versados en estos problemas.

Los factores limitantes antes discutidos, no siempre se presentan en forma aislada, sino que en muchos casos, limitan a los suelos en conjunto; por tal razón, es conveniente puntualizar el efecto más importante para atacarlo con prácticas específicas y posteriormente continuar con los factores de menor jerarquía hasta llegar a complementar un eficiente manejo del suelo.

Por ejemplo, en regiones donde los terrenos presentan problemas de topografía, erosión y profundidad del suelo, en ese orden jerárquico, es conveniente atacar inicialmente lo referente a topografía, después al factor erosión de los suelos y posteriormente la profundidad del suelo.

No debe olvidarse que al hacer referencia de las prácticas

de manejo, algunas de ellas, tienen efectos diversos y pueden mejorar a los suelos afectados por varios factores limitantes (13) (16).

## BIBLIOGRAFIA

1. Anónimo 1974. Cuarto curso de drenaje de tierras agrícolas. 3 ed. corregida y aumentada CENDRET.
2. Anónimo 1980. Tolerancia de los cultivos a las sales. Departamento de irrigación. Chapingo, México.
3. Allison, L.E. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa. México.
4. Black, C.A. 1975. Relaciones suelo-planta. Tomo I. Editorial Hemisferio Sur.
5. Bonneau M., Jacquín F., Souchier B. 1975. Manual de Edafología. Toray-Masson, S.A. Balmes, 151. Barcelona-8.
6. Bonner J. y Galston A.W. 1970. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones Aguilar.
7. Bonnet J.A. 1960. Edafología de suelos salinos y sódicos. Estación Experimental Agrícola. Universidad de Puerto Rico.
8. Buckman H.O. y Brady N.C. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simón, S.A. Barcelona.

9. Buol S.W., Hole F.D., McCracken R.J. 1981. Génesis y clasi  
ficación de suelos. Ed. Trillas. México.
10. Chapman H.D. y Pratt P.F. 1973. Métodos de análisis para  
suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México.
11. Diehl R., Mateo B. y Terron P.U. 1973. Fitotecnia General.  
Ediciones Mundi-Prensa.
12. Fassbender H.W. 1975. Química de suelos. Turrialva, Costa  
Rica.
13. Fernández L.E. 1974. Manual de conservación del suelo y del  
agua. Manejo de suelos. Capítulo III. Colegio de Post-  
graduados, Chapingo. México.
14. Grimaldi A. 1969. Agronomía. Editorial Aedos-Barcelona.
15. Hermogenes E.M. 1979. Reversibilidad de los daños produci-  
dos por salinidad a las plantas de jitomate (Licoper  
sicum sculentum). (tesis) Colegio de Postgraduados.  
Chapingo. México.
16. Israelsen O.W. 1963. Principios y prácticas del riego. Edi-  
torial Reverte, S.A. Barcelona.
17. Jackson M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Ediciones  
Omega, S.A. Barcelona Tercera Edición.

18. Larqué S.A. 1980. Fisiología Vegetal Experimental. El agua en las plantas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
19. López R.J. y López M.J. 1978. El diagnóstico de suelos y plantas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-1.
20. Pizarro A. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora Agrícola Española, S.A. Madrid.
21. Rojas G.M. 1972. Fisiología Vegetal Aplicada. Libros McGraw-Hill.
22. Storie R.E. 1970. Manual de evaluación de suelos. Uthea. Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana.
23. Street H.E. 1969. Metabolismo de las plantas. Editorial Alhambra, S.A.
24. Tamhane R.V. , Motiramani O.P. y Bali Y.P. 1978. Suelos: Su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana. México.
25. Través S, Guillermo. 1962. Abonos. Editorial Síntesis. Barcelona.
26. Vega G.J.D. 1976. Curso de uso y manejo de agua. I.T.E.S.M. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas Depto. de suelos e ingeniería agrícola.

27. Winter E.J. 1977. El agua, el suelo y la planta. Editorial Diana. México.
28. Withers B. y Vipond S. 1978. El riego: diseño y práctica. Ed. Diana.

007159

FE DE ERRATAS.

PAG. 2. 2do. párrafo. renglón # 8  
dice: enrosacadas  
debe decir: enroscadas

PAG. 4. 1er. párrafo. renglón # 8  
dice: survos  
debe decir: surcos

PAG. 4. 1er. párrafo. renglón # 10  
dice: evaportarse  
debe decir: evaporarse

PAG. 5. 6to. párrafo. renglón # 7  
dice: sultados  
debe decir: sulfatos

PAG. 13. 3er. párrafo. renglón # 4  
dice: conductividades  
debe decir: conductividades

PAG. 18. 2do. párrafo. renglón # 1  
dice: meciona  
debe decir: menciona

PAG. 19. 1er. párrafo. renglón # 2  
dice: fupe  
debe decir: fué

PAG. 20. 2do. párrafo. renglón # 2  
dice: novicos  
debe decir: nocivos

ENCUADERNACIONES MODERNAS  
Calle de Montevideo 638 Nte.  
Tel. 74-02-59

PAG. 24. 1er. párrafo. renglón # 5  
dice: le  
debe decir: el

PAG. 24. 3er. párrafo. renglón # 1  
dice: sificientemente  
debe decir: suficientemente

PAG. 24. 4to. párrafo. renglón # 3  
dice: escesiva  
debe decir: excesiva

PAG. 25. 2do. párrafo. renglón # 3  
dice: saños  
debe decir: daños

PAG. 44. 4to. párrafo. renglón # 2  
dice: conductividades  
debe decir: conductividades

ENCUADERNACIONES MODERNAS  
D. 839 de Montevideo Mayor 638 Nte.  
Tel. 74-02-59

