



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**

**"CUAUTITLAN"**

**DETERMINACION DEL TIPO DE SUELO Y FORMULACION  
DE UN PROGRAMA PARA LA REHABILITACION DE SUELOS  
CON PROBLEMAS DE SALINIDAD EN LA UNIDAD DE RIEGO  
"SANTIAGO ATOCAN" DEL MUNICIPIO DE SANTA ANA  
NEXTLALPAN EN EL ESTADO DE MEXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A N**

**JOSE LUIS TELLEZ LOPEZ  
MIGUEL ANGEL CAMARILLO GAYTAN**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M. C. IRENE SOMMERS CERVANTES**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1985**



## **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 está 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.

## I N D I C E

	págs
Indice de cuadros, planos y figuras.....	vi
I Resumen.....	1
II Introducción.....	5
III Objetivos.....	10
IV Revisión Bibliográfica.....	12
4.1 Origen de la Salinidad.....	13
4.2 Clasificación de los suelos salinos y sódicos y sus características.....	26
4.3 Efectos de la Salinidad sobre las Plantas Y el Suelo.	31
4.4 Prácticas Agrícolas contra la Salinidad.....	36
4.5 Métodos de Recuperación de Suelos Salinos.....	43
V Area de Estudio.....	69
5.1 Localización.....	70
5.2 Tipos de Suelos.....	70
5.3 Climatología.....	71
5.4 Hidrología.....	72
5.5 Agricultura y Ganadería.....	74
5.6 Equipamiento Urbano, Infraestructura y Servicios.....	76
VI Metodología.....	77
6.1 Delimitación del Area Afectada.....	78
6.2 Diagnósis del Problema.....	81
6.3 Elaboración del Proyecto.....	81
VII Resultados.....	90

7.1. Determinaciones Físicas.....	91
7.2 Determinaciones Químicas.....	93
7.3 Análisis de Aguas.....	94
7.4 Clasificación de Suelos.....	95
7.5 Metodología de Recuperación.....	99
7.6 Cálculo de Mejorador.....	104
7.7 Cálculos de Lavado.....	106
VIII Discusión.....	121
IX Conclusiones.....	130
Glosario de Términos.....	135
Bibliografía.....	138

## INDICE DE CUADROS, PLANOS Y FIGURAS

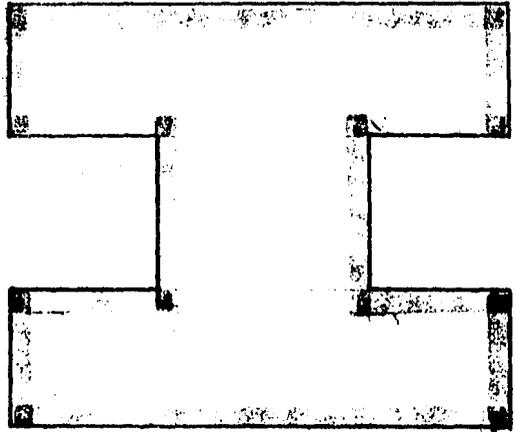
CUADRO	PAGS
1	Composición de la Corteza Terrestre..... 13
2	Secuencia de Extracción de los Iones durante la Meteorización..... 14
3	Categorías de Emigración de los Elementos..... 15
4	Magnitud de la Conductividad Eléctrica de Aguas.... 22
5	Valores de la CE del Extracto Saturado del Suelo en Relación con sus Efectos sobre los Cultivos..... 22
6	Clasificación de los Suelos por su PSI..... 25
7	Identificación de Suelos Salinos..... 30
8	Disminución en la Producción de Varios Cultivos según los niveles de salinidad del Suelo..... 33
9	Cultivos Afectados por Altos PSI..... 35
10	Técnicas de Recuperación de Suelos Salinos..... 44
11	Clasificación de Mejoradores Químicos..... 45
12	Mejorador Adecuado para cada Suelo..... 49
13	Peso Equivalente de los Mejoradores Químicos..... 51
14	Coefficiente de Corrección de los Mejoradores..... 52
15	Eficiencia de Lavado..... 61
16	Determinaciones Físicas de Suelos..... 91
17	Determinaciones Químicas de Suelos..... 93
18	Clasificación de los Suelos..... 96

## PLANO

1	Localización del Municipio.....	73
2	Clasificación Inicial de Suelos.....	80
3	Clasificación de Suelos.....	98
4	Area de Influencia de cada Pozo.....	103

## FIGURA

1	Lavado de Sales Acumuladas en la Zona Radicular.....	41
2	Balance de Agua de la Zona Radicular y Freática.....	62



R E S U M E N

## I R E S U M E N

La práctica de la irrigación en muchas regiones del mundo, ha mostrado que el principal problema que frecuentemente acompaña a la misma en las regiones áridas es el de la salinización de los suelos. La salinidad afecta la productividad de los terrenos, los que en caso extremo pueden quedar inútiles para su empleo agrícola.

La finalidad principal del estudio de la salinidad de los terrenos de riego ha sido la formulación de normas de manejo de suelos y aguas y generar criterios para la implantación de diferentes medidas correctivas que prevengan y combatan los efectos nocivos del ensalitramiento. Sin embargo, aunque se ha trabajado mucho sobre este problema, estas normas y criterios en muchas ocasiones no están suficientemente fundamentadas de manera sólida, ni comprobadas en la práctica desde un punto de vista científico como para permitir su extrapolación a otras condiciones diferentes que las observadas durante su formulación.

En el presente trabajo, se desarrolla un proyecto de recuperación de suelos salinos que basados en los objetivos, nos indica las características y necesidades de los terrenos por rehabilitar, que incluyen las técnicas más adecuadas y dosis, llevándonos a la deducción de las conclusiones y recomendaciones para mejorar y elevar la producción del Ejido de "Santiago Atocan" del municipio de Santa Ana Nextlalpan en el Estado de Mé-

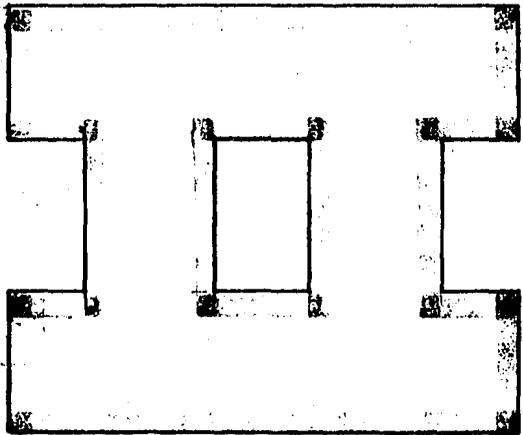
xico. Nos habla de la importancia y algunos antecedentes del suelo con problemas de salinidad en general, así como de las técnicas más utilizadas en su recuperación y manejo.

Las técnicas y métodos de aplicación de los mejoradores así como las dosis de lavado que se recomiendan, son el resultado de la interpretación que se hizo de trabajos anteriores en medios similares al presente y en base a las características y requerimientos que se refieren al problema salino del ejido, por lo que su efectividad y desarrollo se verán afectados invariablemente por las condiciones propias de nuestra área de estudio, las cuales se van describiendo en el desarrollo del trabajo y se especifica más sobre su influencia dentro del plan de recuperación del suelo que se plantea.

Se pretende entonces, describir las características del ejido en general señalando el tipo y cantidad de salinidad encontrado y la capacidad de los terrenos para producir al disminuir los efectos nocivos de la salinidad a niveles tolerables para maíz y alfalfa, cultivos producidos en el área, incorporando o mejorando las parcelas de los ejidatarios en la producción de alimentos.

Finalmente, se ponen de manifiesto las conclusiones obtenidas del análisis de resultados y cálculos para la ejecución del proyecto de recuperación del terreno, resaltando los factores más importantes por considerar y los alcances no sólo técnicos sino también sociales que la rehabilitación final del terreno pueden representar para sus beneficiados.

Cabe señalar que el trabajo aquí presentado es un aporte a la recuperación integral que estas tierras requieren y esperamos que sirva de apoyo en trabajos futuros o más precisos que sobre el tema se hagan, ya que de esta manera se evitará repetir algunas pruebas ya realizadas o bien se tomarán como base los resultados obtenidos, haciendo más ágiles los estudios que posteriormente se necesiten.



I N T R O D U C C I O N

## II. I N T R O D U C C I O N

Los graves problemas de alimentación por los que atraviesa el mundo y en especial México, requieren de la conjunción de una serie de actividades encaminadas a obtener mayor cantidad de productos alimenticios capaces de satisfacer las necesidades de la población actual.

Para lograr lo anterior, se deben abocar las tareas hacia el mejoramiento de las unidades productivas, ya sean agropecuarias, pesqueras, etc; así como también hacia los procesos de comercialización, mismos que agrupados armónicamente nos llevarán a satisfacer a nuestra población en materia de alimentación y probablemente al auxilio de otras naciones a través de la exportación.

Algunas alternativas para la mejora de unidades productivas, específicamente agrícolas, son el empleo de variedades mejoradas, uso de insumos, nuevas técnicas de cultivo y la rehabilitación del suelo. Dentro de este último aspecto, es de gran importancia el abrir nuevas tierras al cultivo, con lo cual habrá mayor producción y por lo tanto más alimentos para el pueblo. Al intentar iniciar este proceso de incorporación de tierras improductivas al cultivo, lo primero que se presenta son los problemas que el suelo pueda tener desde su formación y desarrollo y que de alguna manera definen las perspectivas que

tiene para su habilitación en la producción.

Los principales problemas de suelos son muy variados, van desde fallas con el drenaje, compactación excesiva, elevada pedregosidad, mala topografía, hasta alta salinidad, que impiden el desarrollo de los cultivos. Todos ellos a excepción de la salinidad, pueden resolverse por medios mecánicos y si bien son importantes en cuanto a magnitud de trabajo, se contará siempre con la ventaja de obtener resultados satisfactorios cuando el suelo y sus características así lo manifiesten y justifiquen el trabajo por realizarse, ya que de antemano se reconocerá la capacidad de estas tierras para producir; en contraste los problemas de salinidad, casi siempre son acompañados por alguno de los otros y su solución implica una serie de estudios sobre suelo, el clima, la topografía, la hidrografía y de tipo agronómico en general que requieren bastante tiempo en realizarse, analizarse y aplicarse. Así entonces, podemos ver que los problemas más graves son por presencia de sales, los cuales en un suelo pueden ser tan nocivos que dejen completamente inútiles los terrenos para la implantación de cultivos.

El problema de sales es bastante crítico en el país, puesto que existen grandes extensiones de terrenos capaces de ser aprovechados en la práctica de la agricultura y que por el desconocimiento o bien por la falta de presupuesto, no se realizan los trabajos de rehabilitación, lo que provoca una disminución tanto de superficie cultivable como de productos agrícolas capaces de disminuir la crisis alimentaria por la que atra

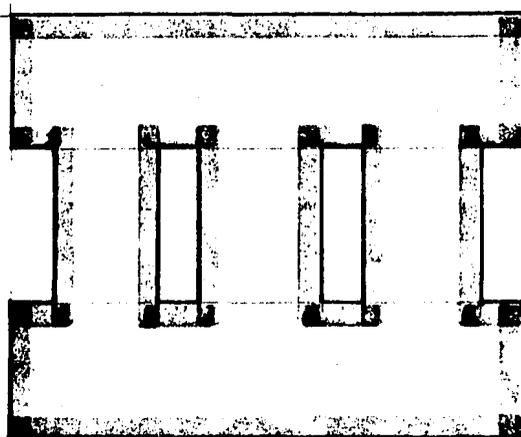
viesa México.

Es muy importante realizar un adecuado diagnóstico del grado de salinidad en un suelo, puesto que será la base para la elaboración posterior de un programa óptimo de rehabilitación capaz de ser llevado a la práctica con eficiencia y al menor costo posible. Esto último debido a que por lo general los costos de un proyecto para la eliminación de sales resultan a veces ser tan altos, que se pueden volver inoperantes, haciendo el programa de rehabilitación poco aconsejable desde el punto de vista económico, ya que en ocasiones no aplicando grandes cantidades de mejorador o bien constantes lavados se llega a una eliminación o cuando menos alguna disminución de los excesos de sales en terrenos altamente salinos.

Las causas de la salinidad de un suelo pueden ser muy variadas y de fierente origen, siendo los problemas de irrigación, afloramiento de mantos freáticos salinos o también por presencia de sales en suelos desde sus orígenes y continuan en ellos a lo largo de su existencia, las causas principales de ensalitramiento de los suelos. En este caso nos abocaremos al estudio de suelos con presencia de sales, los cuales se encuentran bajo explotación agrícola y localizados en un área dotada de riego, aprovechando las aguas negras de desecho provenientes del Distrito Federal.

El ejido de "Santiago Atocan" ubicado en el municipio de Santa Ana Nextlalpan, al norte del Distrito Federal en el Estado de

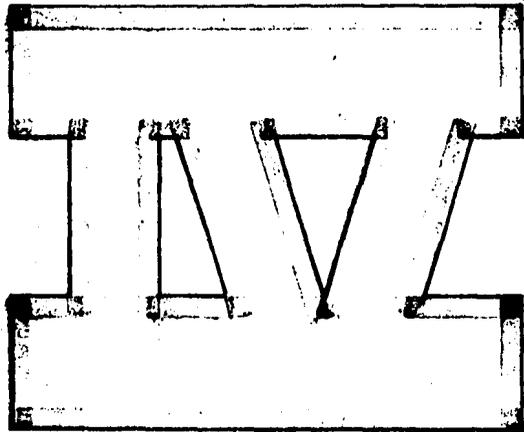
México y convertido en Unidad de Riego desde 1975, comprende 284 Has, repartidas entre 51 usuarios y cuya explotación esta basada en la explotación de maíz en un 80% de su superficie, ocupado el restante 20% por alfalfa y otros cultivos, sufriendo ésta producción los estragos que la presencia de sales origina en el desarrollo de dichos cultivos. Los problemas de salinidad que estas tierras presentan parecen ser de origen natural ya que son parcelas establecidas en lecho de lo que era la Laguna de Xaltocan, con los consecuentes problemas de drenaje y elevación de aguas freáticas salinas debido a la alta evaporación prevaleciente que han empobrecido mucho al terreno. Sin embargo, a través de los años de cultivarse desde siembras de temporal y ahora riego, se han ido mejorando paulatinamente tanto en la estructura del suelo como en la calidad de las tierras, ofreciendo nuevas alternativas de cultivo en la zona. No obstante el problema de salinidad es grave aún, ya que no toda el área se ha trabajado de la misma manera, ni desde hace mucho tiempo, por lo que se requería de un estudio de salinidad para definir la magnitud del problema y darle una solución a corto y mediano plazo que pueda ofrecer la incorporación de todas las parcelas al ritmo de producción normal de la región. Por ello nos dedicamos al estudio de la zona reconociendo la importancia que la comunidad tiene en que se resuelva el problema de salinidad presente en el ejido.



O B J E T I V O S

## III. O B J E T I V O S

1. Identificar el problema de salinidad en la Unidad de Riego de "Santiago Atocan" del municipio de Santa Ana Nextlalpan en el Estado de México.
2. Determinar la cantidad y tipo de salinidad presente en los suelos del ejido.
3. Definir las posibilidades de recuperación de estos suelos.
4. Formular una serie de recomendaciones sobre las técnicas y prácticas culturales que favorezcan el desarrollo de los cultivos establecidos al evolucionar el proyecto de recuperación que para estos suelos se realice, evitando así futuros ensalitramientos.
5. Calcular el período de recuperación del suelo (lapso de tiempo en que se estima se realizará la rehabilitación).
6. Elaborar un proyecto de recuperación de suelos salinos para los ejidatarios, autoridades de la S.A.R.H. y técnicos de la zona que les sirva para implementar las prácticas más adecuadas tendientes a la rehabilitación de estos terrenos.



REVISION BIBLIOGRAFICA

## I V R E M I S I O N B I B L I O G R A F I C A

### 4.1 ORIGEN DE LA SALINIDAD:

En general, se definen como problemas de salinidad los debidos a la presencia de sales en el agua del suelo o en el suelo mismo (en la zona radicular y la inmediatamente colindante) y que directa o indirectamente disminuyen la productividad de la tierra.

Las sales presentes en los suelos salinos proceden de la meteorización de los minerales y rocas que constituyen la corteza terrestre principalmente mediante el proceso de intemperización. (hidrólisis-solución-oxidación y carbonatación, a veces precipitación). De esta manera, se liberan los minerales o elementos que a la pstre forman los suelos y que evidentemente éstos tendrán las características principales de sus materiales de origen, modificando el aspecto de la corteza terrestre, la cual, tiene la siguiente composición media según Clark citado en Pizarro:

Cuadro 1 COMPOSICION DE LA CORTEZA TERRESTRE

Elemento	%	Elemento	%
oxígeno	49.13	hidrógeno	1.00
silicio	26.00	titanio	0.61
aluminio	7.45	carbono	0.35
hierro	4.20	cloro	0.20
calcio	3.25	fósforo	0.12
sodio	2.40	azufre	0.10

De estos elementos, los que participan en las sales de los sue los salinos son: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl), Azufre (S), Carbono (C) y con menor frecuencia: Nitrógeno (N), Boro (B) y Yodo (I) no cuantificado.

La meteorización de las rocas por sí solas rara vez ha ocasionado que se acumulen grandes cantidades de sal en un lugar. Lo normal es que las sales una vez formadas sean transportadas por el agua que las conduce al mar o a depósitos continentales, que de esta manera se salinizan. (10)

Según Fersman (10), la secuencia de extracción de los iones de sus rocas y minerales, su velocidad de emigración y su capacidad de acumularse en las depresiones en forma de sales, son in versamente proporcionales al coeficiente de energía de esos io nes.

Cuadro 2 SECUENCIA DE EXTRACCION DE IONES DURANTE  
LA METEORIZACION (Fersman)

Aniones	Coefficiente de energía	Cationes	Coefficiente de energía
Cl y Br	0.23	Na	0.45
NO <sub>3</sub>	0.18	K	0.36
SO <sub>4</sub>	0.66	Ca	1.75
CO <sub>3</sub>	0.78	Mg	2.10
SiO <sub>3</sub>	2.75	Al	4.25
		Fe	5.15

Por tanto, los cloruros, nitratos y carbonatos de iones alcalinos y alcalino-térreos, son las sales que con mayor facilidad han de formarse como consecuencia de la meteorización de la corteza terrestre. En cambio, la precipitación de estos compuestos, ocurre en orden inverso. Por esa razón el NaCl permanece más tiempo en las soluciones.

Polynov y Kovda (10), clasifican los elementos en cinco categorías según su capacidad de emigración:

Cuadro 3 CATEGORÍAS DE EMIGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS.

Categoría	Elementos
1. Prácticamente no lavables	Si (cuarzo).
2. Poco lavables	Fe, Al, Si
3. Lavables	Si, Pb, Mn
4. Bastante lavables	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn
5. Muy lavables	Cl, Br, I, S, C, B

Una vez definidos el origen y comportamiento de los elementos que forman las sales, tenemos el estado en que se encuentran en el suelo y que puede ser de dos formas:

- a) Disociados: Como iones que son positivos (Cationes) y negativos (Aniones).
- b) Asociados: Formando compuestos.

La forma asociada de las sales se presenta por combinación de los iones más comunes y abundantes como son: Cloruro de Sodio

(NaCl), Cloruro de Calcio (CaCl), Cloruro de Magnesio ( $MgCl_2$ ), Sulfato de Sodio ( $Na_2SO_4$ ), Sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ), Carbonato de Sodio ( $Na_2CO_3$ ), etc.

En caso de estar presentes como iones, se pueden encontrar en tres diferentes disposiciones, formando el medio iónico ambiente (M. I. A.).

1. IONES SOLUBLES: En la solución del suelo (disueltos en el agua).
2. IONES HIDRÁTADOS: A presión en las arcillas o material orgánico muy fino.
3. IONES INTERCAMBIABLES: Retenidos por carga eléctrica en las arcillas o material orgánico.

La magnitud de los problemas de salinidad dependerán entonces de la cantidad y tipo de sales que se encuentren en los suelos. Las sales más importantes son:

- Sulfato de Magnesio ( $MgSO_4$ ).
  - Sulfato de Sodio ( $Na_2SO_4$ ).
  - Cloruro de Sodio (NaCl).
- le siguen en importancia:
- Carbonato de Sodio ( $NaCO_3$ ).
  - Cloruro de Magnesio ( $MgCl_2$ ).

Estas sales son las más frecuentemente encontradas y son típicas de los suelos salinos, existiendo también disueltas en aguas freáticas y lagos salinizados. Todas ellas, debido a tener elevada solubilidad en el agua ( un promedio de 266 g/lit a 20°C), re-

sultan sales muy perjudiciales para los suelos y las plantas en general, algunos como el NaCl son excepcionalmente tóxicos para las plantas haciendo a los suelos improductivos cuando se presenta en proporciones de 2 al 5%. Otros como el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y el  $\text{NaCO}_3$  tienen gran influencia en la pérdida de la estructura del suelo, así como en la disminución de la permeabilidad del mismo, de acuerdo a las concentraciones en que estas sales se presenten.

Los suelos salinos son el resultado de la relación que las sales anteriormente señaladas tienen con algunos factores que favorecen la salinización de los suelos y de los cuales hablaremos un poco. Las aguas cargadas de sales procedentes de la meteorización de la corteza terrestre se acumulan en las depresiones, bien subterráneamente constituyendo mantos freáticos salinos, bien superficialmente dando lugar a charcas, lagunas y lagos, etc. Esto se ve facilitado por el hecho de que con frecuencia las depresiones tienen mal drenaje natural por sus condiciones topográficas y porque en las áreas bajas suelen acumularse arcillas arrastradas por el agua de escorrentía..(3)

La mineralización progresiva de las aguas salinas, depende de factores climáticos e hidrológicos. Los lavados con agua de lluvia eliminan sales de la zona radicular. La evaporación y transpiración consumen grandes cantidades de agua, pero no afectan prácticamente a las sales disueltas, por lo que aumenta la concentración salina de las aguas.

En áreas donde predominan los factores salinizantes (evaporación y precipitación elevadas) frente a los lavados (escasez de lluvias), las aguas freáticas irán paulatinamente mineralizándose, por esta razón los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido y semiárido. En condiciones húmedas, las sales solubles originalmente presentes en los minerales del suelo y las formadas por la intemperización de minerales, generalmente son llevadas a capas inferiores, hacia el agua subterránea y finalmente llevadas a los océanos. Por lo tanto, los suelos salinos de hecho no existen en las regiones húmedas, excepto cuando el suelo ha estado expuesto al agua de mar en los deltas de los ríos y otras tierras bajas, cercanas al mar. En las regiones áridas el lavado de las sales es de naturaleza local y las solubles no pueden ser transportadas muy lejos, esto ocurre no solamente porque hay menos precipitación adecuada para lavar y transportar las sales, sino también a consecuencia de la elevada evaporación característica del clima árido que tiende a concentrar las sales en los suelos y en el agua superficial.

El drenaje restringido es un factor que frecuentemente contribuye a la salinización de los suelos y que puede llevar consigo la presencia de una capa freática poco profunda o una baja permeabilidad del suelo. La capa freática poco profunda casi siempre guarda estrecha relación con la topografía del terreno. Debido a la baja precipitación en las regiones áridas, las corrientes del drenaje superficial están poco desarrolladas y, en consecuencia, existen depresiones sin drenaje por no tener

salida las aguas a corrientes permanentes. El drenaje de las aguas con sales de las tierras arriba de la depresión, puede elevar el nivel de la capa freática hasta la superficie en las tierras bajas, causar un flujo temporal o formar lagos salados permanentes. Bajo tales condiciones, el movimiento ascendente del agua subterránea o la evaporación del agua superficial da origen a la formación de suelos salinos.

En resumen, todo proceso de salinización estará sujeto a la acumulación continua y constante de sales y/o a que se sobrepase la capacidad natural del drenaje de los suelos, favoreciendo un desplazamiento de masas salinas en condiciones naturales o propiciadas por el hombre al hacer uso de aguas salinas en la irrigación de los suelos.

En cuanto a la sodificación de los suelos (exceso de sodio intercambiable en el complejo de cambio) mencionaremos que las partículas del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con las partículas del suelo pueden ser reemplazados por otros cationes que se encuentren en la solución del suelo. Esta reacción, según la cual un catión es adsorbido y reemplazado por un catión en solución, se llama intercambio de cationes. Los cationes de sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables. Otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambian con gran dificultad, di-

ciéndose entonces que se han fijado.

En vista de que los cationes adsorbidos pueden intercambiarse libremente con los cationes adyacentes en la solución del suelo, es de esperarse que la proporción de los varios cationes en el complejo de intercambio este relacionada con su concentración en la solución del suelo.

El aumento de la concentración de cationes tiene lugar con el aumento de sales o bien con la reunión de cationes que se encuentran dispersos en una solución muy diluída del suelo. Esta solución se concentra al reducirse el agua a causa de la evaporación y/o evapotranspiración.

En los dos casos citados en el párrafo anterior, el Calcio y Magnesio, que tienen poca solubilidad comparada con la sal del Sodio, se precipitan como carbonatos y sulfatos, no así el Sodio que permanece activo.

El Sodio tendrá un mayor porcentaje en la solución del suelo; y si es superior al 50% se intercambia con el Calcio y Magnesio adsorbido, ocupando su lugar en el coloide.

De esta manera, la sodificación del suelo se hace constante en suelos expuestos a aguas con altos contenidos de Sodio, ya que éste catión desplaza al Calcio y Magnesio alterando las propiedades físicas del suelo. (10)

Tenemos entonces dos características que nos permiten clasificar a los suelos salinos:

- a) Las sales solubles disueltas en la solución del suelo.
- b) El sodio intercambiable presente en el complejo de cambio.

Las sales solubles disueltas en la solución del suelo en forma indirecta se cuantifican determinando la Conductividad Eléctrica (CE) del extracto del suelo a saturación, se expresa en milimhos y/o micromhos por centímetro a 25°C de temperatura, utilizando para ello un aparato que se conoce con el nombre de "Puente de Conductividad Eléctrica de Wheatstone". Esta medida es suficiente para los efectos de clasificación de suelos salinos y se deriva de la propiedad que tienen las soluciones al conducir la electricidad partiendo del hecho que una solución conduce la electricidad tanto mejor cuando mayor sea su concentración de sales.

La Conductividad Eléctrica (CE) varía con la temperatura por lo cual, mediante la ecuación:

$$CE \text{ a } 25^{\circ}C = CE_t \times ft$$

Donde:  $CE \text{ a } 25^{\circ}C$  = a la Conductividad Eléctrica a 25°C.

$CE_t$  = a la Conductividad Eléctrica medida a determinada temperatura (excepto a 25°C.

$ft$  = factor de conversión de temperatura visto en tablas para normalizar la CE a 25°C.

Se hace la normalización de la CE a 25°C que es la expresión internacionalmente reconocida.

Con objeto de dar una idea del origen de magnitud de la Conductividad Eléctrica de las aguas, incluimos los siguientes datos:

Cuadro 4	CE a 25°C	(10)
Agua de lluvia	0.15 mmhos/cm	
Agua media de los ríos	0.2-0.4	"
Agua de riego de salinidad media	0.7-2.25	"

La escala que se muestra a continuación es la que se recomienda para el uso general cuando se desea evaluar el efecto de las sales solubles en los cultivos y muestra la relación de la respuesta del cultivo a la salinidad del suelo expresada en términos de Conductividad Eléctrica del extracto de saturación

Cuadro 5 VALORES DE LA CE DEL EXTRACTO SATURADO DEL SUELO EN RELACION A SUS EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS

CE <sub>e</sub> (mmhos/cm)	Efectos	(10)
0 - 2	- Despreciables	
2 - 4	- Rendimientos restringidos en Cultivos sensibles.	
4 - 8	- Rendimientos restringidos en la mayor parte de los cultivos.	

CE <sub>e</sub> (mmhos/cm)	Efectos
8 - 16	- Rendimientos satisfactorios sólo en cultivos tolerantes
16	- Muy pocos cultivos dan rendimientos satisfactorios

En términos generales se dice que un suelo es salino cuando la CE a 25°C del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm.

El sodio intercambiable presente en el complejo de cambio se cuantifica partiendo de los siguiente:

Los iones se encuentran en solución o absorbidos en las arcillas o material orgánico muy fino y tienen la propiedad de intercambiarse con los iones presentes en la solución del suelo.

Esta propiedad del suelo se conoce como "Capacidad de Intercambio de Cationes" (CIC) por ser los cationes (iones positivos) los que están retenidos por las cargas eléctricas negativas del suelo.

La medida de los iones adsorbidos o intercambiables se hace cuantificando el valor de las cargas eléctricas que son satisfechas con los cationes y se expresa en miliequivalentes con relación a cada 100 g de suelo.

El sodio intercambiable que existe adsorbido se mide en forma similar, pero se cuantifica separadamente y se expresa en Por-

centaje en relación al total de las cargas intercambiables, o sea, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) multiplicado por la capacidad de intercambio catiónico.

El fenómeno de Intercambio de Cationes depende de la concentración de estos en la solución del suelo.

Se entiende por "PSI" el valor expresado en por ciento de la relación entre el Sodio Intercambiable y la Capacidad total de Intercambio Catiónico y se expresa bajo la siguiente expresión:

$$\text{PSI} = \frac{\text{SI}}{\text{CIC}} \times 100 \quad . . . . . (1)$$

- SI = Sodio Intercambiable en meq/100g.  
 CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico que es la cantidad total de cationes que un suelo puede retener expresado en meq/100 g de suelo.

Los análisis químicos que son necesarios tanto para determinar el Sodio Intercambiable (SI) como la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), para obtener el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) requieren de un tiempo que no es posible emplear en los estudios de áreas considerables, por tal motivo, se aprovechan las fórmulas empíricas que simplifican enormemente el trabajo, éstas han sido obtenidas y propuestas por Gapón-Mat tlson y Wiklander, mediante una relación lineal entre cationes intercambiables monovalentes y cationes divalentes, cuando la

concentración del catión soluble monovalente se divide entre la raíz cuadrada de la concentración del catión divalente.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \dots \dots \dots (2)$$

Así como la expresión de Porcentaje de Sodio Intercambiable que une a la Relación de Adsorción de Sodio.

$$\text{PSI} = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})} \quad (3)$$

Con objeto de dar una idea del orden de magnitud del PSI tenemos la siguiente clasificación (MASSOUD, 1971 citado en 10):

Cuadro 6 CLASIFICACION DE LOS SUELOS POR SU PSI

Clase	PSI	Producción de los cultivos (10)
No sódicos	7	80 - 100%
Ligeramente sódicos	7-10	80 - 60%
Medianamente sódicos	15-20	60 - 40%
Altamente sódicos	20-30	40 - 20%
Muy altamente sódicos	30	20%

Generalmente se dice que un suelo es Sódico cuando rebasa el 15% de PSI.

#### 4.2 CLASIFICACION DE SUELOS SALINOS Y SODICOS Y SUS CARACTERIS CAS GENERALES:

Como anteriormente señalamos, para clasificar a los suelos por salinidad se consideran como principales dos aspectos que son:

- 1o. Los valores de la Conductividad Eléctrica (CE a 25°C).
- 2o. El Porciento de Sodio Intercambiable (PSI); con la combinación de ellos se forman 4 grupos diferentes:

NORMALES, SALINOS, SALINO SODICOS y SODICOS: cuyas características son:

##### SUELOS NORMALES:

Llamados así porque no presentan problemas a las plantas por concentraciones salinas. Se identifican cuando el valor de la Conductividad Eléctrica en el extracto del suelo saturado es menor de 4 mmhos/cm y el Porciento de Sodio Intercambiable es menor de 15.

$$\begin{array}{ll} \text{CE} & < 4 \text{ mmhos/cm a } 25^{\circ}\text{C} \\ \text{PSI} & < 15 \\ \text{pH} & 6.5 \text{ a } 7.5 \end{array}$$

Buena permeabilidad y aireación, buena estructura; en general son suelos que no tienen problemas para la agricultura.

##### SUELOS SALINOS:

Son aquellos que contienen sales solubles en tal cantidad que

alteran la fisiología de las plantas. Se les identifica cuando la Conductividad Eléctrica de la solución extraída de una pasta de suelo saturado tiene valores mayores de 4 mmhos/cm y el Porcentaje de Sodio Intercambiable se presenta menor del 15.

CE	>	4 mmhos/cm a 25°C
PSI	<	15
pH		7 - 8.5

Se les reconoce por la presencia de costras blancas de sal en su superficie por lo cual se les llama "Alcalis Blancos".

Casi siempre se encuentran floculados debido al exceso de sales y la ausencia de cantidades significativas de Sodio Intercambiable, lo que favorece la permeabilidad.

Aniones más comunes: Cl y SO<sub>4</sub> y a veces NO<sub>3</sub> y pueden presentarse muy rara vez los HCO<sub>3</sub>. Los carbonatos solubles prácticamente no se presentan en estos suelo.

Cationes más comunes: Ca, Mg y, en menor escala el Na y K además de que generalmente existe yeso en ellos.

#### SUELOS SALINO SODICOS:

Esta clase de suelos es el resultado de la combinación de los procesos de salinización y acumulación de sodio. Cuando presentan un exceso de sales son similares a los suelos salinos espe

pecíficamente el valor de pH rara vez es mayor de 8.2 y las partículas permanecen floculadas, en estas condiciones presentan las siguientes características:

CE  $\gt$  4 mmhos/cm a 25°C  
 PSI  $\gt$  15  
 pH no mayor de 8.2

Su apariencia general es similar a la de los suelos salinos especialmente cuando su contenido de sales solubles es muy alto, pueden encontrarse también manchas oscuras en ellos.

En la mayor parte de estos suelos, cuando son lixiviados los excesos de sales, el valor de pH puede cambiar así como las propiedades y en gran parte de las veces originan suelos sódicos, dado que parte del Sodio Intercambiable se hidroliza para formar Hidróxido de Sodio, que a su vez pasa a Carbonato de Sodio, defloculando a las arcillas y dándoles una condición física desfavorable. Cuando contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable verificándose así la eliminación de este catión en forma simultánea con el exceso de sales.

Cuando presentan fuertes contenidos salinos se manifiestan con afloraciones de consideración.

#### SUELOS SODICOS (NO SALINOS):

Se considera el valor del 15% del Porcentaje de Sodio Intercam-

biable (PSI) como límite de separación entre los suelos "No Sódicos" y "Sódicos".

Cuando son mayores del 15% y las Conductividades Eléctricas se presentan con valores menores de 4 mmhos/cm se les clasifica con el término de "Sódicos", en estas condiciones el pH generalmente fluctúa de 8.2 a 10 o más.

CE  $<$  4 mmhos/cm a 25°C

PSI  $>$  15

pH 8.2 a 10

Mala permeabilidad y difícil de trabajar.

Alta floculación de sus partículas.

Fácilmente se les identifica cuando son "Altamente Sódicos", la materia orgánica se dispersa y disuelta se deposita en la superficie de las partículas de suelo causando un ennegrecimiento con costras quebradizas.

Son suelos donde la permeabilidad es muy lenta y de escasa penetración radicular en la que los cultivos se presentan con desarrollos limitados y en algunos casos las hojas presentan tonos amarillentos.

Así también en los suelos con altas cantidades de arcilla y cuando esta se encuentra parcialmente saturada de sodio y sin sales (menos de 4 mmhos/cm) la estructura es generalmente prismática o columnar separados por grietas.

Cuadro 7 IDENTIFICACION DE SUELOS SALINOS (9)

Localización de las sales	Denominación del suelo	Identificación (1)	Efectos	Recuperación
	Normal	$CE_e < 4$	-	-
Inexistentes		$PSI < 15$		
Disueltas en la solución del suelo	Salino	$CE_e > 4$ $PSI < 15$	Las sales disueltas afectan a los cultivos y no las propiedades del suelo. Alteran la absorción de agua y nutrientes	Lavado
Adsorbidas por el complejo de cambio	Sódico	$CE_e < 4$ $PSI > 15$	El sodio absorbido afecta a las propiedades del suelo, destruyendo su estructura. En general no afecta a los cultivos	Mejora Química Lavado
Adsorbidas por el complejo de cambio	Salino Sódico	$CE_e > 4$ $PSI > 15$	Las sales disueltas evitan la pérdida de estructura. Mismos efectos que suelo salino	Mejora Química Lavado

#### 4.3 EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS Y EL SUELO:

En plantas, las sales disueltas en la solución del suelo afectan a través de dos mecanismos diferentes: los suelos salinos tienen suficientes sales solubles para dañar el crecimiento vegetal, principalmente al aumentar la presión osmótica de la solución del suelo y restringir la absorción de nutrientes del suelo y, por su efecto tóxico.

Las altas concentraciones de sales neutras, tales como el cloruro de sodio y el sulfato de sodio, pueden interferir con la absorción del agua por las plantas a través del desarrollo de una presión osmótica más alta en la solución del suelo que la existente en las células de la raíz. Aún más, el porcentaje de marchitamiento de los suelos se eleva por la acumulación de sales y, por tanto, la cantidad de agua que un suelo puede proporcionar a las plantas se verá reducida por la presencia de sales. El daño causado a las plantas puede ser también ocasionado por las sales solubles cuando la concentración no es suficiente para afectar la absorción de agua. La entrada de iones nutritivos dentro de los pelillos radiculares está influida por la naturaleza y concentración de otros iones presentes. Las sales pueden por lo tanto causar dificultades nutricionales en los cultivos, debido a su inhabilidad para absorber nutrientes que necesita del suelo. (8)

La reacción altamente sódica debida a la presencia de carbonato de sodio y la gran cantidad de sodio adsorbido limita la a-

similabilidad de diversos nutrimentos, especialmente el hierro y zinc, manganeso y fósforo. Así mismo, la solución del suelo alcalino tiene una acción corrosiva sobre la corteza de las raíces y tallos. (3)

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

Muchas plantas cultivadas en medios salinos experimentan cambios en su metabolismo acumulando aminoácidos libres, algunos de los cuales tienen efectos tóxicos. Así ocurre, por ejemplo, con la leucina, alanina y tiroxina, que se acumulan por el metabolismo del tabaco y maíz y, perjudican el desarrollo de los tallos.

Parece que el efecto tóxico es más importante que el de la dificultad de absorción de agua cuando la salinidad no es excesiva. En suelos muy salinos en cambio, la elevada presión osmótica es el factor principal. (15)

Cuadro 8 DISMINUCION EN LA PRODUCCION DE VARIOS CULTIVOS SEGUN LOS NIVELES DE SALINIDAD DEL SUELO (15)

CE<sub>e</sub> mmhos/cm que causa una disminución en la producción del:

Cultivos	10%	25%	50%
Cultivos Extensivos:			
Cebada, grano ( <u>Hordeum vulgare</u> )	12	16	18
Remolacha azucarera ( <u>Beta vulgaris</u> )	10	13	16
Algodón ( <u>Gossypium hirsutum</u> )	10	12	16
Cártamo ( <u>Carthamus tinctorius</u> )	8	11	12
Trigo ( <u>Triticum vulgare</u> )	7	10	14
Sorgo ( <u>Sorghum vulgare</u> )	6	9	12
Soya ( <u>Soja max</u> )	5.5	7	9
Caña de Azúcar ( <u>Sacharum officinarum</u> )	3	5	8.5
Arroz ( <u>Oryza sativa</u> )	5	6	8
Maíz ( <u>Zea mays</u> )	5	6	7
Haba ( <u>Vicia faba</u> )	3.5	4.5	6.5
Lino ( <u>Linum usitatissium</u> )	3	4.5	6.5
Alfalfa ( <u>Medicago sativa</u> )	3	4.5	6.5
Hortalizas:			
Espinaca ( <u>Opinacea oleracea</u> )	5.5	7	8
Tomate ( <u>Lycopersicum esculentum</u> )	4	6.5	8
Brócoli ( <u>Brassica oleracea itálica</u> )	4	6	8
Col ( <u>Brassica oleracea capitata</u> )	2.5	4	7
Papa ( <u>Solanum tuberosum</u> )	2.5	4	6
Camote ( <u>Ipomonea batata</u> )	2.5	3.5	6
Lechuga ( <u>Latuca sativa</u> )	2	3	5
Pimiento ( <u>Capsicum frutescens</u> )	2	3	5

Los datos de este cuadro son muy útiles para los proyectos de recuperación de suelos salinos. Una primera aplicación consiste en determinar hasta que punto de  $CE_e$  debe disminuir la salinidad del suelo en función de los cultivos a implantar. En muchos casos se considera aceptable una pérdida de producción del 10%, después de recuperados los suelos, aunque este criterio, que en el fondo es económico, puede alterarse según las circunstancias. Por ejemplo, si se pretende establecer los siguientes cultivos: cebada, remolacha, algodón, maíz y alfalfa, la salinidad del suelo deberá disminuirse hasta una  $CE_e = 3$  mmhos/cm, el valor que corresponde a una pérdida del 10% del cultivo más sensible (alfalfa).

Este cuadro también se emplea para calcular las producciones de los cultivos durante la fase de recuperación, lo que es de aplicación para el estudio económico de la transformación. (10)

Cuadro 9 CULTIVOS AFECTADOS POR ALTOS PSI (10)

PSI	Cultivos	Efectos
2 - 10	<u>Muy Sensibles</u> Frutales y Cítricos	síntomas de toxicidad debidos al sodio, aún a niveles bajos.
10 - 20	<u>Sensibles</u> Frijol Maíz	reducción del crecimiento aún con suelos en buenas condiciones físicas.
20 - 40	<u>Tolerantes</u> Zanahoria Trébol Lechuga Avena Cebolla Rábano Arroz Sorgo Espinaca	lígeros síntomas de toxicidad debida al sodio. Los efectos indirectos (deterioro de las propiedades del suelo) son muy importantes.
+ 40	<u>Muy Tolerantes</u> Tomate Trigo Alfalfa Cebada Algodón Remolacha	los cultivos se ven afectados únicamente por efectos indirectos.

En el suelo: el efecto principal de la salinidad sobre ellos consiste en su acción sobre la estructura. El Sodio Intercambiable en los suelos sódicos causa una defloculación de los coloides y, por tanto, una destrucción de las unidades estructurales del suelo. Esta condición de defloculación vuelve el suelo más o menos impermeable y retarda la entrada del agua de lluvia o riego e impide el drenaje. Por esta razón, los efectos son tanto más pronunciados cuanto mayor es el contenido de coloides, es decir, cuanto más arcilloso es el suelo. En suelos de textura fina, la penetración de las raíces puede ser restringida por la densidad de la zona defloculada. La aireación se ve también reducida, causando condiciones anaeróbicas de las que resulta la formación de compuestos de reducción que son tóxicos a las plantas. (10)

#### 4.4 PRACTICAS AGRICOLAS CONTRA LA SALINIDAD:

La solución definitiva del problema de la salinidad consiste en la recuperación de los suelos afectados mediante la aplicación de enmiendas químicas y/o la aplicación de técnicas de lavado, asuntos que serán tratados. Sin embargo, existe una serie de prácticas agrícolas que ayudan a disminuir los efectos nocivos de las sales y que son de aplicación en los suelos no recuperados o en la fase de recuperación, que a veces dura varios años:

Estas prácticas en su conjunción constituyen tida una técnica agrícola característica de las áreas salinizadas, hasta el punto

que se puede hablar de una verdadera agricultura de suelos salinos. Vamos a estudiar el tema tratando por separado las prácticas siguientes (10):

1. Elección de cultivos.
2. Mejora de la resistencia de plantas a la salinidad.
3. Abonado.
4. Métodos y prácticas de riego.

#### ELECCIÓN DE CULTIVOS:

Aparte de la resistencia a la sal, una característica muy interesante de algunos cultivos es su capacidad de absorción de las sales del suelo. Entre estas plantas hay que destacar al girasol, que además, aporta gran cantidad de materia vegetal al suelo, mejorando su estructura. Así mismo, debido a su elevada evapotranspiración, hace descender la capa freática, disminuyendo el aporte capilar de sales. Otros cultivos que eliminan cantidades importantes de sales son la alfalfa, que puede extraer 25 kg de Na/Ha, el apio y los puerros. (10)

#### MEJORA DE LA RESISTENCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD:

En general, estas mejoras exceden del cometido de los responsables de las explotaciones agrícolas, e incumben más a técnicos en mejora genética. Por tanto solo vamos a citar la posibilidad de obtener variedades resistentes por medio de selección artificial

cial, cruzamiento intervarietal e hibridación. (10)

Existen algunas técnicas que aumentan la tolerancia de las plantas. No obstante, aún no llegan a constituir una práctica agrícola normal, por lo que solo se enumeran: tratamiento de semillas con aguas saladas antes de la siembra, vernalización en soluciones nutritivas y tratamientos con ciertos inhibidores del crecimiento que hacen a las plantas más resistentes a la acción tóxica de las sales. (10)

#### ABONADO:

El empleo de sales muy solubles como abono, sobre todo potásicas aumenta la concentración en sales de la solución del suelo, con sus correspondientes efectos nocivos. Por tanto se deben preferir abonos menos solubles. Entre el  $KCl$  y  $K_2SO_4$  es preferible el cloruro. Otra medida de fertilización conveniente es el empleo de abonos orgánicos y foliares.

#### MÉTODOS Y PRÁCTICAS DE RIEGO:

De los cuatro métodos de riego: gravedad, aspersión, goteo y subirrigación, el último debe desecharse cuando hay problemas de sal. En cuanto a los otros tres métodos, en primer lugar vamos a comparar el de gravedad con el de aspersión y después veremos las peculiaridades del riego por goteo en relación con la salinidad.

El riego por gravedad presenta las siguientes ventajas sobre el de aspersión, en el caso de suelos o aguas salinos:

- a) Permite lavados más enérgicos.
- b) La aplicación sobre las partes aéreas de las plantas con aguas salinas puede causarles ciertos prejuicios. Así ocurre, por ejemplo, en el riego por aspersión de cítricos con agua conteniendo cloruros, que producen quemaduras en las hojas.

En cambio el riego por aspersión tiene la ventaja de proporcionar al suelo una distribución mucho más regular del agua.

En general, el riego por gravedad puede provocar la salinización de los suelos más fácilmente que el de aspersión. En cambio, es más efectivo en la recuperación de suelos ya salinizados. De cualquier forma, la salinización de los suelos ocasionada por el riego depende más de un adecuado manejo del agua, en particular del exceso de agua de riego, que del sistema empleado en su aplicación. (10)

Al estudiar la conveniencia del riego por goteo ante problemas de salinidad, hay que hacer una distinción, dependiendo de que el suelo sea salino o que las sales estén en el agua de riego.

Cuando el suelo es salino, el riego por goteo debe ser desechado ya que no provoca lavado de sales. (10)

Cuando el suelo es normal, pero se utiliza para el riego aguas de elevada salinidad, algunas experiencias muestran que el sistema de goteo produce mejores resultados que los otros sistemas. La razón es que el riego por goteo tiene intervalos entre uno y otro más frecuentes y en consecuencia el suelo siempre tiene una humedad alta. La solución del suelo se concentra menos que en riegos por gravedad o aspersión, donde en el momento anterior al riego la humedad está por debajo de la capacidad de campo. (10)

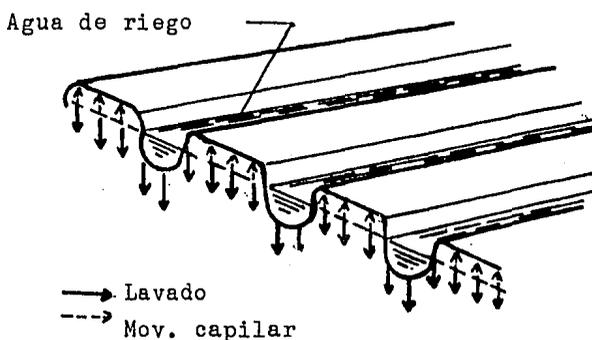
En principio esa ventaja de intervalos de riego menores parece que no tiene que ser exclusiva del sistema de goteo. Pero en la práctica, regar con intervalos pequeños no siempre es factible con los otros sistemas, por problemas de organización, de mayor costo de las obras, etc. (10)

Hay algunas prácticas de riego especialmente indicadas ante problemas de salinidad:

1. A continuación de un riego bien aplicado, el suelo queda con una humedad próxima a la capacidad de campo. A partir de ese momento, la evapotranspiración disminuye el contenido de humedad, sin disminuir grandemente el contenido de sales. En consecuencia la concentración salina del agua del suelo aumenta, y si se permite que alcance ciertos valores, puede llegar a perjudicar el desarrollo normal de los cultivos. Por esta razón es recomendable aplicar riegos con mayor frecuencia y menor dosis de lo que se haría si no hubiese pro-

blemas de sal. De esta manera la humedad del suelo no se aparta mucho de la capacidad de campo y las sales no alcanzan una concentración excesiva. (10)

2. Las lluvias de pequeña cuantía suelen ser contraproducentes porque lavan las sales de la superficie del terreno, acumulándolas en la zona radicular. La escasa precipitación no llega a transportar las sales a mayor profundidad. Por esta razón, a continuación de una lluvia ligera es recomendable a aplicar agua de riego, con objeto de lavar la sales acumuladas en la zona radicular.



3. Entre los distintos sistemas de riego por gravedad, el que necesita manejo más cuidadoso en el caso de salinidad es el de surcos. En efecto, como se muestra en la figura anterior, el lavado no afecta a los caballones, donde se acumulan las sales por capilaridad. En el caso de riego por surcos se recomiendan las prácticas siguientes:

- a) No sembrar en la cumbre del caballón. Si la planta lo permite, sembrar en el fondo del surco y si no, en los laterales.

- b) Establecer una rotación de cultivos que permita alternar el riego por surcos con otros sistemas de gravedad, por ejemplo inundación.
- c) Si la medida anterior no es conveniente por razones económicas, después de un período que involucre varias cosechas, se deben desplazar los surcos al construirlos de nuevo, de manera que los caballones no ocupen siempre la misma franja de tierra.

#### 4.5 METODOS DE RECUPERACION DE SUELOS SALINOS:

En la recuperación de suelos salinos se utilizan dos técnicas fundamentales: El Lavado de Sales y las Mejoras Químicas. Además existen una técnicas auxiliares (como subsolados, abonados orgánicos, etc.) cuya función no es propiamente recuperar al suelo, sino aumentar la eficiencia de la técnicas fundamentales. Actualmente, el único procedimiento práctico para extraer sales de los suelos es el lavado de las mismas, que consiste en hacer pasar una cierta cantidad de agua a través del suelo que arrastre las sales existentes. Para que los lavados sean factibles, se requiere que el suelo tenga un drenaje que permita la eliminación subterránea de las aguas.(10)

En primer lugar, cuando el problema es de salinidad y no sodicidad, el anterior procedimiento de lavado será suficiente, puesto que las sales se encuentran disueltas en la solución del suelo como muestra el cuadro 7 y son fácilmente arrastradas por el agua de lavado. Por otra parte, si el problema es de sodicidad, las sales son un detalle de menor importancia, puesto que el Na se encuentra retenido por el complejo de cambio a través de enlaces químicos, por lo que el lavado no es suficiente para la eliminación del mismo debido a dichos enlaces, quedando retenido por el suelo.

En este caso, se necesita de la liberación del sodio del complejo de cambio, para lo cual se hacen necesarias las aplicaciones de sustancias que aportan al suelo cierta cantidad de calcio

(yeso, por ejemplo) o bien, algún otro compuesto que movilice el existente en el suelo. Todo esto se hace porque el calcio es capaz de desplazar al sodio de sus enlaces químicos del complejo de cambio y lo deja en posibilidades de ser lavado.-(3)

Así pues, vemos que el lavado de los suelos es necesario para todo tipo de problemas de salinidad y/o sodicidad, sólo que en algunos casos debe ir precedido por mejoras químicas.

Basados en los objetivos de determinar las posibilidades y formulación de un programa de rehabilitación para la posterior recuperación, nos abocamos a tratar cada una de las técnicas antes mencionadas, clasificadas en el siguiente cuadro, para posteriormente proporcionar las recomendaciones:

Cuadro 10 TECNICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS

A. Fundamentales	}	Mejoras Químicas	
		Lavado de Sales	
B. Auxiliares	}	Métodos Físicos	Arados profundos
			Subsolados
		Métodos Biológicos	Mezclas con arena
			Inversión de Perfiles
	}	Métodos Biológicos	Abonados Orgánicos
			Cultivos de Elevada Evapotranspiración ETP
		Métodos Hidrotécnicos	Bordeo
			Láminas Parciales

## A.1 MEJORADORES QUIMICOS:

Los mejoradores químicos provocan la sustitución del Sodio combinado con el complejo de cambio por el Calcio, el cual puede ser aportado por un mejorador, o en su caso movilizado del existente en el suelo. Se hace necesaria la realización de una mejora química en aquellos casos en que se tiene un elevado valor de PSI, es decir, altos contenidos de Sodio en el suelo.

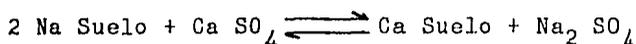
Con el objeto de posteriormente seleccionar el mejorador más adecuado para cada tipo de suelo, a continuación aparece el cuadro en que se clasifican los más usuales:

Cuadro 11 CLASIFICACION DE MEJORADORES QUIMICOS (11)

Sales Solubles de Calcio	{	Yeso
		Cloruro de Calcio
Acidos o Formadores de <u>A</u> cidos	{	Azufre
		Acido Sulfúrico
		Sulfato de Fierro
		Sulfato de Aluminio
		Polisulfuro de Calcio (Cal a- zufre)
Sales de Calcio de Baja Solubilidad	{	Caliza

A continuación se hace una descripción de las características de estos mejoradores:

a) Yeso: Este mejorador tiene muchas ventajas, es el más utilizado, pues su costo es bajo. Para reemplazar el Sodio que se encuentra en combinación con el suelo, el yeso actúa bajo la siguiente ecuación:



Esta reacción está limitada únicamente por la reducida solubilidad del yeso que a las temperaturas normales es de aproximadamente 2 g/l, valor que aumenta en presencia de iones de sodio y cloro en el agua y, disminuye en presencia de calcio y sulfato.

b) Cloruro de Calcio: Este mejorador químico actúa con gran rapidez y eficiencia, debido a que posee una elevada solubilidad (427 g/l a 20°C), pero tiene el inconveniente de tener un elevado costo. Al aplicarse al suelo ejerce la siguiente reacción:

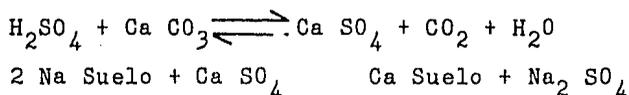


c) Azufre: Este mejorador es de amplia utilización al igual que el yeso, puesto que tiene bajo precio de venta en el mercado, pero al aplicarse a un suelo, experimenta unas transformaciones que a continuación mencionamos:

1.  $2 \text{ S} + 3 \text{ O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ SO}_3$  (oxidación micribiológica)
2.  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4$
3.  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
4.  $2 \text{ Na Suelo} + \text{CaSO}_4 \rightleftharpoons \text{Ca Suelo} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

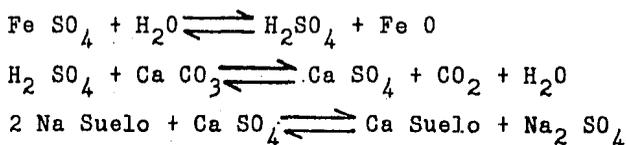
En la primera fase de su transformación, el azufre es oxidado por la acción microbiana hasta formar  $H_2SO_4$ . Esta reacción requiere algún tiempo, que depende de varios factores, entre ellos el grado de finura del azufre (cuanto más fino, más rápidamente se transforma), la cantidad aplicada, la mezcla con el suelo y todos los factores que favorezcan la actividad microbiana. (10)

d) Acido Sulfúrico: Este ácido es un mejorador que ejerce una acción sumamente rápida, misma que en presencia de carbonatos de metales alcalino térreos actúa bajo la siguiente reacción:



No se recomienda el empleo de este mejorador en ausencia de carbonatos de metales alcalino térreos, puesto que puede provocar una acidez excesiva en el suelo. En este caso convendría estudiar la reacción que se realiza en caso de aplicarlo:

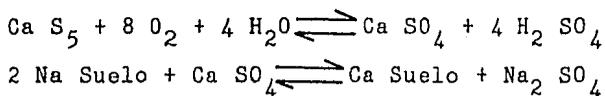
e) Sulfato de Fierro y Aluminio: Estos mejoradores son fácilmente hidrolizables en el suelo, transformándose en ácido sulfúrico. Veamos la reacción del sulfato de fierro en el suelo:



Al igual que el ácido sulfúrico, no se recomienda para aquellos

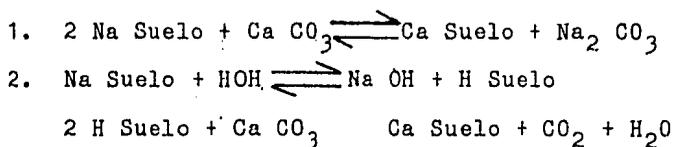
suelos que carecen de carbonatos alcalino térreos, puesto que provocan una acidez excesiva, además de que su empleo es reducido debido a su elevado costo.

f) Polisulfuro de Calcio (Cal Azufre): Este mejorador es un compuesto líquido muy alcalino, café, que reacciona en el suelo formando yeso y ácido sulfúrico, en la siguiente forma:



Este mejorador se aplica con el agua de riego, puesto que necesita una oxidación previa para formar el ácido que es el que actúa para la mejora química.

g) Caliza: Este mejorador suelo ser muy barato, principalmente si se emplean los carbonatos existentes en el suelo, las posibles reacciones en el suelo son:



#### A.1.2 MEJORADOR ADECUADO PARA CADA TIPO DE SUELO:

Aún cuando cada mejorador ocupa su lugar en la rehabilitación de los suelos, su efectividad para diferentes condiciones de los mismos, depende de varios factores, siendo los principales: el contenido de carbonatos de metales alcalino térreos y el pH.

Si se considera la respuesta de los suelos alcalinos a diversos tipos de mejoradores, se pueden establecer tres categorías: 1) Suelos que contienen metales alcalino térreos, 2) Suelos prácticamente libres de metales alcalino térreos y pH mayor de 7.5, y 3) Suelos libres de carbonatos de metales alcalino térreos y pH menor de 7.5. (15)

En el siguiente cuadro se agrupan los distintos mejoradores con los tres tipos de suelos, mencionando el mejorador más conveniente para cada uno de ellos.

Cuadro 12 MEJORADOR ADECUADO PARA CADA SUELO (10)

Mejorador	Grupo de Suelo		
	(1)	(2)	(3)
Yeso	A	A	A
Cloruro de Calcio	A	A	A
Azufre	MA	A	AR
Polisulfuro de Calcio	MA	A	AR
Acido Sulfúrico	MA	A	AR
Sulfatos de Hierro y			
Aluminio	MA	A	AR
Caliza	I	PU	A

Donde:

A: Adecuado

MA: Muy adecuado

AR: Adecuado con restricciones (peligro de acidez)

I: Inútil

PU: Poco útil

### A.1.3 DOSIS DE MEJORADORES QUIMICOS:

Como se mencionó, es necesaria la aplicación de un mejorador para disminuir el elevado PSI, o bien, disminuir los contenidos de sodio adsorbido en el complejo de cambio.

Los valores más recomendados para la disminución del PSI varían de 7 a 12, aunque existen valores más altos de PSI que no ocasionan problemas a algunos suelos. Con objeto de establecer un criterio general, se fija en 10 el valor por alcanzar de PSI después de la mejora. (10)

En este caso se decidió calcular las dosis teórica y práctica, la primera viene dada por la fórmula:

$$D_t = \frac{(PSI_i - PSI_f) \cdot CIC \cdot Pe \cdot h \cdot d_a}{100}$$

Donde:

- $D_t$  = Dosis teórica del mejorador, kg/Ha.
- $PSI_i$  = Porcentaje de sodio intercambiable inicial.
- $PSI_f$  = Porcentaje de sodio intercambiable final.
- CIC = Capacidad de intercambio catiónico, meq/100 g.
- Pe = Peso equivalente del mejorador, cuadro 13.
- h = Profundidad del terreno a mejorar, cm.
- $d_a$  = Densidad aparente del suelo, g/cm<sup>3</sup>.

Cuadro 13 PESO EQUIVALENTE DE LOS MEJORADORES QUIMICOS

Mejorador	P <sub>e</sub> (10)
Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	86
Caliza ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	73
Azufre (S)	16
Polisulfuro de Calcio ( $\text{CaS}_5$ )	100
Acido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	49
Sulfato de Hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	139
Sulfato de Aluminio ( $18\text{HA}1_2 (\text{SO}_4)_3$ )	111
Caliza ( $\text{CaCO}_3$ )	50

La fórmula de dosis teórica se ha deducido basándose en una sustitución total de calcio añadido. En la práctica esta condición no se cumple y así, cuando el PSI del suelo es mayor de 25, el 90% del calcio añadido reemplaza al sodio, mientras que el porcentaje de calcio que reacciona baja del 50% cuando el PSI llega a 10.

Con objeto de tener en cuenta este hecho y sin complicar demasiado los cálculos de dosis práctica, que es la que se aplica, se calcula según:

$$D_p = C D_t$$

Donde:

$D_t$  = Dosis teórica.

$C$  = Coeficiente de corrección, con los valores indicados en el cuadro 14.

Cuadro 14 COEFICIENTE DE CORRECCION DE LOS MEJORADORES

Mejorador	Coeficiente (C)	(10)
Yeso	1.25	
Cloruro de Calcio	1.10	
Azufre	1.25	
Polisulfuro de Calcio	1.25	
Acido Sulfúrico	1.10	
Sulfatos de Fierro y Aluminio	1.10	
Caliza	1.25	

#### A.1.4 METODOS DE APLICACION DEL MEJORADOR:

Se conocen dos formas primordiales de aplicación de los mejoradores:

1. Aplicación mecánica sobre la superficie del suelo.
2. Aplicación en disolución con el agua de riego.

La efectividad y rapidez de acción de cada uno de ellos es mayor cuando se aplican en el agua de riego, sin embargo, para algunos mejoradores, el precio se eleva tanto que económicamente hacen prohibitivo utilizarlos en ésta forma. (3)

1. Aplicación Mecánica: Para esta operación se necesita de una fertilizadora de tolva o cajón, teniendo en cuenta que al tratarse con polvos se deben cribar para eliminar los terrones.

Para la aplicación de productos químicos en forma de polvos, la incorporación al suelo se realiza basándose en el siguiente criterio:

- a) Para suelos que presentan sodicidad en la profundidad de 0 a 30 cm, se recomienda un solo paso de rastra.
- b) Cuando se trata sodicidad en el espesor de 30 a 60 cm de profundidad, es conveniente aplicar la mitad del mejorador en la superficie volteando el suelo mediante un paso de arado, facilitando con ello su incorporación a la capa más profunda al quedar abajo y posteriormente al ser a-

arrastrado por el agua de riego.

Posteriormente, se aplica el resto del mejorador en la superficie y se da un paso de rastra para su incorporación en los primeros 30 cm.

2. Aplicación con el Agua de Riego: Un punto sumamente importante es calcular la cantidad de agua que debe aplicarse al suelo para que el mejorador sea solubilizado y pueda ser transportado hacia el interior del perfil.

Esta condición es indispensable cuando ha sido seleccionado un mejorador químico del tipo granular o aún tratándose de líquidos, que requieran efectuar reacciones químicas y biológicas para constituir la sal que lleva a efecto el intercambio iónico, por ejemplo: en los mejoradores ácidos o formadores de ácido la sal básica es el sulfato de calcio.(3)

Los mejoradores químicos se aplican a veces con el agua de riego y para el caso del yeso, Fullmer (1950) mencionado en USDA, ha diseñado un equipo especial. Un método simple de tratamiento consiste en abrir una bolsa o costal de yeso de preferencia donde se encuentra un vertedor que cause la debida turbulencia del agua. (15)

Excepto cuando se usa azufre, los suelos salinos sódicos deben lavarse inmediatamente después de la aplicación del mejorador, porque el lavado lo disuelve y transporta hacia abajo, eliminan

do también las sales solubles de sodio que se forman a consecuencia del intercambio catiónico. Todo suelo que ordinariamente recibe azufre no debe lavarse hasta después de un tiempo conveniente, para dar oportunidad a que se oxide ese elemento y se forme yeso, pero el suelo deberá mantenerse húmedo porque la humedad es esencial para el proceso de oxidación microbiana. 15

## A.2 LAVADO DE SALES:

La eliminación de las sales solubles del suelo se consigue mediante la técnica de lavado, que consiste en hacer pasar a través del suelo una cierta cantidad de agua que arrastra consigo esas sales. Para que los lavados sean factibles, se requiere que el suelo tenga un drenaje que permita a las aguas cargadas de sales ser eliminadas de la zona radicular. Por tanto, una característica del suelo que facilita su lavado es la buena permeabilidad. (10)

Cuando se realizan lavados de sales de un suelo, generalmente se hace con dos finalidades:

1. Reducir los excesos de sales iniciales hasta alcanzar niveles tolerables para los diversos cultivos adaptables a la zona. Este es el caso, por ejemplo, de un suelo salino que no está siendo aprovechado agrícolamente (inculto). Los lavados que se necesitan son denominados lavados de recuperación, los cuales suelen requerir de elevados volúmenes de agua y durante este lapso de tiempo no son explotables agrícolamente.
2. El otro caso, es cuando un suelo salino ya ha sido recuperado, se debe tratar de evitar su resalinización, bien sea por medio del agua de riego, capilaridad de sales del manto freático, problemas de drenaje, malos manejos de suelo y cultivos, etc. Con el fin de lograr todo lo antes mencionado, se

realizan lavados de mantenimiento, los cuales pueden ser de dos tipos:

- a) Aprovechamiento de los riegos para el lavado del suelo: Para lograr este objetivo, es necesaria la aplicación de agua en exceso mientras se cultiva el terreno.
- b) Realización de lavados periódicos: Estos son independientes de los riegos normales. En este caso, los lavados se varían ya sea anual, semestralmente, etc., en función de los factores que influyen en la salinización y también de otros datos como épocas de cosecha, disponibilidad de agua, etc.

### A.2.1 METODOS DE LAVADO:

Como ya hemos dicho, los lavados pueden agruparse según se apliquen o no junto con el riego:

- a) Lavados con el Agua de Lluvia: Se emplea ésta agua debido a que es una excelente lavadora de sales, pues tiene un bajísimo contenido de ellas. Para que esta agua funcione correctamente en el lavado, deberán permanecer en la superficie la mayor cantidad de agua de lluvia, además, se debe contar con un adecuado sistema de drenaje que permita la eliminación de la misma al irse adentrando a capas más profundas.
- b) Lavados Aplicados con el Agua de Riego: En general, el agua necesaria para el lavado se aplica junto con la del riego, añadiendo una cantidad excesiva y, una vez que el suelo alcanza la capacidad de campo, el exceso de agua percola dirigiéndose a capas más profundas.

Para la realización de los lavados, el método más conveniente suele ser el almacenar grandes cantidades de agua sobre la superficie del suelo auxiliándose de bordos o diques, esto permite que el agua almacenada se infiltre hacia las capas inferiores del terreno, eliminando las sales solubles.

Otro sistema ampliamente empleado para lavar sales del suelo con pendientes pronunciadas, es el sistema de cajetes. Para almacenar el agua en estos casos se construyen los bordos a nivel

o en contorno, pudiendo tener de "0.45 a 1.20 m de altura, se recomienda construirlos a intervalos de 6 a 15 cm de desnivel" (15). Es recomendable que los bordos tengan compuertas o rupturas que conecten lotes adyacentes, todo con el objeto de controlar mejor el agua y tener varios cajetes llenos de agua simultáneamente.

Para cultivos que se tienen sembrados en melgas (por ejemplo alfalfa), suelen hacerse aplicaciones con riegos en exceso por el método de inundación durante el desarrollo del cultivo, con fines de lavado. Para que éste tipo de sistema resulte eficiente, se debe tener uniformidad en la aplicación del agua, además depende de la cantidad de agua que pase por el suelo. La inundación continua o las aplicaciones periódicas de agua, se hacen indistintamente para el lavado del suelo. Si este transmite agua muy lentamente a capas inferiores, su secado periódico puede mejorar el grado de infiltración. (15)

#### A.2.2 UNIDADES DE MEDIDA:

Las unidades que se definen a continuación serán utilizadas para el cálculo de los lavados, tomando en cuenta el balance de sales y la variación de la salinidad en el suelo después de cada uno de ellos.

La concentración de las sales se expresa por medio de la letra C, seguida de un subíndice. Por ejemplo,  $C_1$  es la concentración de sales del agua de riego.

Cuando sea preciso utilizar valores numéricos, habrá que emplear alguna de las muchas unidades de medida de concentración salino. Aquí se va a utilizar como unidad de medida la Conductividad Eléctrica, en mmhos/cm, que se expresa por  $CE$ , seguida de un subíndice.  $CE_e$  corresponde al agua de riego,  $CE_{ee}$  a la solución del suelo a capacidad de campo y  $CE_c$  al extracto de saturación. (10)

Las cantidades de agua (Riego, lluvia, etc.) se expresan en altura de agua. Por ejemplo, un riego de 80 mm o una lluvia de 25 mm. (10)

La cantidad de sales de una solución es igual al volumen de ésta multiplicado por su concentración. Por ejemplo, en 80 mm de agua de riego de  $CE_i = 1.2$  mmhos/cm hay una cantidad de sales igual a  $80 \times 1.2 = 96$  mmhos/cm x mm, lo cual se expresa por 96 CEmm. (10)

### A.2.3 EFICIENCIA DE LAVADO:

Parte del agua de riego o lluvia que se infiltra en el terreno se mueve a través de grietas, agujero dejados por raíces, etc. y abandona la zona radicular sin haber sido mezclado con el agua del suelo. La concentración salina en esta agua al abandonar la zona radicular es la misma que tenía al entrar ( $C_i$ ). El resto del agua infiltrada se mezcla con el agua del suelo y al abandonar la zona radicular lo hace con una salinidad resultado de esa mezcla. (10)

La fracción de agua infiltrada que se mezcla recibe el nombre eficiencia de lavado y se representa por la letra "f". El valor de f depende del sistema de riego y del tipo de suelo. La mayor eficiencia (mayor f) se consigue con el riego por aspersión. Entre los sistemas de riego por gravedad, el más recomendado es el de surcos.(10)

Con carácter de aproximación, el cuadro 15 muestra algunos valores de f:

Cuadro 15 EFICIENCIA DE LAVADO (10)

Suelo	f
Arenoso	0.8
Franco limoso, franco arenoso	0.5 - 0.6
Francoarcillolimoso, francoarcilloarenoso, franco	0.4 - 0.5
Arcilla	0.2 - 0.3

En las arcillas pesadas el bajo valor de f se debe a la presencia de grietas.

Analizando detenidamente el asunto, realmente no sucede que una fracción de f se mezcle con el agua del suelo y el resto,  $(1 - f)$  la atraviese sin mezclarse. Efectivamente un parte del agua abandona la zona radicular sin haberse mezclado con el agua del suelo, pero el resto se mezcla de manera desigual; una parte se mezcla totalmente, otra algo menos, etc. (10)

Sin embargo, en la práctica se puede aceptar el planteamiento simplista de la fracción mezclada, y ello sin pérdida de exactitud, ya que los valores de  $f$  se determinan experimentalmente. Por tanto, se puede establecer lo siguiente:

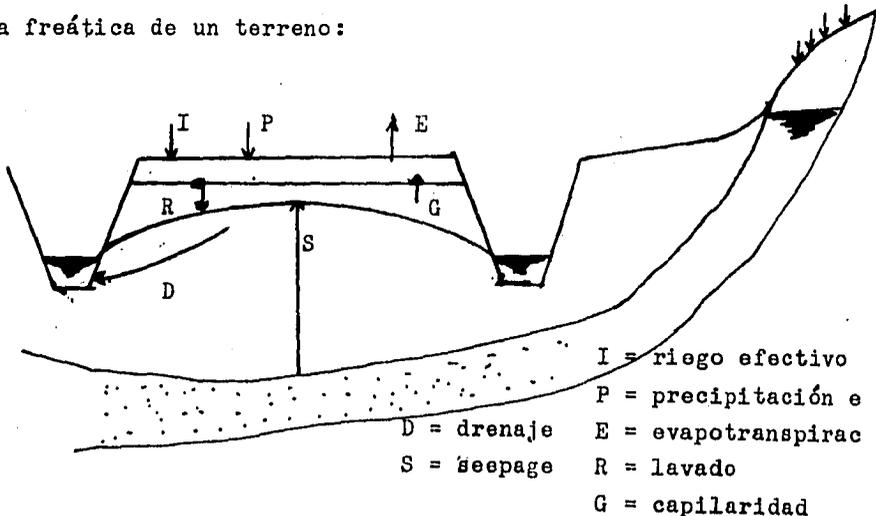
El agua de lavado  $R$ , a cuya salinidad llamamos  $C_r$ , se compone de dos partes:

- agua mezclada con la del suelo  $(1 - f)$ , que sale con una salinidad  $C_i$ , igual a la del agua de riego.
- agua mezclada con la del suelo  $(f)$ , que sale con una salinidad  $C_{cc}$  igual a la de la solución del suelo a capacidad de campo.

$$C_r = f C_{cc} + (1 - f) C_i \dots \dots \dots (1)$$

#### A.2.4 BALANCE DE SALES:

En la figura 2 se representa un caso general, mostrando los factores que afectan al balance de agua de la zona radicular y de la freática de un terreno:



El balance de agua de la zona radicular conduce a la siguiente expresión:

$$I + P + G = E + R + AH \dots (2)$$

donde AH es el aumento de humedad de la zona radicular.

Para la zona freática, el balance de agua es:

$$R + S = G + D + AH \dots (3)$$

En las ecuaciones 2 y 3 conviene expresar los factores en términos de altura de agua. Frecuentemente se miden en mm. Como se ve, en esas ecuaciones no interviene el tiempo; los balances pueden establecerse para el período entre dos riegos, para toda la época de riego, para un año, etc. (10)

A partir de las ecuaciones 2 y 3 se obtienen las ecuaciones de balance de sales multiplicando cada uno de los factores que intervienen por su concentración salina:

- zona radicular:

$$I C_i + P C_p + G C_g = E C_e + R C_r + AZ (4)$$

donde AZ es el aumento de sales de la zona radicular.

- zona freática:

$$R C_r + S C_s = G C_g + D C_d + AZ \dots (5)$$

En lo que resta vamos a limitar nuestro estudio a la zona radicular. Por tanto, analizaremos la fórmula 4.

La salinidad del agua de lluvia es despreciable, por lo que se puede suponer  $C_p = 0$ . Así mismo, el agua evapotranspirada se supone que no contiene sales:  $C_e = 0$ , con lo que 4 queda:

$$I C_i + G C_g = R C_r + AZ \dots (6)$$

Esta situación permite analizar dos situaciones diferentes:

- a) Equilibrio de Sales: Cuando en la zona radicular el contenido de sales permanece constante,  $AZ = 0$ , la 6 se transforma en la llamada "Ecuación de Equilibrio de Sales", que se utiliza para calcular las necesidades de lavado, por esta razón se denomina "Necesidades de Lavado".
- b) Variación de la salinidad del Suelo: Cuando  $AZ \neq 0$ , 6 se transforma en la llamada ecuación de "Almacenamiento de Sales".

El tratamiento de un suelo salino mediante lavados, se compone de dos fases:

- 1a. Lavados de Recuperación: Esta fase parte de una salinidad excesiva del suelo y se pretende, mediante lavados, reducir la a valores que hagan posible la explotación agrícola económica de los suelos.
- 2a. Lavados de Mantenimiento: Una vez que la salinidad del suelo se ha reducido a valores aceptables, hay que impedir que se eleve de nuevo. Si no se efectuaran los lavados, las sales aportadas por agua de riego y las de origen freático, acumuladas capilarmente, aumentarían la salinidad del suelo.

Para evitar esto se recurre a los lavados de mantenimiento, que generalmente consisten en suministrar al suelo en el momento del riego una cantidad de agua superior a la que puede retener. Los lavados de mantenimiento, por tanto, deben continuar indefinidamente.

## B. TECNICAS AUXILIARES:

Estas técnicas se emplean para mejorar alguna propiedad de los suelos salinos que afecta la eficiencia tanto de la aplicación de mejoradores, como de los lavados. Por lo general, es la permeabilidad la propiedad que se mejora en un suelo. Así pues, se considerarán técnicas contra la salinidad las prácticas agrícolas descritas en este capítulo.

### B.1 METODOS FISICOS:

Se basan en la utilización de una serie de labores culturales que tendan a mejorar las condiciones del suelo para agilizar su recuperación.

- a) Arados profundos: Consisten en labores que alcanzan profundidades arriba de 40 cm. Son útiles en aquellos lugares donde se tienen estratos con diferente permeabilidad. El paso del arado mezcla los suelos de las capas que atraviesa, creando un suelo más homogéneo. (10)
- b) Subsolados: Estos son de acción limitada a un año o dos, tienen el mismo efecto que los arados profundos, romper las capas impermeables del suelo, mejorando así la permeabilidad. (3)
- c) Mezclas con Arena: Suelen emplearse para mejorar texturas arcillosas y también, donde existen costras de carbonato de calcio o cal, con el barbecho se rompen esas costras y su mezcla con arena forma una fuente natural de calcio.

d) **Inversión de Perfiles:** Esta operación consiste en enterrar un perfil que posee características indeseables, substituyéndolo por otro que se encontraba más profundo y posee mejores características.

## B.2 METODOS BIOLOGICOS:

Consisten en la introducción de estiércoles, mejoradores orgánicos y el establecimiento de la vegetación tolerante a determinados niveles de salinidad.

El efecto de mejorar la estructura del suelo para que las raíces se desarrollen y formen conductos que mejoren la penetración del agua, así como estas al descomponerse dejen restos de material orgánico. (3)

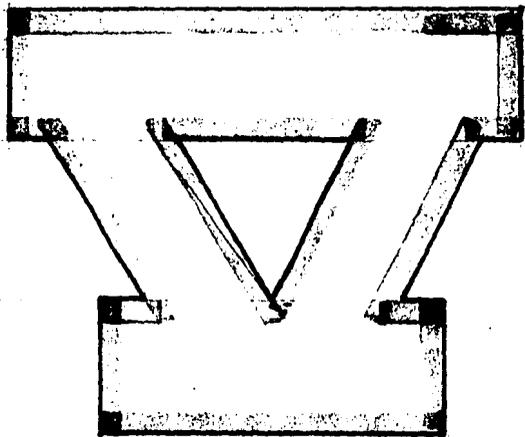
La elección de cultivos tolerantes se hace cuando se tienen conductividades eléctricas hasta 20 mmhos/cm, con el objeto de irlos adaptando en la fase de recuperación, o sea, al ir lavando.

a) **Abonados Orgánicos:** La aplicación de estiércoles o enterrar material en verde ayudan a la recuperación del suelo salino de la siguiente forma:

1. Mejora la permeabilidad y estructura del suelo.
2. Liberación de  $CO_2$ , bajando el pH, aumentando la solubilidad del calcio que existe en forma precipitada.

b) **Cultivos de Elevada Evapotranspiración Potencial:** La vege





A R E A D E E S T U D I O

## V. A R E A D E E S T U D I O

### 5.1 LOCALIZACION:

El área de estudio, Ejido de "Santiago Atocan", ubicado dentro del municipio de Santa Ana Nextlalpan, pertenece al Distrito Agropecuario No. II, Zumpango México. Se encuentra localizado en la parte noreste del Estado de México, siendo sus coordenadas geográficas las siguientes:

Lat. N       $19^{\circ} 24'$  y  $20^{\circ} 04'$

Long. O      $98^{\circ} 37'$  y  $99^{\circ} 31'$

Convertido en Unidad de Riego desde 1975, comprende 284 Has, repartidas entre 51 usuarios.

La mayor parte del Dto. presenta altitudes que fluctúan entre los 2200 y 2500 m.s.n.m., las altitudes mayores de 2500 m son representativas de la parte centro occidental. Sin embargo, en la porción centro oriental existen algunos como: Cerro Gordo de 3050 m.

### 5.2 TIPO DE SUELO:

Asociación Faeozem Háplico de textura media y fina, Xerosol Háplico de textura media y fina. En pendientes menores del 2%.

Faeozem Háplico. Estos suelos tienen una profundidad de 40 a

100 cm. Son de color gris parduzco, café grisáceo y café grisáceo oscuro en seco y café grisáceo muy oscuro, café muy oscuro y gris oscuro en húmedo; textura franco-arcillosa, franco-arcilloarenosa, franca y arcilla, con permeabilidad moderada y moderadamente lenta y buen drenaje interno; el tepetate suele aparecer a los 40 cm. El perfil esta libre de pedregosidad, no hay reacción al HCL 10%.

Xerosol Háptico: Tienen una profundidad de 40 a 100 cm, color gris parduzco claro en seco y café grisáceo oscuro y café en húmedo, sin manchas; tienen textura franco-arcillo-arenosa, franco arcillosa y arcillosa con permeabilidad moderada y moderadamente lenta y buen drenaje interno, es frecuente encontrar el tepetate a 40 cm de profundidad; perfil libre de pedregosidad, no hay reacción al HCL 10%.

En ambas unidades no existe pedregosidad superficial, ni afloramientos rocosos. El relieve es plano con pendientes menores del 2%, tienen en general un drenaje superficial bueno, no existen indicios graves de salinidad y/o sodicidad, tampoco hay manto freático. No existe erosión hídrica, pero llega a presentarse la erosión eólica en época de vientos intensos, cuando lo suelen carecer de la protección de la cubierta vegetal.

### 5.3 CLIMATOLOGIA:

Esta zona presenta un clima templado subhúmedo (Cw), con llu-

vias en verano, mismo que es fresco, con temperatura media del mes más calido menor de  $22^{\circ}\text{C}$ .

La precipitación promedio de los últimos 20 años es de 629.6 mm anuales, encontrándose los meses de lluvia máxima en Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre.

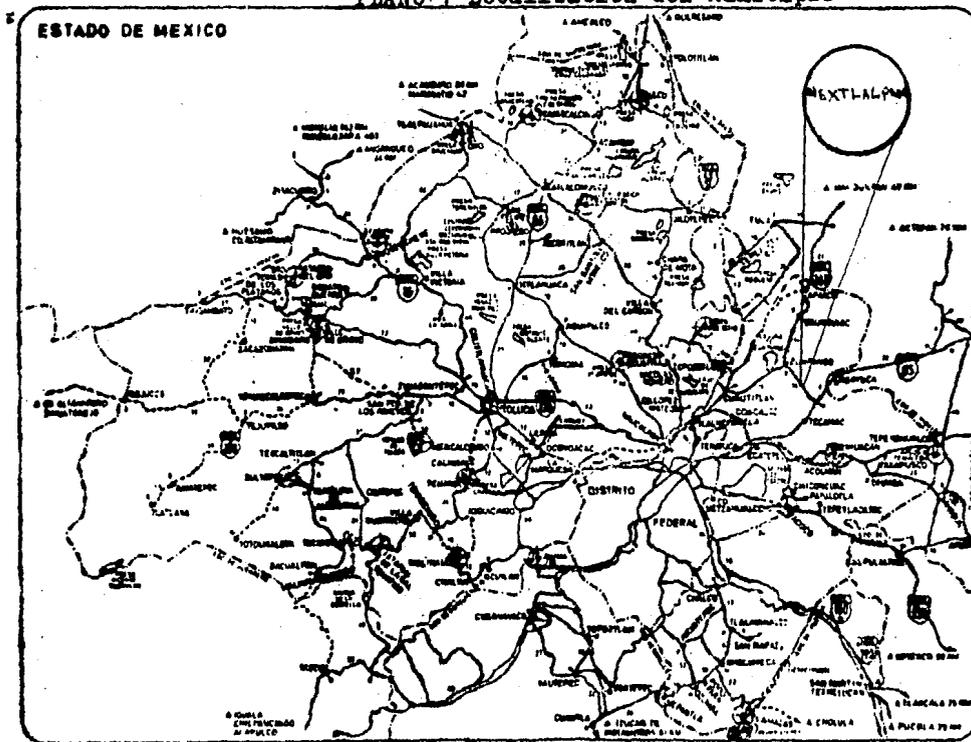
La temperatura media anual es de  $15.4^{\circ}\text{C}$ , con una máxima promedio de  $18.5^{\circ}\text{C}$ , que se presenta en el mes de Mayo y una temperatura mínima de  $12.1^{\circ}\text{C}$  promediada para el mes de Enero.

La evapotranspiración media de Mayo a Octubre es de 2.5 mm/día y de Noviembre a Abril de 4 mm/día, puesto que en el primer caso es cuando se incorporan los terrenos al cultivo y se reduce la evapotranspiración..

#### 5.4 HIDROLOGIA:

Superficial: Las obras de ingeniería construídas con el fin de desaguar las zonas que mayores problemas de inundaciones presentaban, dieron lugar a una pérdida considerable de agua ocasionando la división de la Cuenca del Valle de México en el grupo que se denominó grandes lagos: Texcoco, Xaltocan y Zumpango, posteriormente las obras de ingeniería ocasionaron más pérdida de agua y la división en los lagos de: Apam, Tecmulco, Texcoco, Tochac, Xochimilco y Zumpango.

# PLANO 1 Localización del Municipio



El ejido de "Santiago Atocan" quedó ubicado o establecido en el lecho de lo que fue la laguna de Xaltocan.

Subterránea: En general los acuíferos de la región son semiconfinados (formación geológica que transmite agua muy lentamente) aunque en el área de estudio predomina una permeabilidad alta.

#### 5.5 AGRICULTURA Y GANADERIA:

El municipio de Santa Ana Nextlalpan cuanta con la siguiente agricultura:

a)	Temporal	22 459.86 Has.
b)	Riego	635.00 Has.

En cuanto a los principales cultivos que se explotan, tenemos que:

- a) El cultivo más importante es el maíz, que se cultiva en 787 Has; tiene problemas de plaga con el gusano cogollero, mismo que se combate con sevín 80 en dosis de 1 kg/Ha, haciendo una sola aplicación antes de la floración.
- b) En segundo lugar aparece el frijol, cultivado en 320 Has. Es atacado por mosquita blanca que se combate con malathión 50 CE y/o parathión en dosis de 1 l/Ha, haciendo una aplicación cuando aparece la plaga.
- c) Por último, se explota la superficie con cebada en 275 Has y alfalfa en 109 Has. Estos cultivos se desarrollan

prácticamente libres de plagas y enfermedades, por tanto no se emplean técnicas de control.

La distribución de la tenencia de la tierra es de 1303 Has de superficie ejidal y 1523 Has de propiedad privada.

Por su parte, la ganadería se encuentra en Nextlalpan representada por: 1885 cabezas de ganado bovino, 1980 de oviscaprino, 6335 de porcino, 660 de equino y finalmente por 19 959 de aves.

#### 5.5.1 CLASIFICACION AGROLOGICA:

En aprovechamientos de temporal los suelos se clasificaron como de 4a. y 5a. clases por el clima, mientras que con riego, los suelos profundos de textura fina se clasificaron de 1a., 2a. clase, los suelos de texturas finas y medias, con profundidades de 50 a 100 cm y finalmente, como de 3a. clase los que tienen 40 a 50 cm de profundidad.

#### 5.5.2 USO ACTUAL DEL SUELO:

(Nextlalpan, 1982).

Agrícola	Superficie	Pecuario	Superficie
Maíz	787.74 Has	Pasto Natural	373.56 Has
Frijol	1,115.30 "	Zonas erosionadas	29.80 "
Avena	12.25 "	Zonas Urbanas	508.27 "
Cebada	275.57 "	Canal de Desagüe	204.02 "
Alfalfa	874.00 "	Carreteras	16.36 "
Remolacha	30.00 "	Total:	4,226.87 Has

No se hicieron obras de conservación del suelo y agua en Nextlalpan hasta 1982.

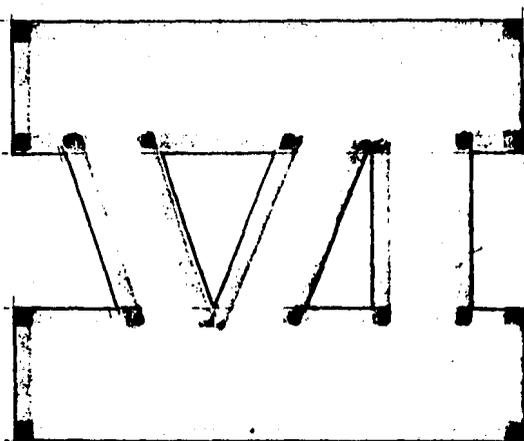
### 5.6 EQUIPAMIENTO URBANO, INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS:

Municipio Nextlalpan	Equipamiento e Infraestructura															
	Educación			Salud			Abastos		Servicios							
	PRIMARIA	PREPARATORIA	TECNICA	UNIVERSIDAD	CASA DE SALUD	CENTRO DE SALUD	HOSPITAL GENERAL	HOSPITAL REGIONAL	MERCADO	BODEGA	CONASUPO	AGUA	DRENAJE	ALCANTARILLADO	ENERGIA ELECTRICA	ALIMBRADO PUBLICO
Localidades																
Nextlalpan	1	1				1			X	X	X	85			90	25
San Miguel Xaltocan	1											80			85	20
Resto del Municipio	6	1	1									85			85	10

(X) Existe pero se desconoce su número.

Nota: los índices de servicios se refieren a porcentajes de población beneficiada.

Fuente: Diagnóstico y Planeación de Desarrollo Integral del Dto Agropecuario y Forestal de Temporal No. II Zumpango.



M E T O D O L O G I A

## VI METODOLOGIA EMPLEADA

El trabajo desarrollado estuvo basado en la siguiente secuencia:

- 6.1 Delimitación del área afectada.
- 6.2 Diagnósis del problema.
- 6.3 Elaboración del proyecto.
  - 6.3.1 Trabajos de campo.
  - 6.3.2 Trabajos de laboratorio.
  - 6.3.3 Trabajos de gabinete.

## 6.1 DELIMITACION DEL AREA AFECTADA:

Los primeros trabajos realizados consistieron en la designación por parte de la S.A.R.H. para la realización del proyecto y, posteriormente la delimitación del área afectada y la diagnósis del problema. Estos dos aspectos están muy relacionados entre sí y en la práctica, en muchos casos, se estudian al mismo tiempo. Sin embargo, para mayor claridad, deben tratarse por separado.

La delimitación del área de estudio estuvo basada en tres tipos de datos:

- Experiencia local
- Observación de fotografías aéreas
- Análisis de suelos

Experiencia local: Tanto los agricultores como los agrónomos de

la zona tenían la iniciativa para el estudio de este problema en el área, conocían todas aquellas manchas con problemas de salinidad, llegando a informarnos sobre los problemas en la producción de cultivos, en comparación con áreas sin problemas.

Observación de Fotografías Aéreas: En la sección 5 del CODAGEM, localizada en el municipio de Zumpango, Edo. de México, se no facilitaron dichas fotografías, de acuerdo con las cuales delimitamos el área con problemas y otra sin ellos, como muestra el Plano 2, que sirvió de base para iniciar el trabajo.

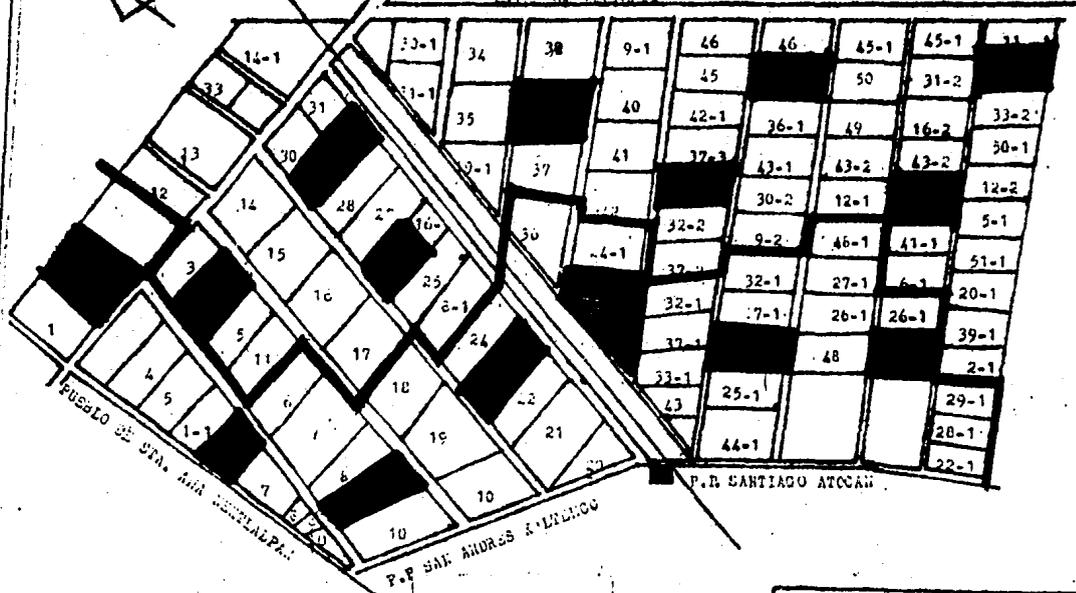
Análisis de Suelos: Se realizaron análisis de suelos con el objeto de delimitar la zona y diagnosticar el problema, para posteriormente realizar el programa de rehabilitación, bastando con el estudio de las características físicas y químicas, mismas que se describen adelante. Ya se mencionaron anteriormente las características más importantes (CE, PSI, y pH) que permiten clasificar a los suelos dentro de los distintos grados de salinidad.

En el capítulo V (área de estudio), se detallan algunos aspectos necesarios, que en este caso se pueden agrupar dentro de las siguientes materias:

- Topografía
- Hidrología
- Pedología
- 6. Climatología
- Agronomía

# PLANO 2 Clasificación Inicial de Suelo

MUNICIPIO DE YALALOCA



- **SALINO**
- **NORMAL**

MUNICIPIO DE SANTIAGO ATOCAN	
S.A.S.H.	

## 6.2 DIAGNOSIS DEL PROBLEMA:

Cabe hacer mención que en la mayoría de los casos la salinidad en los suelos es debida a problemas con el drenaje, pero nuestro trabajo se aboca a diagnosticar la salinidad y elaborar un programa de rehabilitación teniendo en cuenta que el terreno se localiza en el manto de la antigua laguna de Xaltocan, lo que nos hace pensar que las sales se encuentran en los suelos como consecuencia de depósitos que fueron quedando al ser extraída el agua por obras de ingeniería en la zona.

## 6.3 ELABORACION DEL PROYECTO

Una vez que se delimitó el área de estudio y se identificó el problema y sus causas, se procedió a la elaboración del proyecto de recuperación, que en el caso más complicado considera:

1. Lavado de Sales
2. Mejoras Químicas
3. Técnicas Auxiliares

En el caso de tener problemas de salinidad, el método más práctico que se conoce en la actualidad para su corrección, es el lavado de las sales. Casi siempre, para poder realizar el lavado, es necesario ejecutar alguna obra de drenaje, aunque muchas veces resulta más que suficiente con obras sencillas.

Si adicionalmente se presentan problemas de elevada concentra-

ción de Na (altos valores de PSI), se hacen necesarias las correcciones químicas. En este caso deben preceder al lavado de las sales.

Para la elaboración del proyecto hay que realizar una serie de trabajos, que se agrupan de la siguiente manera:

1. Trabajos de Campo
2. Trabajos de Laboratorio
3. Trabajos de Gabinete

1. Los trabajos de campo se hicieron con el objeto de reunir los datos necesarios para proyectar las medidas de recuperación. De hecho en la fase de delimitación se iniciaron estos trabajos.

Una vez delimitada el área de trabajo y en base a la experiencia local y la interpretación de las fotografías aéreas, se decidió hacer un muestreo al azar, en donde además de usar el marco de muestreo se subdividió en 2 estratos que se consideraron más o menos homogéneos, en base a la interpretación de las fotografías, a los cuales designamos diferentes densidades de muestreo, dependiendo de la cuantía de los contenidos salinos y del total del área de estudio, quedando los pozos como indica el mismo plano 2.

Profundidad de Muestreo: Este se realizó hasta una profundidad de 60 cm en los siguientes espesores:

0 - 20 cm

20 - 40 cm

40 - 60 cm

Se tomaron aproximadamente 2 kg de suelo (que se etiquetaron y registraron en una libreta) depositados en bolsas de polietileno para su transporte y manejo en el laboratorio.

Para las determinaciones sobre el agua de riego, se realizaron dos muestreos (Febrero y Abril de 1985), de los cuales se obtuvo un promedio que se presenta en los resultados.

2. Los trabajos de laboratorio consistieron en la realización de los análisis de aguas y suelos, enfocados a la recuperación del problema de salinidad.

Análisis de suelos: Por medio de un análisis de suelos se pueden encontrar los elementos suficientes para identificar la naturaleza del problema de salinidad y una serie de datos necesarios para implementar las técnicas de lavado, correcciones químicas, además que permiten el cálculo de un sistema de drenaje en caso de ser necesario.

#### Determinaciones Físicas.-

1. Densidad Aparente: Se emplea para.-

- Junto con la densidad real, calcular la porosidad total

- Calcular la dosis de mejoradores químicos

## 2. Densidad Real:

El cálculo de la densidad aparente se hizo por medio del método de la probeta y la densidad real por el método del matraz ambos sencillos y prácticos y que se emplean en la laboratorio de sue los de la FES-Cuautitlan, empleando las siguientes fórmulas:

$$d_a = \frac{\text{Peso probeta con suelo} - \text{Peso probeta sola}}{10 \text{ ml}}$$

$$d_r = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{Peso suelo} + \text{peso agua} - (\text{Peso suelo} + \text{agua})}$$

3. Humedad y/o Capacidad de Campo: Se utiliza para posteriormente calcular los lavados de sales.

La determinación de la humedad se realizó mediante el método de columna, en el que se toma una medida de suelo en volumen, los que se colocan en una columna y se saturan con agua destilada, hecho que depende de la textura del suelo. Posteriormente se to ma una muestra del tercio medio, ya que se infiltro perfectamente el agua, para pesarlo y enseguida secarlo en estufa y pesar en seco, calculando posteriormente la humedad, calculando la capacidad de campo a partir del porcentaje de saturación de la siguiente forma:

$$C.C. = \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco}}{\text{Peso suelo seco}} \times 100$$

4. Textura: La clasificación textural y los porcentajes de los distintos componentes complementan el estudio físico realizado.

La textura se determinó mediante el método de Bouyoucos, basado en las diferentes velocidades de sedimentación de partículas y obteniendo los porcentajes con las fórmulas siguientes:

$$\% \text{ Limos + Arcillas} = \frac{\text{Primera lectura}}{\text{g muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Arcillas} = \frac{\text{Segunda lectura}}{\text{g muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Arenas} = 100 - (\% \text{ Limos + Arcillas})$$

Los porcentajes obtenidos se llevaron al triángulo de textura.

### Determinaciones Químicas:

5. Cationes Adsorbidos en el Complejo de Intercambio: La cantidad de Ca, Mg, K y Na adsorbidos permiten calcular el PSI, valor que sirve para clasificar el suelo según su sodicidad y para calcular la dosis de mejorador químico.

Para la determinación de estos cationes, se procedió en primer lugar a realizar un extracto de saturación, tomando muestras de 250 g de suelo de cada pozo y profundidad, saturándolos con agua destilada y posteriormente se extrajeron por medio de succión con una bomba de vacío aproximadamente 30 a 50 ml, dependiendo de la textura.

Una vez obtenido el extracto, las determinaciones de Ca y Mg se hicieron mediante titulación con versenato de concentración conocida, del procedimiento tenemos:

$$\text{meq/l de Ca + Mg} = \frac{\text{ml de versenato} \times N \times 1000}{\text{ml de alícuota de ext. de sat.}}$$

$$\text{meq/l de Ca} = \frac{\text{ml de versenato} \times N \times 1000}{\text{ml de alícuota de ext. de sat.}}$$

Para el cálculo de la concentración de K y Na, se procedió a determinar su contenido en el extracto de suelo flamométricamente, para lo cual se elaboraron curvas patrón de cada elemento por medio de soluciones de concentraciones conocidas de los mismos elementos y posteriormente se calcularon por interpolación en dichas curvas las concentraciones de Na y K, estos valores

se sustituyen en las siguientes fórmulas para calcular la realación de adsorción de sodio y potasio respectivamente:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

$$RAP = \frac{K^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Este procedimiento nos da el contenido de cationes solubles, los cuales nos permiten calcular el PSI y PPI a través de las siguientes fórmulas:

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)}$$

$$PPI = \frac{100 (0.0360 + 0.1051 RAP)}{1 + (0.0360 + 0.1051 RAP)}$$

6. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Se utiliza para el cálculo de las dosis de mejoradores químicos.

Esta determinación se realiza por medio de centrifugación, método basado en la saturación del suelo con acetato de sodio, para desplazar todos los elementos en los sitios de intercambio, luego se determina el sodio por flamometría e igual que en la determinación de cationes adsorbidos, la concentración de Na encontrada se sustituye en la siguiente fórmula:

$$\text{CIC (meq/l)} = \frac{\text{meq/l de sodio en curva}}{\text{g de muestra}} \times \text{Dilución} \times 10$$

7. Porcentaje de Sodio Intercambiable: Anteriormente se indicó su utilidad y el método para calcularlo.

8. pH: Se utiliza para clasificar los suelos sódicos.

El pH se determinó por medio del potenciómetro, en una relación agua suelo de 2.5:1.

9. Conductividad Eléctrica Específica ( $CE_e$ ) a  $25^{\circ}\text{C}$  mmhos/cm: Esta característica permite clasificar los suelos en salinos o no, orienta acerca de los cultivos viables y se emplea para los cálculos de lavado de sales.

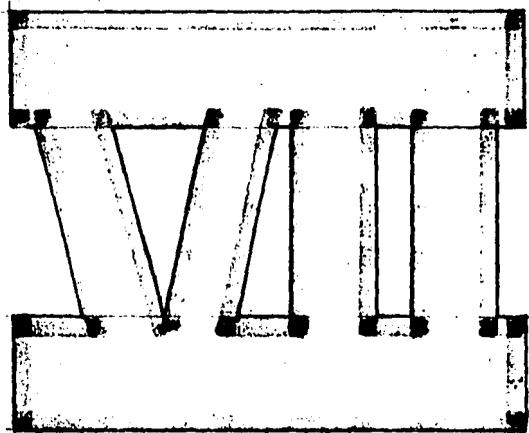
Esta propiedad se determinó en el extracto de saturación, mediante el transporte de la electricidad que se lleva a cabo por los iones de las sales disueltas, dado que los iones conducen la corriente eléctrica.

Análisis de Aguas: El análisis muestra el riesgo de salinización y sodificación del suelo por la aplicación de agua de riego. La CE se utiliza para los cálculos de lavado de sales.

La conductividad eléctrica se obtuvo con conductímetro y se utiliza para indicar la concentración total de los constituyentes ionizados de las soluciones. Esta estrechamente relacionada con la suma de cationes o aniones, determinada químicamente y, por

lo común, tienen una gran correlación con el total de sólidos disueltos.(2)

En segundo lugar, se determinó la relación de adsorción de sodio (RAS), por el método del manual No. 60 de USDA (15), el cual es similar al de suelos. Finalmente se determinaron las concentraciones de Ca y Mg en una titulación con versenato.



R E S U L T A D O S

## V I I R E S U L T A D O S

Cuadro 16 DETERMINACIONES FISICAS DE SUELOS

Pozo	Profundidad (cm)	Densidad		Humedad (%Volumen)		Textura
		$D_a$	$D_s$	C.C.	Porosidad total	
1	0 - 20	1.16	2.38	28.57	51	M. arcillo-arenos
	20 - 40	1.20	2.07	19.37	42	M. arenoso
	40 - 60	0.66	1.83	55.00	64	Arcillo-arenoso
2	0 - 20	1.1	2.4	43.85	54	M. arcillo-arenos
	20 - 40	1.05	2.27	50.24	54	M. arcillo-arenos
	40 - 60	1.0	2.43	44.1	59	Migajón
3	0 - 20	1.07	2.13	33.44	50	M. arcillo-arenos
	20 - 40	1.05	2.11	35.15	50	M. limoso
	40 - 60	0.91	2.12	45.65	53	M. arcillo-arenos
4	0 - 20	1.04	2.32	40.73	55	M. arcillo-arenos
	20 - 40	1.3	2.35	28.75	48	M. arenoso
	40 - 60	1.23	2.59	30.54	53	M. arcillo-arenos
5	0 - 20	0.97	1.93	38.63	51	M. arcillo-arenos
	20 - 40	0.88	1.86	56.2	53	M. arcilloso
	40 - 60	0.74	1.8	44.8	59	M. arcillo-arenos
6	0 - 20	0.99	2.32	49.61	57	Migajón
	20 - 40	1.06	2.35	39.8	55	M. arcillo-arenos
	40 - 60	0.93	2.35	43.27	60	M. arcillo-arenos
7	0 - 20	0.96	1.86	55.27	48	Arcilla
	20 - 40	1.15	2.35	25.26	51	Arena
	40 - 60	1.03	2.15	38.58	52	M. arcillo-arenos
8	0 - 20	1.01	2.38	43.31	58	M. arcillo-arenos
	20 - 40	0.98	2.27	53.35	57	M. arcillo-arenos
	40 - 60	1.25	2.66	24.78	53	M. arenoso.
9	0 - 20	1.01	1.8	54.03	45	M. arcilloso
	20 - 40	0.87	1.66	47.4	48	M. arcilloso
	40 - 60	0.88	1.8	49.00	52	M. arcilloso

	0 - 20	1.06	2.24	41.9	53	M. arcillo-arenoso
10	20 - 40	1.05	2.22	49.18	53	Arcilla
	40 - 60	1.03	2.10	51.2	51	Arcilla
	0 - 20	1.00	1.54	58.29	41	Arcilla
11	20 - 40	0.90	1.94	55.5	55	Arcilla
	40 - 60	0.90	2.22	49.3	59	M. arcilloso
	0 - 20	1.0	2.29	48.95	57	M. arcilloso
12	20 - 40	0.8	2.29	59.00	66	Arcilla
	40 - 60	0.8	1.86	48.8	57	M. arcilloso
	0 - 20	0.99	2.19	51.55	55	M. arcilloso
13	20 - 40	0.74	1.44	52.9	50	Arcilla
	40 - 60	0.71	1.76	50.7	60	M. arcilloso
	0 - 20	1.0	2.17	50.00	56	Arcilla
14	20 - 40	0.92	2.12	56.3	57	Arcilla
	40 - 60	0.85	2.06	40.0	59	M. arcillo-arenoso
	0 - 20	1.0	2.12	53.00	53	M. arcilloso
15	20 - 40	0.76	1.86	53.00	59	M. arcilloso
	40 - 60	0.79	1.83	41.20	57	Migajón

Cuadro 17 DETERMINACIONES QUIMICAS DE SUELOS

Pozo	Prof. (cm)	Cationes Solubles (meq/l)					PSI	CE <sub>o</sub> a 25°C (mmhos/cm)	pH
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	ClC'			
1	0 - 20	0.95	0.19	1.2	0.1	7.0	1.07	2.0	9.3
	20 - 40	0.19	1.71	2.2	0.38	4.2	2.03	8.0	10.0
	40 - 60	0.95	0.57	29.0	7.2	13.7	32.34	15.0	10.6
2	0 - 20	0.76	0.57	1.45	0.05	10.7	1.35	2.5	9.7
	20 - 40	0.57	0.38	1.45	0.12	11.6	1.8	4.0	8.5
	40 - 60	0.38	0.76	2.75	0.25	12.0	3.95	10.0	10.1
3	0 - 20	0.38	1.14	1.25	0.42	9.1	0.84	3.5	9.7
	20 - 40	1.52	0.38	17.0	3.06	12.0	19.65	15.0	10.6
	40 - 60	0.95	2.09	24.5	4.7	14.7	21.9	15.0	10.5
4	0 - 20	0.95	1.14	0.2	0.06	12.0	0.00	0.8	8.3
	20 - 40	1.52	1.14	0.22	0.06	8.6	0.00	0.79	8.8
	40 - 60	0.76	1.14	0.2	0.06	6.6	0.09	0.74	9.0
5	0 - 20	0.38	0.76	11.0	1.53	12.4	16.83	15.0	10.0
	20 - 40	0.76	1.14	11.0	1.27	13.2	13.33	15.0	10.3
	40 - 60	0.76	0.19	7.0	1.27	14.4	12.1	15.0	10.1
6	0 - 20	0.38	1.9	0.45	0.02	12.0	0.00	1.35	9.1
	20 - 40	0.38	0.76	2.75	0.38	9.6	3.95	10.0	10.1
	40 - 60	0.57	1.33	8.5	1.21	14.2	10.04	15.0	10.1
7	0 - 20	0.95	0.95	2.2	0.23	15.4	2.03	7.0	9.4
	20 - 40	0.19	0.19	3.45	0.38	7.7	9.43	15.0	10.0
	40 - 60	0.19	0.95	6.0	0.6	10.0	9.47	15.0	10.0
8	0 - 20	0.38	0.76	8.5	1.27	14.4	13.3	10.0	10.4
	20 - 40	0.38	0.38	8.0	1.4	8.8	15.17	15.0	10.1
	40 - 60	1.14	1.9	5.25	0.86	7.5	4.8	15.0	10.2
9	0 - 20	0.76	0.0	0.4	0.07	13.5	0.0	1.2	8.6
	20 - 40	0.38	0.76	0.8	0.1	12.4	0.3	1.8	9.1
	40 - 60	0.57	0.57	0.81	0.11	14.7	0.31	2.25	9.1
10	0 - 20	1.14	2.28	0.24	0.02	13.7	0.00	0.75	8.6
	20 - 40	0.95	1.33	0.5	0.06	13.2	0.00	1.7	9.5
	40 - 60	1.14	1.9	0.49	0.06	8.8	0.00	2.08	9.5

	0 - 20	0.38	0.76	0.3	0.02	13.2	0.00	0.8	8.4
11	20 - 40	0.57	1.33	0.28	0.02	12.8	0.00	0.9	8.9
	40 - 60	1.14	2.09	0.3	0.02	12.8	0.00	0.95	8.9
	0 - 20	0.76	1.52	0.32	0.02	13.5	0.00	1.0	8.8
12	20 - 40	0.38	0.38	0.95	0.12	14.0	1.0	2.5	9.3
	40 - 60	0.38	0.19	0.81	0.11	12.0	1.0	2.6	9.5
	0 - 20	0.76	1.52	0.2	0.02	14.4	0.00	0.79	8.4
13	20 - 40	0.76	1.14	0.55	0.05	12.4	0.00	1.8	9.0
	40 - 60	0.95	0.57	0.55	0.07	12.0	0.00	1.6	9.3
	0 - 20	1.52	1.14	0.25	0.02	12.4	0.00	0.75	8.7
14	20 - 40	0.95	0.95	0.4	0.05	12.4	0.00	1.5	8.5
	40 - 60	0.76	0.0	0.75	0.17	10.4	0.54	2.25	8.6
	0 - 20	1.52	1.9	0.22	0.02	12.8	0.00	0.72	8.5
15	20 - 40	0.76	0.95	0.6	0.07	13.2	0.00	1.65	9.2
	40 - 60	1.9	1.9	0.57	0.07	10.7	0.00	1.7	9.3

'Nota; la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se encuentra expresada en meq/100 g de suelo para efectos de cálculo.

Los análisis de aguas (muestras tomadas en la obra de toma del Ejido), promediaron los siguientes resultados:

Conductividad eléctrica ( $CE_e$  a  $25^{\circ}C$ ) = 1.9 mmhos/cm.  
Relación de Adsorción de Sodio (RAS) = 8.

Estos resultados nos permiten clasificar a los suelos como se muestra en el siguiente cuadro.

#### 7.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS:

Existen varias clasificaciones de los suelos salinos, cada una de ellas con ventajas e inconvenientes. Las tres más importantes son la Rusa, Francesa y Americana. La Rusa combina los principios de pedología, geoquímica de las sales y fisiología vegetal, ha producido denominaciones de suelos como solonchak, solonetz, taky, ampliamente divulgados. Sin embargo, nosotros adoptamos una más simple y práctica basada en la propuesta por el USDA. (15)

Esta clasificación utiliza fundamentalmente tres parámetros para caracterizar al suelo:  $CE_e$ , PSI, pH. La  $CE_e$  indica los efectos de las sales en los cultivos. El PSI es un índice de los efectos sobre las propiedades del suelo. El pH es un término universal define las condiciones de acidez o alcalinidad que presenta una solución.

En el área estudiada encontramos:

	$CE_e$	PSI	pH	Pozos
Suelos normales	< 4 mmhos/cm	< 15	7 - 8.5	4, 9, 10, 11 12, 13, 14 y 15
Suelos Salinos	> 4	" < 15	7 - 8.5	2, 6 y 7
Suelos Salino- Sódicos	> 4	" > 15	8.5	1, 3, 5 y 8
Suelos Sódicos	< 4	" > 15	8.5	no hay

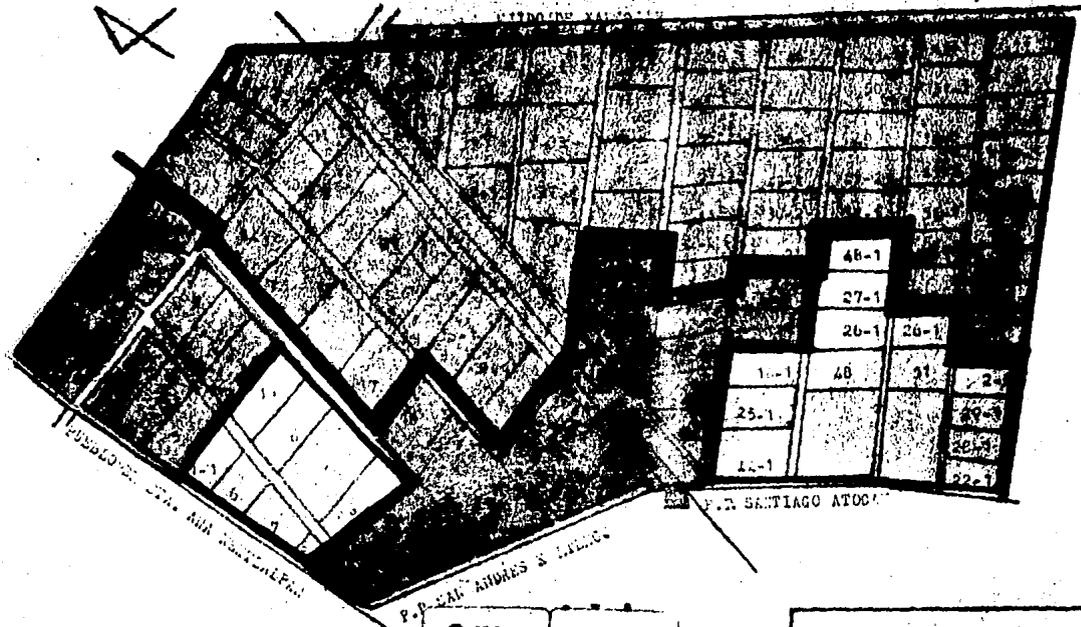
Cuadro 18 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Pozo	Profundidad (cm)	pH	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	PSI	Clasifica ción
1	0 - 20	9.3	2.0	1.07	Normal
	20 - 40	10.0	8.0	2.03	Salino
	40 - 60	10.6	15.0	32.34	Salino-sód
2	0 - 20	9.7	2.5	1.35	Normal
	20 - 40	8.5	4.0	1.8	Salino
	40 - 60	10.1	10.0	3.95	Salino
3	0 - 20	9.7	3.5	0.84	Salino
	20 - 40	10.6	15.0	19.65	Salino-sód
	40 - 60	10.5	15.0	21.9	Salino-sód
4	0 - 20	8.3	0.8	0.00	Normal
	20 - 40	8.8	0.79	0.00	Normal
	40 - 60	9.0	0.74	0.09	Normal
5	0 - 20	10.0	15.0	16.83	Salino-sód
	20 - 40	10.3	15.0	13.33	Salino
	40 - 60	10.1	15.0	12.1	Salino
6	0 - 20	9.1	1.35	0.00	Normal
	20 - 40	10.1	10.0	3.95	Salino
	40 - 60	10.1	15.0	9.47	Salino
7	0 - 20	9.4	7.0	2.03	Salino
	20 - 40	10.0	15.0	9.43	Salino
	40 - 60	10.0	15.0	9.47	Salino
8	0 - 20	10.4	10.0	13.3	Salino
	20 - 40	10.1	15.0	15.17	Salino-sód
	40 - 60	10.2	15.0	4.0	Salino
9	0 - 20	8.6	1.2	0.00	Normal
	20 - 40	9.1	1.8	0.3	Normal
	40 - 60	9.1	2.25	0.31	Normal
10	0 - 20	8.6	0.75	0.00	Normal
	20 - 40	9.5	1.7	0.00	Normal
	40 - 60	9.5	2.08	0.00	Normal
11	0 - 20	8.4	0.8	0.00	Normal
	20 - 40	8.9	0.9	0.00	Normal
	40 - 60	8.9	0.95	0.00	Normal

	0 - 20	8.8	1.0	0.00	Normal
12	20 - 40	9.3	2.5	1.0	Normal
	40 - 60	9.5	2.6	1.0	Normal
	0 - 20	8.4	0.79	0.00	Normal
13	20 - 40	9.0	1.8	0.00	Normal
	40 - 60	9.3	1.6	0.00	Normal
	0 - 20	8.7	0.75	0.00	Normal
14	20 - 40	8.5	1.5	0.00	Normal
	40 - 60	8.6	2.25	0.54	Normal
	0 - 20	8.5	0.72	0.00	Normal
15	20 - 40	9.2	1.65	0.00	Normal
	40 - 60	9.3	1.7	0.00	Normal-

Si analizamos detenidamente el cuadro anterior, podemos darnos cuenta que el pozo 4 y del 9 en adelante no tienen ningún problema, pero en los suelos con sales el problema se presenta en 2 o incluso las tres profundidades; para los pozos 1, 5 y 8 se clasifican como salino-sódicos porque ya se presenta el daño y es en las zonas de desarrollo radicular o más superficiales, además, en estos terrenos se siembran cultivos que alcanzan profundidades bastante profundas sus sistemas radiculares, como son el maíz y la alfalfa.

PLANO 3 Clasificación de Suelos



- NORMAL
- SALINO
- SALINO SODICO

EJIDO DE SANTIAGO ATOCAN	
S. A. R. H.	

## 7.5 METODOLOGIA DE RECUPERACION:

Aunque en forma general puede pensarse que la recuperación de suelos con problemas de sales son semejantes, las metodologías a seguir en suelos salino, salino-sódicos y sódicos, difieren fuertemente en técnica y métodos (3)

### 7.5.1 RECUPERACION DE SUELOS SALINOS:

La disminución del contenido de sales en suelos de este grupo se lleva a cabo preferentemente por la aplicación de agua suficiente para lixiviarlas hacia partes más profundas del suelo, sin emplear mejoradores, aprovechando que los contenidos de calcio son dominantes sobre el sodio.

#### Métodos Físicos:

- a) Labores tendientes al emparejamiento de la topografía del terreno.
- b) Utilización de implementos de labranza profundos (cincoles) ára romper las posibles costras duras de  $\text{CaCO}_3$  y así contar con una permeabilidad más uniforme.
- c) Mejoramiento de los espesores internos con arados para romper los estratos arcillosos o calcáreos que evitan el movimiento de las aguas con sales y mejorar la permeabilidad del suelo con la incorporación y mezcla de las acumulaciones de arcilla y calcio
- d) Rastreo, para uniformizar y romper los terrones.

- e) Emparejamiento con niveladora dando dos pasos cuando menos para que el agua sea fácilmente aplicada.

#### Métodos Hidrotécnicos:

- a) Bordeo con bordos trazados a nivel para uniformizar y al mismo tiempo para controlar el tirante o lámina de agua.
- b) Aplicación de láminas parciales en forma secuenciada hasta bajar la CE a menos de 10 mmhos/cm.
- c) La efectividad en tiempo para lograrlo depende de la forma de aplicación y la calidad del agua utilizada para el lavado con respecto a los contenidos y dominancia del calcio y magnesio sobre el sodio.

#### Métodos Químicos:

- a) Efectuar muestreos de suelo cada dos o tres aplicaciones de agua, para hacer análisis de laboratorio y controlar la lixiviación de los contenidos salinos.
- b) Es necesario llevar un control en el laboratorio de los decrementos de salinidad de la relación de calcio y magnesio contra el sodio y de los diferentes cationes, sobre todo cuando desciende a  $CE = 10$  mmhos/cm en un espesor de 50 cm.
- c) En ese momento se suspenden los lavados para iniciar los cultivos después de verificar el movimiento de sales y comprobar que han descendido a niveles tolerables en los 50 cm (menos de 12 mmhos/cm).

### 7.5.2 RECUPERACION DE SUELOS SALINOS SODICOS:

En ellos pueden llegar a formarse condiciones estructurales adversas después de lixiviarse o precipitarse las sales de calcio con el sodio intercambiable en la arcilla y degenerar en suelos sódicos. (3)

Para evitarlo se deben preveer las aplicaciones de mejoradores químicos y/u orgánicos que mantengan las buenas condiciones físicas.

Si no es posible lograr después del Intercambio Catiónico que las arcillas tengan una condición cálcica, se pondrá en peligro la permeabilidad y aireación del suelo. (3)

#### Métodos Físicos:

Cuando la CE en mmhos/cm es:

4 a 20 y PSI 15

Cinceleo

Barbecho

Rastro-

Emparejamiento

Aplicación de mejoradores químicos requeridos

Bordeo

Canalización

Aplicación de láminas de lavado

Determinaciones de laboratorio

Siembra

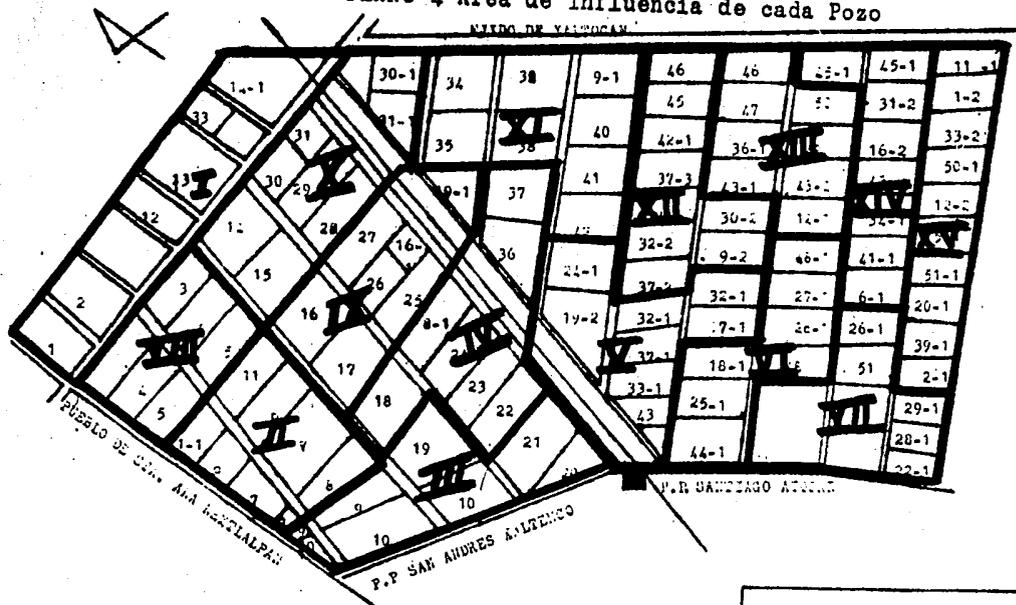
### Métodos Químicos:

Cuando la CE es mayor de 20 mmhos/cm es difícil calcular la cantidad de mejorador que económicamente debe aplicarse por el bloqueo o interacción del calcio y del sodio solubles. Por lo que se recurre al lavado para disminuir los contenidos salinos hasta un nivel en que no sea afectada la permeabilidad.

El yeso es un constituyente natural, por lo que para su aplicación debe tenerse en cuenta este factor ya que puede presentarse en niveles más elevados que los aplicados.

Para la implementación de las mejoras, recomendamos seguir el plano 4 área de influencia de cada pozo.

# PLANO 4 Area de Influencia de cada Pozo



VILLO DE SANTIAGO ATOCAN	
P.A.A.H.	

## 7.6 CALCULO DE MEJORADOR:

A partir de la fórmula descrita en la página 50, se calcula la dosis de mejorador para la rehabilitación de los suelos con elevada concentración de sodio (altos PSI), en este caso seleccionamos el yeso por ser el más económico y adecuado a todos los suelos, sabiendo que es un producto cálcico y son los que requieren estos suelos sódicos. A continuación presentamos las dosis calculadas que necesitan los suelos con PSI mayor de 10:

Cuadro 19 DOSIS DE MEJORADOR REQUERIDAS

Pozo	Profundidad (cm)	Mejorador	Dosis teórica (kg/Ha)	Dosis P. (kg/Ha)
1	40 - 60	Yeso	10,502.0	13,127.5
3	20 - 40	"	4,202.6	5,253.25
3	40 - 60	"	8,259.1	10,323.9
5	0 - 20	"	1,413.0	1,766.25
5	20 - 40	"	1,330.6	1,663.25
5	40 - 60	"	1,162.5	1,453.12
8	0 - 20	"	825.5	1,031.9
8	20 - 40	"	1,533.8	1,917.25

Nota: Se aplica la dosis práctica, pues no todo el mejorador reacciona con el suelo.

Cuadro 20 DOSIS PROMEDIOS POR APLICAR

Pozos	Profundidad (cm)	Dosis por aplicar (kg/Ha)
3	20 - 40	5,253.25
1 y 3	40 - 60	11,725.7
5 y 8	0 - 20	1,399.1
5 y 8	20 - 40	1,790.5
5	40 - 60	1,453.12

Nota: Promedios por aplicar en los pozos y profundidades indicados, con el fin de facilitar la operación.

## 7.7 CALCULOS DE LAVADOS:

Se pretende recuperar estos suelos salinos, llevándolos a una CE de 3 mmhos/cm, salinidad que produce un 10% de disminución en la producción de alfalfa, cultivo más sensible. Se aprovecharán las lluvias y sobre todo por lavados provocados. La temporada de riego va de Noviembre a Abril; es por tanto, de 6 meses = 180 días. Durante esa época se supone que la precipitación es de 1.73 mm/día. La evapotranspiración media es de  $E = 4$  mm/día. El agua de riego tiene una  $CE_e$  a  $25^{\circ}C = 1.9$  mmhos/cm.

La temporada sin riego (Mayo-Octubre) es de 180 días. En esa época llueven 537 mm, lluvia efectiva = 537 mm. En este período la evapotranspiración media es de 2.5 mm/día, al encontrarse el terreno cubierto por la vegetación, principalmente maíz y alfalfa. En esta época no se riega, debido a que se establece el temporal.

Como se menciona en el Capítulo V, los suelos del Ejido carecen de manto freático a menos de 200 m de profundidad, por tanto, no existen aportes capilares.

Nos encontramos en Mayo del año 0. En noviembre del año en curso comenzarán los lavados con agua de riego, pero antes la lluvia habrá efectuado un cierto lavado que se calcula primero.

En el caso de los lavados provocados, sabemos que se riegan 2

hectáreas en 10 horas de uso de la bomba, sabiendo que la bomba tiene un gasto de 160 l/seg, podemos determinar que:

$$160 \text{ l/seg} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 576 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$576 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times \frac{10 \text{ hrs}}{2 \text{ Has}} = 2880 \text{ m}^3/\text{Ha}$$

$$2880 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}} \times \frac{1 \text{ Ha}}{10000 \text{ m}^2} = 0.288 \text{ m}$$

288 mm de agua que será nuestra cantidad de agua por riego = I.

Datos: el análisis del suelo efectuado hasta el mes de febrero del año 0, muestra los siguientes resultados:

## P O Z O 1

(1) Capa	1a	2a	3a
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) $\epsilon$	0.51	0.42	0.64
(4) C.c.	0.28	0.19	0.55
(5) P.m.	0.03	0.03	0.05
(6) A.u. (%)	0.25	0.16	0.50
(7) A.u. (mm)	50	32	100
(8) Hc (mm)	56	38	110
(9) $CE_e$ (mmhos/cm)	2	8	15
(10) $CE_{cc}$ "	3.6	17.68	17.45
(11) f	0.5	0.5	0.5

$$(3) \epsilon = \text{porosidad total} = 1 - \frac{d_a}{d_r}$$

(4) C.c. = capacidad de campo.

(5) P.m. = punto de marchitez.

(6) A.u. (%) = C.c. - P.m.

(7) A.u. (mm) = espesor de cada capa x A.u. (%) = 200 x A.u.

(8) Hc = espesor de cada capa x C.c. = 200 x C.c.

(10) calculada según  $CE_{cc} = CE_e \cdot \epsilon / C.c.$

(11) estimado según la textura.

Lavado en la 1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0).

Lluvia efectiva = 537 mm

$E = 2.5 \text{ mm/día} = 2.5 \times 180 = 450 \text{ mm}$

La diferencia  $P - E = 537 - 450 = 87 \text{ mm}$  es el agua de lavado (R) en la primera temporada sin riego.

1a Capa:

Cantidad inicial de sales:

$$Z_1 = Hc \times C_{cc} = 56 \times 3.6 = 201.6 \text{ CEmm}$$

AZ se calcula según:

$$AZ = \frac{A - B Z}{1 + 0.5 B}$$

$$A = C_i (I - R + R f)$$

$$C_i \text{ (agua de lluvia)} = 0; A = 0$$

$$R = 87 \text{ mm}$$

$$B = \frac{R f}{H_c} = \frac{87 \times 0.5}{56} = 0.77$$

$$AZ = \frac{-0.77 \times 201.6}{1 + 0.5 \times 0.77} = -112.08 \text{ CEmm}$$

$$Z_2 = Z_1 + AZ = 89.52 \text{ CEmm}$$

$$C_{cc} \text{ final} = \frac{Z_2}{H_c} = 1.6 \text{ mmhos/cm}$$

$$C_{Ee} \text{ final} = C_{cc} \times \frac{C_c}{E} = 1.6 \times \frac{0.28}{0.51} = 0.88 \text{ mmhos/cm}$$

2a capa. Esta recibe el agua procedente de la primera, por tanto, esa agua ya tiene una cierta salinidad ( $C_{i2}$ ).

$$C_{i2} = f_1 C_{c1} + (1 - f) C_i = 0.5 \times 1.6 + (1 - 0.5) 0 = 0.8 \frac{\text{mmh}}{\text{cm}}$$

$$A = C_i (I - R + R f)$$

$$I = 87 \text{ mm}$$

$$R = 87 \text{ mm}$$

$$f = 0.5$$

$$A = 0.8 (87 - 87 + 87 \times 0.5) = 34.8$$

$$B = \frac{87 \times 0.5}{38} = 1.14$$

$$Z_1 = 38 \times 17.68 = 671.84 \text{ CEmm}$$

$$AZ = \frac{34.8 - 1.14 \times 671.84}{1 + 0.5 \times 1.14} = -465.66 \text{ CEmm}$$

$$Z_2 = 671.84 - 465.66 = 206.18 \text{ CEmm}$$

$$C_{cc} \text{ final} = \frac{Z_2}{H_c} = \frac{206.18}{38} = 5.4 \text{ mmhos/cm}$$

$$C_{Ee} \text{ final} = C_{cc} \times \frac{C_c}{E} = 5.4 \times \frac{0.19}{0.42} = 2.43 \text{ mmhos/cm}$$

3a. capa

$$Ci_3 = f_2 Cc_2 = (1 - f) Ci_2 = 0.5 \times 5.4 = (1-0.5) 0.8 = 3.1 \text{ mmhos/cm}$$

$$A = 3.1 (87 - 87 + 87 \times 0.5) = 134.85$$

$$B = \frac{87 \times 0.5}{110} = 0.39$$

$$Z_1 = 110 \times 17.45 = 1919.5 \text{ CE mm.}$$

$$AZ = \frac{134.85 - 0.39 \times 1919.5}{1 + 0.5 \times 0.39} = -513.6 \text{ CE mm}$$

$$Z_2 = 1919.3 - 513.6 = 1491.4 \text{ CEmm}$$

$$C_{cc \text{ final}} = \frac{1406.99}{115} = 12.78 \text{ mmhos/cm}$$

$$C_{e \text{ final}} = 12.78 \times \frac{0.55}{0.64} = 10998 \text{ mmhos/cm}$$

Resumen:

Capa	1a.	2a.	3a.
CE <sub>e</sub> (Mayo/0)	2	8	15
CE <sub>e</sub> (Oct/0)	0.88	2.43	10.98

Lavados en la primera temporada de riego (Nov/0 - Abril/1)

Como no se cultiva nada en esta época se aplicarán lavados con el suelo desnudo. Sabiendo que en esas condiciones  $E/P = 240 - 105 = 135 \text{ mm.}$

Suponemos que los 135 mm evotranspirados se reparten homogéneamente entre las tres capas del suelo. Por tanto, antes de cada lavado, el contenido de agua aplicada será :  $H_c - 135/3$

Capa	1a	2a	3a
humedad antes de			
cada lavado	11	-7	65

La época de riego es de 180 días, por tanto, el número de lavados es:

$$\frac{180}{60} = 3 \text{ lavados}$$

1a. Capa: Datos comunes a todos los lavados:

$$I = 288 \text{ mm; esta capa retiene } 200 (0.28 - 0.11) = 34 \text{ mm}$$

$$R = 288 - 34 = 254 \text{ mm}$$

$$Hc = 56 \text{ mm}$$

$$Ci = 1.9 \text{ mmhos/cm}$$

$$f = 0.5$$

$$A = Ci (I - R + R f) = 1.9 (288 - 254 + 254 \times 0.5) = 305.9$$

$$B = \frac{254 \times 0.5}{56} = 2.27$$

$$AZ = \frac{A - B Z}{1 + 0.5 B} =$$

Aplicando sucesivamente esta fórmula, teniendo en cuenta que al empezar la época de riego  $Z = 89.52$  CEmm, valor antes calculado, se construye el siguiente cuadro:

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Lavado	Z antes	AZ	Z después	$C_{cc}$	$CE_e$	Gr
1	89.52	48.1	137.6	2.46	1.35	2.18
2	137.6	-3.2	134.5	2.4	1.32	2.15
3	134.5	0.27	134.77	2.4	1.32	2.15

2a. Capa Datos comunes a todos los lavados.

$$I = 254 \text{ mm; esta capa retiene } 200 (0.19 - (-0.7)) = 52$$

$$R = 254 - 52 = 202 \text{ mm}$$

$$H_c = 38 \text{ mm}$$

$$f = 0.5$$

$C_i = C_r$  de la 1a capa. Esta valor varía para cada riego.

$$A = C_i (254 - 202 + 202 \times 0.5) = 153 C_i$$

$$B = \frac{202 \times 0.5}{38} = 2.66$$

$$AZ = \frac{153C_i - 2.66 Z}{1 + 0.5 \times 2.66} =$$

El valor inicial de Z es 206.18 CEmm

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Lavado	Z Antes	$C_i$	AZ	Z Después	$G_{cc}$	CEe	$C_r$	
1	206.18	2.18	-92.2	113.95	2.99	1.34	2.44	
2	113.95	2.15	11.1	125.05	3.3	1.5	2.6	
3	125.05	2.15	-1.6	123.45	3.25	1.46	2.57	

3a. Capa Datos comunes a todos los lavados.

$I = 202 \text{ mm}$ ; esta capapa retiene 200 (0.66 - 0.87)

$$R = 202 \text{ mm}$$

$$H_c = 110 \text{ mm}$$

$$f = 0.5$$

$C_i = C_r$  de la 2a capa

$$A = C_i (202 - 202 + 202 \times 0.5) = 101 C_i$$

$$B = \frac{202 \times 0.5}{110} = 0.91$$

$$AZ = \frac{101 C_i - 0.91 \times Z}{1 + 0.5 \times 0.91} =$$

El valor inicial de Z es 1405.89 CEmm

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1405.89	2.44	-709.91	695.97	6.32	5.43	4.16
2	695.97	2.6	-254.79	441.18	4.01	5.45	3.11
3	441.18	2.57	-97.53	343.65	3.12	2.7	2.63

## Resumen

Capa	1a	2a	3a
$CE_e$ (Nov/0)	0.88	2.43	10.98
$CE_e$ (Abr/0)	1.32	1.46	2.7

Como muestra el cuadro anterior, después de un año el suelo esta recuperado.

Veamos ahora como serían los lavados de mantenimiento. El valor anual de R se calcula según:

$$R = \frac{(e - P) C_i}{f (C_{cc} - C_i)}$$

Donde:

$$e = 180 \text{ días} \times 4 \text{ mm/día} = 720 \text{ mm}$$

$$P = 312 \text{ mm}$$

$$C_i = 1.9 \text{ mmhos/cm}$$

$$f \text{ (se adopta el caso más desfavorable)} = 0.5$$

$$C_{cc} = CE_e \times \frac{E}{C_c}$$

$$CE_e = 3 \text{ mmhos/cm (salinidad a que se pretende equilibrar el suelo)}$$

El caso más defavorable es el de la 2a capa.

$$C_{cc} = 3 \times \frac{0.42}{0.19} = 6.63 \text{ mmhos/cm}$$

$$R = \frac{(720 - 312) 1.9}{0.5 (6.63 - 1.9)} = 328 \text{ mm}$$

$$I = E - P + R = 408 + 328 = 736 \text{ mm}$$

$$\frac{R}{I} = \frac{328}{736} = 0.44$$

$$I = 736$$

Por tanto, estos lavados de mantenimiento, el agua de lavado  $R$  debe ser el 44 por ciento del agua para riego  $I$ .

El período entre riegos será de 60 días. En ellos:

$$E = 4 \times 60 = 240 \text{ mm y } P = 105 \text{ mm } E = 135 \text{ mm}$$

El agua útil expresada en mm vale:

Capa	1a	2a	3a	total
A.u. (mm)	50	32	100	182

Por tanto en el momento del riego el agua útil habrá descendido:

$$182 - 135 = 47 \text{ mm}$$

Es decir, se aplicará un riego cuando el agua útil represente el  $47 \times \frac{100}{182} = 26$  por ciento del agua útil máximo.

En cada riego:

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.44 I$$

$$I = E + R; 0.56 I = 135; I = 241 \text{ mm}$$

$$R = 241 - 135 = 106 \text{ mm}$$

El número de riegos por temporada será:

$$\frac{180}{60} = 3$$

## P o z o 2

	1a	2a	3a
(1) Capa			
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) $E$	0.54	0.54	0.59
(4) C.c.	0.43	0.50	0.44
(5) P.m.	0.03	0.03	0.03
(6) A.u. (%)	0.40	0.47	0.41
(7) A.u. (mm)	80	94	82
(8) Hc (mm)	86	100	88
(9) $CE_e$ (mmhos/cm)	2.5	4	10
(10) $CE_{cc}$ "	3.14	4.32	13.4
(11) f	0.5	0.5	0.5

La 1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (mayo/0)	2.5	4	10
CEe (Oct/0)	1.5	2.9	6.5

La temporada de riego (Nov. año 0 - Abril año 1)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Nov/0)	1.5	2.9	6.5
CEe (Abril/1)	1.56	1.77	1.44

Lavados de mantenimiento:

En cada riego:

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.64 I$$

$$I = E + R; 0.36 I = 135 \text{ mm}; I = 375 \text{ mm}$$

$$R = 375 - 135 = 240 \text{ mm}$$

Período entre riegos = 60 días, por tanto:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada.}$$

## P o z o 3

	1a	2a	3a
(1) Capa			
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) $\epsilon$	0.5	0.5	0.53
(4) C.c.	0.33	0.35	0.45
(5) P.m.	0.02	0.02	0.05
(6) A.u. ( $\%$ )	0.31	0.33	0.40
(7) A.u. (mm)	62	66	80
(8) Hc (mm)	66	70	90
(9) CEe (mmhos/cm)	3.5	15	15
(10) CE <sub>cc</sub> "	5.25	21.45	17.7
(11) f	0.5	0.6	0.5

## 1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

## Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Mayo/0)	3.5	15	15
CEe (Oct/0)	1.7	7.42	11.5

## 1a temporada de riego (Nov. año 0 - Abril año 1)

## Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Oct/0)	1.7	7.42	11.5
CEe (Abril/1)	1.48	1.63	1.9

## Lavados de mantenimiento:

En cada riego: 35% del A.u. máximo.

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.59 I$$

$$I = E + R; -0.41 I = 135 \text{ mm}; I = 329 \text{ mm}$$

$$R = 329 - 135 = 194 \text{ mm}$$

El espacio entre riegos será de 60 días, por tanto:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada.}$$

## P o z o 5

(1) Capa	1a	2a	3a
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) E	0.51	0.53	0.59
(4) C.c.	0.38	0.5	0.45
(5) P.m.	0.03	0.03	0.03
(6) A.u. (%)	0.35	0.47	0.42
(7) A.u. (mm)	70	94	84
(8) Hc (mm)	76	100	90
(9) CEe (mmhos/cm)	15	15	15
(10) CE <sub>cc</sub> "	20.13	15.9	19.6
(11) f	0.5	0.5	0.5

## 1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

## Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Mayo/0)	15	15	15
CEe (Oct/0)	8.3	11.5	11.7

## 1a temporada de riego (Nov. año 0 - Abril año 1)

## Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Oct/0)	8.3	11.5	11.7
CEe (Abril/1)	1.5	1.94	1.58

## Lavados de mantenimiento:

En cada riego: 45.5% del A.u, máximo.

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.64 I$$

$$I = E + R; -0.36 I = 135 \text{ mm}; I = 375 \text{ mm}$$

$$R = I - E = 375 - 135 = 240 \text{ mm}$$

Período entre riegos es de 60 días, por tanto:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada.}$$

## P o z o 6

(1) Capa	1a	2a	3a
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) $\epsilon$	0.57	0.55	0.6
(4) C.c.	0.49	0.39	0.43
(5) P.m.	0.02	0.02	0.02
(6) A.u. (%)	0.47	0.37	0.41
(7) A.u. (mm)	94	74	82
(8) Hc (mm)	98	78	86
(9) CE <sub>e</sub> (mmhos/cm)	1.35	10	15
(10) CE <sub>cc</sub> "	1.57	14.1	20.9
(11) f	0.5	0.5	0.5

1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CE <sub>e</sub> (Mayo/0)	1.35	10	15
CE <sub>e</sub> (Oct/0)	0.86	5.7	10.15

1a temporada de riego (Nov. año 0 - Abril año 1)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CE <sub>e</sub> (Oct/0)	0.86	5.7	10.15
CE <sub>e</sub> (Abril/1)	1.6	1.46	1.44

Lavados de mantenimiento:

En cada riego; 46% del A.u. máximo.

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.62 I$$

$$I = E + R; 0.38 I = 135 \text{ mm}; I = 355 \text{ mm}$$

$$R = 355 - 135 = 220 \text{ mm}$$

El espacio entre riegos será de 60 días, por tanto:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada}$$

## P o z o 7

(1) Capa	1a	2a	3a
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) E	0.48	0.51	0.52
(4) C.c.	0.55	0.25	0.38
(5) P.m.	0.03	0.02	0.02
(6) A.u. (%)	0.52	0.23	0.36
(7) A.u. (mm)	104	46	74
(8) Hc (mm)	110	50	76
(9) CEe (mmhos/cm)	7	15	15
(10) CE <sub>cc</sub> "	6.11	30.6	20.5
(11) f	0.3	0.5	0.5

1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Mayo/0)	7	15	15
CEe (Oct/0)	1.61	6.03	10.4

1a temporada de riego (Nov. año 0 - Abril año 1)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Oct/0)	1.61	6.03	10.4
CEe (Abril/1)	2.14	1.21	1.75

Lavados de mantenimiento:

en cada riego: 40% del A.u. máximo.

$$E = 135 \text{ mm}$$

$$R = 0.63 I$$

$$I = E + R; 0.37 I = 135; I = 365 \text{ mm}$$

$$R = 365 - 135 = 230 \text{ mm}$$

El número de riegos por temporada será de:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada.}$$

## P o z o 8

	1a	2a	3a
(1) Capa			
(2) Profundidad	0 - 20	20 - 40	40 - 60
(3) E	0.58	0.57	0.53
(4) C.c.	0.43	0.53	0.24
(5) P.m.	0.03	0.02	0.01
(6) A.u. (%)	0.40	0.51	0.23
(7) A.u. (mm)	80	102	46
(8) Hc (mm)	86	106	48
(9) CEe (mmhos/cm)	10	15	15
(10) CE <sub>cc</sub> "	13.5	16.13	33.12
(11) f	0.5	0.5	0.6

1a temporada sin riego (Mayo año 0 - Octubre año 0)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Mayo/0)	10	15	15
CEe (Oct/0)	5.9	11.16	6.85

1a temporada de riego (Octubre año 0 - abril año1)

Resumen:

Capa	1a	2a	3a
CEe (Oct/0)	5.9	11.16	6.85
CEe (Abril/1)	1.45	1.43	0.98

Lavados de mantenimiento:

En cada riego: 41% del A. u. máximo.

$$E = 135 \text{ mm}$$

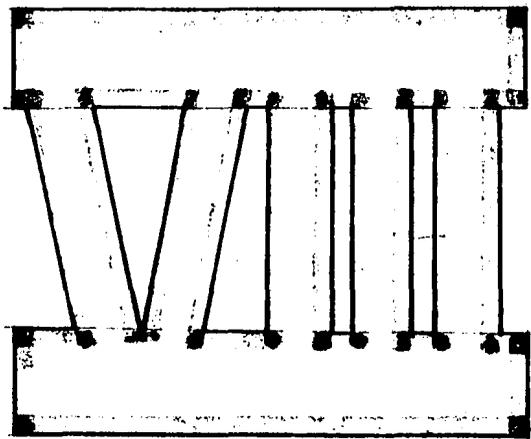
$$R = 0.44 I$$

$$I = E + R; 0.56 I = 135 \text{ mm}; I = 241 \text{ mm}$$

$$R = 241 - 135 = 106 \text{ mm}$$

El espacio entre riegos será de 60 días, por tanto:

$$180/60 = 3 \text{ riegos por temporada.}$$



D I S C U S S I O N

## V I I D I S C U S I O N

Una vez analizados los suelos y basados en la determinación de los tipos de suelos, por medio del cuadro 18 obtenemos la siguiente información:

La mayor parte del terreno se encuentra libre de problemas de salinidad, abarcando el 53% (151 Has) del área total estudiada y el restante 47% (133 Has) presenta problemas de salinidad y salino sodicidad, como se aprecia en el plano 3 y a continuación describimos:

- a) Por una parte, el problema de salinidad se presenta en un 20% (57 Has) del terreno ejidal.
- b) A su vez, tenemos que el área salino-sódica abarca el restante 27% (76 Has) del ejido.

Ya conociendo los tipos de problemas (salinidad y salino sodicidad) y la magnitud con que se presentan, nos dedicamos a detallar o formular el programa de rehabilitación y sus posibilidades de ser implementado, encontrándonos con que el problema de salinidad no rebasa los 20 mmhos/cm, lo que permite una más fácil recuperación mediante los lavados, mismos que recomendamos hacerlos aprovechando el agua de lluvia y principalmente por riegos provocados, como se detalla en el capítulo anterior.

Por su parte, el problema de salino sodicidad se presenta como el más difícil de resolver, puesto que para la zona en estudio

se requieren las aplicaciones de mejorador (yeso, en este caso) en las dosis calculadas en el cuadro 19, aumentando los costos y haciendo necesaria una operación más específica.

En el momento de aplicar el mejorador, se debe tener mucho cuidado, puesto que es el punto más importante de la corrección, para que pueda vencerse la baja permeabilidad característica de estos suelos y llegar a los estratos dañados.

En cuanto a la aplicación, puede extenderse directamente sobre el terreno o aplicarse junto con el agua de riego. En el primer caso se distribuye a voleo y después se incorpora al suelo con discos o arado.

Para dichos suelos salino sódicos, en el caso específico del área estudiada recomendamos una aplicación mecánica del mejorador, ya que la aplicación con el agua de riego es más complicada y se carece de equipo especializado y su adquisición no es aconsejable considerando que podemos aprovechar que la incorporación se haga junto con la preparación del terreno.

Para incorporar el mejorador, se consideran principalmente las profundidades mayores (30 - 60 cm), pues son las que presentan más elevadas concentraciones o niveles de Na, por lo que en estas ocasiones, el yeso se añade en dos partes, una antes de pasar los discos y otra después, con lo que se distribuye más homogéneamente entre la superficie y la capa arable del suelo.

Para su aplicación con el agua de riego existen dispositivos especiales. Un método simple y práctico consiste en abrir un saco de yeso y colocar la parte abierta en una cisterna, preferentemente en un punto donde el agua tenga una cierta turbulencia.

A continuación de la aplicación del yeso es conveniente lavar el suelo, para que el mejorador se distribuya mejor a profundidad.

Desde el punto de vista de la eficiencia en la sustitución del sodio intercambiable, es ventajoso lavar casi todas las sales solubles antes de aplicar los mejoradores químicos; como consecuencia de los lavados, una mayor porción del calcio que se agrega con el mejorador es adsorbido por el complejo de cambio. Sin embargo, el lavado excesivo de las sales disueltas puede provocar la dispersión de las arcillas, haciendo al suelo menos permeable. Por tal motivo, los lavados previos no deben realizarse en suelos poco permeables.

En general, podemos decir que la recuperación de estos suelos es viable, puesto que no se requieren grandes cantidades de mejorador y como muestra el cuadro 20, recomendamos hacerlo para varios pozos en igual cantidad, con el fin de facilitar la labor, y las consecuentes disminuciones de tiempo y costos.

En el caso de los suelos salinos, debe preferirse la aplicación del agua por medio de melgas o bolsas limitadas con bordos

a nivel para que cubran con un mismo espesor todo el terreno.

A medida que las aguas van drenando, se van extrayendo las sales, comenzando por las más solubles; en primer lugar se eliminan los cloruros de sodio y magnesio y el sulfato de magnesio, mientras que el sulfato de sodio tarda más en disolverse, sobre todo en aguas frías. El yeso prácticamente no es afectado por los lavados.

En general, la eficiencia de los lavados es mayor cuando se efectúan en la estación cálida, debido a que la solubilidad de las sales aumenta con la temperatura. En el caso del sulfato de sodio, su lavado es muy difícil a temperaturas bajas, porque la sal forma precipitados que no son arrastrados por el agua.

Si no se consigue aplicar la totalidad del agua de lavado en un año, se puede establecer una rotación lavado-cultivo resistente a la sal. Los cultivos más indicados para esta rotación son los pastos o algunos cultivos resistentes a la sal, como el algodón o la remolacha.

La desalinización es un fenómeno progresivo y durante el mismo se puede ir aprovechando agrícolamente la tierra, cultivando cada vez especies menos resistentes. En las primeras fases es muy conveniente cultivar pequeñas superficies de cultivos de distinta tolerancia a la sal, cuyo comportamiento indicará el grado de desalinización conseguida.

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

Una vez que disminuye la salinidad, emergen primeramente las plantas más tolerantes por lo que es conveniente llevar a efecto una clasificación de ellas de acuerdo a los grados de salinidad que resisten y utilizar su germinación y desarrollo para conocer el avance del "lavado o lixiviación" de las sales.

Establecido el cultivo, es importante mantener el suelo con un alto porcentaje de humedad durante su desarrollo, para disminuir los efectos de la presión osmótica. Esta operación es fácil de lograr aumentando un riego más al acostumbrado.

Los lavados ocasionan pérdidas de nutrientes, que deben compensarse mediante fertilizaciones adecuadas. El elemento más expuesto a estas pérdidas es el nitrógeno.

En el caso de los suelos normales, deberán tratarse con sumo cuidado para evitar que se salinicen o de lo contrario el problema se extenderá. Esto se logra mediante una metodología de prevención.

Debe tenerse en cuenta que los análisis deben repetirse con frecuencia para poder ir determinando el grado de avance de

la recuperación y poder ir aprovechando oportunamente el terreno. Además sirve para ir reestructurando el programa de rehabilitación y lograr un mejor aprovechamiento del recurso suelo.

Por último, no queda más que dejar la decisión final a los ejidatarios quienes son los dueños o mejor dicho, los que tienen la posibilidad de explotar esas tierras y creemos que de hacer lo puede redituárles en grandes alternativas de producción.

Por ello pensamos que lo más adecuado es la organización de los ejidatarios para que se realice el estudio de drenaje o si ya se tiene, ya sea terminado o en realización, aprovecharlo y poner en MARCHA las operaciones que se especifican en ambos trabajos.

Otra alternativa sería la implementación de un sencillo sistema de drenaje superficial, almacenando grandes cantidades de agua sobre la superficie del suelo con el auxilio de bordos o diques, los que permiten que el agua almacenada se infiltre hacia las capas inferiores del terreno, eliminando las sales solubles del suelo de la zona radicular.

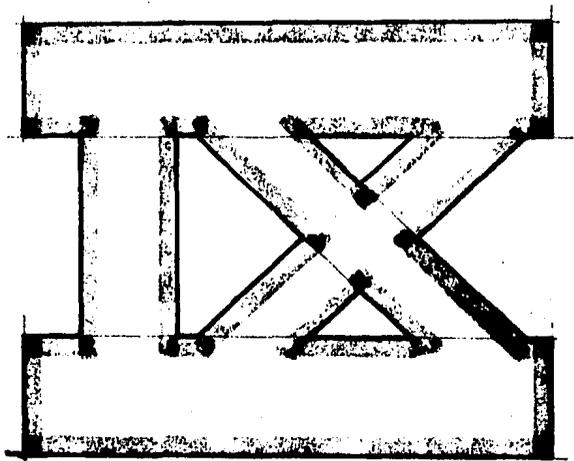
Esta otra opción consideramos sea más viable a corto plazo, puesto que el manto freático se encuentra a grandes profundidades (más de 200 m), además de que es explotado mediante pozos profundos para abastecer de agua a la zona urbana y sabiendo que el suelo cuenta con un buen drenaje interno, es de pensarse que el agua de lavado no ocasione grandes problemas futuros.

De realizarse los trabajos de recuperación indicados, se obtendrían grandes alternativas de producción antes mencionadas, como son:

- a) **Introducción Paulatina al Cultivo:** Conforme se vaya avanzando y adentrándose en el programa de recuperación los terrenos irán dando oportunidad de ser aprovechados agrícolamente, primero incorporando cultivos tolerantes y después más variados.
- b) **Aumento de los Rendimientos:** Una vez que se establezcan cultivos, que serán tolerantes en primer lugar, al ir avanzando en la rehabilitación les permitirá aumentar sus rendimientos, ya que mejorarán las condiciones estructurales y de fertilidad, permitiendo a las plantas mejor soporte y nutrición.
- c) **Diversificación de Cultivos:** Conforme los niveles de salinidad vayan decreciendo, el agricultor tendrá la opción de ir introduciendo cultivos que sean más redituables o rentables con lo que podrá suplir sus acostumbrados maíz y alfalfa en caso de desearlo.
- d) **Introducción a la Producción de Tierras Laborables:** Al implementar las mejoras recomendadas, se estarán rescatando prácticamente la mitad de las tierras del Ejido, mismas que podrán explotarse agrícolamente. Lo que en primer lugar incrementará y posteriormente

mejorará la producción de la zona.

- e) Incremento para el Productor: Al obtener un aumento y mejor terreno cultivable, los ejidatarios irán aumentando el rendimiento y la superficie cultivable, lo que repercute en mayores ganancias para los productores al incrementar la producción.



C O N C L U S I O N E S

## IX. C O N C L U S I O N E S

- 1a. Después de los análisis del suelo, nos encontramos con que el área de estudio (Ejido de "Santiago Atocan"), presenta problemas de salinidad y salino-sodicidad no muy graves; estando la mayor parte del Ejido en buenas condiciones siendo un 53% (151 Has) del total y por ello, se puede explotar agrícolamente sin riesgos.
- 2a. El problema de salinidad abarca un 20% (57 Has) del área del Ejido, sin llegar a niveles críticos, puesto que permite la implantación de cultivos tolerantes (Alfalfa, - p. e.), pues no rebasa los 20 mmhos/cm.
- 3a. Por otra parte, el área salino-sódica ocupa el 27% - (76 Has) del total, siendo la más problemática para su recuperación.
- 4a. La recuperación del suelo es recomendable en ambos casos, puesto que no ha llegado a niveles críticos, permitiendo una pronta rehabilitación.
- 5a. Es recomendable la rehabilitación de toda la zona afectada con el fin de aumentar no sólo el área de explotación agrícola, sino también el rendimiento y por tanto la producción.

- 6a. Durante el proceso de recuperación, se puede esperar producción en caso de desear explotación del terreno, pues to que se pueden implantar cultivos tolerantes a la salini dad y/o sodicidad.
- 7a. La zona afectada, ya sea salina ó salino-sódica, puede explotarse también en un futuro próximo sin riesgos, debido a que se cuenta con riego; permitiendo la recuperación de los suelos con problemas de salinidad. Además del riego se recomienda tratar de rehabilitar la parte dañada con sodio, mediante la aplicación de mejoradores.

En este caso se dispuso hacer la rehabilitación con yeso, por ser el más económico y de mayor adaptabilidad para cualquier tipo de suelo, quedando al criterio del eji-datario el empleo de otro producto, para lo cual tendrá unicamente que calcular la dosis necesaria, como se hizo con el yeso, sólo cambiando los valores por los del producto de seado.

- 8a. El método empleado para regar este Ejido es por grave-dad, ya sea en surcos o melgas; haciendo inoperante incor-porar el equipo necesario para la aplicación delmejorador con el agua de riego. Por esto, la aplicación mecánica del mismo es la más recomendable.
- 9a. Para resolver el problema de sales, recomendamos la - aplicación de las láminas de riego como se indicó (Caps.

VII y VIII), aunque se pueden aplicar en las dosis que cada quién lo desee para su parcela, sólo que el período de recuperación se verá modificado.

10a. La calidad del agua de riego, es de alto peligro de salinidad (con 1900 micromhos/cm), no recomendable para suelos con problemas de drenaje. En cuanto al contenido de sodio, es bajo (RAS = 8), es decir, puede usarse con poca probabilidad de alcanzar niveles de sodio intercambiable. Deberá comprobarse que se cuenta con un drenaje adecuado para la eliminación del agua en esta zona, de lo contrario no se recomienda hacer ningún intento por lavar las sales. Queda por tanto este tema abierto para la realización de otro trabajo de tesis y/o investigación que permita implementar la mejora.

11a. Deberá planearse un programa de prevención de la salinidad con el objeto, de evitar que el problema afecte a la zona que no presenta problemas y en un futuro para evitar la resalinización de la zona por rehabilitar (implementación de lavados de recuperación). Este es otro tema que puede realizarse a la par del presente proyecto de rehabilitación.

12a. El manejo de los suelos con problemas de sales es especial, de ninguna manera ha de tratarse como uno normal, si se quiere mejorar tanto el suelo como los rendimientos en la producción; por tanto, deberán considerarse los siguientes puntos:

1. Es recomendable seguir la metodología expuesta con el fin de obtener los mejores resultados posibles.
  2. Debe tenerse en cuenta que los análisis deberán repetirse con frecuencia, para poder ir determinando el grado de avance en la recuperación y poder ir aprovechando oportunamente el terreno.
- 13a. En general, consideramos bastante factible llevar a cabo el programa de rehabilitación propuesto, puesto que se cuenta con agua, principal elemento para realizarla, existiendo sólo el inconveniente de definir un sistema de drenaje y las aplicaciones de mejorador, que elevarán los costos, pero no de manera considerable.

## G L O S A R I O   D E   T E R M I N O S

- A.u.      Agua útil del suelo. Su valor máximo es igual a la capacidad de campo (C.c.) menos el punto de marchitez (P.m).
- C.        Concentración salina de una solución.
- C.C.      Capacidad de Campo.
- C<sub>cc</sub>      Concentración salina de la solución del suavelo a capacidad de campo.
- CE        Conductividad Eléctrica a 25°C (mmhos/cm).
- C<sub>e</sub>        Concentración salina del extracto de saturación del suelo.
- CE<sub>cc</sub>     Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo a capacidad del campo.
- CE<sub>e</sub>      Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo.
- CE<sub>i</sub>      Conductividad eléctrica del agua de riego.
- C<sub>i</sub>        Concentración salina del agua de riego.
- GICT     Capacidad de intercambio catiónico del suelo, se mide en meq por 100 grms. de suelo.
- C<sub>r</sub>        Concentración salina del agua de lavado al abandonar la zona radicular.

Da	Densidad aparente, $\text{g}/\text{cm}^3$ .
$D_r$	Densidad real, $\text{g}/\text{cm}^3$ .
E	Evapotranspiración.
ETP	Evapotranspiración potencial.
f	Eficiencia de lavado.
Hd	Volumen de agua retenido a capacidad de campo.
I	Volumen efectivo del agua de riego, es decir, el agua aplicada en riego menos las pérdidas superficiales.
meq	Miliequivalentes de una sustancia (elemento, ión, sal); es el peso en g. de esa sustancia que se combina o reemplaza a 1 mg de hidrógeno. Es igual a la milésima parte del peso atómico o molecular del ión dividido por su valencia.
Meq/l	Número de miliequivalentes de una sustancia disueltos en 1 litro de solución.
mmhos/cm	Unidad de medida de la conductividad eléctrica.
PP	Precipitación.
Pe	Peso equivalente, o simplemente equivalente de una sustancia (elemento, ión, sal); es el peso en gramos de la sustancia que se combina o reemplaza a 1 g de hidrógeno. Es igual al peso atómico o molecular del ión dividido por su valencia.
P.m.	Punto de marchitez.
PSI	Porcentaje de sodio intercambiable.
$P^H$	Cologaritmo decimal de la concentración de iones de $\text{H}^+$ de una solución. Es una medida de la acidez de una solución.

- R Necesidades de lavado: fracción del agua de riego que se-infiltra a mayor profundidad que la zona reticular.
- Ras Relación de adsorción del sodio.
- Rak Relación de adsorción de potasio
- ε Porosidad total de un suelo.

## B I B L I O G R A F I A

1. Aceves Navarro, Everardo. 1979. El Ensalitramiento de Los Suelos Bajo Riego. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
2. Chapman D., H, Parker F. P. Métodos de Análisis para Suelos Plantas y Aguas. Ed. Trillas. México, 1981.
3. De la Peña, Ildefonso. 1979. Salinidad de los Suelos Agrícolas. Origen, Clasificación, Prevención y Rehabilitación. SARH. México.
4. Gaucher, G. 1981 El Suelo y sus Características Agronómicas. Ediciones Omega, Barcelona, España.
5. Jackson, M. L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Ed. Omega, Barcelona, España.
6. Llerena, Félix A. 1977. Definición Optimo Económica del Tamaño de Muestra e Intensidad de Lavado Para la Recuperación de Suelos con Problemas de Sales. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
7. Millar, C. E. Turk, L. M. Foth, H. D. 1980. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. C.E.C.S.A. México.
8. Palacios Velez, Oscar. 1971. Apuntes sobre Algunos Problemas de Drenaje y Ensalitramiento de Terrenos Agrícolas. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

9. Palmer, Robert G. 1980. Introducción a la Ciencia del Suelo. Ed. Herrero Hnos. México.
10. Pizarro, Fernando. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Editora Agrícola Española, S.A. Madrid.
11. SARH. 1982. Diagnóstico y Planeación de Desarrollo Integral del Distrito Agropecuario y Forestal de Temporal No. II, Zumpango, México.
12. Tamhane, R. A. 1978. Suelos su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales. Ed. Diana, México.
13. Thorne, D.W. 1963. Técnica de Riego, Fertilidad y Explotación de Suelos. Ed. Omega, Barcelona, España.
14. Russell, E. W. 1970. Las Condiciones del Suelo y el Desarrollo de las Plantas, Ed. Omega. España.
15. USDA. 1980. Manual de Agricultura No. 60. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. E.U.A.
16. Valenzuela, Ruiz T. 1972. Salinidad de los Suelos, su Origen, Clasificación y Trascendencia, Prevención y Rehabilitación. SARH. México.