

24.38



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
"CUAUTITLAN"

USO DE MEJORADORES EN LA
RECUPERACION DE SUELOS SALINOS
Y SODICOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA AGRICOLA
P R E S E N T A :
MARICELA MOCTEZUMA HERNANDEZ

Director de Tesis: M.C. Laura Bertha Reyes Sánchez



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Indice de cuadros, planos y figuras.....	i
I Introducción.....	1
II Objetivos.....	5
III Origen y naturaleza de los suelos salinos y sódicos.....	6
3.1 Fuentes de sales solubles.....	6
3.2 Salinización de los suelos.....	16
3.3 Acumulación de sodio intercambiable en los suelos.....	21
3.4 Características de los suelos salinos y sódicos.....	24
3.5 Efecto de la salinidad sobre las plantas.....	32
3.6 Areas afectadas en la República Mexicana.....	39
IV Métodos de recuperación de los suelos salinos y sódicos.....	46
4.1 Clasificación.....	46
4.2 Descripción.....	47
4.2.1 Método Hidrotécnico (lavados).....	47
4.2.2 Métodos Físicos.....	58
4.2.3 Método Biológico.....	59
4.2.4 Técnicas de Riego.....	61
V Método Químico (Uso de Mejoradores).....	62
5.1 Clasificación.....	64
5.2 Acción de los mejoradores.....	65
5.3 Criterios de elección.....	76
5.4 Eficiencia.....	93
VI Metodología para la recuperación.....	119
VII Prevención del ensalitramiento y/o sodicidad de los suelos.....	124
VIII Discusión y conclusiones.....	131
IX Resumen.....	139
X Bibliografía.....	146

INDICE DE CUADROS, PLANOS Y FIGURAS

CUADRO

1	Composición química de la Corteza Terrestre.....	7
2	Coefficiente de energía, radio iónico y secuencia de extracción de algunos iones.....	13
3	Categorías de migración y movilidad de los elementos liberados de los minerales de la Corteza Terrestre.....	14
4	Valores de la CE del extracto saturado del suelo en relación a sus efectos sobre los cultivos.....	25
5	Clasificación de los suelos por su PSI.....	27
6	Tolerancia a la salinidad de algunos cultivos.....	33
7	Disminución en la producción de varios cultivos según los niveles de salinidad del suelo.....	35
8	Cultivos afectados por iones específicos.....	37
9	Métodos de recuperación de suelos salinos y sódicos.....	46
10	Clasificación del agua de riego de acuerdo a su CE (mmhos/cm).....	49
11	Clasificación del agua de riego según su (RAS).....	51
12	Límites del contenido de boro del agua de riego en relación con los cultivos.....	52
13	Clasificación del agua de riego (U.S.A. SALINITY LABORATORY).....	54
14	Eficiencia de lavado.....	56
15	Efecto de la saturación con sodio y calcio sobre las propiedades físicas de la fracción coloidal del suelo....	63
16	Clasificación de mejoradores para suelos sódicos.....	64
17	Cantidades de CaCO ₃ solubilizado a diferentes valores de pH.....	73
18	Mejoradores más convenientes para cada tipo de suelo....	77
19	Cantidad de mejorador requerido para suministrar una tonelada de calcio soluble o de azufre.....	79
20	Cantidades de mejoradores requeridas por Ha/30 cm de profundidad. Para reducir el sodio intercambiable a 10% o menos, en el complejo de intercambio del suelo....	86
21	Valores del coeficiente L.....	88
22	Equivalencia de otros mejoradores con el yeso.....	91

CUADRO

23	Efecto de la aplicación de H_2SO_4 al suelo sobre el contenido promedio por estrato de P, Fe, Cu, Zn y Mn solubles (ppm).....	105
24	Efecto de diferentes niveles de H_2SO_4 , HCl y $Al_2(SO_4)_3$ en el rendimiento y composición química de la <u>Daincha</u> (<u>Sesbania aculeata pers</u>).....	106
25	Efectividad de dos tratamientos con mejoradores en la remoción de Na^+ y el mejoramiento de la permeabilidad de un suelo sódico-salino a diferentes profundidades.....	114
26	Eficiencia en el reemplazo del sodio intercambiable....	115
27	Efecto de la aplicación de yeso y/o Daincha (<u>Sesbania aculeata pers</u>) sobre la cosecha de arroz en un suelo sódico.....	116
28	Concentración promedio final de calcio y magnesio solubles, RCS y RMS a la profundidad de 0-20 cm en relación con el factor dosis de azufre.....	118

f

FIGURA

1	Perfiles de las reservas promedio de los carbonatos alcalino-térreos, antes y después de la aplicación de diferentes concentraciones de H_2SO_4 , 1,3,5, y 10 % (p/v).....	99
2	Perfil de sales solubles promedio, después de saturar el suelo con una solución de H_2SO_4 al 5% (p/v).....	100
3	Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 gr. y porcentaje, después de saturar con H_2SO_4 al 1% (p/v).....	102
4	Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 gr. y porcentaje, después de saturar con H_2SO_4 al 3% (p/v).....	103
5	Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 gr. y porcentaje, después de saturar con H_2SO_4 al 5% (p/v).....	104
6	Relación entre niveles de mejoramiento y por ciento de calcio liberado con la aplicación de H_2SO_4 , HCl y $Al_2(SO_4)_3$	108
7	Por ciento de sodio intercambiable en columnas de dos suelos tratados con yeso y H_2SO_4	109

FIGURA

- 8 Calcio intercambiable en el perfil del suelo después de ser incorporados cuatro yesos y sometido a lavado con agua destilada.....111
- 9 Sodio intercambiable en el perfil del suelo después de ser incorporados cuatro yesos y sometido a lavado con agua destilada.....112

£

PLANO

- 1 Ubicación en el mapa de la República Mexicana, de las zonas afectadas por salinidad y/o sodicidad.....40

I INTRODUCCION

Los suelos salinos se definen como aquellos que contienen sales solubles (Sulfato de Magnesio, Sulfato de Sodio, Cloruro de Sodio, Carbonato de Sodio y Cloruro de Magnesio), en tal cantidad que abaten su productividad. Los suelos sódicos pueden definirse en términos del efecto del sodio intercambiable en su productividad. El problema más común es el de los suelos que contienen un exceso de sales solubles y de sodio intercambiable, llamándose por ello suelos salinos-sódicos.

La formación y acumulación de sales en los suelos, es el resultado de muchos procesos de intemperismo que tienen lugar en la capa superior de la corteza terrestre, así como de factores de relieve, drenaje, clima, composición genética de los suelos y la biología de cada región. Sin olvidar los factores producidos por el hombre debido a fallas cometidas en su tarea de producir.

La fuente inmediata de las sales que se acumulan en los suelos, son los minerales primarios que existen en la corteza terrestre y los cuales son liberados por medio del intemperismo físico y químico de la corteza. Posteriormente estas sales son transportadas y se acumulan en otras regiones contribuyendo así a incrementar los problemas asociados con la salinidad y sodicidad de los suelos.

Las condiciones climáticas participan en la formación de suelos con problemas de acumulación de sales, sobretodo en aquellas regiones que poseen clima seco y altas temperaturas. Como consecuencia de lo anterior, resulta que la evaporación del agua de la superficie del suelo es mayor que la precipitación durante todo el año o durante algunas estaciones. Por esto en las zonas áridas y semiáridas se encuentran una gran cantidad de suelos salinos y/o sódicos. Aunque también pueden

encontrarse en regiones húmedas (tropical y subtropical), principalmente en áreas cercanas a las costas, lagos de agua salada, ríos y arroyos.

La orografía de la región también contribuye, ya que en grandes depresiones, con drenaje restringido y rodeadas por cadenas montañosas, escurre el agua llevando sales disueltas que son depositadas en las partes más bajas donde se acumulan.

La cantidad y calidad de las sales iniciales presentes en el suelo es función de las propiedades genéticas de los suelos de cada región.

Debido a todos estos factores muchas tierras que hace algún tiempo se dedicaban con éxito a la agricultura, hoy presentan problemas de ensalitramiento. Esto se torna más grave si se considera que la mayoría de estos terrenos se encuentran en áreas agrícolas con disponibilidad de riego, factor de importancia para la obtención de altos rendimientos.

Se estima que hay 300 millones de hectáreas ensalitradas en el mundo y éstas ocupan alrededor del 39% de la superficie de zonas áridas y semiáridas del planeta.

En nuestro país se cultivan cerca de 23 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente una cuarta parte posee riego y casi la mitad de la producción nacional se obtiene de aquí, por ello debe considerarse su importancia y proporcionarles un adecuado manejo. De estos 23 millones de hectáreas 4'300,000 hectáreas aproximadamente tienen problemas de ensalitramiento y/o sodicidad. La mayoría de estas hectáreas afectadas se ubican en las zonas áridas y semiáridas del país, las cuales ocupan un 75% del territorio nacional; y son las zonas donde se ubican la mayoría de los distritos de riego. El resto se encuentra a lo largo de las costas, otras zonas áridas sin riego, o en cuencas cerradas como la Laguna de Mayrán, Lago de Texcoco,

Lago de Chalco, Valles Libres de Puebla, entre otros. El problema varía desde el muy incipiente hasta el grado de abandonar los terrenos por baja rentabilidad.

En general se establece que el desconocimiento de los ciclos de acumulación de las sales, la falta de sistemas eficientes de drenaje y el mal manejo del agua y del suelo; han sido las causas del ensalitramiento de muchas miles de hectáreas.

Actualmente se conocen diversos métodos que se han desarrollado a través del tiempo, para combatir los problemas de salinidad y sodicidad de los suelos. Los cuales se han definido de la forma siguiente:

- Métodos Físicos: los constituyen principalmente el barbecho profundo, adiciones de arena e inversión de la capa arable del perfil.

-Métodos Hidrotécnicos: aplicación de láminas relativamente altas de agua (lavados).

-Métodos Biológicos: aplicación de materiales orgánicos, uso de plantas tolerantes, etc..

-Métodos Químicos: aplicación de correctores químicos.

-Métodos Eléctricos: consiste en la aplicación directa de una corriente eléctrica al suelo. Este método no ha sido probado lo suficiente como para recomendar su uso.

De estos métodos los más utilizados han sido el Método Químico, cuando las sales alcalinas de sodio son las predominantes y el Método Hidrotécnico, cuando hay exceso de sales solubles en la solución del suelo.

El Método Químico se basa en la adición de sustancias y/o compuestos químicos al suelo llamados mejoradores o correctores cuyos fines son proporcionar calcio en forma soluble a los suelos; con objeto de intercambiar el sodio adsorbido en las par -

tículas de la fracción coloidal, por el calcio. Ya que éste im parte al suelo características y propiedades físicas deseables para los cultivos en contraposición con las impartidas por el sodio.

En atención a lo antes señalado y tomando en cuenta que - nuestro país es un país predominantemente agrícola y además -- con un crecimiento demográfico acelerado, la explotación del - campo debe ser a tal grado que: permita cubrir la demanda de - alimentos de la población para el consumo doméstico y abaste - cer de productos para el mercado exterior, hecho que genera in gresos económicos importantes para la economía nacional. El - problema de la salinidad y/o sodicidad es un problema real que ha estado reduciendo la productividad por un lado, y por otro las áreas para cultivar.

Por ello se ha insistido en que deben ser sometidas las - áreas que presentan este problema a un mejoramiento, par incor porarlas a la agricultura en el menor tiempo posible.

Debido a ésto, la finalidad del presente trabajo de tesis se centra en el conocimiento de las causas y efectos de la salinidad y la sodicidad de los suelos, para conocer la mejor -- forma de aliviar el problema. Poniendo especial atención al - uso de los mejoradores. Abordando aspectos como: clasificia -- ción, acción, eficiencia, ventajas, desventajas, por mencionar algunos. Y hacer así más acertado el trabajo de mejoramiento y manejo de los suelos con relación a salinidad y exceso de sodio.

II OBJETIVOS

- 1.- Compilar, sistematizar y analizar la información relacionada con los métodos de rehabilitación de suelos salinos y sódicos, con especial atención al Método Químico que involucra el uso de mejoradores o correctores.
- 2.- Ofrecer una fuente de consulta que reúna las opiniones más destacadas, y los hechos más recientes con relación a salinidad y sodicidad de los suelos.

III ORIGEN Y NATURALEZA DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.

3.1 FUENTES DE SALES SOLUBLES.

Los términos salinidad y sodicidad se utilizan para referirse a los procesos de acumulación en el suelo de sales solubles, sodio intercambiable y otros elementos que al alcanzar ciertas concentraciones afectan el desarrollo de las plantas.

Los elementos principales de los que pueden formarse las sales solubles del suelo, se encuentran en los minerales primarios de la corteza. En especial en la composición química de los primeros 16 Km. de la capa terrestre o litósfera, denominada "Sial" por la predominancia de Si y Al, estos elementos, junto con el O y Fe constituyen el 87% de su volumen total; los sigue en importancia Ca, Mg, Na y K; sólo estos elementos químicos sobrepasan el 1% en proporción y en menor cantidad se encuentra Ti, P, Mn, S, Cl y C. La segunda capa de la corteza terrestre de aproximadamente 48 Km. se caracteriza por la predominancia de Si y Mg por lo que se llama "Sima". (14)

Se estima que 80 elementos químicos forman parte de la totalidad de las rocas madres y que se presentan aproximadamente 2,000 minerales, de los cuales sólo una docena predomina en la superficie de la corteza terrestre. Ver cuadro (1).

La composición mencionada depende en gran parte del tipo de roca y de su origen. Las rocas parentales de donde se originan los suelos se dividen en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas constituyen la mayor parte de la corteza terrestre. Resultan del enfriamiento y solidificación de las masas de lava o magma fundidas. Si el enfriamiento ocurre en forma lenta y se solidifican dentro de la corteza terrestre, se originan rocas llamadas plutónicas o intrusivas. Bajo estas condiciones los cristales de los minerales se forman lentamente, -

Cuadro 1. COMPOSICION QUIMICA DE LA CORTEZA TERRESTRE. (35)

E L E M E N T O	%
Oxígeno	49.13
Silicio	26.00
Aluminio	7.45
Hierro	4.20
Calcio	3.25
Sodio	2.40
Hidrógeno	1.00
Titanio	0.61
Carbono	0.35
Cloro	0.20
Fósforo	0.12
Azuñre	0.10

tienen un grado de cristalización óptimo y una textura gruesa, granular. En el caso de que las rocas se solidifiquen sobre la corteza terrestre, con un enfriamiento rápido, dan lugar a rocas volcánicas extrusivas o efusivas. Ellas presentan una textura fina con cristales aireados dentro de una masa generalmente amorfa.

Las rocas ígneas se pueden clasificar también de acuerdo a su contenido en sílice como rocas ácidas (SiO_2 mayor a 66%), subácidas (SiO_2 entre 66 y 62%), subbásicas (SiO_2 entre 62 y 52%) y básicas (SiO_2 entre 52 y 45%). Algunos ejemplos de rocas ígneas son: Granito, Diorita, Gabro, Basalto, Andesita, -- Riolita.

Las rocas sedimentarias resultan de la erosión y redepositación de productos de meteorización de rocas ígneas o metamórficas o a través de la acumulación de restos biológicos. Cubren cerca de tres cuartas partes de la superficie terrestre, este hecho es de gran importancia para los suelos, debido a -- que los granos derivados de ellas tienen una superficie específica grande, además estas rocas están menos consolidadas que -- las ígneas; por lo que permiten con mayor facilidad la invasión biológica, dando origen a suelos profundos y fértiles.

De las rocas sedimentarias de la corteza terrestre, 80% -- son pizarras, 15% son areniscas y 5% calizas. En general las -- rocas sedimentarias son muy importantes para la formación de -- los suelos; algunas veces el propio suelo se ha considerado como un sedimento. Las rocas sedimentarias pueden liberar por -- efecto de intemperismo de 50 a 200 ppm de sales.

Las rocas metamórficas se han formado a partir de rocas -- ígneas y sedimentarias, al intervenir los factores de desarrollo, que provoca el metamorfismo, como temperatura y presión.

Bajo la influencia de los factores anteriores una roca sedimentaria puede dar origen a una metamórfica, ejemplo:

Caliza + Temperatura y Presión = Mármol (por recristalización de minerales).

Se ha hecho mención de la composición mineralógica de los diferentes tipos de rocas y su clasificación, para poder entender el por qué de la composición química de los suelos y las sales que estos contienen. Enseguida se revisa el estado en -- que se encuentran los elementos que forman las sales, para terminar analizando las fuentes de sales solubles y de esta forma tener una visión general de lo que sucede con el origen de la salinidad.

El estado de los elementos que forman las sales es de dos tipos:

a) Disociados: como iones que pueden ser positivos (cationes) como: Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{++}), Magnesio (Mg^{++}) o iones negativos (aniones) tales como: Cloro (Cl^-), Bicarbonato (HCO_3^-) Carbonato (CO_3^{--}) y Nitrato (NO_3^-).

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_2), Cloruro de Magnesio (MgCl_2). Sulfato de Sodio -- (Na_2SO_4), Sulfato de Magnesio (MgSO_4) y Carbonato de Sodio -- (Na_2CO_3). Estas son las sales que más abundan en los suelos salinos, existen también disueltas en aguas freáticas y lagos salinizados. Todas ellas debido a tener elevada solubilidad en el agua (promedio de 266 g/lit a 20°C).

En caso de existir como iones, se encuentran en tres diferentes disposiciones:

- 1.- Iones Solubles: disueltos en la solución del suelo.
- 2.- Iones Hidratados: se encuentran a presión en las arcillas o materia orgánica muy fina.
- 3.- Iones Intercambiables: retenidos por carga eléctrica en las arcillas o material orgánico.

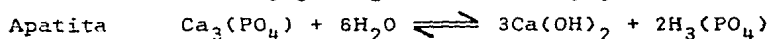
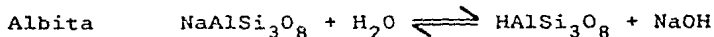
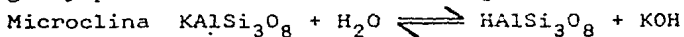
La fuente más importante de dichas sales solubles que se acumulan en el suelo, como se ha señalado, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. En tiempos remotos grandes áreas de la tierra fueron cubiertas por aguas de mar, con el tiempo estas tierras emergieron y las sales en ellas depositadas se han liberado mediante procesos geoquímicos y bioquímicos, dando lugar a nuevas combinaciones que son más fácilmente atacadas por la intemperización química, que comprende procesos como: Hidrólisis, Hidratación, Oxidación, Reducción, Carbonatación y Disolución.

A continuación se ejemplifican los procesos antes señalados.

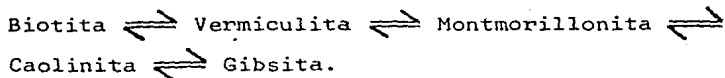
Hidrólisis: reacciones donde interviene el agua, consiste en el intercambio del hidrógeno del agua por un ion positivo del mineral.

Ejemplo:

El Feldespato de potasio (Microclina) reacciona con agua y pierde un K^+ de la forma siguiente:

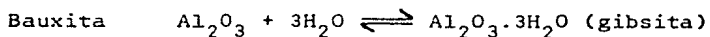
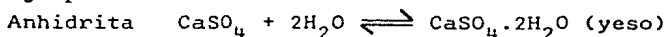


Otro proceso generado por Hidrólisis con pérdida de K es el siguiente:



Hidratación: se presenta cuando hay una unión rígida de moléculas de agua a un mineral o sal llegando en ocasiones a formar parte integral de sus moléculas.

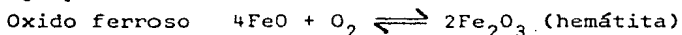
Ejemplos:



Este proceso incrementa la suavidad de los materiales haciéndolos de más fácil descomposición..

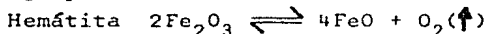
Oxidación: ocurre en minerales que contienen Fe o Mg, -- los cuales son susceptibles de oxidarse. Estas reacciones con tribuyen a la desintegración de los cristales.

Ejemplo:



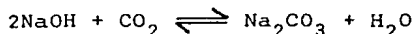
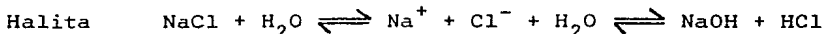
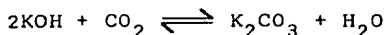
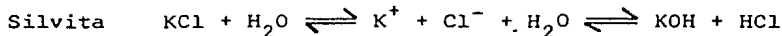
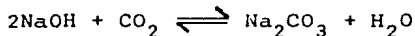
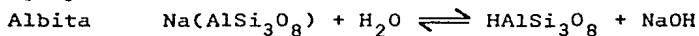
Reducción: es el proceso opuesto a la oxidación y se pre senta cuando hay deficiencias de O_2 en el suelo.

Ejemplo:



Carbonatación y Disolución: la carbonatación consiste en la formación a partir del CO_2 , de H_2CO_3 que al reaccionar con las bases del suelo forman sales. La disolución, por su parte es uno de los procesos del intemperismo químico más importante, desde el punto de vista del ensalitramiento, ya que casi todas las substancias son disueltas por el agua.

Ejemplos:



Los iones que comunmente se solubilizan mediante los pro cesos anteriores son: Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$ y NO_3^- en concentraciones que varían de 50 a 100 ppm.

Así se explica que la acumulación de las sales, que se liberan de los minerales de la corteza terrestre, está determinada por la secuencia de extracción de los iones, su velocidad de migración y la capacidad de algunos de ellos para acumularse. A su vez estas características dependen de los coeficientes de energía, los radios iónicos, la valencia y la estabilidad de la estructura cristalina del compuesto considerado. El cuadro (2) presenta los valores antes mencionados para algunos iones.

La movilidad de las sales aumenta cuando disminuye el -- coeficiente de energía de los iones que las forman, así como cuando disminuye el radio iónico y su valencia. Los procesos de precipitación y acumulación de las sales ocurre en un orden inverso a la movilidad, se precipitan primero las sales formadas por iones con coeficientes de energía altos; quedando en solución los iones con bajo coeficiente de energía como Cl^- , Na^+ y K^+ . (2).

Por ello los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos de iones alcalinos y alcalinotérreos, son las sales que con más facilidad se forman como consecuencia de los procesos de intemperismo de la corteza terrestre. En cambio la precipitación ocurre en orden inverso, por ello el NaCl permanece más tiempo en las soluciones.

Cuadro 2. COEFICIENTE DE ENERGIA, RADIO IONICO Y SECUENCIA DE EXTRACCION DE ALGUNOS IONES. (13)

SECUENCIA DE EXTRACCION	IONES	COEFICIENTE DE ENERGIA	RADIO IONICO, A ^o	VALENCIA
I	Cl ⁻	0.23	1.81	-1
	NO ₃ ⁻	0.18	-	-1
	SO ₄ ⁼	0.66	-	-2
	CO ₃ ⁼	0.78	-	-2
II	Na ⁺	0.45	0.95	+1
	K ⁺	0.36	1.33	+1
	Ca ⁺⁺	1.75	0.99	+2
III	Mg ⁺⁺	2.10	0.65	+2
	SO ₂ ⁼	2.75	-	-2
IV	Fe ⁺⁺⁺	5.15	0.75	+3
	Al ⁺⁺⁺	4.25	0.50	+3

Cuadro 2. COEFICIENTE DE ENERGIA, RADIO IONICO Y SECUENCIA DE EXTRACCION DE ALGUNOS IONES. (13)

SECUENCIA DE EXTRACCION	IONES	COEFICIENTE DE ENERGIA	RADIO IONICO, A°	VALENCIA
I	Cl ⁻	0.23	1.81	-1
	NO ₃ ⁻	0.18	-	-1
	SO ₄ ⁼	0.66	-	-2
	CO ₃ ⁼	0.78	-	-2
	Na ⁺	0.45	0.95	+1
II	K ⁺	0.36	1.33	+1
	Ca ⁺⁺	1.75	0.99	+2
	Mg ⁺⁺	2.10	0.65	+2
III	SO ₂ ⁼	2.75	-	-2
	Fe ⁺⁺⁺	5.15	0.75	+3
IV	Al ⁺⁺⁺	4.25	0.50	+3

Kovda (1960) citado en (35) ha dividido la liberación de los iones de los minerales de la corteza terrestre en categorías de migración de acuerdo a su movilidad durante los procesos de intemperismo y su capacidad para migrar (ver cuadro 3).

Cuadro 3. CATEGORIAS DE MIGRACION Y MOVILIDAD DE LOS ELEMENTOS LIBERADOS DE LOS MINERALES DE LA CORTEZA TERRESTRE. (13)

CATEGORIAS	ELEMENTOS
1 Virtualmente no lavables	Si, del cuarzo
2 Ligeramente lavables.	Fe, Al, Si
3 Lavables	Si, P, Mn
4 Altamente lavables	Ca, Na, K, Mg, Cu, Co, Zn
5 Muy altamente lavables	Cl, Br, I, S, C, B

Del cuadro se concluye que los elementos de la cuarta y quinta categoría de migración son los que constituyen los -- principales compuestos que producen la acumulación de sales -- en las zonas áridas y semiáridas.

Otra fuente de sales solubles son las llamadas Sales Cíclicas, éstas se generan en el océano debido al choque de las olas del mar en las costas; lo que libera cantidades importantes de sales hacia la atmósfera; particularmente durante las tempestades. Estas partículas de sales higroscópicas tienen -- un diámetro que varía de 0.1 a 24 U con un 98% de su masa -- centrada en el rango de 0.1 a 0.8 U. La combinación de su tamaño tan pequeño con la higroscopicidad permite que sean -- transportadas por el viento, conjuntamente con partículas de polvo y cristales de hielo a distancias muy considerables -- como un aerosol estable, que sirve como núcleo de condensación para la formación de gotas de agua de lluvia. Estas --

sales son la fuente principal de Cloruros (Cl^-) y Sulfatos -- ($\text{SO}_4^{=}$). (2)

Son fuentes de sales solubles también los depósitos fosilés, de origen marino que emergieron debido a movimientos tectónicos. Las sales que de aquí se liberan, son arrastradas -- por las aguas superficiales y subterráneas en forma natural o por la actividad del hombre. Tal es el caso de la perforación de pozos en zonas áridas, que proporcionan aguas saladas para usarse en irrigación; y la realimentación de acuíferos salados por mal uso del agua de riego, haciendo que las aguas saladas se eleven y por evaporación se acumulen las sales en la parte superior del suelo.

Las tolvaneras provocadas por el viento en suelos salinos-sódicos (caso típico Ex-lago de Texcoco), pueden ser consideradas fuentes de sales. La actividad de los volcanes pueden liberar cantidades importantes de Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, H_2S (Anhídrido sulfuroso) y B (Boro). Otra fuente de importancia es la actividad biológica, ya que los microorganismos del suelo fijan N_2 (Nitrógeno) y C (Carbón) y pueden sodificar los suelos por reducción de $\text{SO}_4^{=}$ y formación de Na_2CO_3 . Asimismo, muchas plantas halófitas pueden contribuir a la acumulación de sales debido a la absorción de iones por las raíces y su deposición en la superficie del suelo cuando los tejidos de la planta se descomponen. (2)

De esta manera, se liberan y acumulan las sales que han de formar los suelos salinos. El problema se hace presente -- cuando las sales son transportadas y se acumulan en otras regiones incrementando los problemas asociados con la salinidad y sodicidad de los suelos.

3.2 SALINIZACION DE LOS SUELOS

Los suelos salinos se encuentran en zonas de clima árido o semiárido. Lo anterior se debe a las bajas precipitaciones y altas temperaturas, características de estas regiones. Esto provoca elevada evaporación que hace que las sales se concentren en los suelos y en el agua superficial, y como en estas zonas el lavado es de naturaleza local y además el agua es poca, no hay posibilidades de lavar las sales y transportarlas lejos.

En los climas húmedos, las sales solubles presentes en el suelo en gran parte son llevadas a las capas inferiores hacia las corrientes de agua subterránea y finalmente transportadas a los océanos, todo esto debido a la gran cantidad de agua que circula; existen suelos salinos en estos climas, pero debido a otras razones.

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. 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 o corrientes permanentes. El drenado de las aguas con sales, de las tierras arriba de la depresión pueden 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. (4)

El aspecto orográfico también contribuye a la formación de suelos salinos, ya que en grandes depresiones, con drenaje restringido y rodeadas por cadenas montañosas, escurre el agua

llevando consigo sales disueltas que son depositadas en las -- partes más bajas.

Algunos autores como Aceves (2) y Ortega (32), señalan -- que los procesos de formación de suelos pueden agruparse en -- los siguientes ciclos de acumulación de sales.

-Ciclos Continentales.

Están relacionados con el movimiento, redistribución y acumulación de carbonatos, sulfatos y cloruros en áreas con drenaje deficiente al interior de los continentes.

-Ciclos Marinos.

Se refiere a la acumulación de sales de origen marino, principalmente cloruro de sodio y ocurren en las planicies costeras en áreas bajas y secas y a lo largo de las costas y bahías de baja profundidad.

-Ciclos de Delta.

Estos ciclos se caracterizan por una -- combinación compleja de movimientos y por la acumulación de sales transportadas por los ríos o por el mar en diferentes -- ocasiones.

-Ciclos Artesianos.

Están relacionados con la evaporación de aguas subterráneas profundas que afloran a la superficie a través de fracturas tectónicas y estructuras geológicas des--truidas.

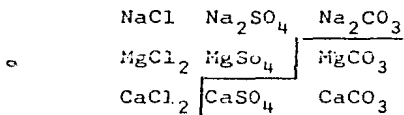
-Ciclos Antropogénicos.

Se presentan como resultado de -- las actividades del hombre por desconocimiento de las leyes -- que gobiernan los procesos de acumulación de sales .

Resumiendo, el proceso de salinización de un suelo depende de del aporte y acumulación continua de sales, y de que se --

sobrepase la capacidad natural del drenaje.

Las sales nocivas por su grado de solubilidad y participación en el aumento de la presión osmótica son:



Las localizadas arriba de la línea son las más nocivas - por su alta solubilidad, las que se encuentran abajo de la línea no son peligrosas debido a su baja solubilidad y tendencia a precipitarse. con lo que dejan de generar una alta presión osmótica. (35).

A continuación se describen cada una de ellas.

Sulfato de Magnesio (MgSO_4)

Es un compuesto típico de los suelos salinos, existe también en aguas freáticas y lagos salinizados. Es un sal perjudicial debido a su alta solubilidad (262 g/lit). Siempre se presenta en combinación con otras sales.

Sulfato de Sodio (Na_2SO_4)

También se presenta en suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados. Su solubilidad varía con la temperatura, - esto es importante en cuanto a su lavado ya que en épocas calidas asciende por capilaridad hacia la superficie del suelo y en épocas frias precipita.

Cloruro de Sodio (NaCl)

Junto con los sulfato de sodio y de magnesio es la sal más frecuente en los suelos salinos. Su toxicidad para las plantas es excepcionalmente alta. Su solubilidad es de 318 g/lit y no varía con la temperatura.

Carbonato de Sodio o Soda (Na_2CO_3)

Al igual que el bicarbonato de sodio, tiene una alta solubilidad 178 g/lit a 20°C, la cual varía con la temperatura.

Como resultado de la hidrólisis provoca una alta alcalinidad en el medio de hasta pH 12, es tóxico para las plantas y afecta la estructura de los suelos, disminuye su permeabilidad.

Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$)

Posee una solubilidad elevada (353 g/lt), es perjudicial para las plantas. A veces se forma como consecuencia de la reacción entre soluciones que contienen NaCl.

Cloruro de Calcio ($CaCl_2$)

Esta sal rara vez existe en los suelos, debido a que se combina con el carbonato y sulfato de sodio, pasando a ser $CaCO_3$ (Carbonato de calcio) el cual se precipita. La existencia de $CaCl_2$ sólo se da en grados máximos de salinización del orden de 400 a 500 g/lt.

Con excepción del transporte atmosférico de sales, en todos los ciclos de acumulación, el movimiento de las sales está íntimamente relacionado con el movimiento del agua. Las sales disociadas en forma iónica se mueven con el agua a través del suelo, por los estratos rocosos, en las corrientes superficiales y las corrientes subterráneas.

La concentración de las sales o cantidad de sales transportadas por el agua depende de : la distancia del recorrido, los materiales geológicos con los que el agua ha estado en contacto, el tiempo de contacto y el clima.

Durante su circulación, el agua cambia su composición química y la cantidad de sales que transporta, esto se debe a efectos de concentración, dilución, intercambio iónico, fenómenos de reducción y precipitación. Estos factores pueden tener una influencia drástica en la cantidad de sales transportadas, cuando el agua circula lentamente, cuando hay gradientes hidráulicos pequeños y se tiene grandes distancias de recorrido.

El uso y reuso de las aguas en la actividad agropecuaria aumenta la concentración de sales y hace que la proporción de los diferentes iones cambie. Conforme la salinidad aumenta; Ca^+ y HCO_3^- disminuyen y aumentan Cl^- y Na^+ . (2).

La mayor cantidad de sales transportadas se presenta -- cuando el agua está en contacto con rocas sedimentarias, y éstas son arenas silicatadas y areniscas formadas principalmente por cuarzo, y con evaporitas; las cuales son sales con una solubilidad mayor que la del yeso, esto ocasiona que el agua disuelva cantidades elevadas de iones SO_4^- , Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ pudiendo alcanzar concentraciones extremas en casos excepcionales hasta de 200,000 ppm. Sin embargo, la abundancia de evaporitas es menor comparada con rocas sedimentarias, por lo -- que la influencia en la cantidad de sales transportadas por - el agua de las rocas sedimentarias es mayor que la de las evaporitas.

3.3 ACUMULACION DE SODIO (Na) INTERCAMBIABLE EN LOS SUELOS

El asiento de la actividad química en el suelo reside en las partículas coloidales. A excepción de las arenas puras, todos los suelos contienen partículas de tamaño coloidal. En el suelo hay dos tipos distintos de coloides: coloides inorgánicos o minerales y coloides orgánicos o humus. Los coloides -- inorgánicos se presentan casi exclusivamente como arcillas de clases distintas, mientras que los coloides orgánicos son humus (materia orgánica). (44). Dichas partículas adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas negativas y a la gran superficie de contacto que poseen.

La adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación subsecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo es denominado Intercambio de Cationes. (25). La proporción de los distintos cationes unidos al complejo de intercambio, varía con las condiciones bajo las cuales se ha formado el suelo. En condiciones neutras o casi neutras, en climas moderados, el calcio constituye por lo común cerca del -- 80% o más de la base de intercambio y el magnesio de 10 a -- 15%. (44). Por su parte en los suelos salinos y alcalinos, cuando hay exceso de sales solubles generalmente es el sodio el elemento intercambiable; aunque existe calcio y magnesio en la solución, pero debido a que tienen poca solubilidad, comparada con la sal de sodio se precipitan como carbonatos y sulfatos; no así el Na que permanece activo. La precipitación de estos compuestos causa el aumento en las proporciones de Na, si esta proporción es superior al 50% el Na se intercambia -- con el Ca y el Mg adsorbidos, ocupando su lugar en el coloide.

Así se sodifican los suelos que constantemente se exponen a aguas con altas concentraciones de sodio.

Las partículas coloidales se coagulan o flocculan, al ganar un ion de carga opuesta o de valentarse. Se dice que un -

sol (solución coloidal), flocula cuando se unen unas a otras las partículas dispersas. (37). La permeabilidad de los suelos depende de los factores que afectan al número y estabilidad de los poros, es decir de la floculación, la floculación aumenta la porosidad y disminuye la densidad aparente. La floculación origina la estructura granular del suelo y esta estructura es la más apropiada para el desarrollo de las plantas. Un suelo floculado tendrá entonces, buena permeabilidad, no se encharcará y tendrá un drenaje aceptable.

Conforme el agua penetra en el suelo, la conductividad hidráulica cambia, debido a que hay interacción entre las partículas de éste: principalmente las arcillas y sales que están disueltas en el agua; haciendo que cambie la porosidad. Esto ocurre debido a que algunas partículas de arcilla, sobre todo las arcillas expandibles acomodadas dentro de los macroporos se hinchan y producen una reducción de la macroporosidad. Este fenómeno, es aún mucho más notable, cuando una proporción considerable de los sitios de intercambio de las arcillas son ocupados por el ion sodio.

Cuando los cationes intercambiables que predominan son calcio y magnesio, las partículas de arcilla no se expanden ni se repelen entre sí y se mantienen condiciones favorables de permeabilidad.

Las propiedades físicas del suelo se ven realmente afectadas cuando el ion predominante en la solución del suelo es sodio. Esto se debe a que el sodio produce una expansión muy pronunciada de las arcillas, al grado tal, que aún los suelos de textura ligera, tales como migajones arenosos pueden sufrir cambios notables en su permeabilidad cuando tienen un porcentaje de sodio intercambiable elevado.

Cuando la expansión es grande, ocasiona que las fuerzas de atracción entre los cristales contiguos de las arcillas se

disminuya considerablemente y las fuerzas térmicas hacen que las capas de cristal se comporten independientes unas de -- otras, por lo que el suelo se deflocula. Esta es la forma más importante, desde el punto de vista de la agricultura, de como las sales afectan adversamente las propiedades físicas de los suelos, ya que se destruye la estructura y el suelo se -- vuelve impermeable al agua y al aire con todas las consecuencias que esto trae consigo para las plantas.

Cuando un suelo se sodifica, los coloides orgánicos y minerales se dispersan y se produce una migración de ellos dentro del perfil. Los coloides orgánicos se mueven hacia arriba con el agua y se acumulan en la superficie del suelo, dando - esa coloración "negra aceitosa" de los suelos sodicos. Esto - hace que al cambiar la coloración del suelo, se adsorba más - calor y se modifique la temperatura del mismo.

Los coloides minerales migran hacia abajo del perfil. Este proceso es irreversible (a menos que el suelo se invierta mecánicamente) y causa taponamiento de los poros, lo que aunado a la expansión, modifica la permeabilidad afectando el movimiento del agua y del aire, produciendo cambios en la estructura, en la densidad aparente, en la estabilidad de los - agregados, en las propiedades físico-químicas de la fracción coloidal y formando costras que impiden la germinación de las semillas.

3.4 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.

La primera clasificación de los suelos salinos la hizo Hilgard en 1906 citado en (16), los dividió en dos clases: ál cali blanco y ál cali negro.

A partir de esta fecha, se han hecho diversas clasificaciones de los suelos salinos en base a diferentes fundamentos teóricos. Sin embargo las dos más importantes son la Rusa y la Americana.

González (16) reporta que Gedroiz, clasificó a los suelos ál cali salinos en tres clases: Solonchak, Solonetz y Solod. La clasificación Rusa combina los principios de pedogénesis, geoquímica de las sales y fisiología vegetal.

La clasificación Americana, utiliza dos parámetros cuantificables de la solución del suelo, para determinar la salinidad y sodicidad de los mismos.

Una de estas variables se refiere a los valores de la Conductividad Eléctrica (CE a 25°C) . 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 cm a 25°C. Se sustenta en la propiedad que tienen las soluciones de conducir la electricidad, tanto mejor cuanto mayor sea su concentración de sales.

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

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

Donde:

CE a 25°C = a la Conductividad Eléctrica a 25°C

CE_t = a la Conductividad Eléctrica media 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.

La escala que se muestra en el cuadro (4), es la que se usa cuando se desea evaluar el efecto de las sales solubles - en los cultivos y muestra la relación que hay entre los rendimientos del cultivo y la salinización del suelo, expresada en términos de la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación.

Cuadro 4. VALORES DE LA CE DEL EXTRACTO SATURADO DEL SUELO EN RELACION A SUS EFECTOS SOBRE LOS CULTIVOS (35)

*CE _e (mmhos/cm)	EFECTOS
0-2	Despreciables
2-4	Rendimientos restringidos en cultivos sensibles
4-8	Rendimientos restringidos en la mayor parte de los cultivos
8-16	Rendimientos satisfactorios sólo en cultivos tolerantes
16	Muy pocos cultivos dan rendimientos satisfactorios

* CE_e = Conductividad Eléctrica del extracto de saturación del suelo.

Se dice que un suelo es Salino, cuando la CE a 25°C, del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm.

La otra variable, base para la clasificación de los suelos con relación a salinidad y/o sodicidad, es el Sodio Intercambiable, la cual se cuantifica partiendo de lo siguiente.

Los iones se encuentran en solución o adsorbidos 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 se conoce como CIC (Capacidad de Intercambio de Cationes), 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 gr. de suelo.

El sodio intercambiable que existe adsorbido, se mide en forma similar, pero se cuantifica separadamente y se expresa en porcentaje en relación al total de las cargas intercambiables o sea el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

$$PSI = \frac{SI}{CIC} \times 100$$

Donde:

SI = Sodio Intercambiable

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico, que es - la cantidad total de cationes que un suelo - puede retener, expresada en meq/100 gr de -- suelo.

Los análisis químicos necesarios para determinar el sodio intercambiable, la Capacidad de Intercambio Catiónico y - el Porcentaje de Sodio Intercambiable, requieren de un tiempo que no es posible emplear en los estudios de áreas considerables, por ello se aprovechan las fórmulas empíricas propues -

tas por Gapón-Matison y Wiklander, mediante una relación lí -
 neal entre cationes intercambiables monovalentes y cationes
 divalentes; cuando la concentración del catión soluble monova
 lente se divide, entre la raíz cuadrada de la concentración -
 divalente.

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

Así como la expresión de Porciento de Sodio Intercambia-
 ble que une a la Relación de Adsorción de Sodio.

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

El siguiente cuadro muestra la clasificación de los suel
 dos por su PSI.

Cuadro 5. CLASIFICACION DE LOS SUELOS POR SU PSI (35)

CLASE	PSI	PRODUCCION DE LOS CULTIVOS
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 reba-
 sa el 15% de PSI.

Así tenemos entonces que considerando los valores de Con
 ductividad Eléctrica (CE a 25°C) y el Porciento de Sodio In -
 tercambiable, los suelos se clasifican por su contenido de --
 sales en:

- i) Suelos sin problema de Sales y Sodio Intercambiable.
- ii) Suelos Salinos.
- iii) Suelos Sódicos.
- iv) Suelos Salino-Sódicos.
- v) Suelos Sódico-Salinos.

- i) Suelos sin problema de Sales y Sodio Intercambiable.

Son aquellos cuya Conductividad Eléctrica (CE) es inferior a 4 mmhos/cm y su Porcentaje de Sodio Intercambiable menor de 15%. En este caso el contenido de sales en el suelo no constituye problema para la generalidad de los cultivos, y si se presentan bajos rendimientos normalmente son atribuidos a factores ajenos a la salinidad del suelo.

- ii) Suelos Salinos.

El término salino se aplica a suelos cuya CE es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C, con un PSI menor de 15%. Generalmente el pH es menor de 8.5. Estos suelos corresponden al tipo descrito como suelos "Alcali Blanco" y a los "Solonchaks" de los au tores Rusos. En estos suelos el establecimiento de un drenaje adecuado, permite eliminar por lavado las sales solubles volviendo nuevamente a ser suelos normales.

Casi siempre se reconocen por la presencia de costras -- blancas de sal en la superficie. Generalmente contienen cloru ros y sulfatos que se presentan cristalizados en forma de cos tras blanquecinas. El sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles y por tanto, no es adsorbido en forma importante. Las cantidades de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo varían considerablemente; pueden presentarse pequeñas cantidades de bicarbonato, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran. Aparte de sales rápidamente solubles, los suelos sa linos pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonato de calcio y magnesio (caliza)

Los suelos salinos casi siempre se encuentran floculados debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia - de cantidades importantes de sodio intercambiable por lo que su permeabilidad es igual o mayor que la de los suelos similares sin problema de sales.

iii) Suelos Sódicos.

Son aquellos suelos cuyo PSI oscila entre 15 y 90% y la CE del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C. El pH generalmente varía desde 8.5 hasta más de 10 dependiendo del contenido de $\text{CO}_3^{=}$ y HCO_3^- , y el PSI presentes en el suelo. Bajo estas condiciones las arcillas del suelo se defloculan y pueden ser transportadas hacia abajo acumulándose a poca profundidad. Con el tiempo esta acumulación puede desarrollar una capa densa y de baja permeabilidad con estructura -- prismática ó columnar constituyendo el horizonte B. Estos suelos son difíciles de labrar y a la primera lluvia o riego después del laboreo se forma una costra superficial dura y poco permeable muy desfavorable para el desarrollo de los cultivos. Cuando la sodicidad del suelo es alta, la materia orgánica - dispersa puede acumularse en la superficie del suelo como especie de manchones aceitosos oscuros, en cuyo caso se les puede reconocer en el campo.

Las características fundamentales que condicionan la baja fertilidad de los suelos que poseen una cantidad considerable de sodio intercambiable se pueden dividir en dos grupos.

1.- Las propiedades de las soluciones en los suelos manifiestas en la forma siguiente:

- a) las soluciones contienen altas concentraciones electrolíticas.
- b) insuficiencia en las soluciones de algunos elementos.
- c) alta alcalinidad.

2.- Propiedades físicas adversas en los diferentes horizontes del suelo:

- a) en estado seco son compactos.
- b) en estado húmedo la masa del suelo se hincha y pierde estructura.
- c) existe una movilidad del agua muy baja.
- d) la materia orgánica posee una solubilidad muy alta.

Para modificar el primer grupo de propiedades es necesario disminuir la alta alcalinidad de las soluciones, misma que condiciona la dispersabilidad de los iones de calcio en las soluciones; y para las propiedades físicas adversas, sustituir las cantidades excesivas de sodio por iones que provoquen una floculación irreversible de las partículas coloidales del suelo.

iv) Suelos Salino-Sódicos.

Llámense así aquellos suelos cuya CE del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C y el PSI es mayor de 15%, pero sin llegar a impartir efectos defloculantes. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización con sodio. Su pH es menor de 8.5. Siempre que contenga un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de un suelo salino. Cuando hay exceso de sales solubles el suelo permanece floculado, si el exceso de sales es lavado, las propiedades de estos suelos cambian notablemente paraciéndose por ello a los suelos sódicos.

Cuando la concentración de sales disminuye, el sodio presente se hidroliza y forma NaOH, que a su vez puede cambiar a Na_2CO_3 . El lavado de un suelo así, puede hacerlo más alcalino (pH mayor de 8.5) y entonces las partículas se dispersan y el suelo se vuelve desfavorable para la entrada de agua y para las labores de labranza.

v) Suelos Sódicos-Salinos.

Son suelos que tienen una CE del extracto de saturación mayor de 4 mmhos/cm, el PSI de este tipo de suelos es mayor de 15% y su pH es mayor de 8.5. Generalmente es el ion sodio el que abunda, por lo que los suelos se encuentran --- defloculados. Si el contenido de sales solubles aumenta, puede hacer que baje el pH y restaure las partículas a una condición flocculada.

Esta clasificación es de gran utilidad en el diagnóstico y tratamiento de problemas de salinidad y sodicidad de los suelos, pues se basa en características del suelo que pueden ser cuantificables. Sin embargo dicha clasificación debe tomarse como un criterio indicador guía y no como regla.

3.5 EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS

Los suelos con altas concentraciones electrolíticas en general son improproductivas desde el punto de vista agrícola, debido a que afectan a las plantas a través de dos mecanismos, aumentando la presión osmótica de las soluciones y toxicidad a iones específicos.

Las elevadas concentraciones de sales neutras, tales como el NaCl y Na_2SO_4 , interfieren en la absorción del agua por las plantas a través del desarrollo de una presión osmótica en la solución del suelo, más alta que la existente en las células de la raíz.

Si colocáramos agua dentro de una membrana poniendo alrededor una solución azucarada concentrada; el agua saldrá de la membrana muy rápidamente y la membrana se contraerá. Este resultado se invoca como probable explicación de lo que puede suceder a una planta en circunstancias similares: "Si la concentración de la solución del suelo llegara a ser mayor que la concentración en el interior de la planta, ésta perderá agua, se marchitará y morirá". (46). A medida que aumenta la concentración de solutos en la solución del suelo, el agua que requiere el vegetal para satisfacer sus necesidades va siendo cada vez más escasa y para sobreponerse a esta condición la planta realiza un ajuste osmótico. Dicho ajuste consiste en aumentar la concentración del jugo celular de manera que sea mayor que la concentración iónica del suelo. Para ello concentra más la savia en su sistema radicular, tomando mayor cantidad de solutos y consecuentemente disminuyendo la transpiración, se agotan carbohidratos (asimilables) necesarios para el desarrollo, el crecimiento cesa, las jóvenes hojas se arrollan, las flores caen. Cuando se realiza este ajuste osmótico la planta consume energía que en condiciones de no salinidad se usaría en el crecimiento, por ello en condiciones salinas este es menor.

En general la mayoría de los cultivos agrícolas son sensibles en alguna etapa de su desarrollo, sin embargo, se puede -- considerar que hay especies cultivables que son resistentes a diferentes contenidos de sales y composiciones cuantitativas - de las soluciones salinas de los suelos. El cuadro 6 nos ilustra la tolerancia a la salinidad de algunos cultivos.

Cuadro 6. TOLERANCIA A LA SALINIDAD DE ALGUNOS CULTIVOS (42)

ALTA TOLERANCIA	TOLERANCIA MODERADA	POCA TOLERANCIA
Palma datilera	Higuera	limonero
Cebada	Olivo	Manzano
Remolacha	Viñedo	Peral
Algodón	Trigo	Albaricoque
Zacate bermuda	Sorgo	Durazno
Zacate rhodes	Arroz	Almendro
Cañuela	Alfalfa	Aguaate
	Tomate	Rábano
	Col	Apio
	Zanahoria	Frijol
	Cebolla	Trébol blanco
	Lechuga	Trébol rojo
	Rye grass perenne	Trébol sueco
	Zacate	Carricera
	Broma	
	Sudán	
	Trébol de olor	
	Chicharo	

Cuadro 7. DISMINUCION EN LA PRODUCCION DE VARIOS CULTIVOS
SEGUN LOS NIVELES DE SALINIDAD DEL SUELO (4)

CULTIVOS	CE MMHOS/CM QUE CAUSA UNA - DISMINUCION EN LA PRODUCCION DEL:		
	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 valores que se muestran en este cuadro nos permiten determinar hasta que punto debe disminuirse la salinidad del suelo en función de los cultivos a implantar; por otra parte, también nos permite calcular las producciones de los cultivos durante la fase de recuperación.

Los aspectos relacionados con la toxicidad a iones específicos se han estudiado con cierta suficiencia, pero sin llegar al esclarecimiento total de este fenómeno, ya que esto no es debido al efecto específico de los iones, sino que estos - inducen alteraciones en el metabolismo ocasionando la acumulación de productos tóxicos. Tal es el caso del algodón, que en suelos salinos experimentó un cambio en el metabolismo del nitrógeno con la acumulación de NH_4^+ el cual tiene efectos tóxicos. (2).

Sin embargo, se ha establecido que los principales -- iones tóxicos que afectan el crecimiento de los cultivos aun cuando se encuentran en concentraciones pequeñas son: Cloro - (en concentraciones de 1 a 2% en peso seco en hojas y en suelo de 700 a 1500 ppm es tóxico), Sodio, Boro (concentraciones mayores a 250 ppm en el suelo son tóxicas), Litio (tóxico en concentraciones mayores de 0.05 ppm) y Bicarbonatos. Enseguida tenemos un cuadro que nos muestra algunos cultivos afectados por dichos iones.

Cuadro 8. CULTIVOS AFECTADOS POR IONES ESPECIFICOS (35)

ION	FRUTALES	HORTALIZAS	CULTIVOS EXTENSIVOS
Na ⁺	Almendro	Judía	Maíz
	Aguacate	Fresa	
	Cítricos		
	Melocotón		
	Vid		
Ca ⁺⁺	Frutales de hueso	Hortalizas verdes	Lino
Cl ⁻	Aguacate	Patatas	Tabaco
	Cítricos	Fresa	
	Frutales de hueso		
	Vid		
SO ₄ ⁼	Platano	Lechuga	
HCO ₃ ⁻		Judía	
NO ₃ ⁻			Remolacha Azucarera Caña de - azúcar

En investigaciones realizadas por Brown citado en (38), -- sobre el efecto del ión cloro, se estableció que este ión es -- unos de los que más afectan a las plantas, causando principalmente quemaduras en las hojas de los árboles y cultivos de -- guía. No obstante algunas plantas muestran resistencia a dicho ión; tal es el caso de la remolacha y otras especies, además se determinó que 105 ppm de Cloro en agua de riego resultan perju diciales en la maduración de los frutos de los cítricos. Win - ter citado en (38).

En otro trabajo realizado por Gauch y Wadleigh citado en (38), con frijol desarrollado en soluciones nutritivas, agre - gando a éstas sales de NaCl , Na_2SO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 y MgSO_4 , se obtuvieron diferentes rendimientos de materia seca. Los meno - res rendimientos se obtuvieron en plantas que se expusieron a un exceso de cloruro de magnesio y sulfato de magnesio en comparación con los tratados con cantidades mayores de otros com - puestos, por lo que se indica que el magnesio tiene efectos di ferentes a los producidos por el calcio y el sodio. En las sa - les que produjeron los menores rendimientos existía magnesio, no así en las que produjeron mayores rendimientos.

3.6 AREAS AFECTADAS EN LA REPUBLICA MEXICANA.

Generalmente el problema de ensalitramiento se asocia o es característico de las zonas de riego. En el país se estima que de un 30 a 40% de las áreas bajo riego tienen problemas de ensalitramiento en menor o mayor grado.

Esta excesiva acumulación de sales en el horizonte superficial ha ocurrido por uno o más de los siguientes factores:

- . Baja precipitación y alta temperatura.
- . Pérdidas de agua por evaporación y transpiración.
- . Riego o drenaje inadecuados.
- . Altos contenidos de sal en el agua de riego.

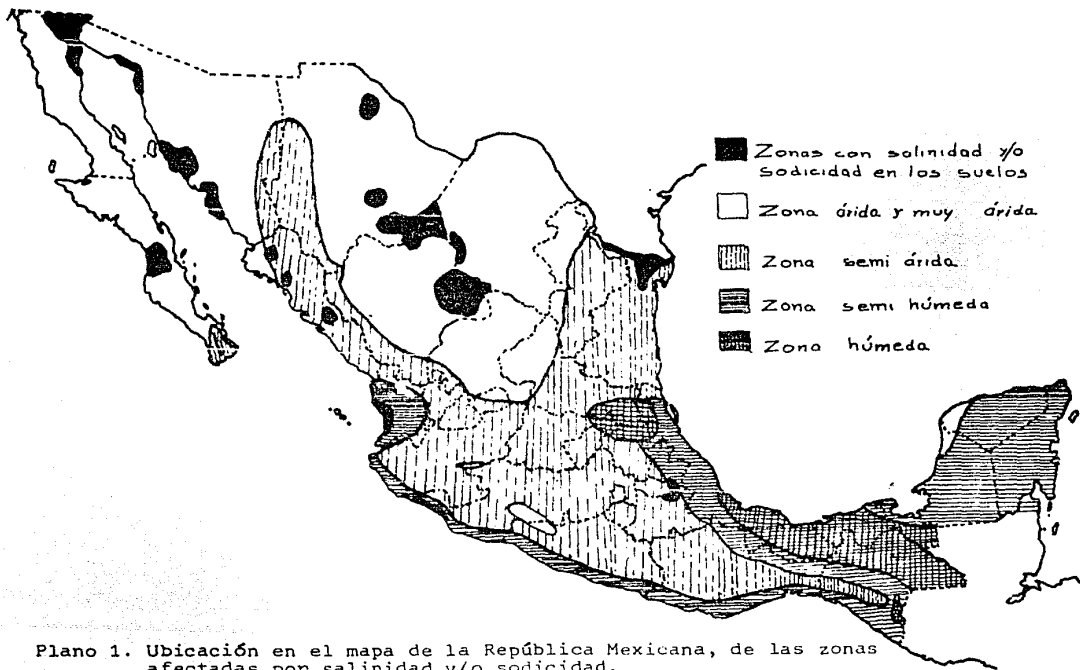
Según su fuente de abastecimiento podemos distinguir tres tipos de Distritos de Riego que operan en el país:

a) Los que se abastecen únicamente del agua almacenada y no presentan escasez del líquido por períodos prolongados; el ensalitramiento en esta áreas es debido a elevados niveles freáticos y/o a sales contenidas originalmente en los horizontes del suelo.

b) Otros, se mantienen de aguas almacenadas, pero como tienen épocas de sequía prolongadas, esto trae consigo restricciones por lo que se auxilia con aguas de retorno de drenaje; el ensalitramiento es debido a elevados niveles freáticos y a la mala calidad del agua empleada.

c) Algunos otros, presentan fuertes deficiencias de almacenamiento de agua, pues se ubican en las zonas más áridas del país; por lo cual tienen que aprovechar grandes volúmenes de agua extraídos del subsuelo. Este representa un riesgo en las regiones costeras del noroeste del país, ya que la sobreexplotación conduce a la entrada de aguas saladas marinas de los mantos subterráneos y a la consecuente salinización de las aguas de riego.

A continuación se ubican en el espacio las áreas afectadas y las causas que han originado su ensalitramiento. Ver mapa (1).



Plano 1. Ubicación en el mapa de la República Mexicana, de las zonas afectadas por salinidad y/o sodicidad.

Fuente: Bassols Batalla Angel.

Recursos Naturales de México

pag: 156

En el estado de Baja California Norte el problema de la salinidad del suelo es un problema fundamental que aqueja a la agricultura. El estado cuenta con 261434 Ha. abiertas al cultivo, de las cuales 207734 son de riego y 53700 de temporal. La zona de riego más importante es el Valle de Mexicali, donde se ubica el Distrito de Riego No. 14 Río Colorado, y es aquí donde particularmente se desarrolló el problema. Surgió debido al mal manejo del agua de riego, aúñado a la concentración de sales disueltas en el agua y a la insuficiencia del drenaje del suelo. (40).

Para Baja California Sur el Distrito de Riego No. 66 ubicado en el Valle de Santo Domingo, es el área agrícola más importante; utiliza aproximadamente 300 millones de M³ anuales de agua, obtenidos de 541 pozos profundos con una recarga estimada de 145 millones de M³ al año, esto ha ocasionado que en esta zona haya abatimientos anuales que van desde los 50 cm. a un metro, y en las zonas más críticas se presentan conos hasta de metros de 17 m bajo el nivel del mar; lo anterior ha producido intrusión salina en el subsuelo, que de no tomarse medidas pertinentes, tales problemas pueden incrementarse en el futuro, agravando la actividad agrícola. (40)

Para el estado de Sonora, los suelos salinos se ubican en las zonas que practican agricultura de riego por bombeo, localizadas en la costa de Hermosillo, Caborca y Valle de Guaymas. El problema es producto de la sobreexplotación de los acuíferos, lo que implica abatimiento de los mantos y esto a su vez problemas de intrusión salina, con la consecuente contaminación de las aguas usadas para regar. Hay que señalar que la sobreexplotación de los mantos se debe en gran parte al uso irracional del agua, hay pérdidas de agua en la distribución, los sistemas de riego son deficientes, mala nivelación de la tierras y falta de revestimiento de canales. (40).

En Sinaloa el problema de la salinidad se presenta en las siguientes zonas:

Distrito de Riego del Río Culiacán.

Distrito de Riego de Guasave.

Distrito de Riego del Valle del Fuerte.

El ensalitramiento se debe a elevados niveles freáticos y a sales contenidas originalmente en horizontes poco profundos del suelo. En el Distrito de Riego del Río Mayo, el ensalitramiento es debido al uso de aguas de retorno de drenaje y a la mala calidad de las aguas de riego (en especial de las de bombeo). (40)

El problema de salinidad en Nayarit se presenta en las zonas de temporal. 71 mil Ha. que se dedican a la agricultura de temporal se encuentran en suelos potencialmente ganaderos (Municipios de San Blas, Santa María del Oro y San Pedro Lagunillas), y dichas tierras tienen como limitante la salinidad y la deficiencia de agua. (40).

En Colima el 76.5% de la superficie regable se ubica en zona costera, que comprende los municipios de Tecomán, Armeria y Manzanillo. En el Valle de Tecomán particularmente en la proximidades al Cerro de Ortega y áreas próximas al litoral, presentan serios problemas de salinidad, sodicidad y drenaje agrícola. La zona costera presentó un ascenso del nivel freático de 2.29 m. de 1974 a 1980, ya se han presentado problemas de intrusión salina hacia el continente debido a la sobreexplotación de los acuíferos, por lo que de no tener cuidado en seguir aumentando el número de pozos o norias, se pueden presentar -- problemas de contaminación por sales en las aguas de los acuíferos. (40).

Chihuahua. Las zonas que presentan problemas de salinidad en el estado se encuentran en las partes áridas por lo cual -- tienen deficiencia de agua, el principal abastecimiento lo --

constituye el riego por bombeo y el agua que de aquí se obtiene es de mala calidad (salinizada). Esto sucede en:

Distrito de Riego por Bombeo de Bufálo, Chih.

Distrito de Riego por Bombeo de Prádillas, Chih.

Distrito de Riego por Bombeo de Jiménez, Chih. (40).

Coahuila. En el Distrito de Riego No. 17 Región Lagunera, se presentan problemas de salinidad, debido a que el agua utilizada para riego que provienen de las cuencas de la Laguna de Mayrán y la de Viesca (que reciben descargas del Río Nazas y - Aguanaval), se encuentran contaminadas con sales. La otra zona afectada es el Bolson de Mapimí, sus corrientes son arroyos cuyas cuencas no están definidas y sus caudales son bajos, algunos de ellos llegan a formar lagunas que la mayor parte del -- año están secas; como la de Frailes al SE del Mnpo. de Ocampo y la del Rey al S del Mnpo. de Tierra Mojada, las aguas superficiales y subterráneas de esta zona se catacterizan por tener alta salinidad. (40).

El área de riego más importante para el estado de Durango y una de las más importantes para el país, es la Comarca Lagunera, en donde operan 2,342 pozos profundos; se le considera una zona de sobreexplotación, y el agua tiene problemas de salinidad alcanzando niveles de hasta 2 mil ppm de sólidos totales disueltos en ella. Así mismo se han observado problemas de salinidad en las zonas bajas del Valle de Guadiana, en donde se encuentran ensalitradas aproximadamente 1250 Ha. Además se considera que los acuíferos del Distrito de Riego No. 17 que comprende los municipios de: General Simón Bolívar, Gomez Palacios, Lerdo, Mapimí, San Juan de Guadalupe y Tlahualilo de Zaragoza, tienen problema de sales disueltas, debido a la concentración de más de 2 mil ppm. (40).

Tamaulipas. En este estado se presentan problemas de salinidad en el Distrito de Riego del Bajo Río San Juan y en el --

la calidad y rendimiento de los suelos que habían sufrido deterioro o se encontraban en proceso de afectación por ensalitramiento.

También se han puesto en marcha algunas medidas operativas como: sistemas de reglamentación de extracción, esto para el caso de las zonas que se riegan por bombeo para evitar la sobreexplotación de los mantos, caso concreto el estado de Sonora; programas de dotación volumétrica (Sonora), para proporcionar el agua estrictamente necesaria para regar, se ha recurrido hasta el caso de prohibir la perforación de nuevos pozos lo que se conoce como veda; esto ha sucedido en el estado de Baja California Sur, donde el 90% de las áreas agrícolas se encuentran en veda. Asimismo se han establecido programas de nivelación de tierras y de revestimiento de canales, en todas las áreas donde se practica la agricultura de riego.

Sin embargo, los beneficios de la rehabilitación no han alcanzado a todas las áreas que así lo reclaman, puesto que el problema persiste. Por lo cual deberán destinarse más recursos económicos para ampliar los trabajos de recuperación, aplicar técnicas avanzadas en la rehabilitación de las redes de canales para abastecimiento o drenaje agrícola y proporcionar la infraestructura necesaria para facilitar la recuperación de los terrenos degradados.

la calidad y rendimiento de los suelos que habían sufrido deterioro o se encontraban en proceso de afectación por ensalitramiento.

También se han puesto en marcha algunas medidas operativas como: sistemas de reglamentación de extracción, esto para el caso de las zonas que se riegan por bombeo para evitar la sobreexplotación de los mantos, caso concreto el estado de Sonora; programas de dotación volumétrica (Sonora), para proporcionar el agua estrictamente necesaria para regar, se ha recurrido hasta el caso de prohibir la perforación de nuevos pozos lo que se conoce como veda; esto ha sucedido en el estado de Baja California Sur, donde el 90% de las áreas agrícolas se encuentran en veda. Asimismo se han establecido programas de nivelación de tierras y de revestimiento de canales, en todas las áreas donde se practica la agricultura de riego.

Sin embargo, los beneficios de la rehabilitación no han alcanzado a todas las áreas que así lo reclaman, puesto que el problema persiste. Por lo cual deberán destinarse más recursos económicos para ampliar los trabajos de recuperación, aplicar técnicas avanzadas en la rehabilitación de las redes de canales para abastecimiento o drenaje agrícola y proporcionar la infraestructura necesaria para facilitar la recuperación de los terrenos degradados.

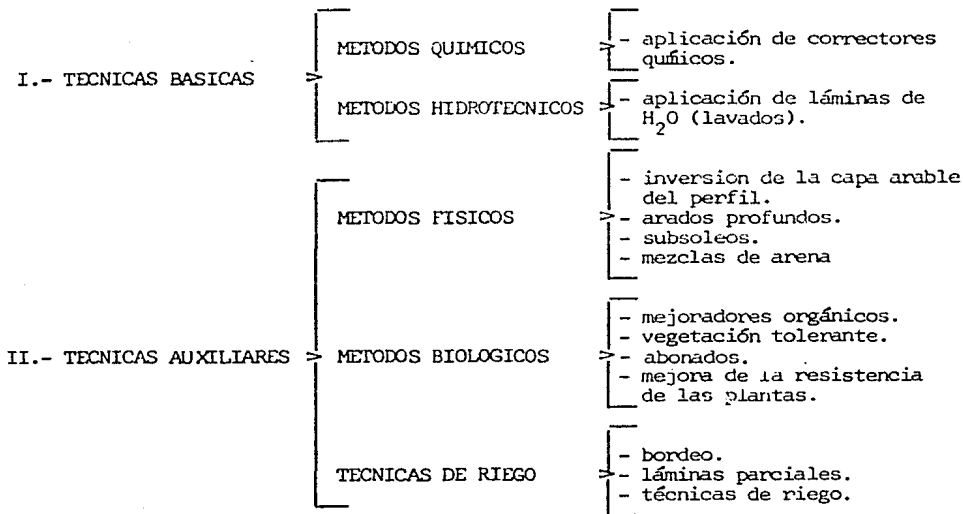
IV METODOS DE RECUPERACION DE LOS SUELOS SALINOS Y SODICOS.

El avance de la ciencia ha permitido el conocimiento y uso de diversos métodos para combatir los problemas de salinidad y sodicidad en los suelos. En este apartado, se aborda cada uno de los métodos empleados actualmente.

4.1 CLASIFICACION

Los métodos de recuperación de los suelos salinos y sódicos podemos esquematarlos en el siguiente cuadro sinóptico.

Cuadro 3. METODOS DE RECUPERACION DE SUELOS SALINOS Y SODICOS



4.2 DESCRIPCION

En la recuperación de suelos salinos y sódicos se utilizan diversas técnicas, pero hay dos que pueden considerarse como Técnicas Básicas. Por un lado el Método Hidrotécnico es utilizado para extraer las sales de los suelos, cuando el problema es salinidad. Se aplica una cierta cantidad de agua a través del suelo que arrastre las sales existentes. Cuando el problema es sodicidad, las sales dejan de ser tan importantes, en este caso es el sodio el problema; recordemos que éste se encuentra retenido por el complejo de cambio a través de enlaces químicos, por lo que el lavado no surtirá efecto. Se necesita entonces, liberar al sodio del complejo de cambio, para lo cual deberán aplicarse substancias que aporten al suelo cantidades suficientes de calcio que reemplazen al sodio del complejo de cambio. Si hacemos ésto estaremos empleando Métodos Químicos para la recuperación.

Por último las Técnicas Auxiliares, cuya función no es propiamente recuperar al suelo, sino aumentar la eficiencia de las Técnicas Básicas.

Ahora se describen cada una de las técnicas excepto los Métodos Químicos que serán tema de otro capítulo.

4.2.1 METODOS HIDROTECNICOS (LAVADOS)

El lavado de sales en la agricultura, es el proceso de disolución y transporte de sales causados por el movimiento del agua del suelo hacia y a través del mismo. Para que los lavados tengan éxito, se necesita que el suelo tenga un drenaje que permita eliminar el agua cargada de sales fuera de la zona radicular, por ello una característica del suelo que facilita su lavado es la buena permeabilidad.

El mejoramiento de los suelos salinos por medio de lavados incluye:

- 1) Recuperación inicial, principalmente mediante lavados

"capitales" (según la terminología soviética), para reducir el exceso de sales iniciales hasta alcanzar niveles tolerables para los diversos cultivos adaptables a la zona. Estos lavados - requieren elevados volúmenes de agua, en ocasiones se acompañan con la aplicación de mejoradores químicos y construcción - de drenaje.

2) Sostenimiento de un balance favorable de sales, esto - se hace cuando el suelo ya ha sido recuperado y se quiere evitar su resalinización. Lo anterior se logra de dos maneras: -- efectuando lavados periódicos, que son independientes de los - riegos normales. La variación de los lavados puede ser anual, semestral, etc., en función de los factores que influyan en la salinización, y de otros como disponibilidad de agua, época de lluvias, época de cosecha, etc.; y aprovechamiento de los riegos normales, para ello es necesaria la aplicación de agua en exceso hasta alcanzar la capacidad del campo.

Los lavados pueden hacerse con agua de lluvia, el uso de esta agua resulta altamente eficiente debido a que es una excelente lavadora de sales, pues tiene un bajo contenido de ellas ó bien lavados con el agua de riego, cuando se utiliza esta última ya sea para regar o para lavar, es muy importante evaluar el peligro potencial de la presencia de sales en dicha agua.

En general las aguas que se emplean para riegos, tiene -- contenidos relativamente bajos de sales. Los daños se ocasionan cuando esa agua una vez en el suelo, se concentra como consecuencia de la evaporación y transpiración con lo que aumenta la salinidad. Por tanto los índices que expresan la calidad del agua de riego, lo que indican es la posibilidad de que un agua, que en estado actual no es perjudicial, evolucione en el suelo induciendo alteraciones en la solución del mismo. (35).

El laboratorio de Salinidad de Estados Unidos ha establecido los siguientes parámetros para evaluar y clasificar el -

agua de riego.

a) Indices Fundamentales.

- 1.- CE (Conductividad Eléctrica del agua)
- 2.- RAS (Relación de Adsorción de Sodio) y RSC (Carbonato de Sodio Residual) ambos valores indican el riesgo de sodificación del suelo.
- 3.- Contenido de Boro.

b) Indices de menor aplicación.

- 1.- Indice de Cloro
- 2.- Indice de Magnesio
- 3.- Proporción de Carbonato y Sulfatos

Los indices fundamentales, son los que indican con mayor precisión la tendencia del agua de riego a salinizar o sodificar las tierras regadas.

Así tenemos entonces que de acuerdo a la CE del agua de riego, existen cinco clases de agua en relación a salinidad. - El cuadro 10 no ilustra la clasificación.

Cuadro 10. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO DE ACUERDO A SU CE (MMHOS/CM). (35)

CLASE	CLASIFICACION	CE A 25°C
C.1	Baja salinidad	0 a 250
C.2	Moderada salinidad	250 - 750
C.3	Media salinidad	750 - 2250
C.4	Alta salinidad	2250 - 4000
C.5	Muy altamente salino	4000 - 6000

- C.1 Se usa en riego para la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo. Pocas probabilidades de desarrollar salinidad.
- C.2 Puede usarse siempre y cuando exista un grado moderado de lavado. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas específicas de control de la salinidad, se pueden producir plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- C.3 No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente aún con drenaje adecuado se necesitan prácticas de lavado, por lo tanto deben seleccionarse plantas tolerantes.
- C.4 No es apropiada para riego; si se usa, los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes y aplicar lavados.
- C.5 Definitivamente no debe usarse para riego.

Según la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), existen -- cuatro clases de agua de riego, en relación a la sodicidad que puede impartir al suelo. El cuadro 11 lo ilustra.

Cuadro 11. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN SU (RAS). (35)

CLASE	CLASIFICACION	RAS	
		CE=100 mmhos/cm	CE=750 mmhos/cm
S.1	Agua baja en sodio	0 - 10	0 - 6
S.2	Agua media en sodio	10 - 18	6 - 12
S.3	Agua alta en sodio	18 - 26	12 - 18
S.4	Agua muy alta en sodio	mayor 26	mayor 18

S.1 Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos, con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

S.2 Solo puede usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad, en suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aún si el suelo tiene una alta CIC.

S.3 Puede producir niveles tóxicos en la mayor parte de los suelos.

S.4 Inadecuada para riego.

En relación al Boro, este es un constituyente de la mayoría de las aguas de riego, es esencial para el desarrollo de las plantas, pero la concentración necesaria es muy pequeña y si se excede puede perjudicar seriamente a los cultivos.

El contenido de Boro de una agua de riego que se considera perjudicial, depende de los cultivos, como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro 12. LIMITES DEL CONTENIDO DE BORO DEL AGUA DE RIEGO EN RELACION
CON LOS CULTIVOS. (35)

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES	MUY SENSIBLES
4 ppm Athel (Tamarix aphylla)	2 ppm Zanahoria	1 ppm Judia	0.3 ppm Limonero
Espárragos	Girasol	Nogal	
Palmeri (Phoenix canariensis)	Patata	Alcachofa	
Palmera datilera	Algodón	Olmo americ.	
Remolacha azucarera	Tomate	Ciruela	
Remolacha forrajera	Guisante forrajero	Peral	
Remolacha de mesa	Rábano	Manzana	
Alfalfa	Guisante verde	Vid	
Gladiola	Rosa	Higuera	
Haba	Olivo	Nispero	
Cebolla	Cebada	Cereza	
Nabo	Trigo	Melocotón	
Col	Maíz	Albaricoque	
Lechuga	Sorgo	Zarzamora	
	Avena	Naranjo	
	Calabacín	Aguate	
	Pimiento		

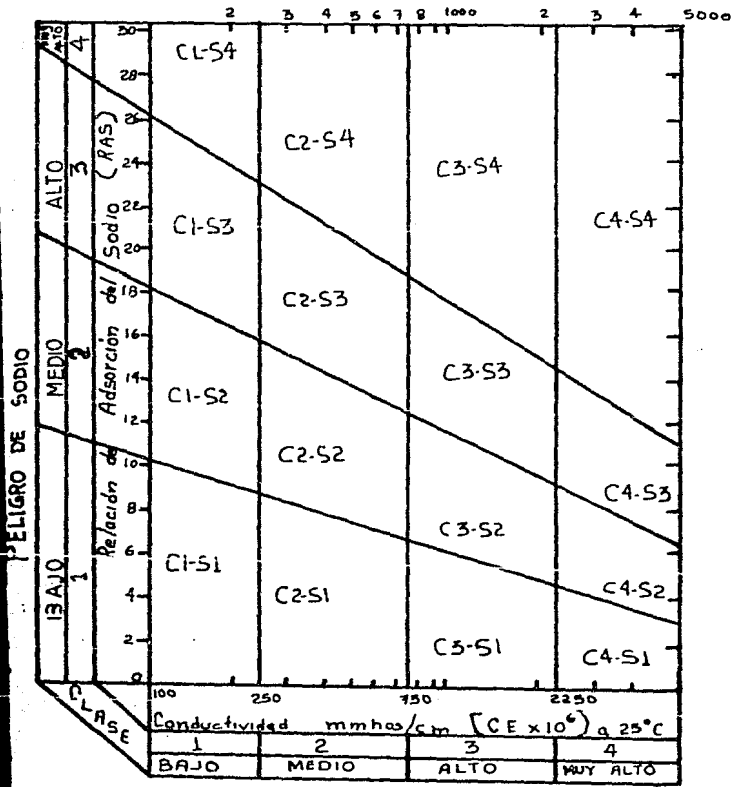
El cuadro 13 nos ilustra en forma global la clasificación del agua de riego según (US Salinity Laboratory).

Ya se ha dicho que normalmente el contenido actual de sales de un agua de riego, es insuficiente para perjudicar a los cultivos. Los daños se ocasionan cuando el agua se concentra en el suelo aumentando su salinidad. La clasificación anterior expresa la calidad del agua, sin embargo es necesario el estudio de la evolución posible del agua en el suelo, estudiando las variaciones que tienen lugar en las concentraciones de las sales; las bases teóricas han sido ya establecidas. (35)

De los métodos de riego existentes, el riego por gravedad es el más utilizado para el lavado de las sales; debido a que así se realizan lavados más enérgicos. La distribución del agua de riego se hace por inundación. Las tierras que se van a lavar, deben nivelarse previamente y someterse a una buena preparación del terreno. Después se forman "melgas" con superficie no mayor de $\frac{1}{4}$ de hectárea.

La lámina de lavado se recomienda aplicarla en "riegos" intermitentes de las siguientes características:

- a) Láminas de cada "riego" de 7-9 cm en suelos de textura ligera; de 9-11 cm en suelos de textura media y de 11-15 cm en suelos de textura pesada.
- b) Los intervalos entre el final de un riego (cuando se ha infiltrado completamente la lámina aplicada) y el principio del siguiente debe ser de 1 a 3 días en suelos de textura ligera, de 2 a 4 días en suelos de textura media y de 3 a 6 días en suelos de textura pesada. Estos intervalos se tornarán más cortos cuando se tengan altos contenidos de sales solubles y en el principio del lavado.
- c) Se dan los riegos necesarios hasta completar la lámina



PELIGRO DE SALINIDAD

Cuadro 13. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO (U.S.A. SALINITY LABORATORY). (35).

total del lavado. Se recomienda que la recuperación de suelos abarque zonas compactas y no pequeñas áreas distribuidas por todo el Distrito de Riego. Así como aplicar los riegos iniciando por las zonas más afectadas. Cuando el período de recuperación sea prolongado por más de un año, puede iniciarse el aprovechamiento de los terrenos con el desarrollo de cultivos resistentes a sales.

El drenaje se necesita en regiones húmedas como en regiones semiáridas y áridas donde se practica el riego, en el último caso, el drenaje sirve principalmente para regular la salinidad y alcalinidad del suelo y del agua del subsuelo. El agua de riego trae sales que se acumulan en el suelo cuando el agua desaparece sólo por evapotranspiración. Para evitar esta acumulación de sales es que se hacen necesarios los lavados, así -- que el drenaje es parte integrante del sistema de riego. En la gran mayoría de los casos se usa el drenaje abierto. mediante canales o drenes abiertos.

Cálculo de la lámina de lavado.

La aplicación de agua de riego en exceso, da lugar a un lavado de sales que disminuye la salinidad del suelo, continuando con los lavados la salinidad se hace menor hasta que se estabiliza en un cierto valor, hay un equilibrio entre la cantidad de sales que entra y la cantidad que sale. Por lo tanto la cantidad de sales del suelo representada por (AZ) es = 0.

La necesidad de agua para los lavados de mantenimiento se calcula a partir de la fórmula siguiente:

$$R = \frac{(E-P) C_i + G (C_g - C_i)}{f(C_{cc} - C_i)} \quad \text{Ecuación de Equilibrio de Sales. (35)}$$

Donde:

- C_i = concentración de sales del agua de riego
 C_g = salinidad del agua freática
 C_{cc} = concentración de sales a capacidad de campo de la solución del suelo, después del lavado
 f = eficiencia de lavado (este dato se obtiene del cuadro 14, y depende de la textura del suelo - que se esté tratando)

G = capilaridad

E = evapotranspiración

P = precipitación efectiva

} Se obtiene consultando -
los datos climatológicos
de la zona de estudio.

Cuadro 14. EFICIENCIA DE LAVADO (35)

SUELO	f
Arenoso	0.8
Francolimoso, francoarenoso	0.5-0.6
Francoarcillolimoso, francoarcilloarenoso, franco	0.4-0.5
Arcilla	0.2-0.3

Cuando hay una salinidad excesiva en el suelo (Z) es diferente de 0, no hay equilibrio entre las sales que entran y las sales que salen, por ello se hace necesario el uso de lavados de recuperación o lavados "capitales" que se calculan con la ecuación siguiente:

$$AZ = \frac{A - BZ_1}{1 + 0.5 B}$$

Ecuación de Almacenamiento
de Sales (35)

Donde:

$$Z_1 = Hc + C_{cc}$$

Z_1 = cantidad inicial de sales en el suelo

Hc = espesor de cada capa del suelo

C_{cc} = concentración salina de la solución del suelo a -
capacidad de campo

$$A = C_i (I - R + Rf) + GC_g$$

C_i = concentración de sales del agua de riego

R = necesidad de lavado

f = eficiencia de lavado

I = riego efectivo

El valor R = P - E

Donde:

P = precipitación efectiva

E = evapotranspiración

El valor I = E + R

Donde:

E = evapotranspiración

R = necesidad de lavado

$$B = \frac{Rf}{Hc}$$

Donde:

R = necesidad de lavado

f = eficiencia de lavado

Hc = espesor de cada capa del suelo

4.2.2 METODOS FISICOS

Se refiere al uso de una serie de labores culturales que tienden a mejorar las condiciones del suelo.

- a) Inversión del perfil: Consiste en enterrar la capa arable del perfil que posee características indeseables, sustituyéndolo por otro que se encuentre más profundo y posea mejores características. Este tipo de trabajos no son muy recomendables económicamente, por el equipo requerido para desplazar la capa superficial y luego reemplazarla. Sólo se tienen experiencias de esta clase en países socialistas.
- b) Arados profundos: Consisten en labores que alcanzan profundidades arriba de 40 cm sin sobrepasar los 150 cm. Son útiles en aquellos lugares donde se tienen estratos con diferente permeabilidad. El paso del arado homogeneiza el suelo. Se usan con éxito en suelos cuya superficie contiene exceso de sodio y a más profundidad existe yeso, el paso del arado acumulará el yeso en la superficie y enterrará al suelo con sodio.
- c) Subsuelos: Consiste en abrir canales con arados de subsuelo para mejorar la permeabilidad del mismo, su efecto es poco duradero, debido a que se rompe momentáneamente el subsuelo y el agua lo vuelve al estado original, a menos que se rompa una capa dura del horizonte B o una capa de CaCO_2 , puede durar más.
- d) 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 se mezcla con arena, formando una fuente natural de calcio.

4.2.3 METODOS BIOLOGICOS

Involucran acciones como, introducción de estiércoles, mejoradores orgánicos, establecimiento de vegetación tolerante y mejora de la resistencia de las plantas a la salinidad.

El empleo de sales muy solubles como abono, aumentan la concentración de 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. Puede optarse por la fertilización con abonos orgánicos, la aplicación de estiércol, o enterrar material en verde que ayudará a la recuperación de los suelos salinos. Las acciones anteriores mejoran la permeabilidad y estructura del suelo, permiten la liberación de CO_2 que aumentará la solubilidad del $CaCO_3$ bajan el pH.

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

Aparte de su 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 material vegetal al suelo, mejorando su estructura. Así mismo debido a su elevada evaporación hace descender la capa freática, disminuyendo el aporte 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 berros.

Existen algunas técnicas que aumentan la tolerancia de las plantas. No obstante, aún no llegan a constituir una práctica agrícola normal, por lo que sólo se enumeran tratamientos 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.

4.2.4 TECNICAS DE RIEGO

Este método incluye el uso de una serie de operaciones - necesarias para aplicar el agua, esto es las técnicas empleadas en los riegos cotidianos.

- a) Bordeo: construcción de camellones o bordos de tierra para evitar que el agua se pierda.
- b) Láminas parciales: aplicación de las cantidades de -- agua por etapas, recordando que el tiempo empleado para realizar el - lavado no debe impedir otras labores.

Aquí también se señalan los métodos y prácticas de riego. De los cuatro métodos de riego que son: gravedad, aspersión, goteo y subirrigación, el último debe desecharse cuando hay - problemas de sal.

El riego por gravedad presente las siguientes ventajas - sobre el de aspersión, en el caso de suelos o aguas salinas:

- a) permite lavados más enérgicos.
- b) la aplicación sobre las partes aéreas de las plantas con aguas salinas puede causarles ciertos perjuicios. Así ocurre por ejemplo en el riego por aspersión de - cítricos con aguas conteniendo cloruros, que producen quemaduras en las hojas. En cambio el riego por aspersión tiene la ventaja de proporcionár 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 los excesos de agua de riego usada que del sistema empleado en su aplicación.

V METODO QUIMICO (USO DE MEJORADORES)

Por lo que respecta a los Métodos Químicos, éstos se recomiendan para suelos sódicos, y se busca con ello introducir a la solución del suelo un exceso de cationes divalentes que actúen en el complejo de intercambio sustituyendo al sodio adsorbido .

El método se basa en la adición de sustancias y/o compuestos químicos al suelo llamados mejoradores o correctores, cuyos fines son proveer de calcio en forma soluble a los suelos con problemas de sodio y con ello neutralizar su pH., -- reaccionar con el Na_2CO_3 libre en solución y reemplazar al sodio adsorbido en las partículas de la fracción coloidal. Este propósito puede lograrse mediante la adición de sales de calcio o movilizándolo con un ácido o una sustancia formadora de ácido, el calcio presente en el suelo; ya que el calcio imparte al suelo características y propiedades físicas deseables para los cultivos, en contraposición a la impartida por el sodio, tal y como se ilustra en el cuadro 15.

Como se aprecia a mayor grado de saturación con sodio, - habrá una mayor dispersabilidad del suelo, la cual aumenta exponencialmente. Todo lo contrario puede decirse del ión Ca^{++} , - motivo por el cual es utilizado para efectuar el desplazamiento del exceso de sodio; pero el grado de dispersabilidad no disminuye en la misma proporción en que el Na es desplazado por Ca; sino hasta que el Porcentaje de Sodio Intercambiable - (PSI) alcanza valores menores al 30%, el grado de dispersión disminuye considerablemente.

Cuadro 15. EFECTO DE LA SATURACION CON SODIO Y CALCIO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA FRACCION COLOIDAL DEL SUELO. (32)

GRADO DE SATURACION CON		VOLUMEN POR GRAMO DE MATERIAL DESPUES DE IMBIBICION DE AGUA CM ³	DISPERSABILIDAD %	MIGRACION ELECTRICA SEG/VOLT/CM
Na%	Ca%			
0	100	1.0	2	1.7
5	95	2.0	3	1.9
10	90	2.0	2	1.7
20	80	2.1	13	2.9
30	70	2.3	53	3.0
40	60	3.2	88	3.3
50	50	5.1	97	3.5
75	25	6.5	99	3.5
100	0	7.1	99	3.5

63

5.1 CLASIFICACION

Existen en la actualidad varios tipos de mejoradores por lo que se hace necesario una diferenciación claramente delimitada por su naturaleza y reacción misma que, a continuación se resume.

Cuadro 16. CLASIFICACION DE MEJORADORES PARA SUELOS SODICOS

- I.- SALES CALCICAS SOLUBLES:
- i) Sulfato de Calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o yeso
 - ii) Cloruro de Calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- II.- ACIDOS Y FORMADORES DE ACIDOS:
- i) Azufre (S)
 - ii) Acido Sulfúrico (H_2SO_4)
 - iii) Sulfato de Hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y Sulfato de Aluminio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$]
 - iv) Polisulfuro de Calcio (CaS_5)
 - v) La vinaza
 - vi) La pirita (FeS_2)
- III.- COMPUESTOS CALCICOS DE BAJA SOLUBILIDAD:
- i) Caliza (CaCO_3) y Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)
 - ii) CRD-186 y CRD-189 o "Krillium"
- IV.- OTROS TIPOS DE MEJORADORES Y ACONDICIONADORES:
- ii) Carbón activado
 - iii) "El flotal"
 - iv) Yeso acidulado, escorias de carbón "Compuesto Humico H_2 " "Phesfogypsum"

5.2 ACCION DE LOS MEJORADORES

Cuando se desea mejorar un suelo sódico hay dos alternativas: la primera, agregar calcio como parte del mejorador y la segunda solubilizar el existente. Para esta segunda opción resulta de mucho interés conocer el contenido de carbonatos alcalinos y alcalinotérreos del suelo.

En general se recomienda para un suelo de bajo contenido de carbonatos alcalinos y alcalinotérreos, añadir como mejorador una sal que aporte calcio; pero si el contenido es relativamente alto 1% o más con respecto a suelo seco bien pueden -- utilizarse ácidos o compuestos del azufre formadores de ácido. Con lo cual se buscará solubilizar el calcio presente en el suelo (precipitado como CaCO_3), para que actúe en el complejo de intercambio desplazando al sodio.

En los suelos sódicos y salino-sódicos de las regiones -- áridas y semiáridas, es común que existan cantidades apreciables de calcio y/o magnesio en forma precipitada pues en esas condiciones los suelos tienen un pH alcalino (mayor de 8.5), y compuestos como el CaCO_3 , MgSO_4 y CaSO_4 , son prácticamente insolubles, por ello el calcio presente no puede actuar en el -- complejo de intercambio.

A continuación las características y la acción de los mejoradores.

I.- SALES CALCICAS SOLUBLES

i) Sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o Yeso.

El yeso es un mineral que se encuentra en forma pura en yacimientos naturales y tiene aproximadamente la siguiente com posición:

23.3	% de calcio
18.2	% de azufre
20.95	% de H_2O
37.2	% de oxígeno

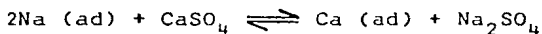
Es una sal de baja solubilidad en agua y requiere de cantidades considerables de ella, para que sea efectivo.

Una parte de yeso se disuelve aproximadamente en 1/3 parte de agua a 32°C. Bajo condiciones de laboratorio un litro de agua disuelve aproximadamente 36.0 miliequivalente de calcio - como yeso.

Se forma por decantación de una disolución de anhidrita - (CaSO_4) o por hidratación de la misma, en regiones volcánicas se forma por la acción de vapores sulfurosos sobre caliza.

Entre los compuestos de calcio es el más ampliamente utilizado en mejoramiento de los suelos, debido a su bajo costo - relativo y a la existencia de este en yacimientos naturales.

Al aplicar yeso en un suelo sódico se efectúan las siguientes reacciones:



(ad) = adsorbido

En donde el Na_2SO_4 , resultado de la reacción química debe ser expulsado de la solución del suelo por lixiviación con agua de riego.

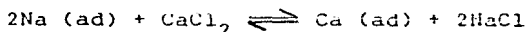
ii) Cloruro de Calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

El cloruro de calcio se obtiene como un subproducto en -- forma de salmuera en algunos procesos industriales, aunque tam bién se puede obtener de algunos arroyos y pozos naturales, -- siendo la fuente más común el obtenido en la elaboración de -- carbonato de sodio mediante procedimientos químicos. El cloruro de calcio se expende en forma de hojuelas, o en forma de -- partículas redondeadas, con diferente grado de pureza.

La solubilidad del cloruro de calcio es de 60 grs. aprox imadamente, por cada 100 cc de agua destilada a 0°C, o de 159 - grs. aproximadamente, por cada 100 cc de agua destilada a 100°C

Esta sal es tanto deliquescente como hidrosfópica y aunque no impide en forma apreciable la evaporación, sí repone en forma relativamente rápida el agua evaporada al encontrarse ésta presente en la humedad ambiental. Es una sal fácilmente lavable.

Cuando se aplica este mejorador al suelo la reacción es la siguiente:



El NaCl resultante deber ser expulsado por lixiviación. - Existen otras sales cálcicas solubles, como CaO, Ca(OH)₂, -- Ca(NO₃)₂, etc., pero son de poca utilización.

II.- ACIDOS Y FORMADORES DE ACIDOS

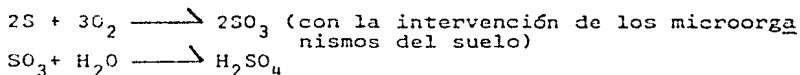
i) Azufre (S)

El azufre elemental se encuentra en estado natural en la proximidad de los manantiales de aguas termales y en los volcánes. Se encuentra también en grandes depósitos subterráneos en las costas del Golfo de México. En forma combinada, el azufre se encuentra ampliamente distribuido en minerales tales como - las piritas de hierro (FeS₂), la galena (PbS), la esfalerita - (ZnS), el cinabrio (HgS), en muchos sulfatos, en el petróleo y en el carbón.

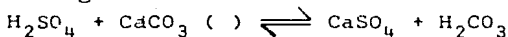
El azufre libre se extrae de sus depósitos subterráneos - mediante el proceso de Frasch, el cual es un proceso eficiente y simple. Para ello se perforan pozos hasta llegar a los depósitos de azufre. A continuación, empleando tuberías concéntricas, se introduce en el depósito vapor y aire, se funde el azufre y éste sube a la superficie.

Usualmente se utiliza en su forma elemental, con una pureza de 50 a 99%. Es un polvo amarillo insoluble en agua, no tóxico pero irritante para los ojos y vías respiratorias.

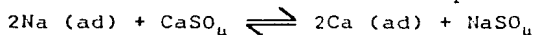
Para que pueda aplicarse azufre como mejorador a los suelos, es necesario e imprescindible que el suelo contenga al menos el 1% de CaCO_3 para que puedan efectuarse las siguientes reacciones:



El azufre elemental, es transformado en ácido sulfúrico directamente por la acción de los microorganismos por oxidación biológica. Si el suelo tiene al menos 1% de CaCO_3 sucede:

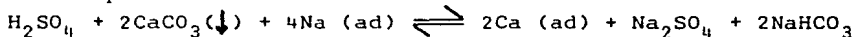


El CaSO_4 formado reacciona con el sodio y el H_2CO_3 favorece la disolución del CaCO_3 presente en el suelo y acelera la sustitución del sodio intercambiable por el calcio.



Las sales solubles de sodio que aparecen como resultado de la reacción, deben ser desplazadas de la solución por lixiviación.

La reacción del ácido sulfúrico con el carbonato de calcio se puede escribir también así:



Cuando se oxida un átomo de S hasta H_2SO_4 puede sustituir teóricamente a 4 iones de Na por el Ca.

ii) Acido Sulfúrico (H_2SO_4)

Es un fuerte agente deshidratador y un buen agente de oxidación.

Se obtiene por medio del llamado Proceso de Contacto a partir de azufre. Es líquido con una pureza aproximada de 93% es altamente corrosivo y soluble en agua.

El H_2SO_4 es otro mejorador que se ha empleado para recuperar suelos con problemas de sodicidad.

La fundamentación teórica de el uso de los ácidos inorgánicos en la rehabilitación química de los suelos sódicos se basa en lo siguiente: al reaccionar los ácidos con los carbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos de los suelos sódicos, los neutraliza; como resultado de las reacciones químicas, la solución del suelo se enriquece con las sales de Na secundarias, que durante el proceso de lixiviación deben ser eliminadas del suelo.

Los compuestos de calcio y magnesio que se formaron durante las reacciones, deben actuar y desplazar al sodio, de tal manera que los ácidos inorgánicos manifiestan ser de acuerdo a experiencias obtenidas, mejoradores de acción química muy activa.

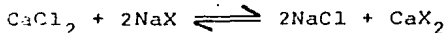
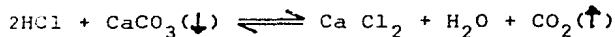
El desplazamiento del Na intercambiable del suelo por efecto del ácido sulfúrico sucede de la siguiente forma:



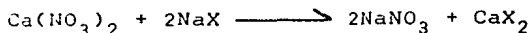
De ésta manera aunque el ácido no aporte el Ca y el Mg por si mismo, si pone en estado soluble a estos cationes al reaccionar con el CaCO_3 y MgCO_3 , desarrollando un compuesto soluble de Ca en forma de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) finalmente disperso, que actuará en el complejo de cambio desplazando al Na.



Cuando se utiliza HCl las reacciones involucradas serán:



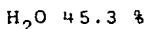
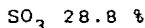
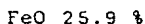
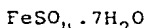
Al usar HNO_3 reaccionará de la siguiente forma:



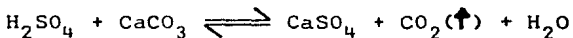
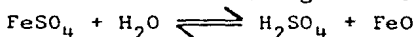
iii) Sulfato de Hierro y Aluminio

Sulfato de Hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

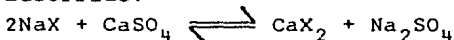
El sulfato ferroso se obtiene como un subproducto de la industria minera, es soluble en H_2O , sólido y granular, con -- alto grado de pureza y su reacción se incrementa en suelos húmedos: es fácilmente soluble en agua. Cuando reacciona forma yeso de óxido de hierro, y estos óxidos actúan como agentes -- semejantes del suelo, y fuente de hierro para las plantas. Su composición química es la siguiente:



Las reacciones correspondientes, en presencia de agua y carbonato de calcio son las siguientes:



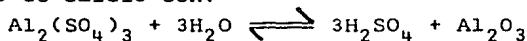
El yeso formado aporta el calcio necesario para sustituir al sodio adsorbido.



Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

El sulfato de aluminio posee propiedades semejantes a las del sulfato de hierro y sólo se diferencian en que es más efectivo en reemplazar al sodio adsorbido que el sulfato de hierro.

Las reacciones correspondientes en presencia de agua y carbonato de calcio son:

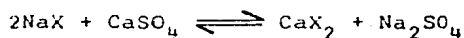
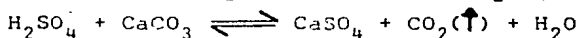
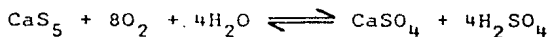


El aluminio residual tiene un efecto tóxico sobre las -- plantas, esto hace que su uso como mejorador sea inconveniente

iv) Polisulfuro de Calcio (CaS_5).

Es un líquido café de reacción fuertemente alcalina, contiene aproximadamente de 23 a 24% de S y 6% Ca, porque su composición es un tanto indefinida, tiene algo de tiosulfato de calcio. El contenido de calcio es generalmente de $\frac{1}{4}$ parte con respecto al S y la reacción del compuesto depende principalmente del contenido de S.

Al reaccionar con el agua, el azufre se precipita en forma elemental, el cual debe sufrir el proceso de oxidación por los microorganismos del suelo en condiciones anaeróbicas, para luego transformarse en sulfato de calcio y ácido sulfúrico; dichos compuestos resultantes participan directamente en el proceso de recuperación del suelo sódico, tal y como se muestra en las siguientes reacciones:



Se recomienda su aplicación junto con el agua de riego, -- pues no es corrosivo.

v) La Vinaza.

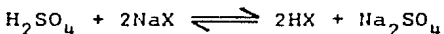
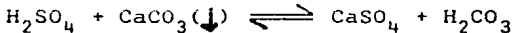
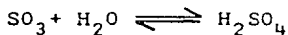
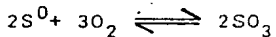
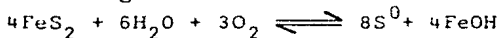
La vinaza es un residuo de la destilería del alcohol y -- tiene un valor de pH que varía de 4.5 a 5.0 motivo por el cual se utiliza en algunas regiones del mundo, para neutralizar la alcalinidad del suelo y solubilizar el CaCO_3 presente en los suelos sódicos.

vi) La Pirita (FeS_2).

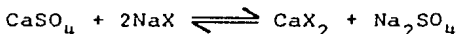
Substancia pesada de color amarillo metálico, se descompone fácilmente especialmente en atmósfera húmeda. La pirita es el mineral de sulfuros más corriente, pues se encuentra en muchos sitios. Su composición química es la siguiente:

FeS₂
 Fe 46.6 %
 S 53.4 %

Es un compuesto azufrado que tiene el mismo fin que todos los mejoradores de este grupo, y es el de formar H₂SO₄ que -- reaccione con el CaCO₃ presente en el suelo y así movilizar el Ca o reaccionar directamente con el Na adsorbido como se muestra en las siguientes reacciones:



o



III.- COMPUESTOS CALCICOS DE BAJA SOLUBILIDAD.

i) Caliza (CaCO₃) y Dolomita (CaCO₃.MgCO₃)

La caliza y la dolomita son compuestos muy semejantes, -- siendo la caliza el más comunmente utilizado, el cual se obtiene de depósitos naturales originados por deposiciones marinas. Su composición química promedio se muestra a continuación:

CaCO ₃	75.4%	MgCO ₃	16.1%
Hierro (Fe)	0.4%	Potasio (K)	0.2%
Azufre (S)	0.1%	Manganeso (Mn)	330 ppm
Fosforo (P)	210 ppm	Zinc (Zn)	31 ppm
Cobre (Cu)	2.7 ppm	Boro (B)	1.00 ppm

La caliza se identifica como CaCO₃ porque éste es el mayor constituyente.

La caliza es un compuesto muy poco soluble por lo que su uso queda restringido a dos propiedades del suelo:

- contenido de CaCO_3 del suelo
- valor del pH del suelo

Respecto a la primera propiedad, es requisito que el suelo permanezca libre de CaCO_3 para que pueda ser de utilidad la caliza como mejorador.

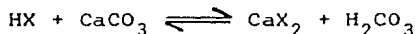
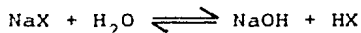
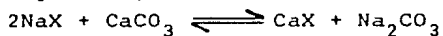
Respecto a la segunda, el uso de caliza queda determinada por el valor del pH del suelo, como se muestra a continuación en el cuadro 17.

Cuadro 17. CANTIDADES DE CaCO_3 SOLUBILIZADO A DIFERENTES VALORES DE pH. (13)

pH	me/1 de CaCO_3 SOLUBILIZADO
6.21	19.3
6.50	14.4
7.12	7.1
7.85	2.7
8.60	1.1
9.20	0.82
10.12	0.36

En los suelos sódicos generalmente existe CaCO_3 precipitado; pues como se aprecia en el cuadro anterior; a valores que varían entre la neutralidad y la alcalinidad, el CaCO_3 es muy insoluble y se precipita por lo que los suelos sódicos son muy alcalinos; por tal motivo la aplicación de caliza en tales suelos es virtualmente inútil para proporcionar su rápida recuperación.

Cuando se presentan las condiciones para su utilización - como mejorador, se efectúan las reacciones siguientes:



La Dolomita presenta las mismas características y reacciones que la caliza.

IV.- OTROS TIPOS DE MEJORADORES O ACONDICIONADORES

i) CRD-186 y CRD-189 o "Krillium".

Estos compuestos son acondicionadores del suelo, se venden a nivel comercial. El CRD-186, es un Polímero de Carboxilato de Calcio y el CRD-189, es una sal de Na, del poliacrilonitrilo hidrolizado, los cuales al ser asperjados y mezclados al suelo dan mayor estabilidad a los grumos existentes, y después mediante las labores adecuadas de cultivo, se obtiene una agregación estable del suelo que mejora su permeabilidad.

ii) Carbón Activado.

Este acondicionador no es más que un carbón al cual se le prepara para contener varios cationes sobre su superficie en rangos de 800 a 1000 me/100 gr. de material. Así por ejemplo, adiciones de carbón activado saturado con hidrógeno (C-H^+) es útil en disminuir la alcalinidad del suelo y la alcalinidad libre de la solución; el (C-Ca^{++}) ha dado muy buenos resultados en el desplazamiento del sodio adsorbido en el complejo de cambio del suelo, teniendo como ventaja sobre cualquier otro mejorador, la enorme cantidad de calcio que contiene por cada 100 gr. de material. Aunque se han hecho pruebas de laboratorio -- con excelentes resultados, este compuesto está todavía en proceso de estudio para su uso en campo. Puri (1964) citado en (2).

iii) "El Flotal"

Este compuesto es una mezcla acidificante de materia orgánica y óxidos hidratados de hierro, del cual se tienen en laboratorio resultados promisorios para su uso en suelos sódicos. Dona (1949) citado en (2).

iv) Yeso Acidulado, Escorias de Carbón, "Compuesto Húmico H₂", "Phesfogypsum".

Todos estos mejoradores bajo condiciones de laboratorio han dado buenos resultados en reducir el Na intercambiable, - disminuir el pH y aumentar la agregación e infiltración en -- suelos sódicos, faltando un mayor estudio de su efectividad - bajo condiciones de campo. Coliba (1969), Rafáelyan (1963), - Reesema (1953) citados en (2)

5.3 CRITERIOS DE ELECCION.

Para determinar qué mejorador hay que utilizar en suelos con problemas de sodio, es necesario tomar en consideración los siguientes factores:

- a) Factor Suelo.
- b) Factor Económico.
- c) Factor Tiempo (velocidad de reacción).
- d) Factor Disponibilidad.

A continuación se describen cada uno de dichos factores.

Factor Suelo.

La selección de un mejorador puede estar determinada por las condiciones que presenten los suelos que se quieren rehabilitar. Si se considera la respuesta de los suelos alcalinos a diversos tipos de mejoradores, se pueden establecer tres categorías:

- 1) Suelos que contienen carbonatos de metales alcalinotérreos.
- 2) Suelos que no contienen carbonatos de metales alcalinotérreos, con un pH mayor o igual a 7.5
- 3) Suelos libres de carbonatos de metales alcalinotérreos cuyo pH es menor a 7.5

En el cuadro 18 se agrupan los distintos mejoradores en los 3 tipos de suelos, mencionando el mejorador más conveniente para cada uno de ellos.

Cuadro 18. MEJORADORES MAS CONVENIENTES PARA CADA TIPO DE SUELO. (35)

MEJORADOR	GRUPO DE SUELOS		
	1	2	3
Sulfato de calcio (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
Sulfato de Fierro	MA	A	AR
Sulfato de aluminio	MA	A	AR
Caliza	I	PU	A

Donde:

A = Adecuado

MA = Muy adecuado

AR = Adecuado con restricciones (peligro de ácidaez)

I = Inútil

PU = Poco útil

Para los suelos del grupo (1) la aplicación de ácidos o formadores de ácidos aportarán buenos resultados. Esto debido a que esta clase de suelos contienen calcio precipitado en forma de CaCO_3 que requiere ser solubilizado, para que el calcio entre en acción y reemplaze al sodio existente. La aplicación de sales cálcicas solubles, es adecuada. Por su parte la aplicación de caliza, resulta inadecuada porque esta clase de suelos como hemos señalado, contienen CaCO_3 precipitado; la caliza en su composición química presenta CaCO_3 que también se precipitará debido a su poca solubilidad, ocasionando la alcalinidad a los suelos.

La aplicación de ácidos y formadores de ácidos para los suelos del grupo (2), solamente se utilizaría para disminuir el pH; se sugiere el uso de sales cálcicas solubles como el yeso o cloruro de calcio que aportarán directamente el Ca necesario para substituir al Na presente.

Los suelos sódicos generalmente no tienen las condiciones que presentan los suelos del grupo (3), por tanto se recomienda aplicar sales cálcicas de baja solubilidad como caliza y dolomita y sales solubles como yeso; porque los ácidos y formadores de ácidos acidificarán más el suelo innecesariamente.

Factor Económico.

Para elegir que mejorador usar, también hay que tomar en consideración el factor económico. Se estima que el costo de un mejorador está en función de la pureza y cantidad neta aportada; esto significa que el costo deberá determinarse sobre la base de calcio soluble o yeso que aporte y no sobre la base del costo comercial del mejorador por unidad de peso.

A continuación se expresa lo anterior, resumido en el cuadro 19.

Cuadro 19. CANTIDAD DE MEJORADOR REQUERIDA PARA SUMINISTRAR UNA TONELADA DE Ca SOLUBLE O DE AZUFRE. (2)

MEJORADOR	PUREZA [*]	TON. DE MEJORADOR REQUERIDAS PARA SUMINISTRAR UNA TON. DE Ca y S	
Yeso	100	4.30	5.38
Azufre	100	0.80	1.00
Cloruro de calcio	100	3.70	4.63
Caliza	100	2.50	3.13
Acido aulfúrico	95	2.60	3.06
Sulfato de hierro	100	6.95	8.69
Sulfato de aluminio	100	5.55	6.94
Polisulfuro de calcio	24	3.35	4.17

* Cuando la pureza sea diferente de la expresada en el cuadro, deberán seguirse - los pasos siguientes:

- dividir el porciento de pureza del material en el cuadro, entre la pureza real- del mejorador.

- multiplicar el cociente obtenido por el número de Ton. que indica el cuadro -- para el material escogido.

Interpretando el cuadro anterior, basta decir que para -- agregar una tonelada de Ca soluble, es necesario aplicar 4.30 Ton. de yeso ó 2.50 Ton. de caliza, 2.60 Ton. de H_2SO_4 . Por -- ello lo que deben compararse son los costos de los materiales dependiendo de sus aportaciones.

Debido a su gran solubilidad en el agua, el cloruro de -- calcio es la fuente más eficaz de calcio soluble, pero raramente se usa debido a su costo tan elevado. El ácido sulfúrico es más soluble comparado con el yeso y el azufre, además actua -- con relativa rapidez; sin embargo ocupa el tercer lugar en uso debido a su costo relativamente alto. Lo mismo sucede con los sulfatos de hierro y aluminio. Por su costo relativamente bajo el yeso y el azufre son los mejoradores más comúnmente usados.

Factor Tiempo.

La rapidez con que los diferentes materiales recuperan un suelo, es otro factor a considerar. Esto significa que independientemente de su costo comercial y en base al tiempo deseado de recuperación, se hará el balance para elegir el material -- más económico.

Volviendo al cuadro 19 se observa que para suministrar -- una tonelada de Calcio se necesitan de 4.30 Ton. de yeso o -- bien 0.80 Ton. de azufre; si el criterio de elección es económico, se recomendará el uso de azufre; pero desde el punto de vista del tiempo de recuperación el azufre no es la opción adecuada.

Debido a que el azufre debe ser oxidado primeramente por la acción microbiana hasta la forma de sulfato para que sea -- útil en la reacción, este elemento se clasifica como mejorador de acción lenta. Por ello entonces habrá que optar por el yeso que actua inmediatamente que es solubilizado.

En cuanto a la caliza que ocupa el segundo lugar en cantiti

dad requerida (vease cuadro 19), pues sólo necesitan 2.50 Ton. para suministrar 1 Ton. de Ca soluble; tampoco sería muy efectiva su aplicación en relación al tiempo de reacción. Ya que la solubilidad de la caliza en suelos súlticos está notablemente influenciada por el pH y la presencia de hidrógeno intercambiable. Aunque económicamente sería recomendable.

En un análisis económico de la aplicación de cuatro mejoradores químicos, entre los que se encontraba yeso, promesol, azurre y polisulfuro de calcio, para substituir 15, 30 y 40% de sodio intercambiable, Zolezzi (1980), concluyó que de acuerdo al análisis económico realizado, sólo el producto polisulfuro de calcio era recomendable aplicar en cualquier dosis. Por otra parte se encontró que tanto el yeso, promesol y azurre no deberían aplicarse al suelo de acuerdo al análisis económico, debido al alto costo y a grandes cantidades que hay que aplicar para beneficiar al suelo. Sin embargo, los análisis químicos del suelo indicaron que el mejorador que tuvo efectos más pronunciados en el sodio intercambiable lo fue el yeso, en todas las dosis aplicadas, y desde este punto de vista, el producto con menos acción en la sustitución de Na intercambiable fue el polisulfuro de calcio que había resultado ser el más económico.

Factor Disponibilidad.

La disponibilidad del mejorador sólo afecta cuando el mercado o lugar de abastecimiento del mejorador deseado sea tan distante, que la transportación al área afectada aumenta demasiado el costo total de la recuperación; teniendo que optar -- por comprar el mejorador que localmente se encuentre disponible.

Lo anteriormente presentado podrá servir como una guía -- para optar por el uso de algún mejorador, se entiende que habrá circunstancias en las que los cuatro criterios estarán pre

sentes en la decisión; y circunstancias donde uno de ellos -- predomine sobre los demás y sea él solo el factor de la elección. Esto lógicamente estará altamente influenciado por las condiciones muy particulares que presente en la práctica el mejoramiento de los suelos salinos y sódicos.

Enseguida se revisa la metodología de aplicación de los correctores químicos. Este problema está íntimamente relacionado con la naturaleza de cada mejorador. Se debe mencionar aquí el cómo aplicarlo, la profundidad y el fraccionamiento de la dosis por aplicar.

Existen varias formas de aplicar los mejoradores, y estas son:

- a) Aplicaciones superficiales.
 - Al voleo
 - En surcos
 - En cajetes
 - En agua de riego
- b) Aplicaciones incorporadas en la capa arable del suelo.
- c) Aplicaciones a profundidades específicas, por ejemplo, aplicaciones al horizonte sódico.

Mejoradores químicos como: yeso, cloruro de calcio, sulfato de hierro y aluminio, azufre y caliza, se aplican al voleo o con maquinaria; cuando se hace esto último se van dejando sobre la superficie en surcos o hileras y posteriormente se incorporan al suelo con discos o arado, esto también funciona para las aplicaciones al voleo.

A causa del peligro que entraña su manejo, la aplicación de ácido sulfúrico es difícil, sin embargo, ya se dispone del equipo adecuado para aplicarlo por aspersión.

El azufre debe aplicarse espolvoreado y debe hacerse una incorporación muy completa, para asegurar su rápida transforma

mación a la forma de sulfato.

El cloruro de calcio y los sulfatos de hierro y aluminio debido a su precio elevado se utilizan poco, pero cuando se usan deben aplicarse sobre la superficie, ya que siendo altamente solubles si se incorporan se diluirán mucho y no darán los efectos deseados, sólo requieren de la humedad del suelo para disolverse.

En el agua de riego pueden aplicarse el polisulfuro de calcio y el ácido sulfúrico, cuando se usa este mejorador debe preverse que no sea conducido por tuberías o canales revestidos debido a que es corrosivo. El yeso también puede ser aplicado con el agua de riego. Un método simple de hacerlo es abrir una bolsa o costal de yeso y colocarlo con la parte abierta en el dique de riego, de preferencia donde se encuentre un vertedor que cause la debida turbulencia del agua. El azufre no se aplica en agua debido a que es insoluble en ella.

Excepto cuando se usa azufre, siempre que se aplique un mejorador el suelo debe lavarse, porque los lavados disuelven y transportan hacia abajo, eliminando así las sales presentes en el suelo y las sales de sodio que se formaron como consecuencia del intercambio catiónico que tuvo lugar en el suelo. Sin embargo también se recomienda no lavar las sales de los suelos más allá de ciertos límites antes de reemplazar al sodio intercambiable de la fracción coloidal. Pues recordemos que con el exceso de sales solubles, el suelo se mantiene floculado; si las sales son eliminadas se modificarán las propiedades físicas de dicho suelo.

Todo suelo que recibe azufre no debe lavarse hasta después de un tiempo (2 ó 3 semanas), para dar oportunidad a que se oxide hasta SO_3 , pero el suelo deberá mantenerse húmedo por ser factor importante para la oxidación microbiana.

En cuanto a la profundidad, normalmente los mejoradores se aplican al suelo superficial, la aplicación a mayor profundidad puede usarse cuando la acumulación de Na intercambiable se presente únicamente en el subsuelo; o sea, en el horizonte B.

En su mayoría los experimentos concernientes a profundidad y dosificación de la cantidad requerida se han efectuado con yeso, ya que es el mejorador más usado.

En un estudio realizado para conocer la importancia que tiene la aplicación del yeso a diferentes profundidades, Chena citado por Ramírez (1982), encontró los siguientes resultados. Incorporó 37 Ton/Ha de yeso aplicado en la superficie del suelo, mezclándolo en los primeros 30 cm y mezclándolo a un espesor de 45 cm. Los resultados obtenidos indican que cuando el yeso se aplica en los primeros 30 cm, la eficiencia de éste es muy alta; mientras que cuando la aplicación se hace superficialmente la eficiencia fue prácticamente nula. El autor considera que este comportamiento deb atribuirse a los límites de solubilidad del yeso. Además recomienda que cuando se incorporan pequeñas cantidades, éstas deben aplicarse a la superficie del suelo ya que si se mezclan con él, su efecto puede ser nulo debido a la distribución heterogénea del yeso dentro del suelo.

En atención a lo anterior, Aceves (1981) afirma que cantidades mayores de 3 Ton/Ha deben mezclarse, y a mayor profundidad mayor profundidad de mezcla. Cantidades menores de 3 Ton/Ha deberán aplicarse sobre la superficie.

En lo que respecta a la dosificación, se tiene la experiencia de que aplicando el mejorador (yeso) en etapas e incorporándolo se obtuvo mayor desplazamiento de sodio, que cuando se hizo una sola aplicación. Se ha sugerido, que el total del yeso requerido no se aplique todo en una sola ocasión, sino que en dos fracciones, aplicando como mínimo el 50% de requerimiento, en cada aplicación.

Por ejemplo, si el requerimiento de yeso es = a 20 Ton/30 cm, el 50% sería igual a 10 Ton. que deben incorporarse a 15 - cm y no a 30 cm y el resto sobre la superficie. O sea, debe -- aplicarse el 50% del requerimiento de yeso con la profundidad deseada incorporándolo, y el otro 50% sobre la superficie.

Por último se debe considerar la cantidad de mejorador a usar.

Existen diversos métodos y fórmulas, creados para determinar la cantidad de mejorador por aplicar. Enseguida se hace -- mención de algunos de ellos.

Un método sencillo es utilizar valores ya calculados como los presentados en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. CANTIDADES DE MEJORADORES REQUERIDOS POR Ha/30 cm. DE PROFUNDIDAD. PARA REDUCIR EL SUELO-INTERCAMBIABLE A 10% O MENOS EN EL COMPLEJO DE INTERCAMBIO DEL SUELO. (35)

Na INTERCAMBIABLE POR DESPLAZAR EN/100 gr. DE SUE LO	TONELADAS REQUERIDAS DE LOS MEJORADORES POR Ha/30 cm DE PROFUN DIDAD ^a					
	YESO	AZUFRE	FeSO ₄ ·7H ₂ O	CaCO ₃ ^{**}	CaCl ₂ ·2H ₂ O	CaS ₅ ^{***}
1	3.350	0.620	6.415	1.950	2.865	2.600
2	6.700	1.245	10.830	3.900	5.730	5.200
3	10.000	1.870	16.245	5.850	8.595	7.800
4	13.400	2.490	21.660	7.800	11.460	10.400
5	16.750	3.115	27.075	9.750	14.325	13.000
6	20.000	3.740	32.490	11.700	17.000	15.600
7	23.450	4.360	37.905	13.650	20.055	18.200
8	26.800	4.980	43.320	15.600	22.785	20.000
9	30.200	5.600	48.735	17.550	25.785	23.400
10	33.400	6.230	54.150	19.300	28.650	26.000

^a Bajo el supuesto del 100% de pureza de los materiales

^{**} CaCO₃ requerido para reaccionar en el FeSO₄ si el suelo tiene CaCO₃

^{***} Con 23 a 24% de S y 6% de Ca.

El cuadro ilustra que para desplazar 8 meq de Na por 100 gr de suelo en una hectárea a 30 cm de profundidad, se necesitan 26.800 Ton. de yeso, 4.980 de azufre, 43,320 de FeSO_4 , -- etc., etc.

Hay que tomar en cuenta que estos datos se consideran para un 100% de pureza de los mejoradores, para que no se olvide hacer el ajuste cuando la pureza sea diferente. Por otra parte los valores de este cuadro sólo son válidos para una determinado valor de profundidad.

Otro método sencillo es el diseñado por Aceves (1979), el cual se resume en la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación (1)} \quad Y = A.N.L$$

Donde:

Y = Cantidad de mejorador en Ton./Ha.

A = Sodio intercambiable por desplazar en 100 gr de suelo.

N = Gramos de mejorador necesarios para proporcionar un miliequivalente de calcio soluble.

L = Coeficiente que depende de la densidad aparente del suelo y la profundidad a la que se quiere recuperar dichos suelo.

Los valores del coeficiente L pueden obtenerse del cuadro 21.

El autor presenta un ejemplo para ilustrar el uso de la ecuación propuesta.

Cuadro 21. VALORES DEL COEFICIENTE L. (2)

DENSIDAD APARENTE	PROFUNDIDAD DE RECUPERACION DADA EN CM.				
	0-15	0-20	0-25	0-30	0-60
1	16.5	22.5	27.5	33.0	66.0
2	18.0	24.0	30.0	36.0	72.0
3	19.5	26.0	32.5	39.0	78.0
4	21.0	28.0	35.0	42.0	82.0
5	22.5	30.0	37.5	45.0	90.0
6	24.0	32.0	40.0	48.0	96.0
7	25.5	34.0	42.0	51.0	102.0
8	27.0	36.0	46.0	54.0	108.0
9	28.5	38.0	47.0	57.0	114.0
10	30.0	40.0	50.0	60.0	120.0

Ejemplo: Se quieren desplazar 3 miliequivalentes de Na - por 100 gr de suelo, para llevar el PSI a un valor acptable - para el desarrollo de los cultivos y que la profundidad de re - cuperación deseada sea de 30 cm y la densidad aparente del -- suelo sea de 1.3 gr/cm³.

Considerando que 1 miliequivalente de Na sólo es despla - zado por 1 miliequivalente de yeso y que un miliequivalente - de yeso es igual a 0.086 gr; se procede a calcular la canti - dad de yeso requerida por hectárea.

$$A = 3 \text{ meq}/100 \text{ gr}$$

$$N = 0.086 \text{ gr de yeso}$$

$$L = 33 \text{ (de la tabla 21), entonces aplicando la ecuación 1 tenemos.}$$

$$Y = A.N.L$$

$$Y = 3 \times 0.086 \times 33$$

$$Y = 8.514 \text{ Ton./Ha}$$

El valor reportado son toneladas de yeso, requeridas por hectárea a 30 cm de profundidad. Cuando el material fuese diferente del yeso, sólo basta calcular el valor de 1 miliequi - valente del mismo para que la ecuación se aplique.

Así si fuese $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cuyo e.q. = 73.45, 1meq será -- igual a 0.07345 gr; este sería el valor de N en la ecuación.

Considerando los mismos valores de A y L del ejemplo an - terior, tendríamos lo siguiente:

$$Y = A.N.L$$

$$A = 3 \text{ me}/100 \text{ gr}$$

$$N = 0.07345 \text{ gr de CaCl}_2$$

$$L = 33 \text{ (de la tabla 14), por lo tanto}$$

$$Y = 3 \times 0.07345 \times 33$$

$$Y = 6.94155 \text{ ton/ha de CaCl}_2$$

Una tercera forma de calcular los requerimientos de mejorador es el uso de la siguiente fórmula. (4)

$$\text{Ecuación (2) Ca meq/100gr} = \frac{\text{PSI}_{(i)} - \text{PSI}_{(p)}}{100} \times \text{CIC}$$

Donde:

$\text{PSI}_{(i)}$ = Porcentaje de sodio intercambiable inicial

$\text{PSI}_{(p)}$ = Porcentaje de sodio intercambiable permisible o al que se quiere bajar.

Ejemplo: Datos supuestos.

CIC = 30 meq/100 gr

$\text{PSI}_{(i)}$ = 30% queremos bajarlo a 10%, entonces

$\text{PSI}_{(p)}$ = 10%

$$\text{Ca meq/100gr} = \frac{30 - 10}{100} \times 30$$

$$\text{Ca meq/100gr} = \frac{20}{100} \times 30$$

$$\text{Ca meq/100gr} = \frac{600}{100}$$

$$\text{Ca meq/100gr} = 6.0$$

Este dato tendrá que calcularse para una hectárea y a la profundidad de recuperación deseada.

La siguiente ecuación que resulta de modificar la anterior, puede servir para cuantificar la cantidad de yeso necesario para recuperar cierta área a una profundidad específica

$$\text{Ecuación (3) R} = \frac{\text{PSI}_{(i)} - \text{PSI}_{(p)}}{100 - 100\text{gr} \times 10} \cdot \text{CIC.A.B.Dap.86}$$

Donde:

R = yeso requerido en Ton/Ha

$\text{PSI}_{(i)}$ = porcentaje de sodio intercambiable inicial

$\text{PSI}_{(p)}$ = porcentaje de sodio intercambiable permisible

CIC = capacidad de intercambio catiónico en meq/100 gr de suelo

A = área por recuperar en (m²)

B = profundidad por recuperar en (m)

Dap = densidad aparente (gr/cm³)

Se divide entre 100 para referirla en (cm²)

1 mg = 10⁻⁹ ton = 1/10⁹ ton

86 = peso equivalente del yeso (gr)

Si se quiere utilizar esta ecuación en otro mejorador que no sea yeso, deberán revisarse las siguientes equivalencias del yeso con otros mejoradores.

Cuadro 22. EQUIVALENCIAS DE OTROS MEJORADORES CON EL YESO. (4)

MEJORADOR	EQUIVALENCIA (Ton/Ha)
YESO	1.0
Cloruro de Calcio	0.85
Caliza	0.58
Sulfato de Hierro	1.62
Sulfato de Aluminio	1.29
Azufre	0.19
Acido Sulfúrico	0.57

Supongamos que del uso de la ecuación (3) resulta que se necesitan 20.0 Ton. de yeso y se quiera utilizar azufre, entonces:

1.0 Ton. de yeso ————— 0.19 Ton. de azufre
20.0 Ton. de yeso ————— X
X = 3.8 Ton. de azufre

A juicio personal las ecuaciones (1 y 3) resultan ser -- las más completas y fáciles de utilizar para el cálculo del -- mejorador. Por un lado contemplan en sus cálculos factores de densidad del suelo y profundidad de colocación del mejorador, la ecuación (3) incluye hasta el área por recuperar, por otra parte, pueden ser aplicadas para calcular mejoradores distintos al yeso. La ecuación (1) lo hace en forma directa, mientras que la ecuación (3) aporta datos para yeso y posteriormente habrá que hacer la equivalencia entre el mejorador que se desea usar y el yeso, cosa que resultará fácil de hacer al consultar el cuadro de equivalencias (22). Por su parte la -- ecuación (2) nos permite obtener datos de la cantidad de meq de Ca que se necesitan para desplazar al Na. Es útil si es esto lo que interesa calcular. Y por último podrá optarse por -- consultar el cuadro (20) que registra cantidades de mejoradores requeridas para reducir el Na intercambiable en condiciones muy particulares, siempre y cuando las condiciones reales sean las mismas que el cuadro considera.

5.4 EFICIENCIA.

Expuesto todo lo anterior hasta este punto, tenemos una visión de cuál, cuánto y cómo aplicar un determinado mejorador. Pero no hemos hablado de su eficiencia, por ello nos vamos a referir a ésta en el presente apartado.

Cuando aplicamos un mejorador, aparte de su acción que ya conocemos de desplazar al sodio intercambiable y reducir la al calinidad, existen otros efectos benéficos para el suelo como: efectos sobre la infiltración, permeabilidad y percolación del agua del suelo; efectos sobre la disponibilidad de nutrientes para las plantas, efectos sobre la agregación y la estructura del suelo, efectos sobre la microflora del suelo entre otros. Vamos a revisar a continuación para los mejoradores más comunes, los efectos que aporta su uso y señalar por tanto su eficiencia.

ACIDO SULFURICO

El H_2SO_4 es un mejorador que se ha empleado con cierta regularidad en el mundo, ocupa el tercer lugar después del yeso y el azufre. El empleo de H_2SO_4 aporta los siguientes beneficios:

a) INCREMENTO EN LA VELOCIDAD DE INFILTRACION DEL H_2O .

Durante la acidificación de los suelos sódicos altamente dispersos, de pobre infiltración y con buen contenido de carbonatos alcalino-térreos precipitados, es liberado Ca^{++} de los $CaCO_3$, el cual sustituye al Na^+ de los sitios de intercambio favoreciendo con ello la agregación. Esto se debe fundamentalmente a que los coloides hidrofílicos se flocculan e incrementan así la infiltración.

b) REDUCCION EN EL CONTENIDO DE SODIO INTERCAMBIABLE.

El PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) es abatido en proporción considerable cuando se utiliza H_2SO_4 en los suelos

sódicos, salino-sódicos y sódicos-salinos. Este efecto está íntimamente relacionado con el anterior, pues cuando el Ca desplaza al Na del complejo de intercambio, disminuyendo con ello el PSI, las partículas del suelo se flocculan, formando agregados los cuales dejan pequeños poros o espacios por donde puede circular más fácilmente el agua. Cuando ambos efectos se logran se da el paso más importante en la recuperación de estos suelos.

c) ABATIMIENTO DE LA CANTIDAD TOTAL DE SALES SOLUBLES.

Se ha encontrado comunmente que el H_2SO_4 disminuye la cantidad total de sales solubles siempre que el ácido se aplique en soluciones diluídas o bien en forma concentrada al suelo y después se realicen lavados con agua de riego. En realidad las sales solubles se incrementan con la aplicación de ácido, pues al reaccionar éste con la soda (Na_2CO_3) y con los carbonatos alcalinos ($CaCO_3$ y $MgCO_3$) se forman sales como Na_2SO_4 , $CaHCO_3$ etc. Sin embargo, debido al mejoramiento de la permeabilidad una vez que se ha desplazado el sodio adsorbido, las sales pueden eliminarse mediante lavado del suelo. De otra forma con la estructura perturbada, el lavado es poco efectivo. Además resulta contraproducente hacerlo, pues se provoca una mayor dispersión del suelo, si el sodio intercambiable no ha sido eliminado antes.

d) REDUCCION DE LOS VALORES DE pH Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES.

El abatimiento del pH además de producir la solubilización del $CaCO_3$, trae consigo un efecto sobre el potencial redóx (aumento), lo cual favorece la disponibilidad de algunos nutrientes necesarios a los cultivos como: Ca, P, Fe, Mn, etc..

e) Los ácidos son muy solubles y actúan con relativa rapidez.

f) Sobre la disponibilidad de ácidos en el mercado, podemos decir que en el caso del H_2SO_4 existe facilidad de conseguirse en el país en grandes cantidades, a partir de algunos subproductos de explotación en las minas y en la industria del petróleo.

EFFECTOS ADVERSOS DEL EMPLEO DE H_2SO_4 .

a) Con poco lavado del suelo o escasa lluvia la aplicación de H_2SO_4 puede tener efectos adversos sobre germinación y crecimiento de los cultivos, debido al aumento en la concentración de sales solubles.

b) Los aniones cloruros y nitratos son fuertemente lavados cuando se han aplicado ácidos al suelo; ésto es desfavorable sobre todo en el caso de los nitratos.

c) Varios investigadores reportan la solubilización en cierto grado de la materia orgánica del suelo cuando se utilizan ácidos.

d) Ataca severamente las partículas del suelo.

e) Su manejo requiere un operador experimentado y un equipo especial de aplicación.

En general su uso no se ha extendido, principalmente a causa de los problemas que implica su aprovisionamiento, transporte, almacenamiento y aplicación de grandes cantidades en el campo. Además es más costoso que el yeso y azufre, aunque sus ventajas agronómicas son obvias.

YESO ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

El yeso entre los compuestos de calcio es el más ampliamente utilizado en el mejoramiento de los suelos.

VENTAJAS DEL USO DEL YESO

a) Es muy eficiente para reducir el PSI de los suelos, con lo que mejora sus propiedades físicas incrementando así la permeabilidad de los suelos.

b) Al usar yeso como mejorador se incrementa la liberación de nutrientes, entre ellos el N, P, Ca, Mg; aumenta la absorción de N, P, K, S, Ca y Mg por las mismas plantas. Todo esto se debe fundamentalmente a la reducción del pH de los suelos.

c) Es fácil de conseguir debido a su existencia en yacimientos naturales. Además se transporta, almacena y maneja sin ningún problema.

d) Tiene un costo relativamente bajo.

e) La temperatura y su finura son condiciones importantes que influyen en la rapidez de reacción de este compuesto. Para mejorar los resultados de la aplicación de yeso se recomienda que, éste esté finamente pulverizado, hasta un punto tal que - el 75% de las partículas pase por un tamíz de 100 mallas (# 100) y que tenga un grado de pureza elevado.

DESVENTAJAS DEL USO DEL YESO

a) Tiene una baja solubilidad y requiere de cantidades -- considerables de agua para solubilizarlo.

b) El yeso es muy poco efectivo en un medio alcalino, ya que su solubilidad decrece significativamente como resultado - de la formación de una película coloidal muy fina de CaCO_3 alrededor de los cristales de yeso. La presencia de iones sodio y cloro en el agua aumenta la solubilidad del yeso, en tanto - que los iones calcio y sulfato la disminuyen.

AZUFRE (S)

El azufre junto con el yeso, son los mejoradores más comúnmente usados por su bajo costo.

Para que sea eficiente como mejorador requiere de varias condiciones del suelo como:

- Un contenido al menos de 1% de CaCO_3
- Presencia de las bacterias oxidantes del S.
- Condiciones adecuadas de humedad, pH y salinidad que -- permitan el desarrollo de las poblaciones bacterianas - que oxiden al azufre (S).

Puesto que existen reacciones en el proceso de acción del S como mejorador, que dependen de la participación microbioló-

gica (para la oxidación del S), esta dependencia constituye -- una relativa desventaja para utilización del azufre en suelos muy afectados; pues las poblaciones microbiana se reducen fuertemente en condiciones de elevada salinidad y alcalinidad. Para que las bacterias Thiobasilus thoxidans oxiden el S, se requiere que esté finamente pulverizado y se mezcle en el suelo, bajo estas condiciones, la reacción se acelera y se logra la -- oxidación con mayor rapidez y efectividad. Investigaciones demuestran que el azufre aplicado a razón de 2.4 Ton/Ha sufre su oxidación completa en 2 ó 3 semanas en suelos livianos con buena aereación y drenaje, y en suelos pesados con pobre aereación y drenaje tarda hasta más de un año. Bajo buenas condiciones de humedad tarda de 4 a 6 semanas.

Otra desventaja es su poca solubilidad máxima a un pH alcalino, de tal modo que para solubilizar y lograr que actue requiere una gran cantidad de agua, la cual no está disponible -- en las zonas afectadas del país.

Para aumentar la eficiencia del azufre se recomienda que la aplicación se haga en verano, cuando la temperatura es elevada y favorable, debe mantenerse el suelo húmedo durante este -- período pues el agua es requerida para formar H_2SO_4 y para -- crear una humedad favorable a los microorganismos.

CLORURO DE CALCIO ($CaCl_2$)

El cloruro de calcio, normalmente se ha observado que es mucho más efectivo que el yeso, ya que el $CaCl_2$ desplaza más -- sodio que el yeso a igualdad de concentraciones y tiempo de -- reacción. En un experimento de laboratorio practicado por Mo -- zheiko (1969) citado en (2), se aplicaron yeso y cloruro de -- calcio por un periodo de 72 horas; el $CaCl_2$ desplazó el 56.7% de sodio adsorbido y el yeso sólo 45%. Otro experimento mostró la rapidez del efecto recuperador del $CaCl_2$, el cual recuperó un suelo sódico en sólo 3 días, mientras que el yeso tardó mu-

chísimos más tiempo en obtener un resultado similar. Mozheiko - (1960), Branson (1960) citados en (2). Sin embargo su uso está limitado, debido a su alto costo.

Cuando se empiezan a hacer notorios los problemas de sodidad en suelos con cultivos en pie, debe tenerse cuidado con el uso de concentraciones elevadas de CaCl_2 , ya que los cloruros podrían afectar a las plantas.

A continuación se mencionan algunos experimentos relacionados con la eficiencia de los mejoradores.

En un estudio realizado por Caraveo (1984), donde cuantifica los efectos de la aplicación de H_2SO_4 en varias concentraciones a un suelo salino-sódico, se obtienen los siguientes resultados:

a) El empleo del ácido sulfúrico propició la solubilización de los carbonatos presentes en el suelo, dicha solubilización aumentaba a medida que aumentaba la concentración del ácido, esto se notó más en los primeros 10 cm del perfil del suelo.

Cuando se aplicó una solución ácida al 5% los carbonatos alcalino-térreos fueron completamente neutralizados en los primeros 10 cm del perfil, una mayor cantidad de ácido estuvo en contacto con el suelo. Mientras que en los estratos inferiores (60-80 y 80-100) el ácido a las diferentes concentraciones tuvo poco efecto; el autor lo atribuye a la siguiente razón: conforme las soluciones ácidas atravesaron los diferentes estra-tos del perfil del suelo redujeron su acidez, y con ello su efecto sobre los carbonatos alcalino-térreos (totales). Ver figura (1).

b) La distribución de calcio y magnesio soluble fué más notable en los estratos superiores, presentándose un mayor contenido de Mg que de Ca; presumiblemente porque los carbonatos totales solubilizados fueron principalmente los MgCO_3 . Lo anterior puede obersrvarse en la figura (2).

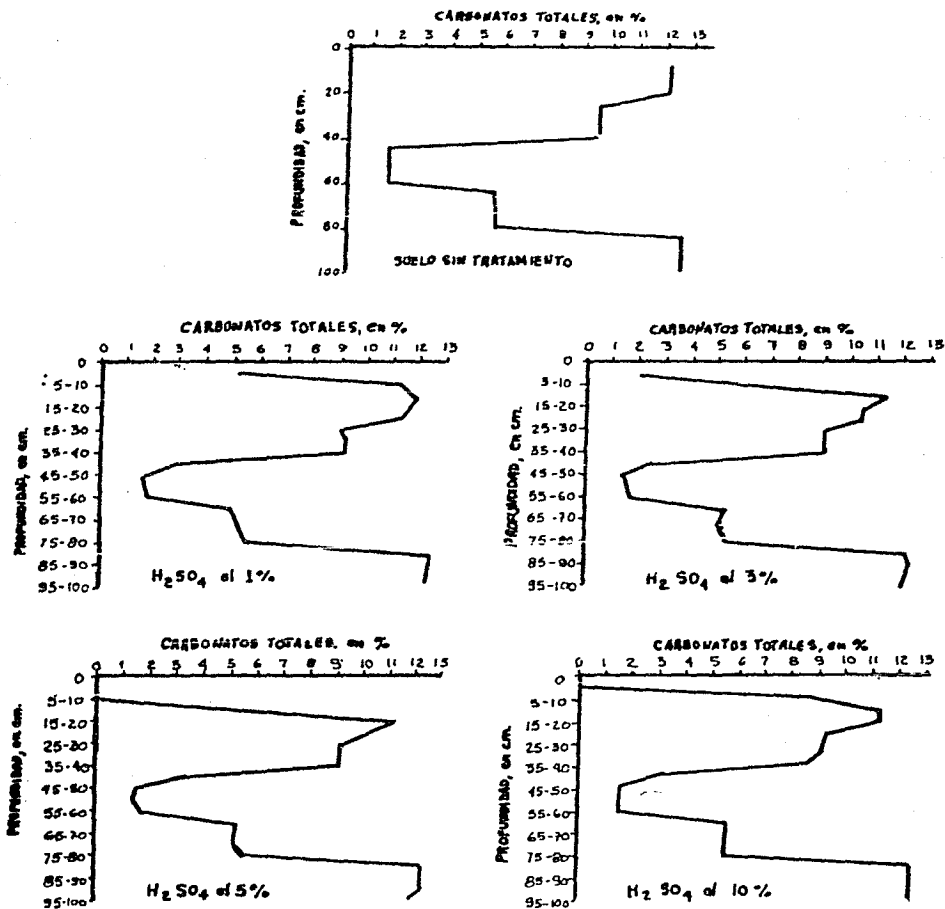


Fig. 1. Perfiles de las reservas promedio de los carbonatos alcalino-térreos, antes y después de aplicación de diferentes concentraciones de H_2SO_4 , 1, 3, 5 y 10% (p/v). (7)

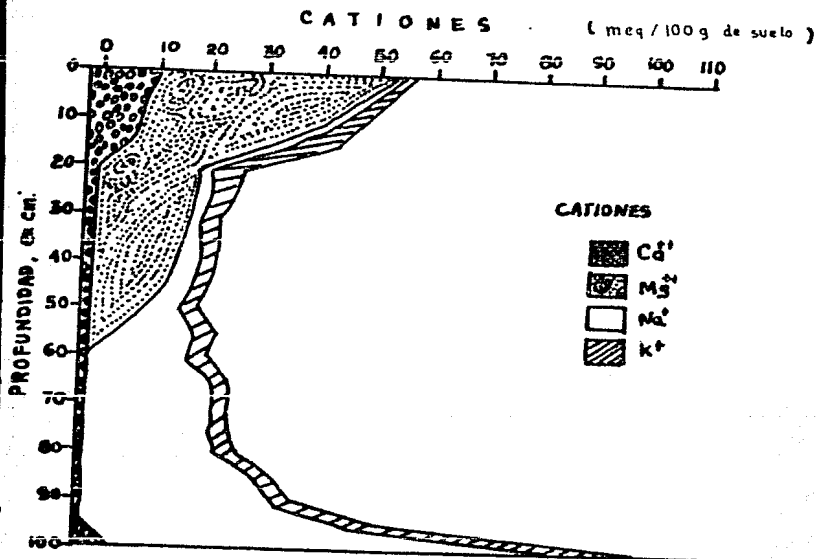


Fig. 2. Perfil de sales solubles promedio, después de saturar el suelo con una solución de H_2SO_4 al 5% (p/v). (7)

c) Hubo desplazamiento del sodio intercambiable por Mg y Ca y fué mayor en los estratos superficiales del suelo estudiado y bajo una concentración de H_2SO_4 al 5%.

En general se expone que es el calcio el que posee una mayor capacidad para desplazar al sodio, cuando aumenta su contenido debido a la solubilización de los carbonatos de calcio, sin embargo en este caso se mostró como el ión intercambiable predominante fue el Mg al concurrir este a los sitios de intercambio debido a su mayor concentración. Ver figuras (3, 4 y 5).

El Mg intercambiable alcanzó valores hasta de 90% en los 20 cm superficiales, lo que indica una alta saturación del complejo de intercambio con este cation. Esto sucedió con el tratamiento del H_2SO_4 al 5% el cual produjo un desplazamiento casi completo del Na^+ y K^+ y Ca^{++} en los 60 cm superficiales.

d) Se registró un incremento en la disponibilidad de nutrientes asimilables como P, Fe, Cu, Zn y Mn, bajo todos los tratamientos que saturaron el suelo completamente. Ver cuadro (23).

Poonia and Bhumbra (1974) estudiaron el efecto de la aplicación de 3 mejoradores como H_2SO_4 , HCl y $Al_2(SO_4)_3$, para liberar el Ca presente en el $CaCO_3$ nativo del suelo y en el rendimiento y composición química de la Daincha (Sesbania aculeata pers), en un suelo sódico, con los siguientes resultados.

a) La aplicación de los tres mejoradores causó un incremento en el rendimiento de materia seca de la Daincha, el grado de rendimiento observado fue mayor con la aplicación de HCl, en segundo término estuvo el tratamiento con H_2SO_4 , mientras que el $Al_2(SO_4)_3$ dió bajos rendimientos. Ver cuadro (24).

b) El contenido de Ca en la planta también tuvo incrementos significativos con estos mejoradores. Fue en orden decreciente: H_2SO_4 , $Al_2(SO_4)_3$ y HCl. El P contenido en la planta -

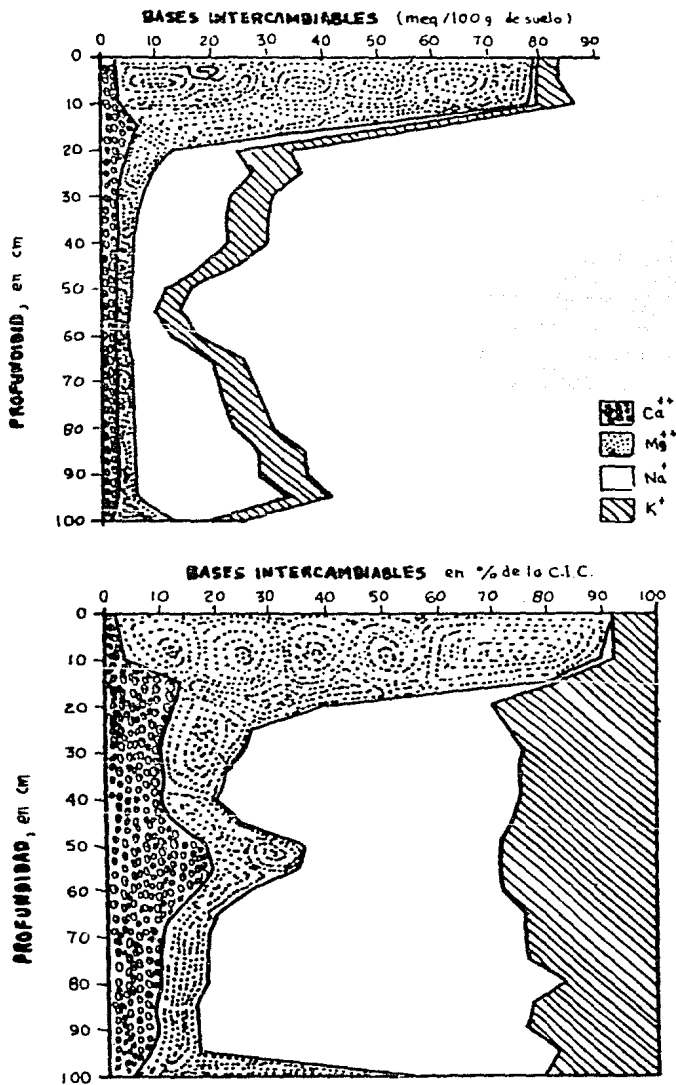


Fig. 3. Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 g y porcentaje, después de saturar el suelo con H_2SO_4 al 1% (p/v). (7)

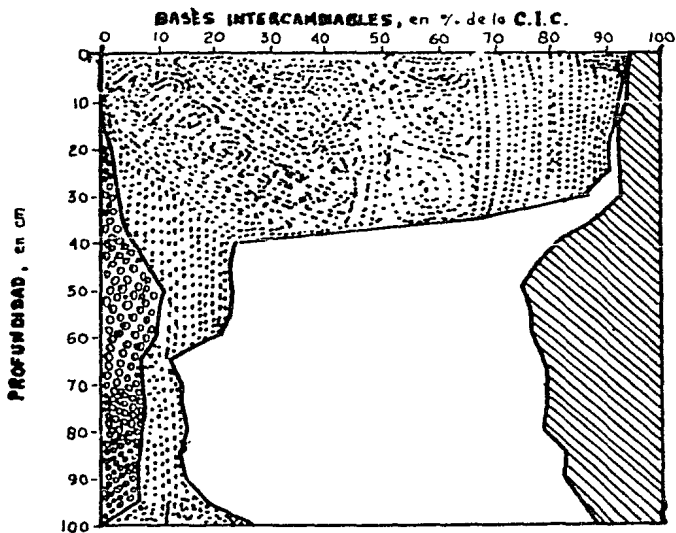
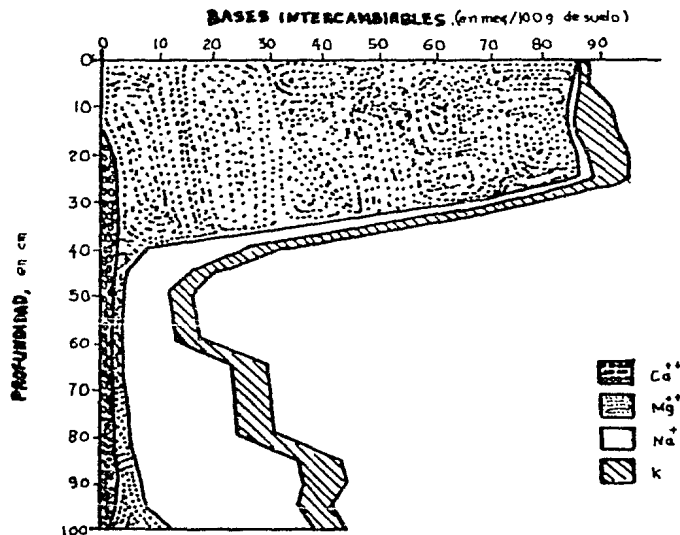


Fig. 4. Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 g y porcentaje, después de saturar el suelo con H_2SO_4 al 3% (p/v). (7)

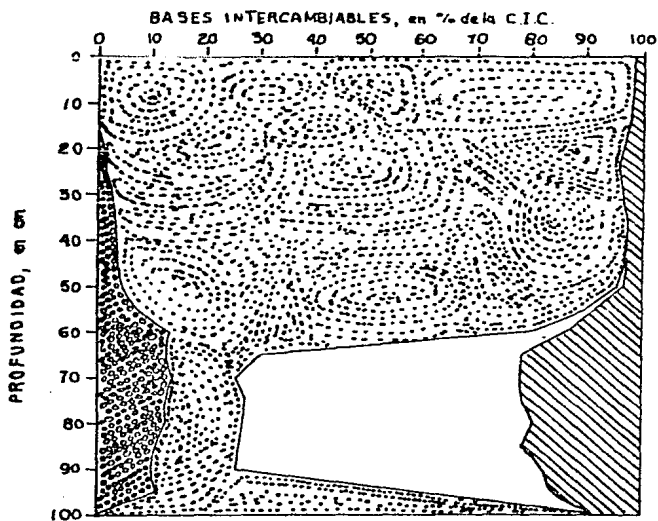
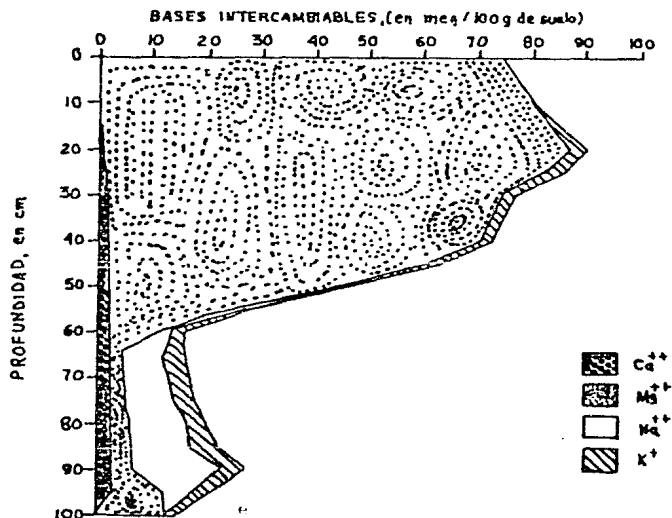


Fig. 5. Perfiles de bases intercambiables promedio en meq/100 g y porcentaje, después de saturar el suelo con H_2SO_4 al 5% (p/v). (7)

Cuadro 23. EFECTO DE LA APLICACION DE H₂SO₄ AL SUELO SOBRE EL CONTENIDO PROMEDIO POR ESTRATO DE P, Fe, Cu, Zn y Mn SOLUBLES (p.p.m.). (7)

PROFUNDIDAD	NUTRIENTE	CONCENTRACION DEL H ₂ SO ₄				
		0	1%	3%	5%	10%
0 - 20	P	459	768	573	1067	2228
20 - 40		442	704	533	546	391
40 - 60		333	604	482	544	333
60 - 80		378	772	537	589	378
80 - 100		387	895	583	597	387
0 - 20	Fe	0.081	0.087	1.735	5.098	15.349
20 - 40		0.076	0.392	0.064	0.069	0.117
40 - 60		2.572	2.597	1.510	0.090	2.572
60 - 80		1.426	1.694	0.430	0.183	1.426
80 - 100		0.105	0.258	0.110	0.097	0.105
0 - 20	Cu	0.002	0.007	0.006	0.003	0.207
20 - 40		0.003	0.017	0.004	0.004	0.004
40 - 60		0.003	0.014	0.004	0.004	0.003
60 - 80		0.003	0.009	0.005	0.004	0.003
80 - 100		0.004	0.010	0.005	0.003	0.004
0 - 20	Zn	0.040	0.028	0.090	1.096	1.146
20 - 40		0.023	0.030	0.027	0.025	0.029
40 - 60		0.025	0.037	0.043	0.030	0.025
60 - 80		0.024	0.033	0.035	0.025	0.024
80 - 100		0.024	0.044	0.049	0.031	0.024
0 - 20	Mn	0.049	0.114	0.929	2.046	1.134
20 - 40		0.032	0.060	0.057	0.151	0.072
40 - 60		0.063	0.079	0.057	0.089	0.063
60 - 80		0.047	0.077	0.047	0.025	0.047
80 - 100		0.048	0.076	0.056	0.077	0.048

Cuadro 24. EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE H_2SO_4 , HCL y $Al_2(SO_4)_3$ EN EL RENDIMIENTO Y COMPOSICION QUIMICA DE LA DAINCHA. (36)

TRATAMIENTO (me/100 g)	MATERIA SECA (gr)	Ca Mg Na K				N P		Ca:Na	Ca + Mg	
		(me/100gr)				%			Na + K	
Testigo	1.57	62.0	31.3	94.0	67.0	3.10	0.133	0.66	0.57	
H_2SO_4										
2	5.55	86.4	51.5	42.0	98.7	2.93	0.147	2.06	0.98	
4	6.60	90.4	58.7	41.3	92.0	2.72	0.129	2.19	1.12	
6	7.59	97.5	60.3	29.0	75.3	2.72	0.198	3.36	1.51	
8	6.53	100.9	59.5	30.7	80.0	2.70	0.207	3.29	1.45	
HCl										
2	5.57	77.6	58.7	59.0	85.3	2.82	0.146	1.37	0.94	
4	7.71	78.5	58.9	49.3	82.3	2.82	0.142	1.59	1.04	
6	9.10	76.9	54.9	52.0	92.7	2.80	0.169	1.48	0.91	
8	8.58	74.0	68.8	53.3	89.0	2.87	0.207	1.39	1.00	
$Al_2(SO_4)_3$										
2	5.04	69.1	32.9	69.7	72.0	2.53	0.060	0.99	0.72	
4	5.50	82.3	30.5	59.3	60.0	2.33	0.055	1.39	0.95	
6	5.04	96.3	26.0	53.5	54.0	2.35	0.088	1.80	1.14	
8	3.80	100.8	28.5	57.5	69.3	2.40	0.041	1.75	1.02	
C.D. (5%)	0.57	5.6	3.6	3.8	5.8	0.11	0.020	-	-	

se incrementó con el HCl y el H_2SO_4 y decreció con el $Al_2(SO_4)_3$ por su parte el N y el Na contenidos decrecieron con la adición de los 3 mejoradores. Ver cuadro (24).

c) El Ca liberado del $CaCO_3$ nativo del suelo, se incrementó significativamente con la aplicación de los 3 agentes solubilizadores fig (6), los mejores resultados fueron con el H_2SO_4 y el HCl en comparación con el tratamiento de $Al_2(SO_4)_3$.

El ácido sulfúrico debido a su rápida reacción es en la mayoría de las veces mejor que el yeso, para disminuir y neutralizar la alcalinidad libre, ya que al penetrar descompone los carbonatos de calcio y magnesio formando sulfatos ($MgSO_4$ y $CaSO_4$), los cuales en ausencia del Na_2CO_3 desplazan al sodio adsorbido.

Otras veces el yeso es mejor para disminuir el PSI del suelo, pues como se dijo, el H_2SO_4 reacciona inmediatamente con los carbonatos, lo que no le permite profundizar y desplazar -- completamente al Na, en lo que ha profundidad de recuperación -- se refiere.

Yahia et al. (1975) and Pracher et al. (1978) citados en Loveday (1984), en un estudio sobre columnas de suelo encontraron que el H_2SO_4 , fue más efectivo que el yeso para incrementar la penetración del agua en suelos sódicos. Se observó que la tasa de penetración del agua se incrementaba conforme se aumentaba la cantidad de ácido aplicada. Más tarde se encontró que el tratamiento de H_2SO_4 removió, más grandes cantidades de Na intercambiable que el yeso. Presumiblemente, esto ocurrió porque el ácido fluyó más rápido dentro de la columna de suelo, permitiendo el intercambio por lixiviación del Na a grandes profundidades. Ver figura (7).

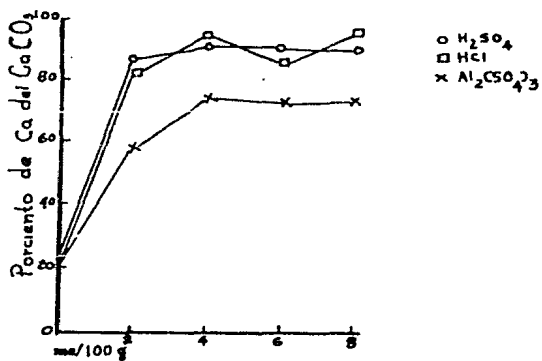
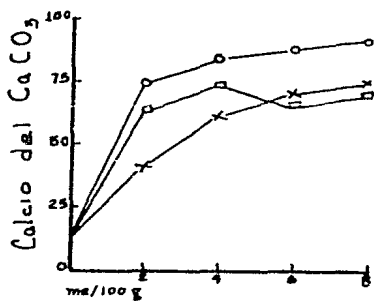
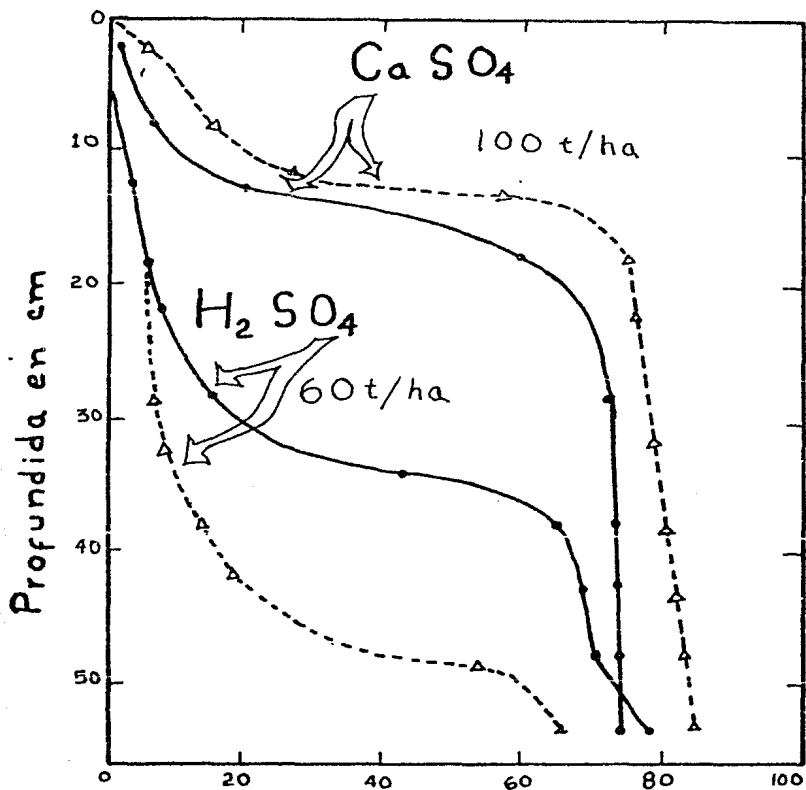


Fig. 6. Relación entre niveles de mejoramiento y porcentaje de calcio liberado con la aplicación de H₂SO₄, HCl y Al₂(SO₄)₃. (36)

Fig. 7. Porcentaje de H_a intercambiable en columnas de dos suelos tratados con yeso y H_2SO_4 . (12)



	—●—	- - -△- - -
	Arlington	Waukena
Arcilla %	13	41
E. S. P.	72	75
CaCO_3 %	0.5	0.8

Montaño (1982) evaluó la aplicación de tres yesos agrícolas y el yeso puro, bajo dos formas de aplicación (incorporado al suelo y solubilizado en agua) para mejorar un suelo sódico y obtuvo los siguientes resultados:

a) Fue más eficiente la aplicación de los yesos agrícolas incorporados directamente al suelo y no en forma solubilizada, esto por la mayor eficiencia observada en el desplazamiento del sodio intercambiable, así como en la neutralización de compuestos de reacción alcalina.

b) Comparando las curvas de desplazamiento del calcio intercambiable en el perfil de los suelos tratados con los cuatro yesos, ver figura (8), el yeso puro fue eficiente o sea que dejó más Ca intercambiable en el perfil del suelo, seguido del yeso de Durango, luego el yeso de Michoacán y finalmente el yeso de Carrizo, a pesar que para este último, en la primera capa, se tuvo el Ca intercambiable más alto con relación a los demás yesos.

c) El Na intercambiable en el perfil de los suelos tratados con los diferentes yesos (agrícolas y testigo) no presenta grandes diferencias, a pesar de que en ciertos puntos, el suelo tratado con yeso puro tuvo mayores cantidades de este elemento en forma intercambiable, pero en promedio, todos los valores de sodio adsorbido se mantuvieron casi constantes en el perfil del suelo; el autor explica que esto pudo deberse a la aplicación homogénea del yeso en todo el perfil del suelo y a que las reacciones de intercambio catiónico se producen en forma eficiente. Sin embargo, los porcentajes de sodio intercambiable en cada punto del perfil son diferentes, debido a la variabilidad en cantidad de los otros cationes adsorbidos como calcio, magnesio y potasio intercambiable. Ver figura (9).

d) El uso de yesos agrícolas solubilizados en agua, se recomienda para mejorar la calidad de aguas para riego.

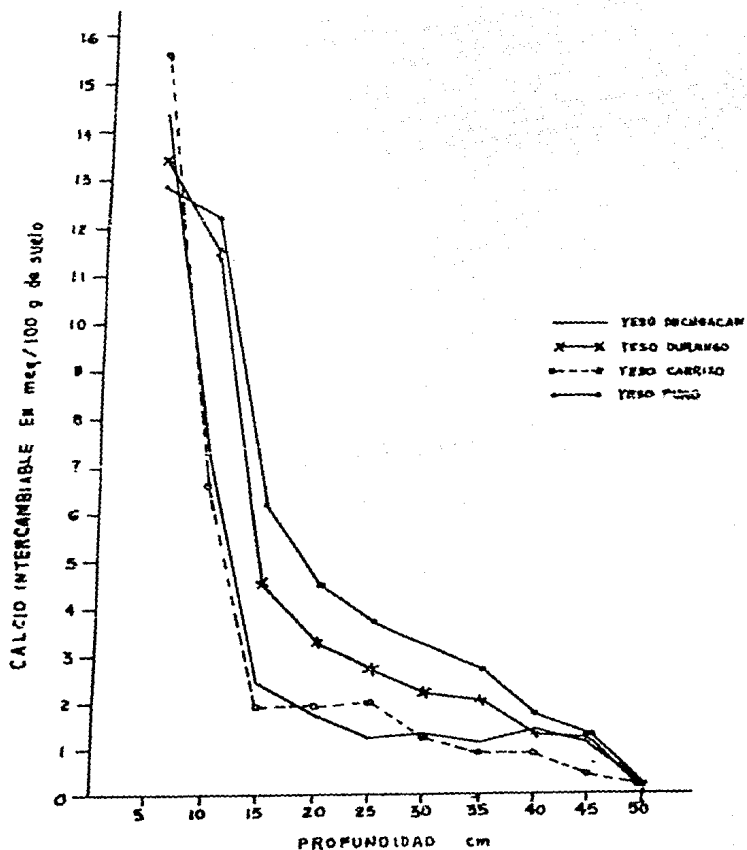


Fig. 8. Calcio intercambiable en el perfil del suelo, después de ser incorporados cuatro yesos y sometido a lavado con agua destilada. (31)

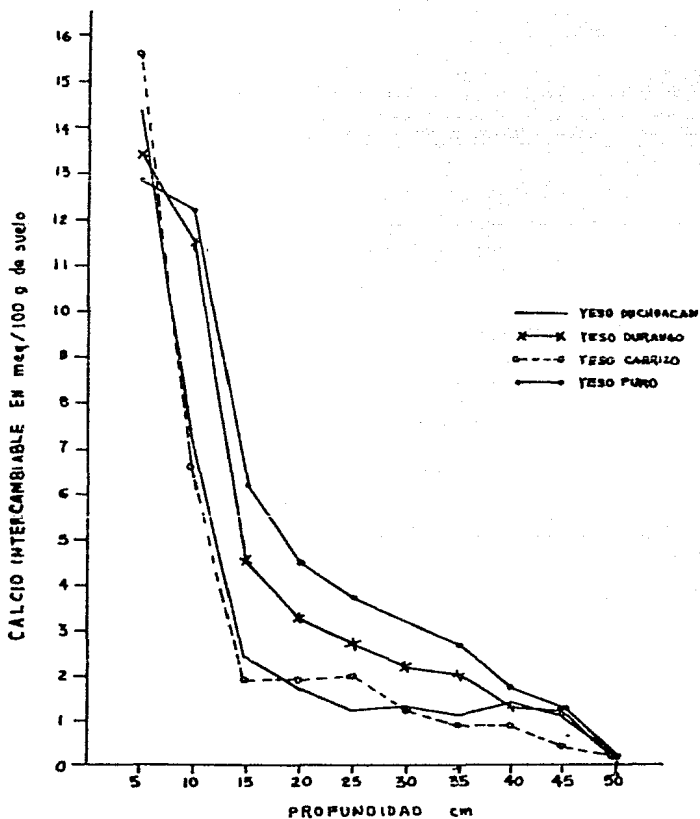


Fig. 8. Calcio intercambiable en el perfil del suelo, después de ser incorporados cuatro yesos y sometido a lavado con agua destilada. (31)

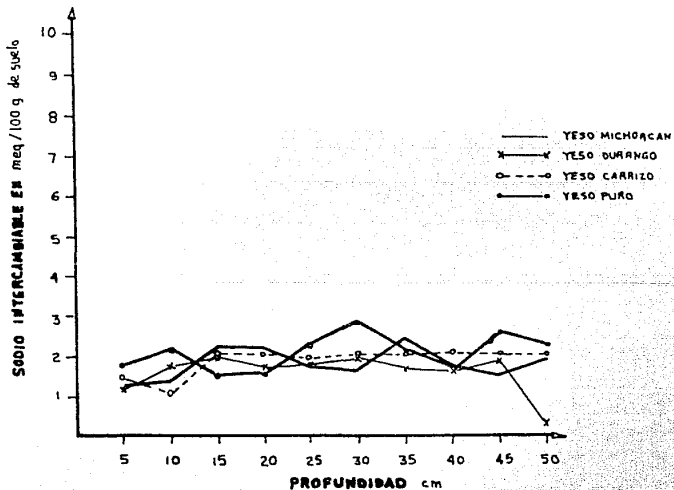


Fig. 9. Sodio intercambiable en el perfil del suelo, después de ser incorporados cuatro yesos y sometido a lavado con agua destilada. (31)

Hay mejores resultados cuando se hace la combinación de ácido sulfúrico y yeso que cuando actúan por separado. Así -- por ejemplo, en un experimento de laboratorio en columnas de suelo, se evaluó su efectividad notándose la ventaja del yeso más el ácido sulfúrico respecto al costo del yeso sólo. Se usaron los siguientes tratamientos: a) yeso más ácido sulfúrico y b) yeso. (10)

Es notable que el H_2SO_4 abrió inmediatamente el suelo al movimiento descendente del agua, permitiendo que el yeso de las secciones superiores se pusiera en contacto con un volumen mayor de solución de agua, resultando a la vez un volumen mayor de solución de yeso presente en cada una de las secciones superiores del tubo o columna. Ver cuadro (25).

Este doble efecto causó una remoción más rápida de Na^+ -- tanto en las columnas de 45 cm, como en las de 15 cm del tratamiento ácido más yeso, que yeso sólo.

Cuadro 25. EFECTIVIDAD DE DOS TRATAMIENTOS CON MEJORADORES EN LA REMOCION DE Na^+ Y EL MEJORAMIENTO DE LA PERMEABILIDAD DE UN SUELO SODICO-SALINO A DIFERENTES PROFUNDIDADES. (10)

TRATAMIENTOS	SECCION DE LAS COLUMNAS (cm)	VOL. TOTAL PERCOLADO (cm^3)	DIAS PARA OBTENERLO	SODIO TOTAL REMOVIDO (me)
H_2SO_4 + Yeso	0-15	1700	81.3	113.8
Yeso	0-15	300	157.0	130.7
H_2SO_4 + Yeso	15-30	1000	89.2	180.3
Yeso	15-30	900	164.0	169.2
H_2SO_4 + Yeso	30-45	600	91.0	156.3
Yeso	30-45	700	169.0	207.5

Nuevos resultados los obtuvieron Shainberg et al, en 1982 cuando experimentaron la respuesta en la CE de 3 suelos sódicos de Israel, a los cuales se les aplicó cantidades equivalentes - de yeso y CaCl_2 . Encontraron que la eficiencia de los dos mejoradores para reemplazar el Na^+ intercambiable fue similar, tal y como la muestra el cuadro (26).

Cuadro 26. EFICIENCIA EN EL REEMPLAZO DEL Na^+ INTERCAMBIABLE. (20)

SUELO	EFICIENCIA $\frac{\text{meq Na}^+ \text{ reemplazado}}{\text{meq Ca}^{+2} \text{ agregado}}$			PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE REEMPLAZABLE		
	2.32	4.64	9.28	2.32	4.64	9.28
			meq Ca^{+2} agregado			
Gálan	1.065	0.88	0.63	31.6	52.2	74.4
Netanya	1.40	1.00	0.72	46.0	68.6	91.4
Nahal Oz	1.50	1.09	0.71	49.3	72.0	93.9

Resultados similares fueron obtenidos para ambos mejoradores CaCl_2 y Yeso.

También encontraron que la alta conductividad hidráulica - fue mantenida con el tratamiento de yeso. El experimento de Mc. Intyre et al (1982) citado en Loveday (1984) reafirma lo antes señalado. Estos autores trabajaron con un suelo arcilloso sódico, en su trabajo encontraron que sin yeso se infiltraron 292 - mm en 379 días a través del perfil del suelo de 2.1 m; con yeso a 10 ton/ha, se infiltraron 605 mm en 145 días. Los resultados de este experimento demostraron claramente que la aplicación -- del yeso mejoró la conductividad hidráulica de los suelos.

Buscando nuevos resultados Talati, citado en (2), experimentó el uso del yeso más un abono verde la Daincha (Sesbania aculeata pers) en un suelo sódico. Se encontró que a cada incremento progresivo de yeso le correspondió uno en la cosecha en el cultivo del arroz, obteniéndose los siguientes resultados.

Cuadro 27. EFECTOS DE APLICACION DE YESO Y/O DAINCHA (Sesbania aculeata pers) SOBRE LA COSECHA DE ARRÓZ EN UN SUELO SÓDICO. (2)

TRATAMIENTOS	COSECHA DE ARROZ COMO GRANO (1b/acre)
Testigo	404
Daincha	553
Yeso	794
Yeso + Daincha	1103

Los resultados anteriores muestran que la combinación de yeso más abono verde fue más efectiva, que la acción por separado de cada uno de ellos.

Becerra (1983) realiza una investigación con un suelo salino-sódico del Ex-lago de Texcoco, al cual aplica azufre como mejorador, de su estudio se derivan los siguientes resultados:

a) Los resultados del análisis del suelo para el muestreo inicial realizado 2 días antes de la aplicación del azufre indicaron los siguientes niveles promedios de afectación sodica a 0-100 cm de profundidad

- Concentración de sodio soluble 241.99 meq/1t
- Proporción de Na⁺ en los cationes solubles 93%

- Relación de adsorción de sodio (RAS) 283.81

Con la aplicación del mejorador y los lavados los análisis del suelo, indicaron que en promedio los tratamientos redujeron la concentración de sodio soluble en un 66% y la RAS en un 80% para la profundidad de 0 a 100cm.

b) Las concentraciones medias de Ca^{+2} y Mg^{+2} antes de aplicar los tratamientos eran: 1.15 me/1t para Ca^{+2} y 1.55 me/1t para Mg^{+2} a la profundidad de 0-20, concentraciones que representaban en conjunto el 2.3% de los cationes solubles. El cuadro (28) nos muestra los resultados de la acción del mejorador para liberar Ca^{+2} y Mg^{+2} .

Se observa que al concluir los lavados y la acción del mejorador, a la misma profundidad se registra 12.98 me/1t y 7.69 me/1t de Ca y Mg respectivamente en el tratamiento con 10 ton/ha.

c) El rendimiento de cebada, trigo y pasto ryegrass manifestó una respuesta altamente significativa a la adición del -- azufre, caracterizándose por un notable incremento de la producción en forraje y grano.

En relación al tiempo de recuperación, el yeso ha demostrado ser más eficiente que el S, pues es más activo y más rápido y efectivo para neutralizar los CO_3 y HCO_3 , aunque en general el azufre sea en ocasiones superior en reducir el pH. Otras veces los resultados son iguales y en otras el azufre no produce ningún efecto, ni a largo plazo, debido a oxidación insuficiente y a veces inclusive causa efectos nocivos sobre la flora del suelo.

Para concluir podemos afirmar que el yeso es el mejorador más comunmente empleado porque llena casi todos los requisitos deseados, le sigue en orden de importancia el azufre y luego el H_2SO_4 .

Cuadro 28. CONCENTRACION PROMEDIO FINAL DE CALCIO Y MAGNESIO SOLUBLES, RCS Y RMS A LA PROFUNDIDAD DE 0-20 CM EN RELACION CON EL FACTOR DOSIS - DE AZUFRE. (6)

D (ton/ha)	CALCIO (meq/1t)	% DE IN- CREMTO	RCS	MAGNESIO (meq/1t)	% DE IN- CREMTO	RMS
0.000	0.64	-44.83	0.020	1.34	-21.00	0.040
3.33	1.56	34.48	0.23	2.63	69.68	0.040
6.66	5.91	409.48	0.57	5.34	244.54	0.052
10.00	12.98	1018.96	0.98	7.69	396.13	0.058
- X	5.27	354.31	0.050	4.25	174.19	0.048

VI. METODOLOGIA PARA LA RECUPERACION

En este apartado vamos a referirnos a la secuencia de acciones que deberán realizarse, para llevar a efecto los trabajos de recuperación.

Los estudios de salinidad y sodicidad, tienen como fin caracterizar cualitativa y cuantitativamente las concentraciones de sales solubles en las capas de suelo que constituyen la zona de desarrollo de los cultivos, así como su distribución en el espacio y eventualmente en el tiempo.

A continuación se enumeran las actividades a realizar:

- 1.- DIAGNOSTICAR EL PROBLEMA
- 2.- ELABORACION DEL PROGRAMA DE TRABAJO
 - a) TRABAJO DE CAMPO
 - b) TRABAJO DE LABORATORIO
- 3.- METODOLOGIA DE RECUPERACION
 - a) DE UN SUELO SALINO
 - b) DE UN SUELO SODICO

DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

Esto se refiere a la búsqueda de las causas que están originando el problema. Lo anterior se logra mediante la observación directa de la zona, pláticas con los agricultores, consulta de trabajos anteriores del lugar y obtención de datos de apoyo. Para la obtención de la información de apoyo, deberá consultarse el Plano Topográfico de la zona, ésta consulta permite delimitar áreas homogéneas, para establecer un sólo método de riego; el microrelieve indicará la posibilidad de encontrar áreas de acumulación de sales solubles cuando se tenga la ocurrencia de mantos freáticos someros, filtraciones de canales o flujo de agua de tierras más elevadas. El Plano de Serie de Suelos ayudará a la descripción del perfil del suelo, para inferir problemas de salinidad y drenaje. El estudio del drenaje

je llevará a establecer la posición y las fluctuaciones en el tiempo del nivel freático, a determinar las fuentes de las - aportaciones y la magnitud de las áreas afectadas por diferentes niveles del manto freático. Los Planos de la Red de Dis - tribución y el Plano de Drenes, marcarán las zonas que potencialmente corren el riesgo de recibir aportaciones de sales - solubles a través de filtraciones. (41)

El origen de un suelo salino puede ser un manto freático elevado, deberá hacerse un estudio detallado del área por recuperar y áreas circunvecinas, antes de recomendar regular el nivel freático mediante el drenaje artificial, ya que resulta muy costoso. Otras veces el origen puede ser depósitos que se han hecho como resultado de extracción de agua subterránea - contaminada. Para ésto habrá que tomar precaución con los sigu temas de riego.

ELABORACION DEL PROGRAMA DE TRABAJO

a) TRABAJO DE CAMPO:

Incluye principalmente el muestreo de suelos, por alguno o algunos de los métodos conocidos y el muestreo del agua de riego.

b) TRABAJO DE LABORATORIO:

Se refiere al análisis del suelo y agua para cuantificar el problema de salinidad y sodicidad. Se hacen determinaciones físicas y químicas de los suelos.

Determinaciones Físicas.

1.- Densidad Aparente (D.A.) y Densidad Real (D.R.), datos usados para calcular la porosidad del suelo, valor que -- servirá en el cálculo del majorador.

2.- Humedad y Capacidad de Campo, se emplean en el cálculo de los lavados.

3.- Textura, dato utilizado para calcular la eficiencia de los lavados que está en función de la textura de los suelos.

Determinaciones Químicas.

1.- Cationes adsorbidos en el complejo de cambio. La cantidad de calcio, magnesio, potasio y sodio adsorbidos, permiten calcular el (PSI) Porcentaje de Sodio Intercambiable, valor que permite clasificar a los suelos sódicos y además para calcular la dosis de mejorador a usar.

2.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se utiliza para el cálculo del mejorador.

3.- pH, valor importante para la elección del mejorador a usar.

4.- Conductividad Eléctrica (CE) nos permite clasificar a los suelos salinos.

5.- Contenido de CaCO_3 de los suelos, dato importante -- para elegir el mejorador más adecuado para la rehabilitación.

6.- Análisis de aguas, muestra el riesgo de salinización y sodificación del suelo por la aplicación de agua de riego.

METODOLOGIA DE RECUPERACION

La metodología de recuperación incluye:

- 1) Lavado de sales.
- 2) Mejoras químicas.
- 3) Técnicas Auxiliares.

a) PARA SUELOS SALINOS.

La disminución de sales en los suelos de este grupo se hace por medio del lavado, aplicando agua suficiente para -- lixiviar las sales solubles y llevarlas a partes profundas -- del suelo, gracias a que estos suelos no presentan problemas de permeabilidad.

Además deberá observarse lo siguiente:

- 1.- Nivelar el terreno para facilitar el manejo del agua.
- 2.- Romper bien el suelo para uniformizar el terreno.
- 3.- Aplicación de láminas parciales en forma secuencial.

hasta bajar la Conductividad Eléctrica a valores óptimos.

4.- Efectuar muestreos de suelo cada 2 ó 3 aplicaciones de agua, para analizarlas y controlar la lixiviación de las sales.

5.- Una vez que los niveles de salinidad han descendido a valores tolerantes, se suspenden los lavados para iniciar los cultivos.

b) PARA SUELOS SODICOS.

Aplicación de mejoradores químicos para reducir los altos niveles de sodio intercambiable de los suelos.

Para lo anterior deben considerarse los siguientes pasos generales:

1.- Nivelar el terreno para facilitar el manejo del agua.

2.- Regar el terreno si está muy seco, antes de aplicar el mejorador. Para facilitar las labores de incorporación y favorecer una adecuada humedad que solubilice el corrector.

3.- La eficiencia del mejorador depende en alto grado de las cantidades de agua y el método de lavado por emplear; de aquí que la eficiencia de los métodos hidrotécnicos se refleja en la eficiencia de los métodos químicos, pues ambos son complementarios.

4.- Hacer aplicaciones de prueba.

5.- Hacer un estudio de la conveniencia y posibilidades económicas de la recuperación de las áreas con diferente tipo y grado de afectación. De los resultados de este estudio debe definirse el orden de recuperación de las diferentes áreas. - Esta recomendación opera también para el caso de un suelo salino.

6.- Para aumentar la eficiencia de los costos, se recomienda usar el mejorador exclusivamente en las áreas visiblemente afectadas y no en toda el área en general.

7.- Hacer análisis del suelo (PSI) para saber como se --

está reduciendo o sustituyendo el sodio intercambiable. Una vez que éste llegue a valores óptimos se procede a la siembra del cultivo.

VII. PREVENCIÓN DEL ENSALITRAMIENTO Y/O SODICIDAD DE LOS SUELOS.

Las medidas de prevención pueden dividirse en dos grupos:

- a) Medidas de prevención a nivel de grandes áreas, pudiendo incluir un Distrito de Riego.
- b) Medidas de manejo de suelos y agua a nivel de parcelas.

En la prevención del ensalitramiento y sodicidad se distinguen las siguientes etapas:

- 1) Determinación o pronóstico de la posible causa del problema.
- 2) Análisis de causas y jerarquización por orden de importancia de las mismas.
- 3) Aplicación de medidas correctivas.

Hay dos esquemas generales de ensalitramiento y sodicidad:

A) La fuente de sales se encuentra en el subsuelo y/o -- aguas freáticas.

Aunque este se encuentre profundo (más de 10 ó 20 mts. de profundidad) antes de introducir el riego o por los primeros años de operación, las pérdidas por conducción, por sobreriego y filtración en presas de almacenamiento, originarán una elevación de los mantos freáticos; los que al alcanzar profundidades de 2 ó 3 mts. empezarán a participar en los procesos de -- evapotranspiración (debido a ascensos capilares) con lo que se favorece la acumulación de sales en los estratos superiores del suelo. Desde luego, la velocidad de ascenso estará en relación a la capacidad de drenaje natural (5), y a la concentración iónica de la solución.

B) La fuente de sales es el agua de riego.

En tal caso si no se asegura un determinado sobreriego -- que realmente atravesase y lave las capas superiores del suelo y que posteriormente sea drenado fuera del Distrito de Riego, se tendrán problemas de sales. Es muy importante que las aguas

de sobreriego sean eliminadas fuera del Distrito de Riego, -- pues si no sólo se logrará una redistribución de las sales.

Para el primer caso pueden enumerarse las siguientes medidas preventivas:

A.1) Construcción de drenaje interceptor de filtraciones provenientes de presas y partes altas de las cuencas de drenaje.

A.2) Realización de campañas entre los usuarios, para -- aprovechar mejor el agua a nivel de parcela, mediante nivelación de tierras, mejor trazo de riego, entrega de agua por volumen, etc.; con lo que se logra disminuir las aportaciones -- al manto freático.

A.3) Relocalización de las redes de distribución, compactación de áreas de riego para evitar grandes longitudes de recorrido y grandes volúmenes de pérdidas por filtración.

A.4) Revestimiento de canales en los tramos donde se estime que se tendrán las mayores pérdidas por filtración.

A.5) En caso de que no se tenga drenaje natural suficiente, es decir se trate de planicies costeras, cuencas cerradas partes bajas de los conos aluviales, etc.; debe construirse -- una red de drenaje de apoyo a la cual puedan descargar los -- drenes parcelarios, que eventualmente tuvieran que construirse.

Puede recomendarse una profundidad mínima permisible del manto freático (en la parte central entre dos drenes) del orden de 1.5 a 2 mts., que podrá disminuir cuando se trate de -- cultivos con sistema radicular poco profundo, o bien cuando -- se tengan aguas freáticas de salinidad moderada de acuerdo -- con la tolerancia de los cultivos. Estas profundidades podrán tornarse mayores, cuando se trate de cultivos con sistema radicular profundo, cuando se tengan aguas freáticas altamente salinas en relación a la tolerancia de los cultivos, y cuando

se tengan suelos de texturas medias en donde las corrientes - capilares puedan ser de mayor consideración. (5)

Cuando la fuente principal de sales solubles la constituyen las aguas de riego, las medidas para prevenir el ensalitramiento pueden ser las siguientes:

B.1) En algunos casos la salinidad del agua de riego se origina de la mezcla de aguas, en que un componente tiene un alto contenido de sales. Esto se hace para aumentar los volúmenes disponibles para riego, o bien, debido a que aguas arriba de la toma de aguas para riego, descargan drenes. En estas condiciones debe estudiarse la posibilidad de evitar estas -- mezclas, incluso mediante la construcción de canales de desvío que descarguen las aportaciones de los drenes aguas abajo de la toma de agua de riego.

B.2) Si no es posible lo anterior, una forma de prevenir el ensalitramiento de las parcelas colindantes con los canales que presentan grandes pérdidas de filtración, y que originan una elevación de los mantos freáticos con el consiguiente ensalitramiento, por lo menos para las franjas de terreno adyacentes a los canales; puede ser el revestimiento de dichos canales. (5)

B.3) Finalmente se tienen las prácticas de manejo de suelos y aguas y la alternativa de cultivar plantas tolerantes. A continuación se mencionan algunos de las medidas principales.

B.3.a) Mejoramiento de la calidad de agua de riego.

Las aguas de mala calidad pueden emplearse mezcladas con otras de mejor calidad. Este método se recomienda cuando se tienen aguas del bombeo de pozos profundos de drenaje vertical.

Las aguas con alto valor de RAS pueden mejorarse con la aplicación de yeso, para lo cual se tienen diferentes dis -

positivos mecánicos. La turbulencia del agua mantiene al yeso en suspensión, hasta que se disuelve.

B.3.b) Aplicación de sobreriego.

Una de las prácticas más generalizadas de prevención y control de la salinidad es el empleo de sobreriego de lavado. El fundamento de este método es el siguiente. Después de que el agua de riego llega al suelo, por efecto de la evapotranspiración principalmente y otros factores como la disolución o precipitación de sales, Intercambio Catiónico, etc., se observa que la concentración de sales solubles aumenta alrededor de cinco veces (precisamente por esto las concentraciones -- permisibles en el agua de riego son mucho menores que las correspondientes en el extracto de saturación). Sin embargo si se agrega una lámina suplementaria, calculada para que el -- agua percole y salga de la zona de desarrollo radicular, esta agua lava parcialmente las sales acumuladas, puesto que su -- concentración será mucho menor. (5).

Estas láminas de sobreriego pueden aplicarse de dos formas:

- a) Lavados periódicos, aplicados a principio de cada ciclo agrícola, en función del consumo de agua en todo el ciclo. Estos lavados pueden servir de riego de presembrado.
- b) Lavados de sobreriego aplicados en cada riego, calculados en función del consumo de agua en el intervalo entre -- dos riegos consecutivos.

Quando existan mantos freáticos elevados deben ser abatidos mediante la aplicación de diferentes medidas correctivas, como construir un drenaje vertical. Cuando la permeabilidad del suelo sea baja, aunque no existan mantos freáticos elevados, la única solución puede ser la construcción de drenes to po. (5)

Al parecer, frecuentemente la causa del mal drenaje es -

la existencia de un estrato impermeable que favorece la presencia de mantos freáticos "suspendidos". Cuando estos estratos se encuentran a poca profundidad, sus efectos pueden ser disminuidos con roturaciones profundas, o bien, con drenes horizontales a profundidad suficiente para que la plantilla atraviese dicho estrato.

Al proporcionar sobreriego de lavado, el aspecto más importante para evitar el ensalitramiento a largo plazo es asegurar que las láminas de lavado salgan de los límites del distrito. De otra forma, sólo se logrará un ensalitramiento o redistribución de sales hacia las zonas más bajas del Distrito de Riego. Por esta razón, la construcción del sistema de colectores de drenaje, o del drenaje vertical, en las regiones de drenaje natural insuficiente (donde probablemente se localiza la mayoría de los Distritos de Riego), es una de las medidas principales de prevención del ensalitramiento.

B.3.c) Métodos de riego y procedimientos especiales de siembra.

En la prevención de la salinidad a nivel de parcela, es muy importante, además de la salinidad del agua de riego y la cantidad aplicada, la forma en que se realiza tal aplicación y el procedimiento de siembra.

Para el control de la salinidad es muy conveniente que el agua de riego se aplique uniformemente en las parcelas, de manera que en toda la superficie se infiltre tanto el volumen calculado para los gastos de evapotranspiración, como el sobreriego de lavado. Desde este punto de vista el emparejamiento y la nivelación de los terrenos constituyen prácticas recomendables para el control de la salinidad.

A niveles bajos de salinidad se puede utilizar eficazmente el riego por surcos. Sin embargo, a medida que aumenta la salinidad del agua, adquiere mayor importancia la forma del surco o de la cama para la siembra y la posición de las semi-

llas, con relación a la altura del agua en el surco.

La distribución de las sales en los surcos y en las camas de siembra con superficie plana no es uniforme, las sales tienden a acumularse hacia el centro y en una capa delgada de la corona del surco. En estos puntos la CE_{cc} puede alcanzar valores muy altos, de más de 50 mmhos/cm; por el contrario, en el fondo del surco la salinidad puede ser casi tan baja como la del agua de riego. (5).

En general parece ser que la germinación, emergencia y la fase de plantúla constituye las etapas críticas donde debe controlarse la salinidad con especial cuidado, para asegurar una buena cosecha. Por esta razón, la colocación de la semilla en la cama de siembra puede tener una importancia decisiva. De esta manera se recomienda colocar la semilla en los bordos de -- las camas con superficie plana y a la mitad del talud en las - camas inclinadas y surcos.

En condiciones de salinidad moderada o alta de las aguas de riego; el método de riego por inundación, por melgas o por cajetes, siempre que esté razonablemente aplicado, favorece un humedecimiento uniforme indispensable para el control de la salinidad. Desde luego, las láminas aplicadas deberán estár exce~~didas~~ sobre el consumo de agua de los cultivos, para asegurar el desplazamiento de las sales fuera de la zona radicular.

El método de riego por aspersión, cuando se usa adecuadamente, permite una aplicación y penetración uniformes, proporcionando una mayor eficiencia y un mejor control de la salinidad. Sin embargo, el humedecimiento del follaje puede ser un - problema serio para los cultivos que absorben los iones sodio y cloro en cantidades perjudiciales.

La subirrigación puede ser el método menos eficiente, -- puesto que está basado en la formación de corrientes capilares ascendentes para abastecer de humedad a los cultivos. El único lavado existente es el que proporcionan las lluvias,

sin embargo si las sales no se lavan, al reiniciarse el riego estas regresan a la zona radicular.

El método por goteo que ofrece entre otras ventajas un - ahorro considerable de agua también resulta efectivo.

B.3.d) Selección de cultivos tolerantes a las sales.

La medida fundamental de prevención del ensalitramiento cuando la fuente de sales la constituye el agua de riego, es el lavado por sobreriego. Sin embargo en condiciones de escasez de agua, debe estudiarse la introducción de cultivos más tolerantes a las sales y que demanden menos volúmenes de agua.

VIII. DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las causas primarias que han originado el ensalitramiento de los suelos y la presencia de altas concentraciones de sodio en los mismos, son causas que están lejos de la intervención de la mano del hombre. No podemos controlar el intemperismo -- químico y físico de la naturaleza, ni la actividad volcánica, ni el clima. Sin embargo, el hombre sí ha contribuido a la -- existencia de suelos salinos y sódicos, esto debido a errores que comete en su actividad productiva.

Lo que aquí se plantea es que debe hacerse todo lo que es te al alcance del hombre, para evitar o atenuar la salinidad - y/o sodicidad de los suelos. Aún cuando el problema se encuentre ya presente, debemos hacer todo lo posible por no imcrementarlo.

Las razones que han originado la salinización de los suelos son variadas, pero podemos generalizar señalando que en lo fundamental han sido el mal manejo del agua y del suelo causas secundarias, de aquí deriva entonces la importancia de manipular adecuadamente los sistemas de riego.

En México, el problema de ensalitramiento y sodicidad de los suelos es de gran relevancia, pues las zonas áridas y semi áridas ocupan el 75% del territorio nacional y la mayoría de los distritos de riego se ubican en tales zonas; se estima que alrededor de un 30 a 40% de las áreas bajo riego tienen éste - problema.

La primera consideración es el uso de drenes y canales re vestidos, recordemos que el agua en su recorrido va recogiendo sales que posteriormente se depositan sobre las tierras regadas.

Por otra parte, si el problema ya se hizo presente deben tomarse algunas precauciones del cómo, cuánto y cuándo regar. El riego por gravedad puede provocar salinización más fácilmente que el de aspersión, sin embargo es más efectivo para recuperar suelos ya salinizados porque se hacen así lavados más enérgicos. Cuando se utilizan aguas salinas para regar, el sistema por goteo produce mejores resultados, porque así, la solución del suelo se concentra menos que en riegos por gravedad o aspersión. La literatura reporta que la salinización de los suelos depende más del exceso de agua de riego que del sistema empleado. Por esto siempre se recomienda aplicar riegos con mayor frecuencia y en menor cantidad, para que la humedad del suelo no se aparte mucho de la capacidad de campo (C.C.) y las sales no alcancen -- una concentración excesiva.

A causa de la perforación de pozos y el empleo de bombas -- la capa freática ha descendido más allá del nivel en el cual beneficia a la vegetación. Esto ha ocasionado por un lado, que el agua escasee en algunos lugares provocando trastornos climáticos: aridez, factor que propicia la existencia de suelos sódicos y salinos; y por otra parte cuando estas perforaciones se hacen en los litorales provocan la intrusión de aguas salinas -- que contaminan el agua utilizada para riego. Esto nos lleva a pensar que antes de perturbar las condiciones naturales del ambiente, en nombre de la modernidad debemos detenernos a reflexionar un poco en los efectos tan graves que esto ocasiona. Además agregamos los desmontes que están ocasionando que regiones del país: Sierra Tarahumara y la Selva Chiapaneca, queden expuestas a los procesos de desgaste del suelo por la pérdida de su vegetación; lo que comúnmente se conoce como erosión (proceso irreversible), situación que resulta ser más grave todavía, que el problema que nos ocupa.

Cuando nos referimos al manejo del suelo, involucramos --

La utilización de una serie de actividades con el fin de atenuar los problemas de salinidad y sodicidad. Estas acciones deberán usarse antes, durante y después de los procesos de mejoramiento. Debemos cuidar aspectos como: el uso indiscriminado de fertilizantes inorgánicos que aportan sales solubles a la solución del suelo y optar por el uso de fertilizantes orgánicos. La aplicación de materia orgánica es una práctica muy benéfica para terrenos ensalitrados y con exceso de sodio; la adecuada preparación de los suelos, planear el uso de los suelos, sembrar cultivos tolerantes, entre otros.

Todo lo anteriormente señalado debe formar parte del quehacer cotidiano de los agricultores que se enfrentan al problema. Cabe mencionar que llevar a cabo lo antes mencionado implica, el desembolso de cantidades considerables de dinero y que en algunos casos no es posible hacerlos. Pero considerando que el país se enfrenta a una demanda de alimentos en constante crecimiento, el productor agrícola debe buscar, junto con las instituciones que tienen encomendada la tarea de trabajar para y por el campo; métodos de financiamiento para hacer esto posible. Buscando al final de cuentas la autosuficiencia alimentaria que es el espíritu que mueve a la solución de todos los problemas que inciden en la producción de alimentos. -

Ahora bien, cuando por las circunstancias se ha decidido llevar a efecto la recuperación, ya sea utilizando métodos químicos o métodos hidrotécnicos (lavados). Debemos asegurar la efectividad del método, para asegurar que la inversión de la recuperación rinda frutos posteriores; antes que nada debemos saber que, los métodos de recuperación de suelos salinos y sódicos, son medidas que atacan los efectos del problema, no la causa. Por ello el mejoramiento debe ir precedido de un estudio completo de las zona a mejorar. En la gran mayoría de los casos los problemas localizados en un área son reflejo de la -

situación de áreas circunvecinas, por lo cual no es eficiente atacar y resolver los problemas de parcelas aisladas; sino las causas del total del área afectada.

Para tener una eficiente recuperación se hace necesario acompañar cualquiera de las técnicas básicas seleccionadas, - por las técnicas auxiliares; cuyo fin es aumentar la efectividad de las primeras. Añadir estiércoles y abonos verdes para mejorar la permeabilidad, establecer cultivos tolerantes, invertir la capa arable del perfil, hacer subsoleos, hacer análisis continuos y estar al tanto de los progresos de la rehabilitación, son medidas que ayudaran a la recuperación.

Determinar qué método usar, no es función de la eficiencia de uno y otro método, más bien está en función del problema que se quiere resolver. Los suelos salinos necesariamente se deben rehabilitar por medio de lavados, mientras que para los suelos sódicos la aplicación de correctores químicos acompañados de lavados, es la única forma de recuperarlos. Lo anterior se debe a la disposición de los iones y compuestos que generan el problema. Los compuestos que provocan la salinidad, se encuentran disueltos en la solución del suelo; por lo cual mediante lavados se eliminan; por su parte el ion sodio se encuentra retenido por carga eléctrica en las arcillas o materia orgánica del suelo, por ello un simple lavado no lo libera; se necesita entonces generar un proceso de intercambio de iones (Na por Ca) para liberarlo de los coloides y posteriormente por lixiviación eliminarlo del suelo.

Podemos preguntarnos, ¿ cómo saber que el suelo tratado - se está mejorando? o bien ¿ a qué niveles hay que llegar para considerar al suelo recuperado ?. Anteriormente mencionamos - que una práctica importante es el permanecer informado de los progresos de la recuperación, a través de análisis químicos. Midiendo el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), que -

indica la cantidad de Na reemplazable y la Conductividad Eléctrica (CE), que reporta las sales disueltas en la solución del suelo, sabremos como se está comportando la recuperación. La respuesta a la segunda pregunta no puede ser en forma tajante. Cuando un suelo tiene un PSI menor a 15% y un valor de CE menor de 4mmhos/cm se considera que éste no tiene problemas de salinidad o sodicidad. Sin embargo lo anterior no puede ser tomado como meta en la recuperación. En general los costos de un proyecto de recuperación son altos, tan altos que en ocasiones vuelven inoperante el proyecto. Por lo que debe buscarse que el trabajo de recuperación sea eficiente y barato. Para ello se debe considerar que existen cultivos que son tolerantes a ciertos niveles de salinidad. La idea es llegar a o conservar dichos niveles de salinidad, donde las plantas se desarrollan bien, para no hacer gastos innecesarios. Esta acción está altamente influenciada por el tipo de cultivo a implantar.

Hortalizas como: zanahoria, tomate, espinaca, brócoli y pimienta, tienen una tolerancia moderada a las sales; sin embargo no todas toleran los mismo niveles. La espinaca por ejemplo, tolera valores hasta de 7 mmhos/cm de CE con lo cual su producción se reduce a un 25%, valores de 5.5 mmhos/cm de CE la reducen a 10% y valores de 8 en un 50%. El tomate por su parte, reduce su producción en un 25% a valores de CE de 6 -- mmhos/cm, después está el brócoli que a valores de CE de 6 -- mmhos/cm reduce en un 25% su producción y por último el pimiento, que con 5.5 mmhos/cm de CE reduce su producción en un 50%. Para algunos cultivos extensivos como: cebada en grano, remolacha azucarera, algodón, cártamo, trigo, sorgo y soya; - valores de CE que fluctúan entre 12 y 16 mmhos/cm reducen la producción en un 10% y valores de CE que van de 16 a 9 mmhos/cm. reducen la producción en un 25%. Por esta gran variación-

no se puede establecer un límite, por lo tanto deben buscarse puntos donde los cultivos se puedan desarrollar.

Evidentemente donde existan las condiciones económicas y de infraestructura necesarias y suficientes para recuperar por completo a los suelos, habrá que hacerlo; puesto que ésto ampliará más la gama de cultivos a explotar y no se estaría limitando la explotación agrícola a ciertos cultivos tolerantes.

En relación a los valores de PSI, óptimos, se ha encontrado que con valores de 7 a 10% de PSI los cultivos tienen una producción del 80 al 60%, y que valores de más del 15% hacen que los cultivos produzcan de un 60 a un 20%. Por lo tanto el rango se establece entre 7 y 15%, que permite una producción de 80 a 100%.

De la elección del mejorador, debemos añadir que hay cuatro factores para hacerlo, sin embargo no podemos generalizar y decir que tal o cual es más importante que el resto. Esto depende de las condiciones particulares, lo que si podemos -- afirmar es que es recomendable aplicar el mejorador exclusivamente en las áreas visiblemente afectadas y no en toda el área y que los resultados no son inmediatos sobre todo cuando se usa azufre como mejorador.

Por último hay que señalar que el valor de la antes expuesto es generalizable, con excepción de los matices muy particulares del problema, que deberán ser tratados como tales.

CONCLUSIONES.

1.- El problema de ensalitramiento de los suelos del país persiste y es de consideración.

2.- Las causas que lo han motivado son diversas, pero podemos distinguir las siguientes:

a) Causas primarias: condiciones del drenaje, clima, relieve y la composición original de los suelos.

b) Causas secundarias: sobreexplotación de mantos acuíferos, uso de aguas de mala calidad para regar, inadecuados sistemas de riego, falta de revestimiento de canales, pérdidas en la distribución del agua lo que origina elevación de los mantos freáticos.

3.- En forma marcada el problema se hace presente en las zonas de riego, por lo que siendo algunas de ellas áreas geoeconómicas importantes para la economía nacional es de lamentar y urge trabajar en su rehabilitación.

4.- Las medidas propuestas como: vedas, sistemas de reglamentación de extracción, programas de dotación volumétrica, -- construcción de drenes, revestimiento de canales y uso de cultivos tolerantes, son medidas en su mayoría operativas de fácil implementación, puesto que no requieren de grandes inversiones, y pueden dar resultados inmediatos. Sin embargo, se han visto impedidas por circunstancias ajenas al problema. Por ello, debe pugnarse por su cabal cumplimiento, en los lugares -- que así lo requieran.

5.- Los programas de rehabilitación que incluyen el lavado de suelos o el uso de mejoradores, no se han utilizado en gran escala, debido a los gastos que estos reclaman. Sin embargo, se tienen buenas experiencias en grandes áreas como: el Valle de Mexicali y el Ex-lago de Texcoco, a nivel experimental o investigación (campo y laboratorio), mismas que habrá que corroborar en la práctica.

6.- Debe informarse ampliamente a los productores agrícolas sobre las causas y efectos de la salinidad y sodicidad de los suelos, para que contribuyan a disminuir el problema. En contrandose así en posibilidades de: Seleccionar aquellos cultivos que mejor se adapten a las condiciones de salinidad, efectuen labores agrícolas que tiendan a su control y mejoramiento y acaten las medidas operativas que reduzcan los efectos.

7.- Cuando se decida usar a los mejoradores como parte -- del programa de rehabilitación, debe tomarse muy en cuenta que éstos no resuelven las causas del problema sino los efectos; - por tanto habrá que crear un programa integral que aporte resultados objetivos.

8.- Que el problema que se está resolviendo tiene un origen y que los problemas de un área en especial, están conectados con áreas aledañas. Por esto el problema deberá ser atacado en forma general y no particularmente.

9.- Que los suelos salinos sí se pueden recuperar; manteniendo un buen drenaje natural o artificial y mejorando los -- sistemas de riego y manejo.

10.- Que la recuperación de los suelos sódicos es más difícil y costosa, en comparación con la recuperación de los suelos salinos.

IX RESUMEN

Sobre el uso de mejoradores en la rehabilitación de suelos salinos y sódicos se resume lo siguiente:

1.- La principal fuente de sales solubles son los minerales primarios que se encuentran en la corteza terrestre. En especial en los primeros 16 Km de la corteza, denominados "Sial" por la predominancia de sílice (Si) y aluminio (Al); además - contiene calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K).

2.- Las sales son liberadas por medio de procesos geoquímicos y bioquímicos, dando lugar a nuevas combinaciones; que son atacadas por el intemperismo químico. Dicho fenómeno incluye procesos como: Hidratación, Oxidación, Reducción, Carbonatación y Disolución.

3.- Las sales que con más facilidad se forman como consecuencia del intemperismo son: los cloruros, nitratos, sulfatos y carbonatos de iones alcalinos y alcalino-térreos.

4.- Otras fuentes de sales solubles son: las Sales Cíclicas, que se forman en el océano debido al choque de las olas con las costas, acción que las libera hacia la atmósfera y luego el viento se encarga de diseminar; los depósitos fósiles, - las sales que de aquí se liberan son arrastradas por las aguas superficiales o subterráneas en forma natural o por el hombre, esto último cuando perfora pozos para regar; y por último la actividad volcánica, que libera cantidades importantes de Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ y H_2S .

5.- Los suelos salinos y/o sódicos se encuentran fundamentalmente en las zonas áridas y semiáridas del país.

6.- Lo anterior se debe a bajas precipitaciones y altas temperaturas. Esto provoca elevada evaporación que hace que las sales se concentren en los suelos y en el agua superficial y como el agua es poca, no hay posibilidades de lavar las sales

y transportarlas muy lejos.

7.- El drenaje poco profundo, la orografía y el clima son causas de la salinización de los suelos.

8.- Las sales que más tienen relación con la salinidad --son: $MgSO_4$, Na_2SO_4 , $NaCl$, Na_2CO_3 y $MgCl_2$.

9.- Los ciclos de acumulación y el movimiento de las sales están íntimamente ligados con el movimiento del agua.

10.- En los suelos salinos y alcalinos el mayor porcentaje de bases intercambiables lo constituye el Na, existe calcio y magnesio en la solución, pero debido a su poca solubilidad se precipitan como carbonatos y sulfatos.

11.- Cuando el ion predominante en el suelo es Na^+ , éstos tienden a deflocularse. Debido a que el Na^+ produce una expansión en las arcillas, lo que provoca un cambio en la porosidad.

12.- Lo anterior provoca un cambio en la estructura y el suelo se vuelve impermeable al agua y al aire, con todas las consecuencias que esto reviste para las plantas.

13.- Las altas concentraciones de sales solubles en el suelo, no afectan las propiedades físicas de éstos; en general, estas son favorables, debido a que el suelo permanece floclado manteniendo condiciones de buena permeabilidad. Más bien el daño es para la vegetación. Altas concentraciones de sales solubles en el suelo, afectan a las plantas a través de dos mecanismos: aumentando la presión osmótica de las soluciones y por la toxicidad a algunos iones.

14.- La valoración de la salinidad y sodicidad de los suelos se hace por medio de la cuantificación de la Conductividad Eléctrica (CE) y el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

15.- De acuerdo a valores de CE y PSI hay cinco tipos de suelos:

- 1.- Suelos sin problemas de sodio y sales.
- 2.- Suelos salinos.
- 3.- Suelos sódicos.
- 4.- Suelos salino-sódicos.
- 5.- Suelos sódico-salinos.

1.- Suelos sin problema de sodio intercambiable y sales solubles.

- CE inferior a 4 mmhos/cm
- PSI menor de 15%
- los problemas de bajo rendimiento son debidos a factores ajenos a la salinidad y sodicidad.

2.- Suelos salinos.

- aceptable estado de agregación.
- hay buena permeabilidad
- CE mayor de 4 mmhos/cm
- pH menor de 8.5

3.- Suelos sódicos.

- el suelo está defloculado.
- es impermeable al agua y al aire.
- pH varia de 8.5 a 10
- CE menor de 4 mmhos/cm
- PSI mayor al 15%
- hay pocas cantidades de calcio y magnesio.

4.- Suelos salino-sódicos.

Características similares a las de un suelo salino, mientras exista exceso de sales solubles el suelo estará floculado; si se eliminan las sales se modifican las propiedades de dicho suelo y se manifiestan las de un suelo sódico.

- CE mayor de 4 mmhos/cm
- pH menor de 8.5
- PSI mayor de 15%, pero sin llegar a impartir efectos defloculantes.

5.- Suelos sódicos-salinos.

Similares a las de un suelo sódico, aquí predomina el Na^+ por lo tanto el suelo está defloculado y tiene problemas de permeabilidad.

- C.E. mayor de 4 mmhos/cm
- pH mayor de 8.5
- PSI mayor de 15%

16.- En general un suelo es salino cuando su CE es mayor de 4 mmhos/cm y es sódico cuando su PSI es mayor de 15%.

17.- Los métodos de recuperación para suelos salinos y/o sódicos se dividen en dos grupos:

1.- Técnicas Básicas.

- a) Método Químico: correctores químicos
- b) Método Hidrotécnico: lavados

2.- Técnicas Auxiliares.

- a) Método Físico: subsoleos, inversión de la capa arable del perfil, etc.
- b) Método Biológico: uso de abonos orgánicos, plantas tolerantes, etc.
- c) Método Hidrotécnico: riegos auxiliares, bordeos.

18.- El método hidrotécnico, se usa cuando el problema a resolver son las altas concentraciones de sales solubles en el suelo. Se aplican ciertas cantidades de agua al suelo para lavar y arrastrar las sales existentes; esto se puede hacer debido a que los suelos no presentan problemas de permeabilidad.

19.- El método químico, se utiliza para recuperar suelos con altas concentraciones de sodio, debido a que el sodio se encuentra retenido por el complejo de cambio por medio de enlaces químicos, los lavados no darían resultado. Se necesita liberar al sodio del complejo de cambio, aplicando substancias que aportan al suelo un exceso de cationes divalentes que actúan en el complejo de intercambio, substituyendo al sodio.

20.- Generalmente es el calcio el elemento divalente que se aporta, porque éste estabiliza al suelo, le devuelve su condición floculada con lo que se restablece la permeabilidad al agua y al aire.

21.- Cuando se tiene un suelo sódico-salino, se deberá primero aplicar un corrector para mejorar la permeabilidad del mismo, y después se aplicarán lavados para eliminar las sales solubles.:

22.- Cuando el suelo es salino-sódico, recordemos que el exceso de sales hace que el suelo esté floculado, si las sales son eliminadas antes se modificarán las propiedades físicas y se manifestarán las características de un suelo sódico. Por ello se recomienda no lavar las sales de los suelos antes de reemplazar al sodio intercambiable.

23.- Las técnicas auxiliares tienen como fin aumentar la eficiencia de las técnicas básicas. Su uso debe ser antes, durante y después del mejoramiento.

24.- Hay varios tipos de mejoradores y según su naturaleza y acción se clasifican en:

I.- Sales cálcicas solubles: yeso, cloruro de calcio.

II.- Ácidos y formadores de ácidos: S, H_2SO_4 , FeS_2 , etc.

III.- Compuestos cálcicos de baja solubilidad: caliza, dolomita.

IV.- Otros tipos de mejoradores y acondicionadores: CRD-186, CRD-189 o "Krillium".

Los compuestos del grupo I y III aportan el calcio en forma directa, ya sea como $CaSO_4$ o como ion Ca^{++} .

Los compuestos del grupo II son ácidos o sustancias formadoras de ácidos que van a solubilizar el calcio presente en los suelos, en forma de $CaCO_3$, de ésta reacción resultará un compuesto soluble de calcio en forma de $CaSO_4$ que actuará y desplazará al sodio. Por ello, cuando se va a usar este tipo de mejoradores es de suma importancia conocer el contenido de $CaCO_3$ --

de los suelos.

Algunos compuestos del grupo IV se usan como acondicionadores sintéticos del suelo, otros para reducir el pH, su uso como mejoradores está todavía en proceso de estudio, para ser usados en campo.

25.- De lo anterior se deduce que hay dos maneras de mejorar los suelos sodicos. La primera agregar calcio como parte del mejorador, y la segunda, solubilizar el que existe en el suelo como (CaCO_3) en forma precipitada.

26.- Lo que se busca al utilizar un mejorador químico, es restablecer la permeabilidad de los suelos.

27.- La elección del mejorador a usar en el proceso de rehabilitación es función de: el tipo de suelo, el costo del mejorador, el tiempo de reacción de cada mejorador y la disponibilidad de estos en el mercado.

28.- En el tipo de suelo deben considerarse dos aspectos: - pH y el contenido de carbonatos de metales alcalino-térreos. Esto indicará si hay que aplicar un corrector que aporte o solubilice el calcio, además de reducir el pH.

29.- El costo de un mejorador debe determinarse por la cantidad de calcio soluble o yeso que aporte y no por su costo comercial.

30.- La velocidad de reacción es otro factor a considerar, hay mejoradores como: CaCl_2 , H_2SO_4 que son de acción rápida, pero son caros y otros como S y Caliza que son lentos en su acción, pero baratos. Por su costo relativamente bajo el yeso y el azufre son los mejoradores más comunmente usados.

31.- Los mejoradores se pueden aplicar: al voleo, yeso, cloruro de calcio, sulfatos de hierro y aluminio, caliza y azufre; en aspersión, ácido sulfúrico; en surcos estos mismos cuando se aplican con maquinaria y posteriormente se incorporan al suelo

con disco y arado; y en agua de riego, polisulfuro de calcio y ácido sulfúrico.

32.- Normalmente las aplicaciones son superficiales, salvo excepciones.

33.- Siempre que se aplique un mejorador debe hacerse un lavado de los suelos, para lixiviar las sales solubles, que se formaron en el proceso de intercambio catiónico.

34.- Desde el punto de vista eficiencia, el yeso es el mejorador más comunmente empleado porque: tiene un costo relativamente bajo, es más eficiente en disminuir el PSI, es más eficiente en cuanto a tiempo de recuperación, por lo tanto es más eficiente para mejorar la permeabilidad.

35.- En segundo lugar está el azufre y en tercer sitio el ácido sulfúrico.

36.- Se ha encontrado que combinaciones de estos tres mejoradores entre sí, dan mejores resultados que cada uno por separado. Algunas combinaciones pueden ser: azufre + yeso + ácido sulfúrico, ácido sulfúrico + yeso. También combinaciones de yeso con: adiciones de materia orgánica, operaciones de labranza, rotación de cultivos y fertilización, han dado buenos resultados.

X. BIBLIOGRAFIA

- 1.- A. Cass and M.E. Sumer. 1982. Soil Pore Structural Stability and Irrigation Water: III. Evaluation of Soil Stability and Crop Yield in Relation to Salinity and Sodcity. Soil Science Society America Journal. Vol. 46 (1) -- pags: 513-517.
- 2.- Aceves, Navarro, L.A. 1981. "Los terrenos ensalitrados y los metodos para su recuperaci3n". Tesis Profesional -- Depto. Suelos U.A.CH. Chapingo, M3xico. pags: 85-102 y 107-151.
- 3.- Aceves, Navarro, L.A. 1979. "El ensalitramiento de los suelos bajo riego". Colegio de Postgraduados, Rama de Riego y Drenaje. Chapingo, M3xico. pags: 4-21, 34-42 y 138-157.
- 4.- Allison, L.E. et al. 1980. Diagn3stico y Rehabilitaci3n de Suelos Salinos y S3dicos. Depto. de Agricultura de los Estados Unidos de Am3rica. Ed. Trillas, M3xico. pags: 3-6 y 36-57.
- 5.- Averyanov, S.F. 1969. "El drenaje horizontal en la lucha contra la salinizaci3n de las tierras de riego" Apuntes Depto. de Irrigaci3n. E.N.A. (Traducci3n del Ruso al Espa3ol). 30 pp
- 6.- Becerra, Moreno, A. 1983. "Uso del azufre para recuperar suelos salino-s3dicos, del Ex-lago de Texcoco". Tesis Profesional, Depto. de Suelos. U.A.CH. Chapingo, M3xico. pags: 12-58, 79-105 y 152-154.
- 7.- Caraveo, L3pez, F. de J. 1984. "Efectos de la aplicaci3n de H_2SO_4 , en diferentes concentraciones (1,3 y 5%), sobre los procesos de mejoramiento de un suelo salino-s3dico del predio Montecillos". Tesis Profesional, -- Chapingo, M3xico. pags: 6-53 y 88-147.

- 8.- Cervantes, Ramires, M. 1983 " La lixiviación de sales en -
suelos salinos y salinos-sódicos del Valle de Mexi
cali durante el proceso de lavado". Tesis Profesio
nal, Chapingo, México.
- 9.- Cronquist, Arthur. 1977. Intruducción a la Botánica. Ed. -
C.E.C.S.A., México. 848 pp.
- 10.- Chena, G.R. 1959 (Verano) "Recuperación de un suelo sódico
-salino". Agricultura Técnica en México No. 8 pp-
17-18 S.A.G. D.G.A. México.
- 11.- Díaz, Herrero, J.N. 1982. "Oxidación del S elemental en --
suelos del Ex-lago de Texcoco que presentan exceso
de sodio intercambiable". Tesis Profesional, Cha -
pingo, México.
- 12.- Ecological Studies 51. 1984. Salinity Under Irrigation, --
Edited by I. Shainberg and J. Shalhwet. Germany. -
Chapter 7: Reclamation of Sodic Soils, by J. Love-
day. pags: 220-237
- 13.- FAO/UNESCO. 1973. "Irrigation, Drainage and Salinity. -
International source book". Hutchinson/FAO/UNESCO
510 pp.
- 14.- Fassbender, Hans. W. 1980. Química de Suelos, Ed. IICA, -
San José, Costa Rica. pags: 119-130, 141-163 y 185-204.
- 15.- Gaucher, C. 1981. El Suelo y sus características agronómi-
cas. Ed. Omega. Carcelona, España.
- 16.- González, G.R. del C.. 1983. "Establecimientos de relacio-
nes funcionales entre láminas de lavado, sales des
plazadas y sales residuales en suelos salinos". --
Tesis de Maestría, Depto. de Suelos. U.A.CH. Cha -
pingo, México. pags: 2-29 y 90-95

- 17.- Guma'a, G. Prather, R.J. and Miyamoto, S. 1976. Effect of Sulphuric Acid on Sodium-hazard of Irrigation -- Water. Plant and Soil Vol. 44: 715-721.
- 18.- H, Andrews Donald and J., Kokes, Richard. 1967. Química - Fundamental. Ed. LIMUSA-WILLEY, México. 884 pp.
- 19.- Henry, K.E. et al. 1965. Mineralogía. Ed. Ediciones del - Castillo, S.A. Madrid, España. 426 pp.
- 20.- I, Shainberg. R. Keren and H, Frenkel. 1982. Response of- Sodic Soils to Gypsum and Calcium Chloride -- Application. Soil Science Society America Journal. Vol. 46 (1) pags: 113-117.
- 21.- J, J, Lagowski. 1975. Química Inorgánica Moderna. Ed. Re- verté, S.A. Madrid. España.
- 22.- J, D, Oster and H, Frenkel. 1980. The Chemistry of The -- Reclamtion of Sodic with Gypsum and Lime. Soil -- Science Society America Journal. Vol. 44 (1) pags 41-45
- 23.- Kelley, W.P. 1962. "Alkali Soils their Formation - Properties and Reclamation". Reinhold, New York, U.S.A. pags: 9-35
- 24.- López, Uriza, J.A. 1976. "Efectos de mejoradores y lavado de suelos en la recuperación de un suelo salino- sódico del Distrito de Riego No. 25 Bajo Río Bra- vo, Tamaulipas". Tesis Profesional. Escuela Nacio- nal de Agricultura, Chapingo, México.
- 25.- Millar, C.E. Turk, L.M. Foth, H.D. 1980. Fundamentos de - la Ciencia del Suelos C.E.C.S.A. México. pags: 83 -111 y 200-201.

- 26.- M, Agassi. J, Morin and I, Shainberg. 1985 Effect of -
 Raindrop Impact Energy and Water Salinity on -
 Infiltration Rates of Sodic Soils, Soil Science -
 Society America Jorunal. Vol. 49 (1) pags: 186-190
- 27.- Masterton, William, L. and Slowinski, Emil J.. 1981. Quími
 ca General Superior. Ed. Interamericana, México,
 D.F. 760 pp.
- 28.- Mizquez, Verdugo, Carlos, A.. 1973. "Estudio comparativo
 sobre la eficiencia de 3 mejoradores químicos, en
 la recuperación de un suelo salino-sódico". Tesis
 Profesional, Monterrey, N.L.
- 29.- Miyamoto, S., H.L. Bohn, J. Ryan, and M.S. Yee et al. -
 1974 "Effect of Sulphuric Acid and Sulfur Dioxide
 on the Agregate Stability of Calcareous Soils". -
 Soil Sci. Vol. 118 (5) 299-303. Arizona Univ. --
 Tucson A. U.S.A.
- 30.- Miyamoto, S., Prather, R.J. and Stroehlein, J.L. 1975. -
 Sulphuric Acid and Leaching Requeriments for --
 Reclaiming Soium-affected Calcareous Soils. Plant
 and Soil. Vol. 43 (3), 573-585.
- 31.- Montaña, García, Sabino. 1983. "Estudio de tres yesos --
 agrícolas y el yeso puro bajo dos formas de apli-
 cación (incorporado al suelo y solubilizado en --
 agua), en el mejoramiento de la capa arable de un
 suelo sódico". Tesis de Maestría Chapingo, México
 pags: 17-23 y 87-164.
- 32.- Ortega, T.E. 1970 "Notas del curso de Química de Suelos -
 E.N.A. (Depto. de Suelos)". Chapingo, México. -
 222 pp.

- 33.- Palacios, Vélez, Oscar. 1969. Apuntes de algunos problemas de drenaje y ensalitramiento de terrenos agrícolas. Colegio de Postgraduados. E.N.A. Chapingo, México.
- 34.- Pierce, James, B.. 1976. Química de la Materia. Ed. Publicaciones Culturales, S.A. México, D.F.
- 35.- Pizárro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española, S.A. Madrid. pags: 183-251.
- 36.- Poonia, S.R. and Bhumbra, D.R. 1974. Effect of H_2SO_4 , HCl and $Al_2(SO_4)_3$ on the Yield, Chemical Composition and Ca uptake from Applied Ca, CO_3 by Daincha -- (Sesbania aculeata pers) in a Saline Alkali Soil. Plant and Soil. Vol. 40 (3) 557-564.
- 37.- Primo, Yúfera, E. y Carrasco, Dorrien, J.M. 1973. Química Agrícola I. Suelos y Fertilizantes. Ed. Alhambra, España. pags: 8-21 y 36-66
- 38.- Ramírez, L.E. 1982. "Estudio de tres fuentes naturales de yeso agrícolas en la recuperación de suelos salino-sódicos bajo 2 procedimientos de aplicación, - solubilizados en agua e incorporados al suelo". - Tesis Profesional. Chapingo, México. pags: 5-23.
- 39.- Ryan, J.: Miyamoto, S. and Stroehlein, J.L. 1974 -- Solubility of Manganese, Iron and Zinc as Affected by Application of Sulphuric Acid to Calcareous Soils. Plant and Soil. Vol. 40 (3) 421-427.
- 40.- S.A.R.H. 1982 Plan de Desarrollo Agropecuario y Forestal (1982-1988). Para los estados de: B.C.N., SONORA, SINALOA, NAYARIT, COLIMA, CHIHUAHUA, COAHUILA, -- NUEVO LEON, DURANGO, ZACATECAS y PUEBLA.

- 41.- S.A.R.H. 1983 D.G. de D.U. de R. "Instructivo para Estudios de Salinidad" México, D.F. 21 pp
- 42.- S.E.P. 1983. Manuales para Educación Agropecuaria. Suelos y Fertilización. Ed. Trillas. México, D.F. 80 pp
- 43.- S.E.P. 1987. Manuales para Educación Agropecuaria. Area: Suelos y Agua 35. Riego y Drenaje. Ed. Trillas. México, D.F. 100 pp.
- 44.- Tamhane y R.A. 1978. Suelos su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales. Ed. Diana, México. Pags: 168-187.
- 45.- Tellez, López, J.L. y Camarillo, Gaytan, M.A. 1985. "Determinación del tipo de suelo y formulación de un programa para la rehabilitación de suelos con problema de salinidad en la unidad de riego "Santiago Atocan" del Municipio de Santa Ana Nextlalpan en el Estado de México". Tesis Profesional F.E.S. CUAUTITLAN. Ingeniería Agrícola. Cuautitlan Iscalli, Edo. de México. 139 pp.
- 46.- Teuscher y Adler. 1979. El suelo y su Fertilidad. Ed. -- C.E.C.S.A. México, D.F. 510 pp.
- 47.- Torres, Rufz, Edmundo. 1982. Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Ed. Diana. México, D.F. 164 pp.
- 48.- Ureña, Castellano, C.F. 1975. "Estudio preliminar para la utilización de diversos mejoradores y láminas de lavado para la recuperación de los suelos salinosódicos del Ex-lago de Texcoco". Tesis Profesional, Chapingo, México.
- 49.- Valle, Centurión, H.F. 1983. "Los procesos de acumulación de sales e intemperismo en cubetas lacustres en una zona de transición del Ex-lago de Texcoco". Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, México.

- 50.- Hahia, T.A.: Miyamoto, S. and J.L. Stroehlein, 1975. -
Effect of Surtace Applied Sulfuric Acid on Water
Penetration into Dry Calcareous and Sodic Soils.
Soil Science Society of America Proceeding. Vol.
39 (6). Madison, Wis. U.S.A. 1201-1204.
- 51.- Zolezzi, Treviño, Federico. 1980. "Análisis económico de
la aplicación de 4 mejoradores químicos, en -
dosis para sustituir 15, 30, 45% de sodio inter-
cambiable de un suelo arcilloso, cultivado con -
Sorgo (Sorghum vulgare)". Tesis Profesional. Ins-
tituto Tecnológico de Estudios Superiores de Mon-
terrey, N.L. pags: 26-39