



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLAN

**"TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION
AGRICOLA ACTUAL. SALINIDAD DE SUELOS Y SUS
CONDICIONES EN EL DISTRITO DE RIEGO 076
VALLE DEL CARRIZO, SINALOA."**

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
CESAR LORENZO GARCIA

ASESOR: O. LAURA BERTHA REYES SANCHEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual.
Salinidad de Suelos y sus Condiciones en el Distrito de
Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa.

que presenta el pasante: César Lorenzo García
con número de cuenta: 8625050-8 para obtener el Título de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán Izcalli, Edo. de México, a 14 de Mayo de 19 97

MODULO:	PROFESOR:
<u>I Q. Laura Bertha Reyes Sánchez</u>	
<u>II Ing. Raúl Espinoza Sánchez</u>	
<u>III. Ing. Carlos Gómez García</u>	

FIRMA:

Rafael Rodríguez Ceballos

DEP/VBOSEN

DEDICATORIA.

A DIOS :

***A TI SEÑOR POR PERMITIRME VIVIR Y BENDECIR TODAS LAS COSAS
QUE SON IMPORTANTES PARA MÍ.***

A MIS PADRES:

MARIA DEL CARMEN Y DOMINGO.

A MIS HERMANOS:

ARTURO, DOMINGO, ALEJANDRO Y LEONEL.

A MI ESPOSA:

VERÓNICA.

A MIS HIJOS:

CÉSAR Y EMILIANO.

NO SÓLO ESTO, SI NO TODO LO QUE HAGO LO DEDICO A USTEDES.

MI MAS INMENZA GRATITUD PARA TODOS.

***LOS AMO, LOS RESPETO Y SIEMPRE SERÁN PARA MÍ LO QUE LE DEN
A MI EXISTENCIA UN SENTIDO MUY ESPECIAL.***

AGRADECIMIENTOS.

**A MI UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO:
POR SU ENORME RIQUEZA CIENTÍFICA Y CULTURAL INAGOTABLE.**

**A MI CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA:
QUIEN ME ABRIÓ SUS PUERTAS PARA SIEMPRE.**

**A MIS PROFESORES DE LA F. E. S. CUAUTITLÁN:
LAURA B. REYES, EDVINO J. VARGAS, RAÚL ESPINOZA Y CARLOS
GÓMEZ.**

**A MIS AMIGOS DE LA SUBGERENCIA DE INGENIERÍA DE RIEGO Y
DRENAJE DE LA C. N. A. :**

**CARLOS BAROCIO, LUIS O. RAMÍREZ, MAURO REYES, ADRIÁN
HERNÁNDEZ, CARLOS ENRÍQUEZ, ANTONIO HERNÁNDEZ Y JESÚS
MÉDINA.**

**A MIS AMIGOS DE LA SUBGERENCIA DE CONSERVACIÓN DE LA
C. N. A. :**

MIGUEL A. GINER Y FRANCISCO MALDONADO.

**A MIS AMIGOS DE LA OFICINA DE ATENCIÓN AL PÚBLICO DE
UNIVERSUM:**

DIANA I. GALLEGOS Y MIGUEL A. ALEMÁN.

**TODOS Y CADA UNO DE ELLOS PARTICIPARON VALIOSAMENTE EN
ESTE PROPÓSITO GRACIAS A SU BRILLANTE CALIDAD HUMANA Y
ACADÉMICA QUE COMPARTIERON SIEMPRE.**

<u>INDICE</u>	<u>PAG.</u>
I - Introducción	1
II - Objetivos	3
III - Marco de referencia	4
3 1 - Antecedentes	4
3 2 - Características principales del distrito.	7
3 2 1 - Ubicación	7
3 2 2 - Superficie	7
3.2.3 - Geomorfología	7
3 2 4 - Topografía	9
3 2 5.- Clima	9
3 2 6.- Hidrografía	10
3 2 7 - Suelos	10
3 2 8 - Infraestructura hidroagícola	10
3 3 - Salinización de suelos agrícolas.	12
3 3 1 - Suelos salinos	18
3 3 2 - Sintomatología en las plantas por salinidad.	21
3.3.3 - Tolerancia de las plantas a la salinidad.	21

3.3.4.- Sales principales en la formación de suelos salinos.	26
3.3.5.- Suelos sódicos.	28
3.3.6 - Efectos de la sodicidad en los suelos y crecimiento de los cultivos	29
3.3.7 - Suelos salino-sódicos	32
3.3.8 - Manejo y recuperación de suelos con problemas de salinidad	32
3.3.9 - Sistemas de riego y control de la salinidad	38
3.3.9.1 - Calidad agronómica del agua de riego.	43
3.3.10 - Métodos de recuperación de suelos con problemas de salinidad.	45
3.3.10.1.- Métodos físicos	45
3.3.10.2 - Métodos químicos	46
3.3.10.3 - Métodos biológicos	49
3.3.10.4 - Métodos hidrotécnicos	49
3.3.11 Drenaje Agrícola	52
3.3.12 - Diagnóstico de problemas de salinidad en suelos	56
IV.- Condiciones de la salinidad en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa.	59

4.1.- Causas de la salinidad en el Distrito	60
4.1.1 - Pérdidas en conducción de la red de distribución	60
4.1.2 - Pérdidas en la aplicación del agua a nivel parcela	62
4.2 - Desarrollo reciente del problema de la salinidad en el Distrito.	63
V - Propuestas	67
VI.- Bibliografía	72
VI - Anexo	74

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

Cuadro 1: Características de los suelos salinizados	12
Cuadro 2: Tolerancia de los cultivos a las sales	23
Cuadro 3 Clasificación de los suelos salinos de acuerdo a su Conductividad Eléctrica (C E)	58
Cuadro 4 Clasificación de pérdidas de agua para riego en el Valle del Carrizo	61
Cuadro 5 Comparación del descenso de niveles freáticos durante los meses de marzo y abril de 1991 a 1995 en el Valle del Carrizo	64
Cuadro 6 Isobatas de los meses de enero, febrero y marzo de 1995 en el Valle del Carrizo	65
Figura 1: Módulos del Distrito de Riego Valle del Carrizo.	5
Figura 2: Municipios del estado de Sinaloa	8
Figura 3: Acumulación de sal: cuatro ejemplos del movimiento y evaporación del agua.	14
Figura 4: Efecto del sodio en la permeabilidad de la superficie del suelo.	31
Figura 5: Movimiento de las sales durante y después del riego.	37
Figura 6: Concentración de sales en el riego por surcos y por goteo.	40

Figura 7: El riego y la acumulación de sales en camellones planos.	41
Figura 8 Control de la salinidad en camellones inclinados	41
Figura 9: Patrón de acumulación de sales para varios sistemas de riego	42
Figura 10: Tipos de drenaje agrícola	55

I. INTRODUCCIÓN.

En diversas regiones de nuestro país se ha presentado un desarrollo agrícola gracias a la aplicación de políticas que contemplaron la dotación de infraestructura de riego y otros apoyos a la producción, como créditos y el uso de agroquímicos

Sin embargo, este mejoramiento de las condiciones en las que se practicaba la agricultura, trajo consigo problemas de deterioro del recurso suelo, sobre todo debido al mal manejo del recurso agua y al uso de agroquímicos. Una forma de deterioro del suelo provocada por el mal uso del agua es su salinización y sodificación

Esta problemática se ha dado principalmente en los distritos de riego localizados en el noroeste del país, ubicados en climas de tipo árido y semiárido

A nivel nacional, se estima que existen alrededor de 1.8 a 2.2 millones de hectáreas con problemas de salinidad del suelo en diferentes grados, siendo el ensaltramiento de los suelos bajo riego un problema creciente. Por ejemplo en 1976 un 18% de los distritos de riego (443,985 has) presentaban algún grado de afectación, actualmente la superficie irrigada es mayor que en 1976 y el porcentaje de afectación es de alrededor de un 30% (C.N.A., 1995)

Como se mencionó anteriormente, la región del Noroeste del país es la que cuenta con una superficie mayormente afectada por altas concentraciones de sales, sobresaliendo los Distritos 075 Río Fuerte y 010 Culiacán/Humaya en Sinaloa, 038 Río Mayo y 041 Río Yaqui en Sonora, 014 Río Colorado en Baja California y 066 Santo Domingo en Baja California Sur

Es también en estos distritos donde se ha generado una gran cantidad de investigación y, se han aplicado numerosos proyectos tecnológicos para la prevención y control de la salinidad, debido principalmente a que cuentan con las condiciones económicas y físicas adecuadas para realizarlos

El Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo en Sinaloa, también es importante por la cantidad de hectáreas con problemas de salinidad (un 16% de su superficie total), y por la constante información que se genera en este lugar respecto al estudio de esta problemática

Esta situación de deterioro del recurso suelo y de la consecuente disminución del rendimiento de los cultivos, ha logrado que los productores se muestren interesados en conocer las causas y el proceso de salinización para poder prevenir esta situación. De la misma manera, buscan tecnologías adecuadas para controlar y revertir estos procesos

Así mismo algunas Instituciones Públicas y Privadas han brindado mucho apoyo al desarrollo y aplicación de proyectos para rehabilitar áreas con problemas de sales, sin

embargo, no se han enfocado los esfuerzos hacia la aplicación de medidas preventivas y en la elaboración de una Legislación respecto al uso y conservación de los recursos naturales.

El presente trabajo pretende ser una fuente de información general que ayude al conocimiento de esta problemática desde los aspectos mas elementales o basicos como son las características de los suelos salinos y sódicos, pasando por las causas del proceso y los efectos sobre las plantas y, terminando con el manejo y control de estos suelos

Mas adelante se analiza la situación que guarda en cuanto a salinidad el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo en Sinaloa. Se presenta un recuento de los factores que intervienen para tener actualmente mas de 10,000 hectáreas salinizadas y, la relación tan estrecha que existe entre salinización, manto freatico elevado y drenaje deficiente en el interior de los suelos. Asi mismo se dan a conocer datos de algunas acciones que se han establecido para remediar la situación y los resultados que se han obtenido

El ensayo que se presenta no es ni pretende ser completo, ni agota toda la información tan vasta que hay con respecto al estudio de la salinidad en general y del Distrito en cuestión. Sin embargo, si se busca que sirva de material de apoyo para otros estudios posteriores con fines experimentales y para otros lugares del país

II. OBJETIVOS.

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre la salinidad de los suelos y sus efectos sobre la producción agrícola.
2. Revisar la problemática que presenta la salinidad en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa.
3. Emitir algunas propuestas en cuanto al manejo eficiente de los recursos que intervienen en la producción agrícola como premisa para prevenir, controlar y corregir los problemas de salinidad.

III. MARCO DE REFERENCIA.

3.1. ANTECEDENTES

El Distrito del Valle del Carrizo, se construyó a mediados de la década de los 60'S iniciando su operación en el año de 1969, con una superficie del orden de 40,000 hectareas

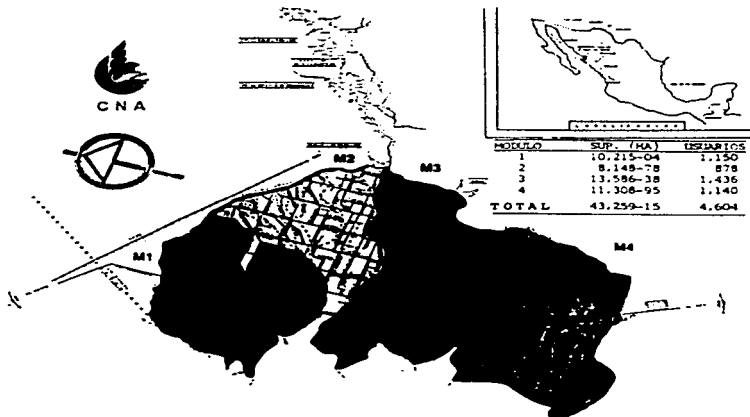
Desde el inicio de su operación hasta principios de la década de los 80 S, el distrito funciono de manera normal, obteniendose buenos rendimientos en los cultivos y, se trabajó en la operación y conservación de la red de distribución y drenaje en forma adecuada

Sin embargo, la administración y conservación de estas obras que se había venido llevando a cabo por parte del gobierno Federal a través de S.A.R.H., se vio afectado por la crisis económica que venia padeciendo el país, de tal forma que los presupuestos se fueron haciendo cada vez mas escasos y como consecuencia, los trabajos de conservación de la red de distribución y drenaje, se fueron deteriorando a tal grado que en 1989, se tenía un rezago de la conservación normal de los canales del orden del 50% y en la conservación de drenaje en un 60%.

Es importante resaltar el hecho que debido a las pérdidas por infiltración en canales no revestidos, algunas practicas poco eficientes de riego y en alguna medida a la topografía plana en las partes bajas del distrito, aunado a la escasa conservación de la red de drenaje, los mantos freaticos se elevaron en tal medida que en 1989 se tenían alrededor de 5,700 hectareas (13% de la superficie del distrito) con problemas graves de salinidad, de las cuales 3,000 hectareas eran ya totalmente improductivas

Ante esta situación, la Comisión Nacional del Agua como organismo de gobierno encargado de la administración de bienes y servicios relacionados con el recurso agua, de acuerdo con la política de Modernización del Campo impulsada en la administración de Carlos Salinas de Gortari, procede a instrumentar lo necesario para entregar la administración, operación y conservación del distrito a los usuarios, bajo este contexto la jurisdicción del distrito de riego se conformo en 4 modulos de riego y una Sociedad Civil de Responsabilidad Limitada (figura 1)

Figura 1: Módulos del Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo.



Fuente: Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, 1996

De conformidad con el programa de transferencia del distrito, después de los trámites y negociaciones necesarias, en fecha 02 de febrero de 1991, se oficializa la entrega a los usuarios, responsabilizándose estos a partir de entonces, de administrar, operar y conservar las redes menores de distribución y de red de drenaje y estableciéndose mecanismos para que sean ellos los que cobren en forma directa la cuota de riego previamente establecida con la aprobación de la Comisión Nacional del Agua, destinando una parte proporcional a la Comisión para la operación y conservación de la obra de cabeza (presa Josefa Ortiz de Domínguez) y los tramos de conducción.

Se inicia la operación del distrito por los usuarios en el ciclo primavera-verano 1991, entregándose además, gran parte de la maquinaria que venía operando la Comisión para llevar a cabo la conservación de las obras.

Paralelamente a la promoción de la transferencia y como apoyo a la misma, el gobierno federal a través de la Comisión Nacional del Agua, implementa de manera simultánea el Proyecto de Modernización del Distrito de Riego, que incluye acciones específicas como:

- Construcción y profundización de drenes
- Construcción y revestimiento de canales
- Revestimiento de caminos
- Rescate de la conservación diferida en canales, drenes y caminos
- Rehabilitación y adquisición de maquinaria y equipo
- Nivelación de tierras
- Recuperación de suelos salinos

Los resultados de las acciones anteriores se reflejaron en los siguientes conceptos:

- a) La conservación diferida en los drenes, disminuyó de un 60% a un 20% en promedio
- b) La conservación diferida en canales, disminuyó del 50% al 10%.

c). La eficiencia a nivel red menor que estadísticamente se había mantenido en un 75% se mejoró ligeramente a un 78% respecto al último ciclo, lo cual significa que a nivel distrito la eficiencia se mejoró de un 61% a un 62%

3.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL DISTRITO

3.2.1. Ubicación.

El Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo se encuentra ubicado en el norte del estado de Sinaloa (Figura 2) Abarca parte de los municipios de Ahome y El Fuerte, quedando ubicado geográficamente en las coordenadas 26° 05' - 26° 22' de latitud norte y 108° 53' - 109° 00' de longitud oeste Limita al norte con el estado de Sonora, al sur y al este con la Sierra Madre Occidental y al oeste con el Golfo de California

3.2.2. Superficie.

Dentro del municipio de Ahome abarca 30,741 ha y beneficia a una población de 44,280 personas y, en el fuerte hay 12,508 ha con una población de 12,300 personas, siendo la superficie total de Riego de 43,249 ha con una población de 56,580 personas Sin embargo, su extensión territorial es de 45000 has físicas y la superficie cosechada entre primeros y segundos cultivos es de 68,000 has

3.2.3. Geomorfología.

El distrito de Riego forma parte de la planicie costera de los estados de Sinaloa y sur de Sonora Su orografía está compuesta por cerros constituidos por masas metamórficas y rocas metasedimentarias muy erosionadas En las partes planas son característicos los sedimentos finos, tales como arcillas, limos y arenas La planicie costera noroccidental se caracteriza por abanicos aluviales, antiguos valles fluviodeltaicos, pequeñas colinas construidas por rocas predeltaicas, deltas actuales, estuarios, complejos lagunares, cauces de ríos y arroyos y depósitos eólicos y marinos En este sistema orográfico destacan varias serranías, que se originan en la Sierra Madre Occidental

Figura 2: Municipios del estado de Sinaloa.



Fuente: I N E G I, 1990.

3.2.4. Topografía.

La región presenta un relieve con mínima pendiente en la planicie costera y ligera a fuertemente ondulada en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental. En la parte alta se tienen pendientes regulares con relieve ondulado suave, a consecuencia de pequeñas lomas y bajos naturales, en la parte baja se observan pendientes y ondulaciones que varían mucho, dando lugar a un relieve sensiblemente plano y uniforme, excepto por pequeñas áreas limítrofes.

El área que constituye la zona de riego del Valle del Carrizo se define por una llanura costera con una topografía sensiblemente plana con pendiente media general hacia el estero de Aguabampo que oscila entre 0 y 1% decreciendo a medida que se acerca al estero, distinguiéndose en el tres zonas bien definidas:

a) La zona costera, en la cual el terreno es de aspecto plano, con pendientes que van desde 0 a 0.3%, cuyo límite es el estero y al subir las mansanas sus aguas alcanzan a llegar hasta la cota de 6 m s n m a través de los drenes siendo esta la zona que presenta mayor problema por salinidad y por mantos freáticos elevados.

b) La zona media, cuyos terrenos son de aspecto plano o ligeramente ondulado, con pendientes que varían de 0 a 4% y, también presentan problemas por salinidad y de niveles freáticos elevados.

c) La zona alta, en donde el terreno es ligeramente quebrado y ondulado de aspecto plano con pendientes que varían de 0.1 a 10% y presentan problemas de escurrimiento superficial.

Su altura media es de 20 m s n m, siendo su máximo de 60 m s n m y su mínimo de 6 m s n m. El distrito se considera como un plano inclinado con 10 pequeños cerros de pequeña altitud enclavados en la parte sur del distrito, siendo el mayor de 60 m.

3.2.5. Clima.

La clasificación climática de la región, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García, varía en dirección noroeste desde semiseco muy cálido (BS) hasta muy seco muy cálido (BW).

En la estación Carrizo, los meses de diciembre y enero son los más fríos con temperaturas mínimas de 4.5 °C y los más calurosos junio, julio, agosto y septiembre con máximas superiores a 40 °C.

La precipitación se distribuye de manera irregular a través del año, con un promedio anual de 428.3 mm. Los meses de mayor precipitación son julio a octubre siendo la precipitación media para este periodo superior al 80% de la media anual.

La evaporación es de 2264 mm anuales los valores mas altos de evaporación corresponden al periodo de abril a agosto

3.2.6. Hidrografía.

La principal corriente superficial en el area de estudio es el rio Fuerte, tanto por su extensión y sus escaramientos como por las obras que en él se han realizado. Comprende una cuenca total de 13590 Km² hasta su desembocadura y se desarrolla en cuatro estagos: 2570 Km² en Sonora, 24574 Km² en Chihuahua, 527 Km² en Durango y 5919 Km² en Sinaloa. Desemboca en la Bahía del Caracol, en el Golfo de California, en el sitio en donde se forma un amplio medano llamado Medano de las Piedras.

3.2.7. Suelos.

Los suelos presentes en el area se generan de materiales diversos ya sea de origen igneo, metamórfico o sedimentario, formados bajo un clima tropical semiárido y con vegetación frecuente de bosque espinoso. Se clasifican entre otros en Livic Calcisols, Haplic Solonetz y Umbric Fluvisols. Se reportan también Haplic Phaeozem. En el Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa de 1985 se indica la existencia de Eutric Regosol asociado con Gleyic Solonchaks.

La mayoría de los suelos son arcilloso-arenosos de permeabilidad media. El resto lo forman las clasificaciones franco-arcillo-arenosos y franco-arcillo-limosos. El tipo de estructura que se presenta es variada ya que puede ser granular, columnar y de bloques angulares en los municipios de Ahomé y de El Fuerte a los que pertenece el Valle del Carrizo. La generalidad de los suelos son pobres en materia orgánica, nitrógeno fósforo y potasio intercambiable.

Se reporta que los suelos ubicados desde las cotas de 6 m s n m hacia abajo, son afectados directamente por las marismas por lo que considerando los efectos de capilaridad se toma a la cota de 8 m s n m como una frontera prudente para el desarrollo agrícola del valle.

3.2.8. Infraestructura Hidráulica.

La obra de almacenamiento del distrito de riego es la Presa Josefa Ortiz de Domínguez y fue puesta en servicio en 1969, con una capacidad de 600 Mm³. Se localiza a 95 km al noroeste de la ciudad de Los Mochis, 17 km al oeste de la población de El Fuerte y 15 km aguas arriba de la confluencia del arroyo Alamos (sobre la cual fue construida la presa) con el rio Fuerte. El area de la cuenca hasta el sitio de la cortina es de 2250 km².

La infraestructura hidroagropecuaria del Distrito de Riego Valle del Carrizo se encuentra distribuida de la siguiente forma:

A) Presas	
a) Almacenamiento	1
B) Red de conducción y distribución	
a) Canales principales (50 m ³ /s)	95.1 km
b) Revestimiento en canales principales	64.9 km.
c) Canales laterales	442.0 km
C) Red de drenaje	533.24 km.
D) Red de caminos	450.4 km
a) Pavimentados	48.0 km.
b) Revestidos	177.4 km
c) Tierra	225.0 km.
E) Red telefonica	85.9 km
F) Casetas de canaleros	17
G) Estructuras	4,485
a) En canales	3,210
b) En drenes	1,275

Existen siete diques comprendidos en el trayecto del canal principal del distrito de riego, llamado Tramo Muerto, y otros dos comprendidos en el tramo del canal de conexión entre las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez

Entre las obras de conducción se encuentran dos canales: canal de conexión entre la presa Miguel Hidalgo y la Josefa Ortiz de Domínguez con una longitud de 5.1 km. de sección trapecial sin revestir y con una capacidad de 120 m³/s. y el cana principal El Carrizo (Tramo Muerto), que cuenta con 28 km de longitud, de sección trapecial revestido de concreto y con una capacidad de 100 m³/s.

3.3. SALINIZACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS.

El riego de los terrenos agrícolas aumenta las reservas de la humedad del suelo. Como resultado de esto aumentan las pérdidas por infiltración de la humedad hacia las aguas freáticas, las cuales tienden a elevarse al ser deficiente el drenaje natural del suelo.

Con el acercamiento del nivel del agua freática hacia la superficie del terreno ocurre el anegamiento de los cultivos y la salinización de los suelos. El problema del anegamiento de las plantas consiste en que se disminuye el oxígeno en la parte baja del perfil edáfico. La salinización se manifiesta por la acumulación en el perfil del suelo de sales tóxicas para las plantas y que no solo disminuyen su rendimiento, sino que también pueden convertir al suelo en impropio para su utilización posterior. La causa de la salinización consiste en que las aguas freáticas que se elevaron, como regla, tienen una alta mineralización debido a la disolución de sales originalmente contenidas en las capas profundas del perfil del suelo y que empiezan a pasar a capas superiores como resultado de las fuerzas capilares. (Figura 3) Como se sabe, de la superficie del suelo se evapora y se transpira por las hojas de las plantas agua potable pura. Así que las sales disueltas en la humedad del suelo y que no fueron asimiladas por las plantas se acumulan en las capas superiores del perfil del suelo. (Nikolski, 1993)

Se definen tres clases de suelos con problemas de salinidad basándose en los tipos de sales presentes en ellos: salinos, sodicos y salino-sodicos, cuyas características se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Características de los suelos salinizados

Clase de suelo salinizado	C E (mmhos/cm)	P S I	R A S	pH	Estructura
Salino	> 4.0	> 15	< 13	< 8.5	Normal
Sodico	> 4.0	> 15	> 13	> 8.5	Pobre
Salino-sodico	> 4.0	> 15	> 13	< 8.5	Normal

Fuente: Plaster, 1992

El proceso de salinización de los suelos es de gran importancia para el país, ya que afecta en gran medida la producción agrícola, el deterioro de los recursos naturales y la economía del productor.

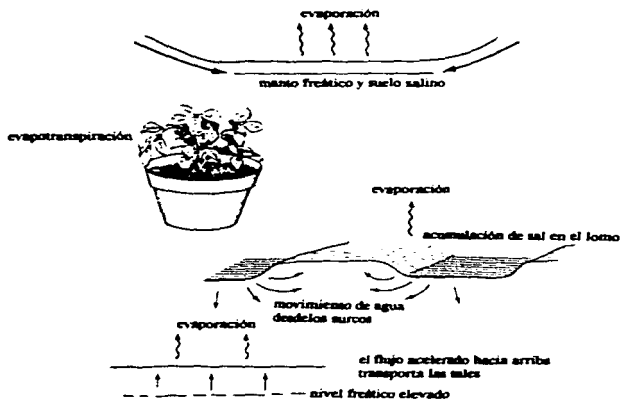
La formación de suelos salinos tiene varias causas, algunas que son debido a transformaciones naturales en el medio ambiente del suelo y otra en las que la influencia del hombre es determinante para que se den y se aceleren los procesos.

(Russell, 1992), ha clasificado los orígenes de la salinización en diferentes ciclos, los cuales se presentan a continuación:

1) Ciclos continentales

La formación de suelos salinos en las tierras del interior de los continentes se debe a ciclos de movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonato sódico que vienen condicionadas por clima, régimen de humedad del suelo, posición geomorfológica y clase de drenaje.

Figura 3. Acumulación de sal: cuatro ejemplos del movimiento y evaporación del agua.



Fuente: Singer, 1991

Con respecto a los dos primeros factores es importante mencionar algunas características de los suelos que son propicios para la formación de suelos salinos y que corresponden taxonómicamente al orden de los aridosoles, que son aquellos propios de zonas secas, climas áridos y semiáridos, por lo que no tienen agua disponible para la vegetación desértica durante periodos largos. Esta escasez de agua aprovechable en el perfil repercute directamente en los procesos pedogenéticos formadores de suelo, como también en la concentración de sales que por lo general son altas.

El régimen de humedad predominante de los aridosoles es el árido, también se puede presentar un régimen ústico o xérico.

En las regiones donde se presentan estos suelos, la precipitación es mucho menor que la evaporación, lo que origina que exista muy poca agua aprovechable para las plantas, por otra parte, y a diferencia de las regiones húmedas, los problemas de lixiviación son mínimos, lo que ocasiona una alta saturación de cationes intercambiables en estos suelos, su mineralogía se caracteriza por presentar arcilla montmorilonítica. Otra característica propia de los aridosoles es la presencia del pavimento del desierto, varios autores atribuyen su formación a la deflación y otros dicen que se debe al humedecimiento y secado repetido (Moreno, 1989).

a) Ciclo continental de acumulación primaria de sales

Los componentes solubles de los suelos salinos proceden en este caso de la meteorización de rocas. Los elementos liberados se acumulan "in situ" sin mediar transporte. Las reacciones de meteorización que pueden estar implicadas en este tipo de proceso son:

- disolución congruente carbonatación
- Disolución incongruente hidrólisis
- Reacciones Redox.

Dada la elevada movilidad de los elementos implicados en la salinización de los suelos, resulta poco frecuente que esta pueda tener lugar por un ciclo de acumulación de sales. Con poca agua, la meteorización será muy lenta y si abunda, los elementos liberados serán objeto de transporte y redistribución en el medio.

Por otra parte, los minerales rara vez se disuelven en proporción estricta a su composición. En cambio tienden primero a liberar sus impurezas más solubles. Por lo tanto, un mineral con alto contenido de calcio y magnesio pueden liberar al principio, cantidades significativas de sodio y potasio en la solución percolante.

b) Ciclo continental de acumulación secundaria de sales

La movilización, redistribución y acumulación de sales a cierta distancia de su lugar de origen caracterizan a este ciclo

Por lo general, las rocas sedimentarias se han formado en océanos o en lagunas salobres. El depósito de los elementos terrígenos puede haber estado asociado a procesos evaporíticos. Las rocas resultantes pueden tener cierta cantidad de sales solubles precipitadas. Al aflorar o quedar cerca de la superficie por erosión, estos materiales pueden actuar como centros de redistribución de la salinidad al ser mojados por el agua de escorrentía superficial o por el agua de percolación, las sales serán movilizadas y redistribuidas. Las acumulaciones tienen lugar en las áreas deprimidas que presenten condiciones de drenaje deficiente.

2) Ciclos marinos de acumulación de sales

Los suelos de las llanuras a lo largo de las costas, bahías o marismas pueden presentar acumulación de sales marinas, principalmente cloruro de sodio. Las sales proceden de capas freáticas salinas poco profundas, del agua de inundación por efectos mareales o por los efectos de sales transportadas por el viento, ya sea en forma de aerosoles con cristales en suspensión o como gotas altamente salinas. Este último proceso solo tiene una importancia local y afecta a una estrecha franja.

3) Ciclos deltaicos

Los ciclos de salinización en los deltas son complejos, al haber interacciones entre el agua de mar, procedentes de las inundaciones durante las tempestades, el agua transportada por el río, cuyo contenido salino suele ser bajo y el agua de la capa freática, salina si esta asociada con el agua de mar y con un bajo contenido de sales si se trata del freático del río, el equilibrio del sistema es frágil, lo que debe ser tenido en cuenta al plantear cualquier actuación susceptible de provocar impactos negativos que podrían resultar irreversibles.

4) Ciclos artesianos

En determinadas áreas geográficas podría resultar difícil la presencia de suelos salinos atendiendo a las condiciones climáticas o la distancia al mar. Se ha puesto de manifiesto que se puede presentar el surgimiento de aguas freáticas profundas, que ascienden a favor de microfallas o fracturas. En su movimiento pueden atravesar materiales que den origen a su salinización.

La evaporación de estas aguas, que pueden formar pequeñas áreas encharcadas, provocará la salinización de terrenos afectados.

5) Ciclos antropogénicos

Los procesos descritos anteriormente pueden verse modificados por las actuaciones del hombre. Las principales acciones que han dado lugar a ciclos antropogénicos de salinización son:

- Transformaciones en regadío. El desconocimiento de los procesos de salinización y de los factores que los controlan, ha provocado la degradación de extensas áreas agrícolas en México y en el mundo, a pocos años de haberse incorporado el riego a la agricultura.

Los principales desequilibrios provocados en los sistemas que han recibido el agua han sido:

- Mojar materiales con una elevada capacidad potencial para actuar como centros de distribución de sales.

- Elevar el nivel de la capa freática,

- Regar con aguas de elevado contenido salino,

- Provocar una acumulación de sales en la zona radicular por un riego continuo sin drenaje.

- Procesos de sodificación con degradación de la estructura. Por regar con aguas con bajas concentraciones de Ca^{++} ,

- La fertilización indiscriminada o en exceso de los cultivos también puede aportar cantidades considerables de sales solubles en zonas locales,

- Actividades industriales. La industrialización ha aumentado los contenidos atmosféricos de NO_3^- y compuestos a base de azufre, que son devueltos al suelo por las lluvias. El carácter ácido de estas, aumenta a su vez la tasa de meteorización.

3.3.1. SUELOS SALINOS

Los suelos salinos contienen una concentración de sales solubles neutras suficiente para interferir seriamente con el crecimiento de la mayoría de las plantas

Una sal es una sustancia química que resulta de la reacción de un ácido con una base, tal como la reacción del ácido clorhídrico con sosa para formar la sal de mesa común



Una sal soluble es definida como una sal que es tan soluble en agua o más que el yeso (sulfato de calcio CaSO_4). Las sales solubles de mayor interés en el suelo son sulfatos (SO_4^{--}), carbonatos (HCO_3^-) y cloruros (Cl^-), de las bases calcio, magnesio y sodio (Plaster, 1992)

Varias unidades de medida son utilizadas para describir la cantidad de sales presentes en el agua. La concentración es la masa de sales por unidad de volumen de agua. La concentración se expresa como partes de sal por millón de partes de agua (ppm), o como peso de sales (microgramos) por litro (L) de agua (mg/L). El valor numérico es el mismo para cualquier unidad (1 ppm = 1 mg/L). Otra unidad comúnmente usada para describir la concentración efectiva es miliequivalentes por litro (meq/L). La concentración meq/L es igual a la concentración en miligramos por litro mg/L, dividida por el peso equivalente de la sal respectiva.

Medir la concentración de sal en el agua del suelo es difícil, por lo tanto, se han desarrollado métodos simplificados para medir y cuantificar el nivel de salinidad. Las soluciones que contienen sales conducen electricidad y la conductividad eléctrica del agua del suelo (CE) es directamente proporcional a la concentración iónica. La unidad más común para medir la CE es milimhos por centímetro (mmho/cm). Actualmente la conductividad eléctrica es comúnmente expresada, como decisiemen por metro (dS/m) donde un dS/m es igual a 1 mmho/cm. Un mmho/cm normalmente es igual a una concentración de 640 ppm o 640 mg/L. La temperatura estándar para medir la conductividad eléctrica es de 25 °C (77 °F) (CNA-CP, 1997).

En los suelos salinos la conductividad eléctrica (CE) de un extracto saturado de la solución del suelo es más de 4 decisiemen por metro (dS/m). El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor de 15 aproximadamente, y el pH generalmente es menor de 8.5 por que las sales son neutras. Los suelos salinos han sido llamados alcali blanco por presentar un encostramiento superficial que es de color blanco. Las sales de sodio se encuentran en concentraciones bajas relativamente en comparación con las sales de calcio y magnesio (Schwab, 1993).

Aunque la concentración del ion Na^+ llegara a ser algo más alto que aquellas de Ca^{++} y Mg^{++} , la relación de Adsorción de sodio (RAS) es menor de 13 en suelos salinos.

Los suelos salinos se encuentran floculados y su permeabilidad es comparable con la de los suelos no salinos (Schwab, 1993)

Generalmente los suelos salinos tienen bajo contenido de humus, por lo que la vegetación natural no puede crecer adecuadamente en ellos, ya que los niveles altos de sales en solución inhiben el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los efectos son diferentes dependiendo del clima, el agua del suelo, la composición de la sal, el tipo de planta y la etapa de desarrollo de las plantas (Singer, 1991)

Los efectos por salinidad para las plantas pueden ser de dos tipos

1) Efectos osmóticos

Las sales de la solución del suelo afectan a los cultivos mediante su efecto tóxico y por el aumento de la presión osmótica, lo que implica un incremento del agua iónica u osmótica en detrimento de la disponible (Reyes, 1995). Por lo tanto, la planta realiza un ajuste osmótico para mantener un gradiente favorable en sus células, mediante la absorción de agua y sales del suelo, así como la producción de ácidos orgánicos utilizando energía que normalmente requiere para la división y el crecimiento celular, como consecuencia presenta achaparramiento, altos contenidos de lignina, follaje azul-verdoso oscuro por la cubierta cerosa en las hojas e incremento de la clorofila por unidad de superficie, además de la dominancia de elementos tóxicos (Mercado, 1995)

Los altos niveles de sal impiden que las plantas obtengan el agua para su crecimiento. La teoría de la disponibilidad de agua o de la sequía fisiológica que explica este fenómeno postula que en condiciones de salinidad, a pesar de que el suelo contenga agua, la planta no es capaz de absorberla y, por consiguiente, el protoplasma de sus células tiene una baja hidratación; la planta sufre estrés hídrico, se seca y acaba muriendo.

El intervalo en el que las plantas absorben humedad fácilmente está limitado por el contenido a capacidad de campo y el correspondiente a la tensión máxima que cada cultivo puede soportar, sin que su crecimiento sea afectado. Este intervalo se reduce si el potencial osmótico de la humedad del suelo se eleva por el efecto de la salinidad, la planta puede sufrir de déficit de agua a pesar de que el contenido de humedad del suelo esté en el intervalo de agua fácilmente disponible (Martínez, 1986)

Las raíces contienen una membrana semipermeable que permite que el agua pase y a su vez, rechace las sales, por lo que al ser mayor la presión osmótica, es más difícil extraer el agua de las soluciones cada vez más salinas.

Es importante señalar que el agua entra a las plantas solamente si el potencial de agua es más bajo dentro de las raíces que fuera de ellas (Singer, 1991). En el caso contrario puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmolisis).

La salinidad puede causar cambios morfológicos y anatómicos que en algunos casos pueden ayudar a que la planta sobreviva, pero con una reducción en el rendimiento (CNA-CP, 1997)

2) Efectos de ión específico

En este caso nos referimos al aumento de la concentración de algunos iones que afectan la fisiología de la planta, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de nutrientes

La magnitud del daño depende de la concentración del ión específico, de la sensibilidad del cultivo, de la etapa de desarrollo, del uso del agua y el tiempo. La toxicidad frecuentemente se acompaña o complica con un problema de salinidad o infiltración, aunque puede aparecer aun cuando la salinidad es baja. Los iones usualmente tóxicos que están presentes en el agua de riego incluyen al cloro, sodio y boro (CNA-CP, 1997)

Probablemente la toxicidad del boro sea la más común. El boro es más difícil de controlar que la salinidad en general.

La sensibilidad directa al sodio intercambiable o soluble es más evidente a niveles bajos de sal y, en consecuencia es difícil de diferenciar de los efectos del sodio en la permeabilidad del suelo. Para cultivos que son sensibles en extremo al sodio, cantidades mínimas (5% de sodio intercambiable) puede provocar acumulaciones tóxicas en los tejidos de las hojas.

El mecanismo de toxicidad por cloruro parece similar al del sodio. Las acumulaciones excesivas en los tejidos cuando esta a punto de terminar el periodo de transpiración de la planta, produce necrosis, las puntas y los bordes de las hojas se queman y, con el tiempo sobreviene la muerte. Algunas plantas impiden el paso de esos iones por medio de membranas selectivas en sus raíces.

El análisis químico de los tejidos de las plantas, el extracto de saturación del agua del suelo o el agua de riego, es lo más comúnmente usado para identificar problemas de toxicidad.

3) Desequilibrios nutricionales

Se considera que un tercer daño potencial para las plantas provocado por la sal lo constituyen los desequilibrios nutricionales. Un ejemplo son las toxicidades del bicarbonato, observadas en algunos suelos salinos. Estos desequilibrios son el resultado principal de la deficiencia de algún elemento debido a altos niveles de pH. Por ejemplo el alto contenido del bicarbonato eleva el pH del suelo y deja poco hierro disponible.

Las necesidades nutricionales de las plantas también pueden variar según los tipos de sales presentes. Por ejemplo, los niveles altos de sodio provocan deficiencias de calcio y magnesio.

3.3.2. SINTOMATOLOGÍA DE LAS PLANTAS POR SALINIDAD.

Por lo general se observa la siguiente sintomatología relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento.

- Un retardo en la nacencia, que con salinidades elevadas puede no tener lugar.
- Sequia fisiologica,
- Una menor area foliar y talla de la planta, el crecimiento es mas lento y no llega a ser completo.
- Menor producción de materia seca,
- Alteración del contenido de hormonas, influyendo en los ritmos de crecimiento.
- Necrosis en las hojas,
- Daño directo, particularmente a los mecanismos fotosintéticos
- Disminución del rendimiento de los cultivos,
- Muerte de la planta antes de completar su desarrollo, si las condiciones son extremas

El efecto general de un alto contenido de sal en el suelo es dar una planta enana, achaparrada. Los rendimientos pueden reducirse en más de un 20% sin que el agricultor advierta el daño por salinidad. Conforme el contenido de sales se hace mayor, el achaparrado se hace más apreciable, las hojas del cultivo se vuelven de color apagado y a menudo verdeazulado y se cubre con un depósito ceroso.

3.3.3. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD.

El término tolerancia a la salinidad resulta más específico para describir la adaptación de una especie frente a la salinidad, que el de resistencia. La idea de supervivencia se asocia a la tolerancia máxima.

La habilidad de las plantas para producir rendimientos economicos en un medio salino, se conoce como tolerancia a las sales (CNA-CP,1997)

La tolerancia a la salinidad puede expresarse en función de los siguientes parametros

- La concentración maxima de sales a la que no llega a haber una disminucion del rendimiento, por debajo de ella el medio es salino
- La disminucion del rendimiento por unidad de incremento de salinidad a partir del umbral

En base a esto se ha clasificado a los cultivos en tres categorias de tolerancia a la salinidad tolerantes, moderadamente tolerantes, moderadamente sensibles y sensibles a las sales (Wild, 1992)

Otra manera de clasificacion se ha dado en terminos de la conductividad electrica (C E) en el punto de disminucion porcentual del rendimiento por unidad de aumento de salinidad mas alla de este nivel umbral (Bohn, 1993) (Cuadro 2)

En la practica la tolerancia a la salinidad está ligada a menudo con la tolerancia a sodicidad, alto pH y bajo contenido de calcio, por una parte, y a la capacidad de soportar un encharcamiento prolongado durante el riego, que es una consecuencia de la sodicidad, por otra (Wild, 1992)

Por otra parte la capacidad de las plantas a crecer satisfactoriamente en suelos salinos depende de un numero de factores interrelacionados, incluyendo la constitucion fisiologica de las planta, su estado de desarrollo y su hábito de enraizamiento. Es interesante notar que la alfalfa vieja es mas tolerante a las suelos afectados por las sales que la alfalfa joven y, que las legumbres que enraizan profundamente muestran una mayor resistencia a tales suelos que unas enraizadas superficialmente (Brady, 1990)

Tambien la resistencia a la salinidad tiene en cuenta aspectos ecologicos capacidad de sobrevivir, ecofisiologicos adaptabilidad o capacidad relativa y agricolas disminucion del rendimiento

La tolerancia a las sales en la emergencia se basa normalmente en tasas de supervivencia, mientras que la tolerancia después de la emergencia esta basada en la disminucion del crecimiento de la planta y/o del rendimiento (CNA-CP,1997)

Por otro lado las plantas atendiendo a su adaptación a los medios salinos, se pueden agrupar en

a) -No halófilas Son aquellas que no han desarrollado mecanismos de adaptación
La mayoría de las plantas cultivadas

b) -Halófilas Están adaptadas para vivir en medios salinos Estas halófilas pueden
agruparse en

Cuadro 2: Tolerancia de los cultivos a las sales

Cultivo	Cé. sal m ⁻² a 23°C (a la que el rendimiento disminuye en*)		
	10%	25%	50%
<i>Cultivos comerciales</i>			
<i>Citrus aurantium</i> L.) Pera	13	16	18
<i>Agave sisalanchum</i> (Hook.) Beauv.	11	23	18
<i>Agave sisalanchum</i> (Poir.) ex L. n. Schott	6	11	18
<i>Passiflora vitifera</i> Schott	7	10.3	14.5
<i>Moringa vulgaris</i> L.	8	11	13.5
<i>Lotus perennis</i> L.	8	10	13
<i>Phaseolus vulgaris</i> Max	8	10	13
<i>Lycopersicon</i> (L.) Rich.	6	9	10
<i>Elmidia procumbens</i> Buckley	4	7	11
<i>Nicotiana glauca</i> L.	1	3	8
<i>Ononis spinosa</i> L.	2.5	4.5	8
<i>Albizia julibrissin</i> L.	2	3.5	6.5
<i>Trifolium subterraneum</i> L.) <i>T. pratense</i> L.	2	2.5	4
<i>Cultivos de campo</i>			
<i>Cerealia graminifera</i> (Munz) vulgaris L.	12	16	18
<i>Bromelia distachya</i> (Bosc) vulgaris L.	10	13	16
Algodón (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	10	12	16
Cañamón (<i>Crotalaria anagyroides</i> L.)	8	11	12
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	7	10	14
Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i> Pers.)	6	9	12
Soya (<i>Glycine max</i> (L.) Merr.)	3.5	4	6
Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	4	5.5	9
Café de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	3	5	8.5
Arroz con cacahut (<i>Oryza sativa</i> L.)	3	6	9
Milaz (<i>Zea mays</i> L.)	5	6	7
Milaz (<i>Zea mays</i> L.)	3.5	4.5	8.5
Limón (<i>Limonium carolinianum</i> L.)	7	7	8.5
Yajal (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.5	2	3
<i>Herbáceas</i>			
<i>Brevetia</i> (L.) <i>Bosc</i> vulgaris L.	8	10	12
<i>Euphorbia</i> (<i>Euphorbia tirucalli</i> L.)	3.5	5	8
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	4	6.5	8
Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	4	6	8
Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	2.5	4	6
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	2.5	4	6
Milaz dulce (<i>Zea mays</i> L.)	2.5	4	6
Cuajote (<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.)	1.5	3	5
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	1.5	3	5
Peperón (<i>Capiscum annuum</i> L.)	2	3	5
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	1	2.5	4
Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	1.5	2.5	4
Ejote (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	1.5	2	3.5

Fuente Bohn, 1993

c) -Euhalófilas Acumulan sales en sus tejidos, siendo las más tolerantes a las sales
ejemplos *Salicornia* sp. *Arthrocnemum* sp.

d) -Crnohalofilas Tienen glándulas excretoras que les permiten eliminar
soluciones altamente salinas, por lo general en el envés de las hojas. Ejemplos
Limonium sp. *Frankenia pulverulenta*

-Glicohalofilas Tienen la capacidad de realizar una absorción selectiva frente a las sales

-Locehalofilas Localizan sales en estructuras especiales, con lo que controlan su distribución en los tejidos

Al existir una relación estrecha entre las comunidades vegetales y los niveles y tipos de salinidad de los suelos, es posible llevar a cabo interpretaciones acerca del tipo y nivel de salinización a partir del estudio de la vegetación

Por otra parte, la tolerancia a la salinidad varía a lo largo de las distintas fases de desarrollo de una planta

Estudios realizados señalan que la mayoría de los cultivos son más sensibles a la salinidad en la etapa de germinación que en las etapas posteriores a esta, la tolerancia varía con la especie, variedad, tipo de suelo, clima y condiciones de manejo (Ríos, 1995)

La mayoría de los cultivos son más sensibles a la salinidad bajo condiciones calientes y secas, que en condiciones frías y húmedas (CNA-CP, 1997)

Algunas plantas son particularmente sensibles a la salinidad durante las etapas de germinación o de plantula, cuando la rizosfera pequeña origina que la planta sea extremadamente vulnerable al trastorno del equilibrio fisiológico por osmosis (Bohn, 1993)

La remolacha azucarera es una planta de las más tolerantes, pero durante la germinación es sensible y su salinidad no debe exceder de 3 dS/m

También con la cebada sucede algo similar durante la etapa de siembra, a pesar de ser una especie muy tolerante a la salinidad, su C.E. no deberá exceder de 4 a 5 dS/m (Bohn, 1993)

No habrá germinación si un exceso de sales impide que la semilla se humedezca, ya que el embrión no dispone de agua para el período de imbibición debido a la elevada presión osmótica del medio o bien puede morir por el efecto tóxico de ciertos iones como los cloruros.

Los trabajos de mejora genética de plantas ha permitido obtener variedades tales como los trigos mexicanos que toleran concentraciones de sales mucho mas elevadas durante la germinación.

Algunas practicas recomendadas para contrarrestar los efectos de las sales durante la germinación son.

- Siembra con semillas previamente humedecidas o pregerminadas si el nivel tecnologico lo permite

- Tratamiento de semillas a bajas temperaturas previamente a su siembra, fundamentandose en que las elevadas temperaturas hacen disminuir la tolerancia de las semillas a la salinidad debido a los efectos de la temperatura sobre el potencial osmotico del medio

- Para los cultivos sensibles durante las etapas de germinacion o de plantula, modificar la forma de la cama de siembra con el fin de reducir la acumulacion de sal en la vecindad de las plantulas

En condiciones de aridez o semiaridez, la distribucion de la salinidad en un suelo varia a lo largo del año y en funcion de la profundidad considerada debido al regimen de humedad no percolante, salinizandose progresivamente si recibe aporte de sales

En la época de lluvias estas provocan un flujo descendente del agua en el suelo y con el un lavado de sales. En un momento determinado, la evapotranspiracion hara que el flujo se invierta y se produzca un ascenso de sales. Este tipo de procesos ocurren igualmente en suelos bajo riego, aunque no esten afectados por sales. Para evitar la acumulacion de sales en la zona de enraizamiento, es necesario cambiar la dosis de riego de forma que haya un exceso de agua que atraviese la zona de enraizamiento y lave de ella las sales

Por otra parte, la profundidad de un perfil salino será la que tendra mayor significado en la respuesta de una planta a la salinidad, ya que la zona radicular participa de forma desigual en el suministro de agua a la planta. La planta absorbe el 70% de agua a partir de la mitad superior de la zona radicular, al concentrarse en ella un mayor volumen de las raices

En el caso de los suelos bajo riego, la zona menos salina se corresponde con la parte superior, por el lavado que tiene lugar en ella. Al ser mayor aqui la absorcion de agua, sera la salinidad de esta zona la que mas influirá en la respuesta de la planta

En esta parte del suelo, de maxima absorcion de agua, se puede suponer que la salinidad se aproxima a la del agua de riego (CEar). Con este supuesto, la salinidad del agua de riego sera la que controlara la respuesta de las plantas

4.4. SALES PRINCIPALES EN LA FORMACIÓN DE SUELOS SALINOS

El agua y los suelos salinos de zonas semiaridas y áridas contienen electrolitos en solución. Se trata de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de metales del grupo IA y IIA de la tabla periódica.

El tipo de sales tiene incidencia sobre la importancia del estrés salino y, clásicamente se consideran como más representativos los tipos de sales, que se indican seguidamente, sin olvidar que la mineralogía de las sales presenta una gran complejidad y variabilidad espacio/temporal, en función de la temperatura y la humedad del medio en que cristalicen. Se consideran importantes las siguientes sales:

1) Cloruros

Junto con los sulfatos, son los responsables más frecuentes de la formación de suelos salinos, de las propiedades que estos presentan y del estrés sobre las plantas. Los cloruros son sales muy solubles y con una toxicidad alta.

El cloruro sodico es la sal más frecuente en suelos salinos. Las eflorescencias que se forman en la superficie de estos suelos durante la estación seca tienen un gusto salado. Por otro lado la eliminación de esta sal requiere el lavado en condiciones de drenaje. La presencia de NaCl afecta la solubilidad de otras sales que por efecto de ion común disminuye al aumentar la concentración de NaCl.

La acumulación de cloruro magnesico se produce en suelos con una salinidad extremadamente alta. Es una sal altamente tóxica, muy perjudicial para las plantas. Se puede formar si el suelo recibe aguas ricas en iones Cl^- y Na^+ , el intercambio con el Mg^{2+} de las sedes de cambio puede tener lugar por medio de reacciones del tipo:



La presencia de cloruro de magnesio da lugar a que la superficie del suelo se mantenga húmeda mucho tiempo después de una lluvia. Ello se debe a que esta sal es muy higroscópica y puede absorber agua del aire cuando la atmósfera no está totalmente seca. Las eflorescencias tienen un gusto amargo debido al magnesio.

El cloruro clásico es una sal muy poco frecuente en el suelo, principalmente por la mayor estabilidad de otras sales. La formación de CaCl_2 se debe a una reacción análoga a la del cloruro magnesico:



El cloruro de potasio es una sal de propiedades análogas a las del cloruro de sodio. Además es muy poco frecuente en los suelos salinos.

2) Sulfatos

El sulfato sodico es un componente frecuente en los suelos salinos. Las etfiorescencias tienen un sabor a jabón y salado. Presenta características notorias, su composición molecular varía con la humedad, lo que da lugar a dos especies mineralógicas diferentes: la tenardita en desiertos y en periodos de sequía, y la mirabilita durante la estación húmeda. Su solubilidad se ve muy influenciada por la temperatura: a bajas temperaturas se disuelve lentamente a razón de unos 50g/l a 0°C.

El sulfato magnésico es un constituyente frecuente, muy soluble, altamente tóxico y su lavado resulta difícil.

El sulfato de potasio no es responsable de salinizaciones en condiciones naturales, solo crea problemas allí donde se realiza un mal uso de los abonos, generalmente en invernaderos y es el menos tóxico de los sulfatos.

3) Carbonato y bicarbonato sódico

La presencia de carbonato y bicarbonato de sodio indica unas condiciones físico-químicas especiales ligadas a procesos de alcalinización del suelo (PSI > 15%). Los suelos con Na_2CO_3 y NaHCO_3 tienen pH superiores a 9 pudiendo llegar a 12. Esta fuerte alcalinidad crea un medio inadecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas. La hidrólisis del carbonato de sodio es el origen de valores de pH tan altos:



Los efectos desfavorables de Na_2CO_3 se dejan sentir a partir de concentraciones del orden de 0.05 a 0.1% de esta sal. El bicarbonato sódico da lugar a unas condiciones menos alcalinas y por consiguiente tóxicas:



4) Borato

El boro es un micronutriente cuyo intervalo de concentraciones entre los límites de carencia y de toxicidad es muy reducido. Las deficiencias limitan los rendimientos y la calidad de las cosechas, pero su exceso crea igualmente problemas graves.

Las carencias de boro se presentan en suelos con régimen de humedad percolante, de pH ácido, mientras que las toxicidades van asociadas a suelos de climas áridos y semiáridos

En cuanto a los límites de tolerancia se puede indicar que por debajo de 0.7 mg/l de boro los cultivos no se ven prácticamente afectados, entre 0.7 y 1.5 se sitúa el límite de marginalidad y por encima de 1.5 a 2 mg/l de boro puede haber problemas de toxicidad mas o menos acusada, según la planta de que se trate. En relación con el agua de riego, puede haber riesgo de toxicidad por boro en aquellos casos en que las concentraciones en el agua sean superiores a 0.3 mg de boro por litro

3.3.5. SUELOS SÓDICOS.

Los suelos sódicos son relativamente bajos en sales solubles, pero contienen suficiente sodio intercambiable (adsorbido y absorbido) para interferir con el crecimiento de las plantas (Schwab, 1993)

Los suelos salinos tienden a ser sódicos también por que las sales de sodio soluble son mas abundantes que otras. Sin embargo, no todos los suelos salinos son sódicos, ellos podrían tener sales de Ca^{+2} y Mg^{+2} por ejemplo y no todos los suelos sódicos son salinos (Singer, 1991)

Criterios útiles de sodicidad son el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) siendo el PSI el sodio expresado como el porcentaje del total de los cationes intercambiables o el grado al cual el complejo de cambio es saturado con sodio, el RAS es una relación modificada de la concentración de sodio hacia la de otros cationes principales (Ca^{+2} y Mg^{+2}) en el extracto de saturación (representando la solución del suelo) (Plaster, 1992) La RAS toma en consideración que el efecto adverso del sodio es moderado por la presencia de los iones de calcio y magnesio (Brady, 1990)

La RAS se define por la expresión siguiente

$$R.A.S = \frac{[Na^+]}{1/2 [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}$$

Donde:

(Na^+) = Concentración de sodio (meq /l)

$(Ca+2 + Mg+2) =$ Concentración de Calcio mas Magnesio (meq /l)

El porcentaje de sodio intercambiable de suelos sódicos es claramente mayor que 15 y el RAS es más de 13. El sodio adsorbido se encuentra libre para hidrolizar porque la concentración de sales neutras es un poco baja. Resulta de esto un incremento del ion hidroxido y por consiguiente del pH, siendo este siempre superior a 8.5 y a menudo asciende a 10 o más. La conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 dS/m (Brady, 1990).

El alto pH es debido en gran parte a la hidrólisis de carbonato de sodio como se explica en la siguiente reacción:



La superficie del suelo se vuelve de color oscuro, a menudo negra a causa de las partículas de humus dispersas, este es transportado hacia arriba por el agua capilar y depositado cuando se evapora, por lo tanto el nombre de alcali negro ha sido usado para describir estos suelos. La superficie se seca en forma típica en grandes unidades prismáticas muy duras que tienen bordes bien definidos y superficies suaves, llamadas costras.

3.3.6. EFECTOS DE LA SODICIDAD EN LOS SUELOS Y EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS.

Los efectos de los suelos sódicos en las plantas se deben no solamente a la toxicidad de iones Na^+ , HCO_3^- y OH^- , sino a que también reducen la infiltración del agua y la aireación en los suelos, tanto como a la completa defloculación de la fracción coloidal (Reyes, 1993).

El sodio al reaccionar con el agua forma sosa dando por resultado un alto pH que como ya se dijo, es mayor de 8.5, limitando el crecimiento de la mayoría de los cultivos al no encontrarse disponibles algunos elementos para las plantas (Plaster 1992) por un lado y, encontrándose otros solubles en cantidades excesivas (Reyes, 1993).

Los cultivos varían en su tolerancia al sodio. Para los cultivos más sensibles, como los cítricos, los efectos nutricionales del sodio son más importantes que los efectos en la estructura del suelo. Para cultivos tolerantes al sodio, el pobre crecimiento es resultado de las condiciones del suelo principalmente (Plaster, 1992).

Así, la estructura del suelo puede degradarse al utilizar una agua de riego de baja concentración en electrolitos o por una elevada concentración de sodio en el complejo de cambio (Porta, 1994).

Los suelos sódicos pierden con facilidad su estructura volviéndose impermeables, a menos que la concentración de sal se mantenga alta (Singer, 1991).

Si las reservas de calcio en el suelo son muy bajas durante el lavado de sales, una proporción apreciable de los iones calcio intercambiable es reemplazada por sodio en la superficie del suelo y genera cambios en la permeabilidad mismo, la cual depende tanto de la proporción de los cationes intercambiables retenidos por el suelo esencialmente sodio (PSI) como de la concentración de sales solubles en el agua que percola.

Un suelo puede tener un alto PSI y permanecer aun permeable si la solución que drena, con la cual está en equilibrio esta suficientemente concentrada, pero al hacerse mas diluida la solución, se alcanzara una concentración tal que la permeabilidad empiece a bajar, debido a que la dilatación de los agregados del suelo reduce el tamaño de los poros por los cuales percola la solución. Al descender aun mas la concentración, las partículas de arcilla empezaran a dispersarse o bloquearan completamente esos poros, con lo que el suelo se vuelve impermeable (Figura 4)

Las condiciones de alta alcalinidad y bajo contenido en sales, conducen a que las partículas de arcilla y materia orgánica se dispersen y la estructura del suelo sea inestable al contacto con el agua

Este suelo es difícil de cultivar y las costras pueden inhibir la emergencia de las plántulas. Pequeñísimas partículas de suelo se depositan en los poros sellando la superficie del suelo. Como resultado el suelo derrama agua de manera que forman manchas lisas mojadas (Plaster, 1992)

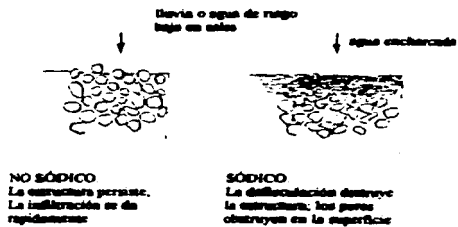
Los suelos dispersos son extremadamente difíciles de trabajar por que son muy plásticos y adherentes en húmedo y forman terrones duros y compactos en seco (Troeh, 1991)

El PSI al que se hacen importantes estos procesos de dilatación y dispersión con una concentración dada de la solución, depende del tipo de arcilla, del contenido y distribución de las láminas de sesquióxidos y de la cantidad y tipo de materia orgánica

El efecto del sodio es mas extremo en suelos de texturas finas y menos en extremo en suelos granulares (Plaster, 1992)

Es importante recalcar que no hay un valor universal para el PSI mínimo que un suelo debe poseer para que su permeabilidad se vea afectada apreciablemente, pues esto depende del suelo, de su manejo y de la concentración de sales en el agua de riego

Figura 4: Efecto del sodio en la permeabilidad de la superficie del suelo.



Fuente: Singer, 1991.

3.3.7. SUELOS SALINO-SÓDICOS.

Los suelos salino-sódicos contienen cantidades apreciables de sales solubles neutras y iones de sodio suficientes para afectar seriamente la mayoría de las plantas. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor que 15 y la Conductividad Eléctrica (CE) de un extracto saturado es más que 4 dS/m. El pH generalmente es 8.5 o menor por la presencia de sales neutras. La relación de adsorción de sodio (RAS) es mayor que 13 en estos suelos (Singer, 1991).

La disolución de la materia orgánica por la reacción alcalina da color oscuro a la costra salina que se forma. Los manchones negros son indicadores de condiciones salinas y sódicas, están desprovistos de vegetación y desarrollan algunas veces plantas indicadoras de alcalinidad (Aguilera, 1989).

La estructura física de estos suelos es normal. Sin embargo después de períodos de lluvia o riego pesado con agua baja en sales, el magnesio y calcio solubles pueden lixiviarse fuera del suelo, dejando detrás las sales de sodio. Estos suelos pueden convertirse entonces en sódicos, con estructura física y drenaje pobre (Plaster, 1992).

Por eso en la mejora de suelos salino-sódicos para evitar la expansión y translocación de los coloides, se debe lavar con agua de alta concentración salina, lo que permitirá mantener una conductividad hidráulica adecuada. El sodio irá lavándose progresivamente por el efecto de dilución de valencia (Porta, 1994).

3.3.8. MANEJO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS Y SÓDICOS.

El hecho de que la mayoría de los suelos salinos y sódicos se encuentran en regiones áridas y semiáridas se debe, entre otras causas, a la escasa precipitación y altas evaporaciones que se presentan, por una parte y, por otra, a prácticas de manejo del suelo y agua de riego inadecuadas.

Los procedimientos de manejo, son los requeridos para el control de la salinidad y son relativamente continuos y; los procedimientos de recuperación son para restaurar la pérdida de productividad debida a una salinidad o sodicidad severa.

La recuperación puede requerir remover el exceso de sales solubles, así como reducir el PSI, la única manera probada para reducir la concentración de sales en la zona radicular es lixiviar. El PSI es más difícil de reducir, debido a las iones de sodio adsorbidos en las partículas del suelo, ya que primero deben reemplazarse con cationes divalentes de la solución del suelo a través de una reacción química y después ser lixiviados de la zona radicular. Por lo tanto, la recuperación de suelos sódicos es una combinación de procesos químicos y de procesos de transferencia de masas (CNA-CP, 1997).

La recuperación de un terreno cuyo único defecto es que contiene una concentración demasiado alta de sales neutras es, en teoría simple, pues solo es necesario suministrar

suficiente agua por encima de las necesidades de transpiración del cultivo para lavar las sales del suelo y evitar la entrada incontrolada de nuevas sales. La necesidad de mas agua se debe en primer lugar a que ésta no se mueve hacia abajo uniformemente a través del perfil, pues el suelo contiene una serie de grietas y canales descendentes por los cuales se mueve rapidamente parte del agua, tomando consigo solo pocas sales de dentro de los agregados o terrones del suelo. En segundo lugar, el esquema simple supone que el agua de lavado no disuelve minerales del suelo y que no tienen lugar reacciones quimicas tales como precipitación de carbonato calcico entre las sales disueltas y el suelo

En este sentido se requiere de un exceso de agua que atraviese la zona de enraizamiento y lave de ellas las sales, lo cual se logra aplicando los siguientes conceptos

Fración de Lavado (LF)

Fración de agua aplicada con el riego que realmente atraviesa la zona radicular y aparece como agua de drenaje

$$LF = Ld/Lr \quad \text{donde}$$

Ld = agua drenada por debajo de la zona radicular, cm

Lr = agua aportada a la superficie del suelo, cm

Necesidades de Lavado (LR)

Fración calculada de agua que debe pasar a través de la zona radicular para mantener la conductividad electrica (C E s) o el RAS a un determinado valor o por debajo de el

Por lo general, la atención se centra en mantener las sales por debajo de un determinado nivel (C E s). Cuanto mas bajo sea este, mayor deberá ser la Lr . La C E s a mantener dependerá de la tolerancia del cultivo, la que puede variar a lo largo de las fases de desarrollo

La C E s no podrá ser inferior a la del agua (C E ar) que se utiliza para regar y cuanto mayor sea la C E ar mayor deberá ser la LR para evitar la salinización

Al percolar el agua de riego a través del suelo, habrá una redistribución de cationes entre la solución y los puntos de intercambio y, conforme se seca el suelo, la concentración de la solución del suelo aumentará, lo cual alterará el equilibrio de intercambio entre los cationes monovalentes y divalentes

La recuperación de los suelos sódicos es más difícil que la de los suelos salinos, para recuperar los suelos sódicos es necesario de tres procesos

- a) - Incremento de la conductividad hidráulica
- b) - Lixiviar las sales de sodio del sistema
- c) - Reemplazar el sodio por calcio

Durante el proceso de lixiviación, el agua debe percolarse a través del perfil del suelo para disolver y transportar los cationes divalentes a los sitios de intercambio catiónico para intercambiarse con el sodio adsorbido

La conductividad hidráulica de un suelo sódico es función del PSI y de la concentración electrolítica de la solución que se está percolando, así como del pH del suelo. A su vez estas interrelaciones varían con la textura y con la mineralogía del suelo (CNA-CP, 1997)

Si el suelo contiene yeso, drenar el terreno e inundarlo con agua, es probablemente todo lo que hace falta. Pero si el suelo es pobre en yeso, el problema primario es la impermeabilidad del suelo superficial al agua, lo cual se puede acentuar si se lava con agua pura, por lo que se recomienda mantener en el suelo un contenido de sales suficientemente alto durante el proceso de lavado para que el suelo permanezca agregado y permeable

Si no existe yeso presente en forma natural, cualquier sal de calcio puede ser aplicada como un mejorador para recuperar suelos salino-sódicos. Es más común la aplicación de yeso, carbonato de calcio o cloruro de calcio. Azufre o ácido sulfúrico algunas veces se usan para aumentar la conversión natural de carbonato de calcio a yeso, que es más soluble que el carbonato de calcio

Singer propone tres tipos de prácticas de manejo general para mantener y mejorar la productividad de suelos salinos y sódicos

El primero es la erradicación o remoción de las sales. El segundo es la conversión de algunas sales a formas menos dañinas y el tercero es el denominado control

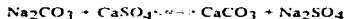
La primera se refiere al lixiviado de las sales con la instalación previa de un sistema de drenaje. Las sales son disueltas y transportadas lejos de la zona radicular eliminándose finalmente por el drenaje. En este caso el agua de riego usada no debe ser alta en sales solubles, especialmente no debe contener sodio. Los métodos de lixiviado son efectivos especialmente en suelos salinos, cuyas sales son en gran parte neutras y altas en concentración de calcio y magnesio. Por supuesto, poco sodio intercambiable debe estar presente

Lixiviar suelos salino-sódicos (y aun sódicos si el agua percola) con agua muy alta en sales pero baja en sodio puede ser efectivo. A la inversa, tratando suelos sódicos y salino-sódicos con agua baja en sales puede intensificar la alcalinidad del suelo. La remoción de las sales solubles neutras permite un incremento en el porcentaje de saturación de sodio, incrementando la concentración de iones hidroxido en la solución.

Con este método, llamado rehabilitación mediante agua con alto contenido de sal, los suelos salino-sódicos permanezcan permeables mientras las concentraciones de sal en la solución del suelo se mantengan lo suficientemente altas como para flocularlo y mantenerlo floculado.

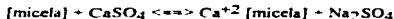
Soluciones lixiviantes con una concentración electrolítica alta, tiene un efecto floculante sobre las partículas del suelo, y ayuda a que los paquetes de arcillas se contraigan. Como resultado de la alta concentración de sales de la solución lixiviante, se mantiene una conductividad hidráulica alta (CNA-CP, 1997).

El uso de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en suelos sódicos, es recomendado generalmente para el propósito de intercambiar Ca^{+2} por Na^+ en la micela y remover bicarbonatos de la solución del suelo.



(lixiviable)

Na^+



Na^+

(lixiviable)

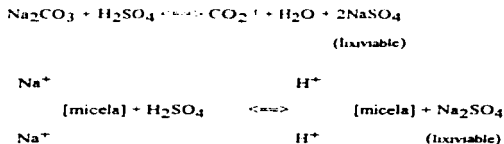
Debido a esto, los iones divalentes solubles (por lo general calcio) deben estar presentes durante el tratamiento de suelos sódicos, y por lo mismo, varias toneladas de yeso por hectárea son necesarias generalmente. El suelo debe mantenerse húmedo para acelerar la reacción y, el yeso debe mezclarse completamente dentro de la superficie por recuperar, no basta con enterrarlo. El tratamiento debe complementarse después con un lixiviado completo del suelo con agua de riego para lavar algo de sulfato de sodio.

Puede haber calcio soluble en muchos suelos afectados por sodio. Si este además es de textura arenosa, la exposición de la cal del subsuelo a la superficie mediante la labranza, antes de aplicar el agua, es suficiente para mantener la permeabilidad del suelo durante el

tratamiento. La introducción del arado hasta una profundidad de 0.7 a 0.9 metros también ha demostrado ser útil para redistribuir la cal del subsuelo y para desmenuzarlo, con lo que se conserva la permeabilidad del agua adecuada durante el proceso de rehabilitación. Si el subsuelo tiene una capa compacta, arar profundamente puede sacar esta capa a la superficie, romperla en cierto grado y exponerla a los agentes meteorizantes de forma que su estructura pueda aflojarse por secado y mojado.

Sin embargo, en muchos casos, la cal no es lo suficientemente soluble como para mejorar los suelos sódicos. Puede proporcionar calcio soluble solo si se aplica un acidificante que disuelva la cal antes de comenzar con la rehabilitación. Entre los acidificantes más comunes, que se usan para tratar suelos sodico-calcareos están el ácido sulfúrico y el azufre elemental. Los organismos del suelo transforman el azufre mediante oxidación antes de que sea efectivo. El yeso producido por la acción del ácido sobre la cal del suelo se comporta como el yeso agregado durante el resto del proceso de rehabilitación.

El azufre elemental y el ácido sulfúrico pueden ser usados con provecho en tierras salinas, especialmente donde abunda el carbonato de sodio. El azufre mediante oxidación biológica produce ácido sulfúrico, el cual no solo cambia el carbonato de sodio a sulfato de sodio menos perjudicial, sino también disminuye la alcalinidad. Las reacciones de ácido sulfúrico con los compuestos que contienen sodio pueden mostrarse como siguen:



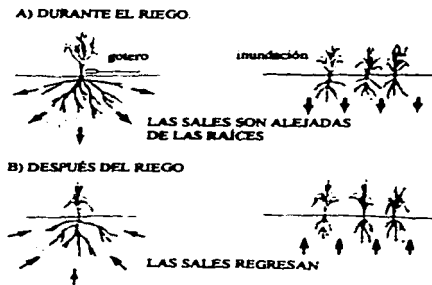
No solo es cambiado el carbonato de sodio a sulfato de sodio, una sal neutra suave, sino que el radical carbonato es removido del sistema. Cuando se usa yeso, sin embargo, una porción del carbonato puede permanecer como un compuesto de calcio (CaCO_3).

Para este efecto el yeso es más eficiente que el carbonato cálcico y el cloruro cálcico es más soluble, pero su uso es antieconómico. Si se usan las sustancias mejorantes con eficiencia completa, 10 tons de yeso equivalen a 5.8 de carbonato cálcico o 1.9 ton de azufre, y si se aplican a una hectárea de terreno podrían desplazar 2.2 meq de sodio por 100 g de suelo de los 30 cm superiores del perfil.

El retardo de la evaporación es un importante factor en el control de los suelos salinos. Retardar la evaporación no solo conservará la humedad, si no también retardará la translocación ascendente de sales solubles dentro de la zona de raíces.

En zonas de riego, un exceso de agua debe ser evitado a menos que sea necesario para liberar al suelo de sales solubles. Riegos ligeros frecuentes son a menudo necesarios no obstante, para mantener las sales diluidas y alejadas de la zona radicular suficientemente para permitir el crecimiento normal de la planta. Aunque esto es logrado por un tiempo relativamente corto, durante el riego y mientras se mantenga cierta humedad, ya que las sales volverán a concentrarse en la zona de raíces cuando la humedad se pierde por efecto de la evapotranspiración (Figura 5)

Figura 5. Movimiento de las sales durante y después del riego



Por otra parte, el uso de cultivos resistentes a la sal es otra característica del manejo exitoso de los terrenos salinos y alcalinos. Además, un alivio temporal de alcalinidad permitirá establecer cultivos menos resistentes.

Incorporar estiércol es muy útil en el intento de recuperar suelos salinos ya que mejora la estructura del suelo y permite un buen drenaje para el drenaje de sales. Un cultivo como la alfalfa, una vez que crece vigorosamente puede mantenerse a pesar de las concentraciones de sal que pueden desarrollarse después. La acción de las raíces de las plantas tolerantes es excepcionalmente útil en el mejoramiento de los suelos sódicos con condiciones físicas pobres. La agregación es mejorada y, a través de los canales o grietas que dejan las raíces, el agua y el oxígeno penetran en el suelo y se expelen dióxido de carbono.

La elección del cultivo a establecer es, sin embargo, limitada pues debe ser capaz de soportar el prolongado encharcamiento necesario para lavar tanto sodio como sea posible en el subsuelo, para tales condiciones. Una vez que los cultivos están establecidos, se estimula su enraizamiento profundo dando riegos muy fuertes a intervalos tan largos como sea posible. Las raíces toman tanta agua como pueden del subsuelo antes del riego siguiente, aunque no debe permitirse sequen el suelo tanto que la solución del suelo se haga lo suficientemente concentrada para dañarlas. A menudo el primer cultivo a cosechar se incorpora como abono verde, pues la planta puede contener demasiadas sales para los animales, y el abono verde no solo producirá dióxido de carbono en el suelo durante su descomposición, sino que también dejará libres lentamente nutrientes vegetales como fosfato, hierro, magnesio y zinc, que pueden estar poco disponibles en suelos sódicos.

Como se ha dicho anteriormente, muchos suelos sódicos no utilizados son, para empezar casi impermeables, y la mejora de la permeabilidad es el primer problema. De una manera sintética la recuperación de estos suelos se hace reemplazando el sodio intercambiable en la capa superficial y estabilizándola, generando así una capa estabilizada de mayor profundidad.

3.3.9. SISTEMAS DE RIEGO Y CONTROL DE LA SALINIDAD.

El método de riego aplicado en la parcela y la cantidad de agua por aplicar son factores de gran importancia en la prevención y control de la salinidad. Además el abastecimiento de agua, el tipo de suelo, la topografía y los cultivos por regar, determinarán los métodos correctos para aplicar el agua de riego.

En el método de riego por gravedad y siembra en surcos, el agua se desplaza por capilaridad hacia el centro del camellón, acarreado consigo las sales existentes que se acumulan por efecto de evaporación, en el medio de la parte superior de los camellones. Así, las semillas puestas en una sola hilera en el centro del camellón se encuentran precisamente en la zona de mayor concentración de sales. Por el contrario, las semillas sembradas en doble hilera tendrán mayores posibilidades de una mejor germinación y situarán a las plantas en la zona de menor concentración (Figura 6).

En el riego por surcos alternados las sales se acumulan en el camellón en su extremo opuesto al agua de riego, dejando el centro del mismo en una concentración menor. Otra

alternativa que favorece la germinación es la colocación de las semillas en una hilera, en el extremo del camellón adyacente al surco de riego. La siembra en doble hilera no es recomendable en los casos de riego por surcos alternados (Figura 7)

Una practica aun mejor para controlar la salinidad es la formación de camellones. Consiste en construir surcos en declive, donde las semillas se colocan inmediatamente por encima del nivel del agua. En este caso se continua regando hasta que el frente mojado atraviese las hileras de las semillas (Figura 8)

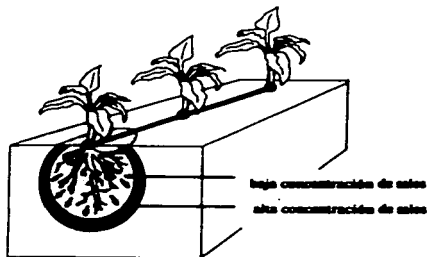
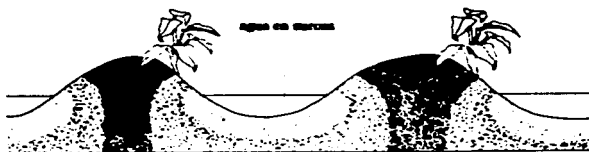
Con fines de recuperación de suelos, los metodos superficiales por lineas, parecen no ser los mas convenientes cuando se tiene cierto grado de salinidad debido a que al aplicarse no cubre totalmente el terreno, el humedecimiento del mismo se produce por efecto de gravedad de la carga en el surco y por infiltración lateral que se crea por capilaridad

Los metodos de riego superficiales por inundación pueden ser los mas convenientes cuando se tienen problemas de salinidad, ya que mediante este metodo se mantiene una lamina de agua por un tiempo prolongado sobre la superficie del terreno. Este metodo incluye los cuadros y melgas y, es requisito indispensable para su aplicacion que el nivel freatico sea profundo

El metodo de riego por aspersión permite una aplicacion y penetracion mas uniforme del agua y por tanto una mayor eficiencia en el uso de la misma y el control de la salinidad. Sin embargo hay casos en que el humedecimiento del follaje en algunos cultivos, genera enfermedades fungosas y toxicidad por cloro o sodio en cultivos muy sensibles (Figura 9)

En los sistemas de riego localizado, las sales se concentran en la superficie del suelo y en la masa de su periferia mojada por los emisores. El metodo de riego por goteo tiene la ventaja de que puede regar suelos con altos contenidos de sales y con aguas de riego de baja calidad, debido a que el esfuerzo de humedad del suelo siempre esta bajo (o el potencial de agua alto) y la planta no tiene ningun problema para absorber el agua (figura 6 y 9)

Figura 6: Concentración de sales en el riego por surcos y por goteo.



Fuente: Plaster, 1992.

Figura 7: El riego y la acumulación de sales en camellones planos.

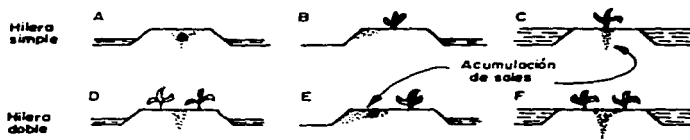
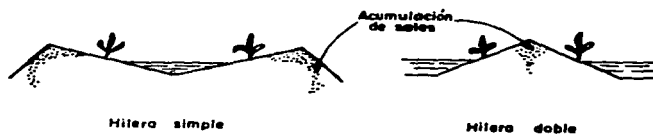
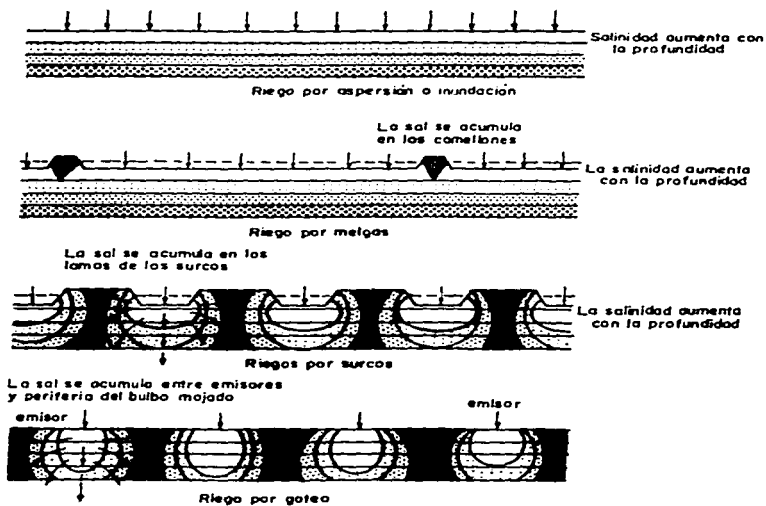


Figura 8: Control de la salinidad en camellones inclinados.



Fuente: Pulido, 1996.

Figura 9. Patrón de acumulación de sales para varios sistemas de riego.



Fuente: Pulido, 1996

Cuando existe un problema de salinidad, el principio general en el manejo del agua de riego es regar con mas frecuencia para que en contenido de humedad no se aproxime al limite mínimo permisible por cada cultivo. El mantenimiento de un contenido constante y alto de humedad, junto con el desplazamiento de las sales fuera de la zona de raices, es la razón por la que el riego por goteo ha sido utilizado con éxito con aguas de alta salinidad ($CE > 3$ dS/m)

Considerando que todas las aguas de riego tienen sales, al regar un cultivo las plantas absorben el agua y dejan las sales disueltas. Con objeto de evitar la acumulación de sales en el terreno es necesario aplicar una lámina de sobre riego. Esta puede aplicarse con cualquier sistema de riego descritos anteriormente, pero el que tiene mayor efectividad es el de inundación ya que cubre el área completamente.

Es necesario considerar que la frecuencia de aplicación de la lamina de sobrerriego debe ser tal que permita mantener la salinidad por debajo de la concentración que ocasione reducciones inaceptables en los rendimientos. Por otra parte es conveniente distinguir entre lamina de sobrerriego y lamina de lavado, ya que esta última se aplica para recuperar un suelo ensalitrado y la primera para prevenir el ensalitramiento del suelo.

Para estimar la lamina de sobrerriego se necesita conocer tanto la salinidad del agua de riego, como la salinidad tolerable por el cultivo, se puede utilizar para su cálculo, la siguiente ecuación

$$RL = Eca / 5 ECx - ECa$$

Donde

RL= El requerimiento de lixiviación mínimo que se necesita para controlar las sales dentro de la tolerancia de un cultivo, empleando métodos comunes de riego por superficie

Eca= La salinidad del agua de riego en DS/m

Ecx= La salinidad del extracto de saturación, en dS/m que representa la salinidad tolerable por un cultivo determinado. Este valor para un cultivo determinado y el rendimiento potencial se puede obtener en tablas.

3.3.9.1. CALIDAD AGRONÓMICA DEL AGUA DE RIEGO.

La calidad de un agua para riego se basa inicialmente en su composición química. Esta información, que se puede referir como la calidad química del agua, si bien es de utilidad, resulta incompleta para determinar sobre el uso que se debe dar a un agua en relación al riego. Dado que los problemas que se pueden presentar en los suelos bajo riego no se deben exclusivamente a la composición química del agua, se hace necesario introducir el concepto

de calidad agronómica del agua, que toma en cuenta las interacciones agua-suelo. Estas deben tomarse en consideración para poder realizar predicciones en el uso de las aguas de riego y los aspectos a considerar son

a) Calidad química del agua

Evaluada por su

- Conductividad eléctrica y pH
- Contenido de cationes Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ RAS
- Contenido de aniones Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{--}
- Contenido de elementos tóxicos y contaminantes

b) Características Físicas y Químicas del suelo a regar

Evaluadas por

- pH, textura, materia orgánica, RAS, PSI
- Velocidad de infiltración
- Conductividad hidráulica
- Morfología del perfil

c) Cultivo a regar

- Tolerancia a la salinidad, al sodio ó a elementos tóxicos

d) Clima

- Precipitación cantidad y modelo de distribución anual
- Evapotranspiración

- Vientos dominantes en la zona

e) Metodo de riego y manejo del agua

Con aguas de mala calidad quimica el exito ò fracaso puede depender del método de riego y de un manejo adecuado del agua, en especial del empleo de una fraccion de agua para el lavado de sales (LF)

f) Condiciones de drenaje

Los excedentes de agua de riego, necesarios en muchos casos para asegurar la fraccion de lavado (LF) deben tener prevista una salida, para que las sales no se acumulen en la zona radicular

3.3.10. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS CON PROBLEMAS DE SALINIDAD.

Existen diferentes metodos para recuperar suelos con problemas de sales, entre los más comunes se tienen los metodos físicos, los biológicos, los electricos, los quimicos y los hidrotécnicos. Todos estos metodos tienen como objetivos principales, mejorar la permeabilidad de los suelos y propiciar el intercambio de calcio por sodio en el complejo de intercambio

Sin embargo, en general los metodos de recuperacion no deben utilizarse en forma aislada, sino combinadamente. Esto permite la eliminacion efectiva de las sales en los suelos

3.3.10.1. MÉTODOS FÍSICOS.

Estos metodos se aplican a los suelos salinos, salino-sódicos y sódicos y, consisten en el uso de maquinaria agricola para mejorar las condiciones estructurales de los suelos. Estos se aplican principalmente en las labores de preparación del terreno, previo a la siembra

En los suelos salinos y salino-sódicos, los metodos físicos dan un tratamiento mecánico al suelo, el cual puede ser un subsoleo, un arado profundo, aplicacion de arena o inversion del perfil. Esto tiene el proposito de romper capas endurecidas, tales como pisos de arado y capas de carbonatos y sulfatos precipitados que impiden el paso del agua a través del perfil del suelo. El tratamiento mecánico tiene una secuencia establecida, en el caso de los suelos salino-sódicos esta secuencia de las labores culturales que se realizan en la recuperacion es ligeramente distinta cuando los suelos tienen diferentes contenidos de sales.

En los suelos sódicos, el mejoramiento de la condicion física comprende el reacomodo y agregación de las partículas de suelo, así como la substitucion del sodio intercambiable por calcio

El reacomodo de las partículas del suelo para mejorar su condición física, se facilita mediante el proceso de mojado y secado del suelo y por la acción de las raíces de las plantas. En estos suelos cuando los porcentajes de arcilla son altos, se agudiza el deterioro estructural y la baja penetración de agua y raíces. Esta infiltración lenta de agua provoca que el intercambio de sales de los productos químicos tenga dificultad para entrar en función.

La preparación de estos suelos requiere de la utilización de implementos agrícolas más pesados y de arados de subsuelo que permitan la permeabilidad a una profundidad de cuando menos 60 cm. Las araduras profundas se practican antes de la siembra o durante los períodos de reposo de los cultivos, cuando causan menos daño a las raíces de los cultivos perennes y, únicamente cuando los suelos se encuentran lo suficientemente secos para favorecer la ruptura y la formación de terrones.

3.3.10.2. MÉTODOS QUÍMICOS.

Se emplean estos métodos para recuperar suelos salino-sódicos y sódicos, y consisten en la agregación de sustancias al suelo con la finalidad de solubilizar el calcio existente o agregarlo directamente en forma soluble, en el caso de que este no exista, para propiciar el intercambio catiónico y la sustitución del sodio por calcio en el complejo de intercambio.

Existen varias sustancias que se usan como mejoradores dependiendo de las características del suelo, de la velocidad deseada de la recuperación y de las limitaciones económicas.

Entre las sustancias más comunes se tienen

- a) Sales solubles de calcio: cloruro de calcio y el yeso.
- b) Ácidos o sustancias formadoras de ácidos: azufre, ácido sulfúrico, sulfato ferroso, sulfato de aluminio y el polisulfuro de calcio.
- c) Sales de calcio de baja solubilidad: calcio y dolomita.

La selección de un mejorador químico puede estar determinada por el tiempo que requiere su reacción en el suelo. En general, los mejoradores más baratos actúan más lentamente. En los suelos salino-sódicos las características a considerar para seleccionar el mejorador son el contenido de carbonatos de calcio y el pH, con base en estas características se pueden establecer tres grupos de suelos:

- a) Suelos que contienen carbonatos de calcio. En este caso pueden utilizarse cualquiera de las sales solubles de calcio, las sustancias formadoras de ácidos y los ácidos.

b) Suelos que contienen carbonatos de calcio y cuyo pH es mayor de 7.5. Para estos suelos no es recomendable usar ácidos o sustancias formadoras de ácidos, por que en el complejo de intercambio se fija hidrogeno, se acidifica la reaccion, el pH del suelo se abate y puede causar problemas de disponibilidad de nutrientes. En estos suelos la eleccion debe limitarse a las sales solubles de calcio.

c) Suelos que no contienen carbonatos de calcio y cuyo pH es menor de 7.5. En estos suelos se puede usar roca caliza molida no asi el azufre y el acido sulfurico. Para la aplicacion de los mejoradores ácidos, se requiere de calcio en los suelos y, cuando el pH es mayor de 7.5 la caliza tiene muy baja solubilidad lo cual disminuye y retarda su aprovechamiento.

En cuanto a la velocidad de reaccion, los ácidos reaccionan inmediatamente al entrar en contacto con el suelo. La velocidad de reaccion de las sales solubles de calcio depende de la solubilidad de las mismas. Como las reacciones en el suelo son de superficie entre mas pulverizado este el mejorador, mas rapidamente se realiza la reaccion. El contenido de humedad del suelo, la forma de aplicacion y la pureza del producto tambien tienen influencia en la velocidad de reaccion.

La cantidad de mejorador por aplicar depende de la capacidad de intercambio cationico del suelo, del PSI que se desea sustituir en el complejo de intercambio del contenido de carbonatos y bicarbonatos solubles, de la pureza del mejorador, de la profundidad y superficie del suelo por recuperar y del volumen de agua disponible para disolver el mejorador. Ya existen ciertos metodos y formulas para hacer los calculos de la cantidad de mejorador por aplicar.

En cuanto a la forma de aplicacion se puede realizar con el agua de riego, en el caso de los mejoradores liquidos (acido sulfurico y polisulfuro de calcio), en cuanto a los mejoradores solidos, estos deben aplicarse directamente en el suelo lo mas finamente pulverizado que sea posible, al voleo o con una sembradora de trigo. La aplicacion en forma de polvo se hace superficialmente y posteriormente se incorpora en el suelo con un paso de rastra o con una inversion del perfil por el arado para que quede a mayor profundidad. Las sales solubles de calcio pueden aplicarse en el agua de lavado o a la entrada de la parcela.

Los suelos sodicos son sin duda los mas dificiles de recuperar y los mas caros, se requiere proporcionar calcio soluble en el suelo o bien aumentar la solubilidad del calcio ya existente, con el fin de desplazar del complejo coloidal del suelo al ion sodio y al mismo tiempo mejorar su permeabilidad.

El éxito o fracaso de la recuperacion de suelos sodicos depende en cierto grado de la infiltracion del agua en el suelo, ademas del contenido de calcio en el y de la gravedad del problema. En estos suelos, se agudiza el deterioro estructural cuando los porcentajes de arcilla son altos, creando tipos de estructuras que impiden la penetracion de agua y raíces, limitando con ello el espesor de suelo donde se desarrolla el sistema radical de las plantas.

El procedimiento de calculo para recuperar por metodos quimicos los suelos salino-sodicos y sodicos es similar y se realiza basandose en los siguientes aspectos:

a) El valor minimo o limite deseado a que se deberá bajar el PSI. Esto depende de la textura, asi como del tipo de arcilla.

b) El espesor de suelo que tendrá que ser mejorado, dependiendo de la profundidad radical del cultivo por establecer, asi como de las condiciones quimicas y del estado estructural que presente el suelo.

c) El tipo y clase de mejorador que debe aplicarse

Formula para calcular la cantidad de mejorador

$$Dm = (PSI_i - PSI_f) \cdot T \cdot Pe \cdot h \cdot Da / 100$$

Donde

Dm = Dosis del mejorador en Kg/Ha

PSI_i = Porciento de Sodio Intercambiable inicial

PSI_f = Porciento de Sodio Intercambiable final

T = Capacidad de Intercambio Catiónico, en meq/100 g de suelo

Pe = Peso equivalente del mejorador, en unidades (Mol)

h = Profundidad del suelo a mejorar (cm)

Da = Densidad aparente del suelo a mejorar (g/c c)

En resumen, la cantidad de mejorador para recuperar un suelo sódico es una función de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), del cambio deseado del PSI, de la densidad aparente y de la profundidad del suelo.

3.3.10.3. MÉTODOS BIOLÓGICOS

Consiste en el uso de la materia orgánica (estiércoles, abonos verdes, rastrojo, etc.) y plantas tolerantes a las sales para propiciar una mejora de la permeabilidad del suelo. El efecto beneficioso de la vegetación se debe a la acción mecánica de sus raíces, la cual incrementa la permeabilidad y conductividad hidráulica. En el caso de las plantas tolerantes sus raíces dejan conductos por los cuales el agua circula mejor en el suelo. Además, la materia orgánica o los abonos verdes liberan nutrientes que estimulan el desarrollo de las plantas y aceleran el proceso de recuperación y, por otro lado mejoran la estructura de suelos de estructura pesada.

En este método de recuperación de suelos, debe de considerarse la rotación de cultivos y la siembra de especies como la alfalfa y los pastos, estos últimos al establecerse en praderas ayudan a reducir la humedad en suelos con mantos freáticos elevados. También las plantas establecidas antes o después de la recuperación impiden que el agua se evapore directamente de la superficie del suelo, dejando las sales acumuladas.

Cuando los residuos de los cultivos se dejan sobre la superficie o se incorporan en el suelo superficial de terrenos rugosos y con terrones, mejoran la penetración del agua en los suelos sódicos y en los terrenos regados con agua de baja salinidad y de RAS alto. Tanto los residuos superficiales, como el sistema radical de los cultivos mantienen la porosidad del suelo mediante grietas y vacíos que favorecen la penetración del agua.

3.3.10.4. MÉTODOS HIDROTÉCNICOS.

En el caso de los suelos salinos, la disminución del contenido de sales se efectúa preferentemente mediante la aplicación de diferentes laminas de lavado, sin utilizar mejoradores químicos, aprovechando que los contenidos de calcio son dominantes sobre el sodio. El volumen necesario para el lavado se calcula con base en la cantidad de sales que se desea desplazar de una profundidad determinada, generalmente relacionada con la profundidad radical.

Las sales solo pueden transportarse fuera del suelo con el agua de riego, por lo que la eficacia en el proceso de recuperación de un suelo con problemas de sales, dependerá en gran parte de dos aspectos básicos: el lavado de sales y el drenaje.

La finalidad del lavado del suelo es poner en solución las sales que causan problemas a los cultivos y transportarlas fuera de la zona radical. El agua que se utilice en el proceso de lavado debe ser de buena calidad para que tenga mayor poder de solubilidad, también es conveniente utilizar aguas que contengan fuertes cantidades de calcio, con CE de 1000 a 2500 micromhos/cm ó mas.

El proceso que se sigue en el lavado de los suelos, incluye la construcción de melgas o cuadros para la aplicación de laminas de lavado, para bajar la conductividad eléctrica a niveles menores de 10 dS/m en cualquier punto del terreno. La efectividad en tiempo para

lograr lo anterior depende de la forma de aplicación y de la calidad del agua utilizada para el lavado con respecto a los contenidos y dominancia de calcio y magnesio sobre el sodio

Existen varias formulas empiricas para determinar las láminas de lavado necesarias para abatir la salinidad del suelo hasta un nivel deseado, según el cultivo de que se trate. La más utilizada en México es la Volobuyev, la cual tiene la siguiente expresión

$$L(\text{cm}) = \& \text{Log } CE/CE_0$$

Donde

L= Lámina de lavado en cm, hasta un metro de profundidad

CE= Contenido inicial de sales en valores de CE en dS/m

CE₀= Valores permisibles de CE en dS/m en el extracto de solución del suelo después del lavado

&= Coeficiente cuyo valor depende del contenido de cloruros y de la textura del suelo. Los valores de este coeficiente se presentan en la siguiente tabla

Contenido de Cloruros en % con respecto a aniones				
Textura	60 a 40	40 a 20	20 a 10	Menos de 10
Pesada	122	132	142	178
Media	92	102	112	148
Ligera	62	72	82	118

La lámina que resulta de la anterior fórmula se recomienda aplicarla varias veces y los intervalos entre aplicaciones serán de 3-8 días, siendo más cortos a principios del lavado y cuando se trate de suelos con altos contenidos de sales. Para suelos pesados y al final del lavado, los intervalos no deberán ser de más de 8 días.

Para un lavado efectivo, es necesario contar, por regla general con un sistema adecuado de drenaje ya sea superficial o subterráneo

Por otra parte, (Aceves, 1974) propone una fórmula en contraposición a la de Volobuyev por encontrarle ciertas deficiencias. En la fórmula de Aceves el valor de alfa se ha puesto en función de la calidad química del agua de lavado, del rango de salinidad de los suelos y del espesor del suelo por lavar

$$L = 9.0 (p) - 0.75 (70 - C E r / C E i - C E r) - 0.3 \text{ Log } C E i / C e f$$

Donde

L= Lámina de agua para lavado, en cm

P= Profundidad de suelo por lavar, en cm

C E r Conductividad hidráulica del agua de lavado, en dS/m a 25 °C

C E i Conductividad eléctrica inicial

C e f= Conductividad eléctrica final del suelo o permisible para un cultivo por establecer, en dS/m a 25 °C

Las dos fórmulas anteriores arrojan como resultado una gran diferencia entre las láminas de lavado por aplicar. Con la fórmula de Volobuyev, se requiere menos de la mitad de agua que con la calculada por el método de Aceves. Esto sin duda es determinante en programas de ahorro de agua debido a su escasez actual. Además se sugiere que se siga usando el método de Volobuyev por la amplia experiencia que se tiene al respecto en la mayoría de los Distritos de Riego.

En los suelos salino-sódicos, la recuperación es complicada porque es necesario tomar medidas especiales durante el lavado, ya que existe el riesgo de que se puedan formar condiciones estructurales adversas después de lixiviarse o precipitarse las sales de calcio en suelos sódicos. La lámina de lavado para este tipo de suelos se calcula de la misma manera que para suelos salinos.

En la aplicación del riego conviene utilizar aguas con calcio, si esto no es posible, el mejoramiento total requiere un mayor número de aplicaciones de láminas de lavado.

La efectividad y tiempo que requieren los lavados dependerán de la calidad del agua de riego en cuanto a contenidos de calcio y magnesio sobre el sodio se refiere y, también en cuanto al drenaje y al nivel del manto freático.

Cuando los contenidos de sales están por arriba de los 20 dS/m se requieren aproximadamente 1.5 cm de lámina de lavado por cada decisiemen que se quiera

disminuir. En los suelos donde la conductividad eléctrica es menor a 20 dS/m, la cantidad de agua varía de acuerdo con el sodio que debe ser reemplazado, es decir, con los volúmenes de agua requeridos para disolver el mejorador y con la presencia ó ausencia de calcio en las aguas para el lavado.

La aplicación de mejoradores antes ó después del lavado para eliminar sales solubles depende de las condiciones de permeabilidad del suelo que puede modificarse por el efecto del lavado de sales y la consecuente acumulación de sales.

Cuando se alcanzan valores de menos de 10 dS/m en los primeros 50 cm, es posible la explotación agrícola con cultivos medianamente tolerantes a las sales.

Como el proceso de recuperación de suelos es tardado y costoso, es recomendable realizar constantemente análisis químicos al suelo por recuperar, para conocer el avance del proceso y evaluar la posibilidad de establecer cultivos tolerantes antes de la rehabilitación total. En este contexto es conveniente verificar periódicamente la CE, pH y PSI. La conductividad eléctrica es importante para determinar la eficiencia del lavado ó la acumulación de sales, el pH para verificar el grado de oxidación en el suelo, cuando se aplican como mejoradores ácidos ó formadores de ácidos, y el PSI nos indicará si se está dando el proceso de intercambio de sodio por calcio en el complejo de intercambio.

3.3.10.5. DRENAJE AGRÍCOLA.

No existe una relación directa entre la profundidad del nivel freático y el beneficio neto de una explotación agrícola, sino indirecta a través de la relación existente entre la posición de la capa freática y el contenido de humedad y de sales de la zona saturada, especialmente de la parte superior de la zona radicular y de la capa laborable.

Por manto freático se entiende el nivel superior de la zona saturada con agua libre del subsuelo. Los mantos freáticos cuyo origen es el agua de riego deben su presencia a un estrato terreo subsuperficial (B-argílico) de baja conductividad hidráulica. Esto es clásico del horizonte de diagnóstico lúvico que a su vez puede aparecer en varios órdenes de suelos. (Velasco, 1991).

Del contenido de humedad y de la salinidad de la zona radicular dependen varios factores, que afectan directamente al crecimiento y desarrollo de los cultivos y por tanto de la producción final. Así mismo, del contenido de humedad de la capa arable depende la posibilidad del laboreo y de tránsito de maquinaria agrícola, que a su vez afecta el rendimiento de los cultivos y los costos de producción.

En efecto una vez que la zona radicular alcanza el contenido de humedad de capacidad de campo, el exceso de agua infiltrada percola hacia capas más profundas del perfil del suelo, siempre que la capa freática esté lo suficientemente profunda, si no es así, la recarga da lugar a una elevación del manto freático que origina que el contenido de humedad de la zona radicular exceda el de capacidad de campo, e incluso alcance la saturación.

Estacionalmente el nivel freático sube durante el periodo de riego más intenso, que es el más crítico desde el punto de vista de drenaje. El nivel desciende durante el barbecho y entonces puede existir riesgo de salinización secundaria del suelo por efecto de la elevación capilar de agua freática

En vista de la importancia que representa lo anterior (Velasco, 1991) menciona que existen diversas formas en que se pueden presentar los mantos freáticos en los suelos agrícolas, independientemente de su origen. Los criterios establecidos al respecto son los siguientes

Agua freáticas de buena calidad y profundidad fija en el perfil del suelo. Si en este caso el nivel superior del agua freática no mantiene una condición de saturación permanente en el volumen radicular de los cultivos, sino una humedad que permita tener una relación apropiada de agua a aire, entonces, se tiene una situación beneficiosa y se considera como una subirrigación

Agua freáticas de buena calidad y profundidad fluctuante en el perfil del suelo. La existencia de aguas freáticas de esta naturaleza tiene el gran inconveniente de que si su ascenso es prolongado y coincide con la presencia del sistema radicular de algún cultivo ya establecido ocasiona una situación de anaerobiosis por saturación, presentándose la anoxia y consecuentemente una clorosis y pudrición radicular. Por otra parte, si el ascenso del agua freática coincide con las prácticas ordinarias de labranza concernientes a la preparación de tierras (antes del establecimiento del cultivo), o si el cultivo ya está establecido con las escardas durante el ciclo vegetativo, el ascenso del manto freático representa un factor limitante antes y después del establecimiento del cultivo

Agua freáticas de mala calidad y profundidad fija en el perfil del suelo. En esta condición todo dependerá de la profundidad a que se encuentre el agua freática. Cabe recordar que una capa freática a 7 pies (2.13 m) de profundidad con fluctuaciones hasta 6 pies (1.83 m) de la superficie por un lapso máximo de 30 días del año no tendrá influencia en la condición salina del volumen radicular. Por otra parte, una capa freática a 4 pies (1.22 m) y con fluctuaciones ascendentes se considera una condición negativa y tendrá influencia en la concentración salina del volumen radicular

Agua freáticas de mala calidad y profundidad variable en el perfil del suelo. En estas condiciones sería prácticamente imposible llevar a cabo una agricultura próspera sin la intervención de una práctica avanzada de drenificación de suelos. Dicha práctica sería necesaria tanto para abatir el manto freático elevado como para llevar a cabo lixiviaciones de suelo. En estas condiciones el suelo debe tener una condición salina bastante nociva para la mayoría de las plantas

La recuperación mediante lavado de suelos afectados por sales requiere de un drenaje adecuado, debido a las grandes cantidades de agua que deben pasar a través del perfil del suelo. El drenaje interno es normalmente adecuado si el perfil del suelo abajo de la zona radicular es permeable y tiene suficiente capacidad de almacenamiento interno o si las capas permeables están presentes para facilitar un drenaje natural por gravedad hacia un desagüe conveniente. Donde el drenaje natural es deficiente, se debe instalar sistemas artificiales para

hacer posible un movimiento neto del agua hacia abajo. El objetivo de la instalación de drenaje es bajar y controlar la elevación del manto freático. (CNA-CP, 1997)

La selección del método de drenaje, depende de la causa del exceso de humedad. Al seleccionar el método de drenaje deberán tomarse en cuenta los requerimientos de las plantas y los suelos. El drenaje debe asegurar no solo la remoción del exceso de agua, sino crear un régimen de humedad que sea favorable para el desarrollo del cultivo y para los procesos del suelo. El drenaje debe asegurar la posibilidad de utilizar tierras en forma intensiva y rentable, al mismo tiempo debe considerarse los requerimientos de conservación del medio ambiente. (Nikolski, 1993)

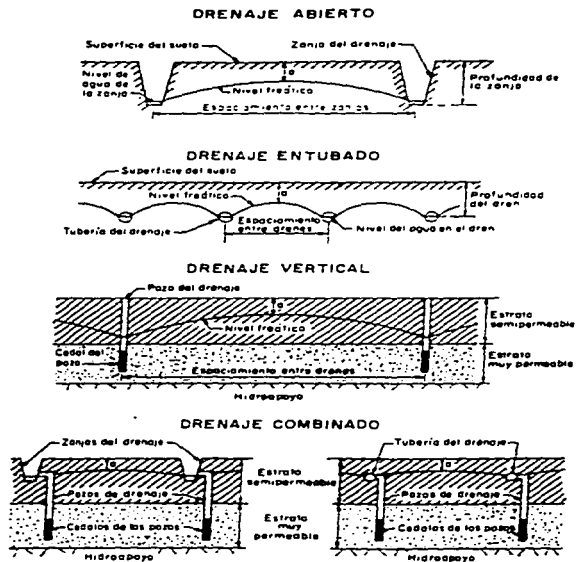
La necesidad de drenaje de los terrenos con riego en las zonas áridas aparece como regla por la cercanía a la superficie del nivel de aguas freáticas

Cuando el nivel freático se encuentra a una profundidad de 1-1.5 mts., no se puede producir condiciones de excesiva humedad del suelo, sin embargo, es posible observar problemas de salinización del suelo. Ante esta situación la principal tarea del drenaje en los terrenos de riego es reforzar el flujo de salida y disminuir el nivel freático, recomendando que este debe estar de 1.5 a 2.5 mts.

En las tierras de riego de las zonas áridas se aplican los sistemas de drenaje (Figura 10):

- Drenes horizontales de tipo zanjas a cielo abierto
- Drenes horizontales subterráneos entubados
- Drenes verticales de pozos
- Drenes combinados

Figura 10: Tipos de drenaje agrícola



Fuente: Nikolski, 1993.

3.3.10.6. DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS DE SALINIDAD EN SUELOS.

Los trabajos para prevenir ó combatir los problemas de exceso de agua y/o ensalitramiento deben estar fundamentados en un diagnóstico específico para el área de estudio, cuyo propósito es identificar las causas principales que originan estos problemas. Se cuentan con varias herramientas que permiten diagnosticar las causas específicas de los excesos de agua, así como de los excesos de sales en solución, en cada caso concreto.

En principio la herramienta mas poderosa para hacer un buen diagnostico, es el balance hidrico y salino del área de interés. En terminos simples se trata de conocer las entradas y salidas de agua y de sales al área (mas exactamente al volumen de suelo) considerada, y su variación en el tiempo, ya sea diaria, semanal, mensual e incluso anual. Esta información de entradas y salidas de agua y sales, es algunas veces conocida en los distritos, en las unidades o en las secciones de riego, (en menos casos se conocen los componentes de flujo subterráneo, que pueden ser muy importantes) pero practicamente nunca se conocen dentro de la parcela de riego, de aquí la dificultad para hacer su diagnostico. El analisis de esta información y de sus variaciones en el tiempo, permite conocer la magnitud de las fuentes de alimentación y de los posibles obstaculos que reducen o impiden las salidas de los excesos de agua. Las representaciones graficas y de las extrapolaciones de las tendencias detectadas, permiten hacer pronósticos de lo que se puede esperar de no ocurrir cambios, en las politicas de manejo del agua de riego.

Los recorridos de campo, bien planeados, permiten verificar y complementar la información de los estudios de contabilidad hidrica y salina. En ausencia de este tipo de estudios (lo cual es frecuente en el diagnostico de las parcelas) los recorridos de campo resultan indispensables. Durante estos recorridos se debe recabar toda la información posible, tanto en lo que respecta en los cultivos, como en lo que concierne a las posibles fuentes de excesos de agua y sales, así como a los obstaculos que impiden que se desaloren tales excesos. Por lo que respecta al cultivo, es importante conocer las productividades de los últimos años y su tendencia de variación. Al mismo tiempo se debe verificar la presencia de algun sintoma específico de toxicidad o deficiencia de algún microelemento, sobre todo en cultivos sensibles.

Para mejor identificación tanto de las fuentes de alimentación, como de los obstaculos a la salida del agua y sales, se recomienda que los recorridos de campo se realicen en diferentes épocas del año y de dos maneras:

a) Siguiendo el camino del agua, en dirección aguas arriba. Esto con el proposito de identificar las fuentes de alimentación ó recarga que ocasiona el problema. Deben buscarse fugas, filtraciones, afloraciones, coleos de agua de riego, etc.

b) Siguiendo el camino del agua en dirección aguas abajo, con este proceder se pretende identificar los obstaculos que dificultan la salida del agua, como son obstrucciones en drenes, presencia de vegetación en taludes y plantilla de drenes, azolve en plantilla de drenes, alcantarillas y puntos de descarga de los drenes hacia cuerpos receptores, topografía desfavorable al escurrimiento, etc.

Para complementar el diagnóstico se deben realizar estudios freaticos y de salinidad de suelos. Las observaciones sistematicas de los niveles freaticos y de los contenidos de sales de los suelos, que generalmente se presentan en forma de planos de profundidad y elevacion del nivel freatico, de afectacion de cultivos por salinidad y de los contenidos de sales en diferentes profundidades de los suelos, permiten delimitar las areas mas problematicas, donde los problemas no son temporales y requieren por lo tanto mayor atencion. Asi mismo, estos planos ilustran los cambios producidos por la realizacion de acciones de conservacion y rehabilitacion en las redes de distribucion y drenaje. Con mayor o menor precision, estos planos se han levantado a nivel distrito o nivel distrito de riego. A falta de planos levantados en diferentes epocas, que detallan la intensidad y variacion del problema, se debe de contar por lo menos con datos puntuales en sitios representativos del terreno.

Se recomienda realizar observaciones de la profundidad del nivel freatico, analizar el contenido de sales en el suelo en un laboratorio (por lo menos hasta un metro de profundidad) y hacer observaciones sobre el cultivo, por lo menos en un punto por cada cuatro hectareas. Para las observaciones del nivel freatico se cuenta con pozos de observacion permanentes ubicados a nivel distrito bajo una distribucion sistematica, tambien conviene tener de sitios de observacion temporal a nivel parcela (barrancones), para hacer el seguimiento de las fluctuaciones.

Cuando se tienen por lo menos 6 u 8 datos de profundidad del nivel freatico ya es posible hacer un esquema de lineas isobatas, es decir, de lineas similares a las curvas de nivel, que unen puntos con la misma profundidad del manto freatico, tomando como base para su medicion la cota topografica del terreno.

En el caso del contenido de sales en los suelos, se representa en planos los valores de CE y PSI para tres profundidades de suelo. Para formar el plano con valores iguales de conductividad electrica (ISOCE), se localizan las perforaciones efectuadas para obtener las muestras de suelo, en estos puntos se indican los valores de CE encontrados. Una vez pasada la CE al plano, se trazan las lineas que unen los puntos con igual valor de CE para una misma profundidad de suelo.

De la misma manera, el plano de ISOPSI se forma uniendo los mismos valores de PSI, con lo que se forman las isolinias de PSI. Este plano sirve para delimitar la dominancia de cationes y aniones y juzgar el posible reflejo de las condiciones fisicoquimicas de los suelos.

Entonces como se ha descrito, la cuantificacion de areas ensalitradas se obtienen mediante la planimetria de las areas representadas en los planos. Los planos deberan contener puntos de referencia para que las areas salinas o manchones representados se localicen con facilidad. Al sobreponer los planos de CE y PSI se genera un plano que indica areas salino-sodicas.

En el Anexo 1 se presentan los mapas que se utilizan para hacer el diagnostico integral de zonas afectadas por sales, en este caso se trata de los elaborados para el Modulo No 2 del Distrito en cuestion. Estos planos que son muy utiles para el analisis, se elaboran para cada uno de los Modulos y al final se puede obtener la informacion a nivel Distrito.

Con los datos de superficie y magnitud de CE y PSI se procede a la recuperación de los suelos. Para los suelos salinos los valores de CE se agrupan en clases para formar cinco categorías:

Cuadro 3 Clasificación de suelos salinos de acuerdo a su Conductividad Eléctrica (C E)

Grupo	C E del extracto de saturación del suelo
1ª clase	menos de 4 dS/m
2ª clase	de 4 a 8 dS/m
3ª clase	de 8 a 12 dS/m
4ª clase	de 12 a 20 dS/m
5ª clase	mas de 20 dS/m

Fuente Patrón, 1996

A continuación se definen estos grupos de acuerdo con la intensidad aparente o manifiesta de afectación:

1ª clase Suelos sin afectación salina, su superficie se presenta sin ningún afloramiento salino

2ª clase. Suelos ligeramente afectados, sus superficies presentan manchones que cubren hasta el 20% del área total

3ª clase Suelos medianamente afectados, comprenden aquellas superficies donde las afloraciones salinas cubren del 20 al 40% del área total

4ª clase Suelos fuertemente afectados, los manchones de sales cubren del 40 al 70% del área total

5ª clase Suelos muy fuertemente afectados que cubren superficies salinas en mas del 70% del área total.

Al tener caracterizada por su salinidad el área del modulo de riego, a continuación de debe jerarquizar la atención a tales suelos en función del grado de afectación por sales o sodio, considerando las dificultades técnicas y costos necesarios para convertir estos suelos en no salinos y no sodicos

Para su recuperación se escogieran en primer lugar aquellas áreas que quedan comprendidas dentro de la tercera clase, la segunda selección serán los que correspondan a la cuarta clase y por último los de la quinta clase

Para los suelos con contenido de sodio (suelos salino-sódicos), un criterio será recuperar primero suelos salino-sódicos y dejar al último un suelo sódico, debido a que estos suelos, por lo general ocupan áreas afectadas más reducidas

IV. CONDICIONES DE LA SALINIDAD EN EL DISTRITO DE RIEGO 076 VALLE DEL CARRIZO.

En el Distrito de Riego 076, de un total de 43 mil hectáreas bajo riego, 7 mil hectáreas se encuentran afectadas por salinidad (un 16 %) y debido a esto, se dejan de producir alrededor de 28 mil toneladas de trigo por ciclo (Patron, 1996)

Este dato se ha determinado a partir de análisis de imágenes de satélite, lo cual ha permitido hacer un diagnóstico global de la salinidad, también se ha hecho uso de otras técnicas menos sofisticadas, pero igual de precisas

En la mayoría de los distritos de riego las causas que originan los problemas de salinidad, pueden clasificarse en directas o naturales e indirectas o inducidas. Dentro de las primeras se pueden señalar las siguientes: a) El material de origen marino b) Áreas topográficamente bajas y planas con relación a la pendiente general, con suelos de texturas pesadas c) Presencia de sales "cíclicas" del mar que bañan los suelos de la costa sin orografía elevada que las detenga d) Flujo subsuperficial de tipo lateral de áreas irrigadas circundantes de mayor elevación

Dentro de las causas indirectas se consideran como principales: a) Las filtraciones de la red de canales de riego b) El mal uso y manejo del agua de riego y una nivelación inadecuada de la tierra. La utilización de láminas de riego excesivamente fuertes y las depresiones en el terreno son factores que favorecen mucho la formación y elevación de los mantos freáticos c) El drenaje de apoyo construido es deficiente, por encontrarse topográficamente mal localizado, o bien por que no se le ha dado la conservación y el mantenimiento necesarios d) La mala calidad del agua de riego, que queda condicionada a no poder ser utilizada en suelos con drenaje deficiente

Normalmente en las zonas áridas de riego los contenidos de sales en la parte superior del suelo están correlacionados con la profundidad del manto freático. En la mayoría de los casos, la salinidad de los suelos está, a su vez, fuertemente influenciada por las deficiencias

en el drenaje de los mismos, por lo tanto es importante definir las causas de este mal drenaje, las cuales se pueden clasificar en tres

Topográficas - Se presentan en áreas bajas en relación con tierras circundantes, sin salida por gravedad para el agua, el nivel freático puede mantenerse por periodos largos cerca de la superficie, independientemente de la permeabilidad del suelo

Edafológicas - Se deben a la existencia de suelos impermeables o de baja permeabilidad, a veces el estrato impermeable está a cierta profundidad e impide la salida subterránea del agua

Hidrologicas - Se presenta cuando se realizan aportaciones excesivas de agua mediante lluvia, riego, filtraciones de canales de riego o procedente de tierras altas

4.1. CAUSAS DE LA SALINIDAD EN EL DISTRITO DE RIEGO 076, VALLE DEL CARRIZO.

Como ya hemos visto existe una asociación entre niveles freáticos someros y salinidad, lo cual nos da la idea que para hacer un diagnóstico de los índices de salinidad se tiene que hacer una estimación de los niveles que presenta el manto freático de manera cuantitativa y cualitativa

Una de las causas generales de la elevación de los niveles freáticos es la pérdida de agua de riego, en los diferentes momentos y lugares y, representan el 60% de los 600 millones de m³ de agua que se extrae de la presa para el riego del Valle. Esto quiere decir que solo se utilizan 240 millones de m³ en el riego de los cultivos y el resto (360 millones de m³) se desperdician. Cabe señalar que este volumen que se pierde alcanzaría para regar 60 mil hectáreas adicionales de trigo

Las pérdidas de agua en el Distrito de Riego se clasifican en dos grandes rubros los que se producen en la red de distribución y en la aplicación del riego a nivel parcela

4.1.1. Pérdidas en conducción de la red de distribución.

Son las que se producen en la red de canales desde la presa hasta la toma granja del productor y representa un desperdicio del 40-40% del volumen que se deriva esto es 240 millones de m³ anuales. Estas pérdidas se producen por tres situaciones: la evaporación, la infiltración y por la deficiente conservación y operación de la red de distribución

Con respecto a la primera se da en todos los tramos que son abiertos y son inevitables, ya que casi no se cuenta con conductos entubados que eviten la evaporación

En cuanto a la infiltración, esta se da en los canales sin revestimiento, construidos en tierra de textura ligera y por tanto con alta conductividad hidráulica. La última causa de pérdidas en la conducción se presenta por la deficiente operación y conservación de la infraestructura de la red mayor de riego. Son ocasionadas en su mayoría por una mala organización y/o negligencia tanto de los técnicos responsables de la operación y conservación de las obras, como por los usuarios.

Los porcentajes y volúmenes de estos tres tipos de pérdidas se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Clasificación de pérdidas de agua para riego en el Valle del Carrizo

Pérdidas por	%	Volumen anual mills m ³
Evaporación	2.71	16,260
Infiltración	16.71	100,260
Deficiente Conservación y operación	20.98	124,680
Total	40.40	241,200

Fuente: Patrón, 1996.

Las pérdidas catalogadas en deficiente operación y conservación son producto de tres situaciones:

a) Desfogues de canales a drenes o a través de las regaderas de las parcelas por no pedir con anticipación el usuario los recortes de los riegos, y/o que los canaletes no los realicen con oportunidad. También es común que se desfogue por la actitud de los productores de no responsabilizarse de tomar y aplicar el riego si les toca hacerlo en la noche o muy de mañana.

b) Aumento de fugas por compuertas mal selladas o roturas en canales.

c) Incremento de pérdidas por infiltraciones en canales de tierra por variaciones en los tirantes, producto de una mala programación y operación de canal. Así como una deficiente conservación.

4.1.2. Pérdidas en la aplicación de agua de riego a nivel parcela.

El volumen de agua que se entrega a los usuarios en sus parcelas para el riego de sus cultivos son 360 millones de m^3 anuales. Al aplicar un riego el productor desperdicia aproximadamente el 33% del volumen que se le entrego, lo que equivale a 118.8 millones de m^3 . Las causas principales de las pérdidas a nivel parcelario son:

A) Pérdidas por coleos. Del agua entregada al usuario se estima que el 20% se desperdicia por este concepto, lo cual implica 72.00 millones de m^3 , estas pérdidas se dan principalmente cuando

- a) Se abandonan los riegos de noche y se llega tarde a hacer los cambios
- b) No se cambian las pipas a medida que terminan de regar, si no que se espera a que termine la mayoría o se nega con bocas teniendo que salir toda la tirada para cambiar
- c) Se ponen todas las pipas con el mismo gasto de principio a fin, en lugar de reducir el gasto cuando se tengan $3/4$ partes de avance, sobre todo en terrenos con mucha pendiente o que no transporan bien
- d) No se pide el recorte con anticipación
- e) Algunos regadores tienen la práctica de nivelar las regaderas abriendo la lona en el centro del tapón, lo que provoca desperdicios de agua durante todo el riego
- f) El regador abarca mas superficie de la que puede atender

B) Pérdidas por Sobreriego. Al momento de aplicar el riego, se humedece mas alla de la zona radicular y esta agua alimenta el manto freático. Esto se conoce como sobreriego y representa pérdidas del orden del 17% que equivale a un volumen de 62.20 millones de m^3 y son ocasionadas principalmente por:

- a) Longitudes de surcos muy largas que ocasionan riegos muy pesados en la parte media y alta del terreno
- b) Falta del trazo adecuado del riego.
- c) No se mueve el agua oportunamente. No se realiza el cambio del agua a otra tirada oportunamente

Estos datos son los que se han obtenido a través de estudios sistemáticos por parte de los técnicos responsables de las ingeniería de riego y drenaje del distrito de riego

4.2. DESARROLLO RECIENTE DEL PROBLEMA DE LA SALINIDAD EN EL DISTRITO.

Hasta aquí se ha visto que la elevación de los niveles freáticos tienen un origen exógeno y que depende de una alimentación artificial en la que el hombre tiene una gran responsabilidad, pero también puede tener un origen endógeno lo cual incluye el drenaje natural del suelo que permita la salida del agua que entra en contacto con el perfil del suelo y evite su acumulación

Cuando no se cuenta con este drenaje natural, se debe proveer de manera artificial con obras de ingeniería tanto a nivel parcela, interparcelario y general, con sus modalidades de interceptores y colectores

Los problemas que se tienen por un drenaje deficiente se han presentado por un lado por la conservación rezagada e insuficiente de los drenes, debido por un lado a la falta de presupuesto y, por otro a la inadecuada programación o definición de prioridades por parte de los funcionarios responsables

Esta situación a través del tiempo y con medidas bien decididas se ha mejorado, fuertemente impulsado con el Programa de Modernización del Distrito lográndose el siguiente resultado De 1989 a 1995 se cubrió el 69% del total de la red de drenaje

Después se continuó en este proceso de recuperación cuando se transfirió la administración y operación a los productores, constituyéndose 4 Asociaciones Civiles (una por Módulo) y una de Sociedad de Responsabilidad limitada. En estas condiciones el Distrito de Riego está en mejores posibilidades de conservar de manera normal la infraestructura de drenaje, a través de acciones de rehabilitación y profundización de la red de drenaje así como la construcción de algunos drenes interceptores y parcelarios

Los resultados de estas acciones se han reflejado en el descenso de los niveles freáticos con mayor velocidad, como se ilustran en el siguiente cuadro de análisis de isobatas del mes de marzo y abril, donde el primero corresponde al mes de máxima demanda de riego y el segundo cuando la demanda es más baja, comparando dos años, 1991 y 1995

Cuadro 5: Comparación del descenso de niveles freáticos durante los meses de marzo y abril de 1991 a 1995 en el Valle del Carrizo.

Año	Marzo	Abril	Descenso	%
1991	31,900 has	25,000 has	6,900 has	22
1995	29,200 has	12,300 has	16,900 has	59

Fuente: Patron, 1996

La interpretación de lo anterior es que en los meses de abril han bajado favorablemente las áreas con problemas de nivel freático, sin embargo en los meses de marzo han permanecido constantes, lo cual nos indica que la red de drenaje existente y bien conservada es insuficiente para abatir los niveles freáticos en 29,000 has cuando se intensifican las extracciones para riego, requiriéndose para ello la construcción de drenaje interceptor y parcelario subsuperficial en gran parte del distrito, ya que la calidad de las aguas freáticas contienen alto contenido de sales en solución, lo que propicia en ensalitramiento de los suelos.

Analizando el plano de líneas de corriente con el de la red de drenaje, se observa que gran parte de los drenes que no son colectores están contruidos en dirección paralela a las líneas de corriente, por lo que aunque se conserven, no interceptan eficientemente el flujo subsuperficial.

Partiendo del hecho de que las áreas que permanecen con nivel freático a menos de 1.5 m de profundidad durante dos o más meses de acuerdo a las isobatas, requieren la instalación de drenaje subsuperficial siempre y cuando el manto freático sea de mala calidad ($CE > 3.0$ dS/m).

Los planos de isobatas de los meses de enero, febrero y marzo de 1995 son los que representan las condiciones más críticas y son los utilizados para definir las necesidades de drenaje.

Cuadro 6: Isobatas de los meses de enero, febrero y marzo de 1995 en el Valle del Carrizo.

Mes	Isobatas		Total
	N F < 1 0	N F = 1 0-1 5	
Enero	5,180	17,700	22,880
Febrero	5,540	17,600	23,140
Marzo	8,670	21,030	29,700

Fuente Patrón, 1996

Las 23,140 has del mes de febrero es la superficie que cundo menos dura 2 meses con niveles freáticos someros, sin embargo para definir las áreas problema se tomó el mes de marzo, ya que es el que cubre la totalidad de las zonas afectadas por sales

El plano de isosalinidad del manto freático se superpuso con el de isobatas y salinidad y con este se obtuvo el plano de necesidades de drenaje

Áreas con requerimientos de drenaje por problemas de salinidad

Prioridad 1 2800 hectáreas fuertemente afectada por sales

Prioridad 2 5,713 hectareas con nivel freático a menos de 1.5 m y presentan problemas de salinidad tanto en suelo como en agua freática.

Prioridad 3 11,957 hectáreas con nivel freático de 1.5 m de profundidad sin problemas de salinidad en el estrato superior y CE del agua freática mayor de 6 dS/m.

Prioridad 4 4,510 hectareas con nivel freático menor de 1.5 m de profundidad sin problemas de salinidad en el estrato superior y CE del agua freática de 3 a 6 dS/m

De lo anterior se desprende que los problemas de salinidad son ocasionados por la presencia de niveles freáticos elevados y de la mala calidad del agua de los mismos. Para corregir el problema es necesario la construcción de drenaje superficial en 24,980 hectáreas para abatir los niveles freáticos.

Por otra parte las áreas que permanecen con niveles freáticos menores de 1.5 m. de profundidad durante mas de dos meses, como se presenta en gran parte de la Unidad Norte que llega a tener menos de 1.0 m. en el mes de marzo, se deben en parte a los altos contenidos de arcilla en el estrato de 30 a 120 cm. de profundidad, lo cual limita el drenaje vertical, también se debe a la dirección de la línea de corriente del agua freática, ya que dichas arcillas se encuentran de manera perpendicular a la línea de corriente, teniéndolas en dirección vertical (riegos) y horizontal (corriente del subsuelo). En otros casos, como en la zona de Cerro Prieto, se debe a que es punto de confluencia de corriente de agua freática, aunado al contenido de arcilla del subsuelo que sobrepasa el 50%.

V. PROPUESTAS

A manera de resumen, los problemas de alto nivel freático y de salinidad en el Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, se deben principalmente a las siguientes causas:

A) A las pérdidas por infiltración que se tienen en los canales no revestidos (principalmente a nivel de canales principales, laterales y sublaterales)

B) A los aportes provenientes de las pérdidas de aplicación del riego a nivel parcelario

C) Baja densidad y/o profundidad insuficiente de la red de drenaje interceptor

D) Topografía plana en las partes bajas del distrito

Luego entonces es importante que se consideren un conjunto de acciones, que aplicados de manera integral y con enfoque preventivo, resolverían esta problemática a partir de sus causas

Entre las acciones posibles existen las aplicables a corto y mediano plazo dependiendo en mucho de los recursos económicos que puedan ser asignados a tales rubros, así como de los recursos tecnológicos necesarios para un manejo eficiente a nivel parcela. Estas se mencionan a continuación

A) Tecnificación del riego a nivel parcela

B) Conservación de la red de distribución y drenaje

C) Profundización de drenes interceptores existentes

D) Revestimiento y/o entubamiento de canales

E) Construcción adecuada de drenes interceptores y/o colectores en las áreas con requerimiento en el distrito.

F) Construcción de drenaje subsuperficial a nivel parcelario basado en un diseño óptimo que requiere análisis y cálculos completos para poder lograr que la inversión hecha sea rentable por mucho tiempo

El productor además de enfocar sus esfuerzos hacia medidas preventivas tiene que poner especial atención en la aplicación de alternativas de manejo de la salinidad. Estas tienen como objetivo, mantener la salinidad dentro de límites aceptables para la germinación, establecimiento de plántulas, así como el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Las alternativas que se sugieren son las siguientes:

a) -Aumento de la frecuencia de riego

Incrementar la frecuencia de riego para disminuir la variación del contenido de agua del suelo, ya que las sales en la solución de éste se concentran a medida que el agua es consumida por la evapotranspiración, esto es, entre un riego y otro.

Esto requiere la aplicación de láminas pequeñas que por una parte, satisficará el requerimiento de agua del cultivo y minimizará el escurrimiento superficial y/o la evaporación que reducen la eficiencia del riego.

En este rubro es importante la capacitación a los regadores quienes son los que directamente pueden tener control de esta situación, si cuentan con los conocimientos técnicos adecuados aunados a su experiencia.

B) -Selecciónar el cultivo adecuado

Se requiere seleccionar cultivos tolerantes a las sales para evitar la reducción del rendimiento, sobre todo si el agua de riego es salina. Existe ya una clasificación confiable de cultivos tolerantes, sólo hará falta elegir dentro de esa gama los que se adapten a las condiciones ecológicas del lugar.

C) -Lixiviar adicionalmente a los riegos

Las sales solubles que se acumulan en cantidades excesivas en el suelo deben ser lixivadas abajo de la zona radicular. El intervalo entre lixivaciones dependerá de los requerimientos de lavado debido al problema de la salinidad y de la tolerancia de los cultivos. Junto con cada riego se puede contemplar la aplicación de una lamina de lavado, aunque también se recomienda lixiviar anualmente durante el período en que no hay cultivos, haciéndolo preferentemente antes de la siembra.

D) - Preparar camas de siembra y colocar la semilla en el lugar de menor concentración de sales.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

69

En suelos regados por surcos, en lugar de aumentar la cantidad de semilla para asegurar una alta tasa de germinación, debe cuidarse colocar la semilla en la cama de tal manera que no la afecten las sales

En riego de surcos continuos, la siembra no debe hacerse en el centro de la cama porque es la zona de mayor concentración de sales, sino en doble hilera y en los hombros de la cama.

En riego de surcos alternos, es recomendable la siembra en una hilera en el centro de la cama, ya que las sales se concentran en el lado no regado sin afectar mayormente a la semilla. No debe hacerse sobre el hombro de la cama del lado regado

Puede lograrse un control efectivo utilizando camas con talud, plantando las semillas sobre este exactamente arriba de la línea de agua. En este caso también las sales se desplazan hacia el centro y arriba de la cama fuera del alcance de la semilla

E) -Cambiar el método de riego

Debe lograrse en la medida de lo posible controlar la frecuencia de riego, láminas de agua aplicadas y la eficiencia de aplicación, lo cual es más viable utilizando métodos de riego por aspersión o goteo

El riego por aspersión puede aplicar la lámina de agua necesaria para abastecer los requerimientos del cultivo, mas la lixiviación. En el caso del riego por goteo es particularmente interesante porque desplaza las sales fuera de los límites de la zona humedecida, dejando un área abajo del emisor que siempre tiene un alto contenido de humedad y baja concentración de sales.

F) -Nivelar adecuadamente el terreno

En métodos de riego por gravedad es de gran importancia tener un terreno nivelado para hacer una distribución uniforme del agua. Esto debe complementarse con el trazo de surcos o melgas de poca longitud para que no se presente un alto gradiente de infiltración entre el inicio y el final de los mismos

G) -Modificar el perfil del suelo.

En el suelo con frecuencia se forman capas impermeables e impenetrables que deben ser destruidas mediante labores de subsuelo y/o barbecho. De esta manera se estará mejorando el drenaje interno del perfil del suelo que evita la elevación del nivel freático

Debido a que estas capas impermeables pueden ser causadas por la compactación de la maquinaria agrícola es recomendable disminuir las labores de cultivo e incorporar los residuos de cosecha para mantener y mejorar la estructura del suelo

Por otra parte, los problemas de salinidad en muchos lugares del país se generaron por la falta de conocimiento del proceso y de la gran cantidad de factores que intervienen en el mismo

Actualmente hay un mejor conocimiento del problema por el acceso más fácil de los resultados de la investigación científica y tecnológica que se ven reflejados en la aplicación de técnicas y metodologías para la prevención y control de la salinidad. En este sentido es muy importante la organización de los productores, bajo esquemas justos y equitativos para que tengan una mayor movilidad social en la consecución de sus necesidades

En cuanto al estudio del proceso de salinidad, la metodología hasta ahora utilizada para realizar el diagnóstico es la más avanzada por su precisión, simplicidad y su carácter integral desde el punto de vista técnico con que aborda el problema. En este análisis intervienen los componentes físicos, químicos y biológicos, pero sería interesante y recomendable que se analizaran también los factores socioeconómicos y cultural de los productores para ver de qué manera influyen en la presencia del problema, y como también en esta área se pudiera trabajar más arduamente para prevenir y controlar la situación

De lo anterior debe derivarse la formulación e implementación de intensas campañas permanentes de sensibilización del productor hacia el problema para concientizar que el uso irracional de los recursos tiene varios costos, el primero es el deterioro de los recursos naturales suelo y agua, el otro es la disminución de los rendimientos y consecuentemente de la utilidad del productor, y como tercero, el costo que representa la recuperación de la productividad del recurso, es decir, la reversibilidad mediante insumos, energía y tiempo

En el plano jurídico es importante que se elabore de manera bipartita entre instituciones Gubernamentales (SAGAR y SEMARNAP) y productores organizados una legislación respecto al uso y conservación de los recursos naturales y vigilar permanentemente su cumplimiento

Otra de las consideraciones substanciales, es la de abordar el problema de salinidad como un problema multifactorial, es decir, en el que intervienen una gran cantidad de factores de diversa índole y por lo tanto para su prevención y control se debe tratar de manera integral. Considerar que la salinidad de suelos es un sistema que a su vez está formado por varios subsistemas es un punto de partida fundamental en el procedimiento de dar solución a la problemática

Lo anterior, sin duda, dará la pauta para que al mismo tiempo intervengan diversas disciplinas científicas y sociales que además deberán estar integradas y aplicadas en forma correcta por los profesionales involucrados y responsables de esa problemática

Es importante tomar en cuenta, que para la recuperación y control de la salinidad se necesita de la aplicación de mas de un método, que aplicándolos de manera integral como componentes de un sistema, nos dará un mejor resultado que si se aplica uno solo

También debe procurarse la utilización en primera instancia de los metodos mas sencillos, mas económicos y sobre todo los mas viables desde el punto de vista del menor impacto que cause en el medio ambiente y en la economía del productor

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de Edafología en México. Tomo I. Dirección General de Publicaciones. Facultad de Ciencias U.N.A.M., México.
- Bohn, H. L., McNeal, O. Connor. 1993. Química del Suelo. LIMUSA. México
- Brady, N. C. 1990. The Nature and Properties of Soils. Tenth Edition. McMillan Publishing Company USA
- Comisión Nacional del Agua- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (CNA-IMTA) 1994. Manual de Drenaje Parcelario de los Distritos de Riego.
- Comisión Nacional del Agua- Colegio de Postgraduados (CNA-IMTA) 1997. Capítulo 2, Parte 623, Requerimientos de Agua para Riego, del Manual Nacional de Ingeniería, Servicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. México
- Distrito de Riego No. 76 Valle del Carrizo. 1996. Diagnóstico para la Planeación y Mejoramiento de la Productividad del Distrito de Riego. Módulo de Riego No. 2. Ahome, Sinaloa
- Foth, O. H. 1990. Fundamentals of Soil Science. Eighth Edition. John Wiley and Sons USA
- Grijalva, S. B. M., Ríos. 1995. Efectos de la Salinidad Cualitativa y Cuantitativa en Lechuga (*Lactuca sativa* L.) y Brocoli (*Brassica oleracea*). Simposio Universitario de Edafología. Facultad de Ciencias U.N.A.M., México
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI) 1990. Sinaloa. Cuaderno de Información para la Planeación. México
- Nikolsk, N. Y. 1993. El Drenaje Agrícola en Zonas Áridas y Zonas Húmedas. I. Diplomado Ingeniería de Drenaje y Salinidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo México
- Martínez, B. J. 1986. Drenaje Agrícola. Volumen I. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España.
- Moreno, O. C. 1989. Levantamientos Agrológicos. Trillas, U.A.A.A.N., México

- Ortiz, O. M. 1995. Suelos Salinos y Establecimiento de Halófitas: El caso de *Salicornia bigelovii*. Simposio Universitario de Edafología. Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México
- Pulido, M. L. 1996. Anexo Técnico. Estudio General de Salinidad Analizada. Taller de Drenaje Parcelario y Recuperación de Suelos Ensalitrados. I.M.T.A., Villa Gustavo Díaz Ordaz, El Carrizo Sinaloa
- Patrón, C. R. 1996. Detección de Necesidades de Drenaje Parcelario en el Valle del Carrizo. C.N.A. Sinaloa, México
- Plaster, E. J. 1992. Soil Science and Management 2nd Edition USA.
- Porta, C. J., Lopez-Acevedo, Roquero. 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España
- Reyes, S. L. B. 1993. El agua del suelo en relación a los horizontes del mismo y su disponibilidad para las plantas. Apuntes de la materia de Suelos F.E.S. Cuautitlan U.N.A.M.
- Reyes, S. L. B. 1996. Variación de las propiedades físicas y fisico-químicas del suelo con su grado de contaminación y repercusiones agrícolas. Congreso Nacional de Química Pura y Aplicada. Guanajuato, México.
- Reyes, S. L. B. 1996. Efectos físicos y químicos de la contaminación de suelos agrícolas. VI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Monterrey, N. L. México
- Schwab O. C., Fangmeir, Frevert. 1993. Soil and Water Conservation Fourth Edition USA
- Singer, M. J., Munns. 1991. Soils. an Introduction. Second Edition. USA.
- Troeh, R., Frederick, Hobbs, Donahue. 1991. Soil and Water Conservation. Second Edition. Prentice-Hall, Inc. USA.
- Velasco-Molina, H. A. Uso y Manejo del Suelo. 1991. Editorial LIMUSA. México.
- Wild A., Terrón, Rojo. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según Rusell. Ediciones Mundi-Prensa. España.

**ANEXO 1. PLANOS UTILIZADOS PARA EL ANALISIS DE AREAS
SALINIZADAS EN EL DISTRITO DE RIEGO VALLE DEL CARRIZO**

Plano 1: Isohypsas y líneas de corriente. Módulo de Riego No. 2.

